

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE LA TIERRA,**  
**ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA II**



**TESIS DOCTORAL**

**Caracterización de la población estelar joven en la Nebulosa  
Molecular de Orión B**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Miguel Ángel López García**

DIRECTORES

**Javier López Santiago**  
**Elisa de Castro Rubio**

Madrid, 2018



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Universidad Complutense de Madrid  
Facultad de CC. Físicas  
Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II  
(Astrofísica y CC. De la Atmósfera)

# Caracterización de la población estelar joven en la Nebulosa Molecular de Orión B

Dirigido por  
Dr. Javier López Santiago  
Profa. Dra. Elisa de Castro Rubio

Memoria que presenta  
**D. Miguel Ángel López García**  
Para aspirar al grado de  
Doctor en Astrofísica  
Madrid, Abril de 2017



*A las mujeres de mi vida:  
mi madre,  
mi mujer  
mi hija.*



---

# Agradecimientos

*"Incluso un camino sinuoso, difícil, nos puede conducir a la meta, si no lo abandonamos hasta el final"*

**Paulo Coelo**

Así es una tesis. Un camino largo, muy largo, en el que no siempre se puede seguir el camino recto y donde, en cada recodo sinuoso, te espera un problema nuevo. Afortunadamente, el camino también está lleno de personas que ayudan a sortear los problemas.

El primer agradecimiento es para mi directores de tesis, que me dieron la oportunidad de empezar una carrera en investigación. A Elisa de Castro, que me conoce desde los 18 años, por aquel entonces yo era un chaval desgarbado y chapucero. Me ha visto crecer y madurar, aunque muy a su pesar, sigue llevando dentro parte de ese chaval. Trás casi 15 años solo puede tener a Elisa un cariño enorme, no se si voy a poder devolverte todos los favores que me has hecho. Gracias de verdad. En el otro lado está Javier López, la persona que más tiempo ha perdido enseñandome y tratando de que aprendiera. Al final casi consigue hacerme un investigador de verdad. No voy a poder devolverte todo ese tiempo invertido en mí (incluso cuando no lo tenías), así que muchas gracias.

El camino no sería el mismo sin los compañero de despacho. De todos ellos he podido aprender algo: Maleni, Raquel, Míriam, Flory, Inés, Hugo y Victor. Mención expecial merecen los dos últimos: Hugo, compañero de andanzas desde el principio y su manía de ayudar contestando siempre a todo: RTFM. Y a Victor, compa—ñero de proyecto, de congresos, de cama, de problemas y de soluciones. Todos ellos han puesto un granito o un granazo para estar en este párrafo.

Gracias también a los miembros del departamento, en especial la parte estelar: David Montes, Manuel Rego, Manuel Cornide, María José y Jose Antonio. Las afortunadas correcciones de los dos últimos han dado mucho valor a tesis. Gracias a todos.

Al todo el *Osservatorio Astronomico di Palermo*, donde pase tres meses estupendos aprendiendo de los mejores: Beate e Ignazio, desde luego sin ellos la caracterización de Orión habría sido muy pobre. También conté con la inestimable ayuda de Marco y Sara, sin ellos tampoco habría sido lo mismo. Grazie a tutti.

Y si lo compañeros de camino son importantes, más aún son esas personas que, sin formar parte de él te ayudan y te animan todos los días. Me estoy refiriendo a mi familia: mi Padre, mi Madre y mis Hermanas (con mayúsculas). He tenido la suerte de tener unos padres que siempre han apoyado las decisiones que he tomado, aunque fuera un “pájaro“, muchas de esas decisiones eran erróneas, pero ellos siempre me apoyaron y me dejaron caer para luego ayudar a levantarme. No podría haber tenido más suerte. Esto es también extensible a mis hermanas. Con una relación de amor-odio (poquito) desde pequeños a una relación de amistad, de confianza y de ayuda. Se que podré contar con vosotros siempre y por eso os quiero mucho, aunque no me prodige diciendolo. Y, como: “No hay nada mejor que la familia unida“, incluyo también a mis cuñados, mis suegros, tíos, tías, primos, primas y todos aquellos que ya se han ido.

Y por último, por que es la verdadera estrella de este trabajo, está Eva. Ella ha realizado un esfuerzo más grande todavía que yo, apoyandome en los malos momentos y sonriendo en los buenos. Además me ha dado lo más grande del mundo: nuestra hija Adriana, y por eso y mucho más, ella merece el gracias más grande.

GRACIAS AMOR.

---

# Resumen

Para conocer la población estelar de las regiones de formación estelar, los estudios en infrarrojo son la herramienta perfecta para caracterizar el estado evolutivo de los objetos encontrados. Sin embargo, en estas longitudes de onda se encuentra que se pierde parte de la población, ya sea por estar muy absorbida o por que dejen de mostrar propiedades infrarrojas. Por ello, es necesario buscar un método complementario para revelar la población al completo. Los rayos X duros ( $> 1$  keV) atraviesan las nubes de gas y el polvo sin casi interactuar con la materia debida a la pequeña sección eficaz de estos últimos. Esto sumado a que los objetos estelares jóvenes muestran una intensa emisión en rayos X permite a los estudios combinados de IR y rayos X caracterizar las regiones de formación estelar en su totalidad. Un estudio combinando observaciones en rayos X, fotometría infrarroja y optica, se llevará a cabo para estudiar la población de NGC 2023 y de la Nube Molecular de Orión B.

Los objetivos de este trabajo son:

1. Realizar un estudio de la población estelar de NGC 2023, obteniendo las propiedades infrarrojas y de rayos X, así como sus parámetros estelares.
2. Realizar un estudio global de la población que compone la Nebulosa Molecular de Orión B.
3. Obtener la población estelar joven menos masiva, estudiando si existen diferencias en el mecanismo de formación estelar, tanto a nivel individual dentro de la nebulosa de Orión B como en relación con los complejos vecinos.
4. Estudiar las propiedades infrarrojas y las propiedades coronales de las miembros de la Nube Molecular de Orión B.

5. Y estudiar la influencia de los distintos frentes de ionización que actúan en la nebulosa de Orión B y su influencia en la juventud de las fuentes que circundan.

NGC 2023 es una nebulosa de reflexión brillante situada al sur de Orión B, en contraste con su vecino NGC 2024, muestra una baja densidad estelar. Para el estudio de la nebulosa se utilizó una observación del telescopio espacial *XMM-Newton*. Esta observación se redujo y se analizó utilizando el software SAS, se obtuvieron los archivos Good Time Interval, las imágenes corregidas de eventos malos, la detección de fuentes y los espectros de las fuentes encontradas. Para completar el análisis, se utilizaron dos observaciones de Spitzer que cubrían la nebulosa y se correlacionaron las fuentes encontradas con los catálogos de 2MASS, *WISE*, DENIS y TASS. La clasificación de fuentes se realizó a través de la pendiente de la distribución espectral de energía observada en los objetos y mediante diagramas color-color y color-magnitud. Para completar el estudio de las fuentes de rayos X encontradas se utilizó una red de modelos de transferencia radiativa para objetos estelares jóvenes (Robitaille, 2008) con toda la fotometría disponible. Se obtuvieron parámetros estelares tales como la extinción, la masa estelar, la temperatura y la luminosidad, además de la distancia para cada objeto analizado. El análisis en rayos X se realizó utilizando XSPEC y los modelos WABS y APEC. Para las 11 fuentes con más de 100 cuentas se compararon los modelos de uno y dos temperaturas, obteniendo los valores de la densidad de columna, la/las temperatura/s, la medida de emisión, la metalicidad y el flujo. Con estas fuentes se obtuvo un factor de conversión de cuentas a flujo para extrapolar el flujo al resto de fuentes. Con los flujos en rayos X se construyó una función de distribución acumulada para  $\log(L_X)$  y comparando NGC 2023 con ONC. Como resultados se encontraron un objeto de Clase I, siete de Clase II (dos de ellas posibles AGN) y 24 de Clases III. Se obtuvieron los parámetros estelares para 32 fuentes, encontrando una distancia acorde con otros estudios. Se estimó una edad aproximada de 1-7 Ma. Los parámetros generales de rayos X son similares a los observados en otras estrellas de misma clase en otras regiones de formación. Además, las fuentes de NGC 2023 resultaron ser similar a las ONC a bajas energías, encontrando un déficit de estrellas para energías mayores de  $\log(L_X) > 30.5$ .

La Nebulosa Molecular de Orión B está encuadrada en la mitad norte del bucle de Barnard y contiene varias regiones de formación estelar: NGC 2071, NGC 2068, HH 24-26, NGC 2024 y NGC 2023 entre otras. En el estudio de Orión B se utilizaron 9

observaciones de archivo de *XMM-Newton* cubriendo casi la totalidad de la nube. Trás el proceso de reducción, realizado con SAS, se obtuvieron un total de 604 fuentes. Se correlacionaron las fuentes encontradas con los catálogos infrarrojos *Spitzer*, *WISE* y *2MASS* y con los catálogos ópticos *DENIS* y *Jhonson*. 159 de los objetos encontrados no tuvieron ninguna contrapartida en ninguna de las bandas fotométricas utilizadas, por lo que se desecharon por ser posiblemente fuentes espúreas o extragalácticas. El resto de las fuentes se representaron en diagramas color-color en las bandas de *Spitzer* para detectar la población de fondo, encontrando 90 fuentes. Utilizando el índice espectral  $\alpha$  se clasificaron las fuentes en función de la pendiente de su SED, en Clase I, II y III. Al quedar muchas fuentes sin clasificar por faltar algunas de las bandas fotométricas del índice  $\alpha$  se crearon dos índices nuevos,  $\beta$  y  $\gamma$  que tuvieran en cuenta fotometría de *Spitzer* y de *WISE* respectivamente. La clasificación se completó utilizando diagramas color-color. Al final del proceso se obtuvieron 243 fuentes de Clase III, 102 fuentes de Clase II y 10 Clases I. Se encontraron 5 regiones donde la formación estelar se está produciendo: la región norte de NGC 2071, NGC 2068, los alrededores de V1648 Ori, NGC 2023 y NGC 2024. El ratio entre Clases III y Clases II fue de 2.33, un resultado muy similar al encontrado en Orión A. No se encontraron diferencias en cuanto a las temperaturas coronales entre Clase III y Clase II y unos valores medios de temperatura y densidad de columna similares a otras regiones de formación estelar. Se realizó un factor de conversión con las fuentes analizadas entre cuentas y flujo para generar la función de luminosidad y comparar el resultado con los datos de COUP, encontrando poblaciones similares, en nuestro rango de completitud, a pesar de que la población de COUP es más abundante.



---

# Abstract

To know the stellar population of star forming regions, IR studies are the perfect tool to characterize the evolutionary stage of the objects found. However, it is found that at these wavelengths part of the population is lost, because they are very absorbed or because they cease to show infrared properties. Therefore, it is necessary to look for a complementary method to relieve the entire population. As with radio-waves, hard X-rays ( $> 1$  keV) pass through clouds of gas and dust without interacting with matter due to the effective section of the latter. This, coupled with the fact that young stellar objects show intense X-ray emission, allows combined IR and X-ray studies to characterize stellar regions revealing the entire population of the cloud. A study of this type, combining observations in X-rays, infrared and optical photometry will be carried out to study the population of NGC 2023 and Orion B.

The main aims of this work are:

1. Perform a study of the stellar population of NGC 2023. Obtaining the infrared and X-ray properties, as well as their stellar parameters.
2. Perform a global study of the population that makes up the Orion B Molecular Cloud.
3. Reveal the less massive young stellar population, studying whether differences exist in the stellar formation mechanism, both individually within the Orion B nebula and in relation to neighboring complexes.
4. Study the infrared properties and coronal properties of the members of the cloud.
5. And to study the influence of the different ionizing fronts acting on the Orion B nebula and its influx in the youth of the surrounding fountains.

NGC 2023 is a bright reflection nebula located south of Orion B, in contrast to its neighbor NGC 2024 shows a low stellar density. For the study of the nebula was used an observation of the space telescope *XMM-Newton*. This observation was reduced and analyzed using the SAS software, the GTI files, the corrected images of bad events, the detection of sources and the spectra of the found sources were obtained. To complete the analysis, two observations of Spitzer covering the nebula were used and the sources found were correlated with the *2MASS*, *WISE*, *DENIS* and *TASS*. The classification sources were made through slope of the SED observed in the objects and using color-color and color-magnitude diagrams. To complete the study of the X-ray sources found, a network of radiative transfer models for young stellar objects was used using all the photometry available. Stellar parameters such as extinction, stellar mass, temperature and luminosity were obtained, as well as the distance for each analyzed object. The X-ray analysis was performed using XSPEC and the WABS and APEC models. For the 11 sources with more than 100 counts the models of 1 and 2 temperatures were compared, obtaining the values of the column density  $N_H$ , the temperature(s), the measure of emission, metallicity and flux. With these sources a factor of conversion of accounts to flow was obtained to extrapolate the flux to the rest of sources. With X-ray fluxes, a cumulative distribution function was constructed in  $\log(L_X)$  and NGC 2023 was compared with ONC. As results of this study a Class I, 7 Classes II (two of them possible AGN) and 25 Class III were found. The stellar parameters were obtained for 32 sources, finding a distance according to other studies. An approximate age of 1-7 Ma was estimated. Overall X-ray parameters are similar to those observed in other stars of the same class in other star forming regions, as well as the sources of NGC 2023 are similar to ONC at low energies, finding a star deficit for energies higher than  $\log(L_X) > 30.5$ .

The Orión B Molecular Nebula is located in the northern half of the Barnard arc and contains several star forming regions: NGC 2071, NGC 2068, HH 24-26, NGC 2024 and NGC 2023 among others. In the Orión B study, nine (*XMM-Newton*) file observations covering almost the entire cloud were used. After the reduction process, carried out with SAS, a total of 604 sources were obtained. We correlated the sources found with the infrared catalogue, *WISE* and *2MASS* and with the optical catalogues *DENIS* and *JHONSON*. 159 of the objects found did not have any counterparts in any of the photometric bands used, so they were discarded for possibly spurious or extragalactic

---

sources. The rest of the sources were represented in color-color diagrams in the *Spitzer* bands to detect the background population, finding 90 sources. Using the spectral index  $\alpha$ , the sources were classified according to the slope of its SED, in Class I, II and III. As many unclassified sources remained missing for some of the photometric bands of the  $\alpha$  index, two new indices were created,  $\beta$  and  $\gamma$  that took account of *Spitzer* and *WISE* photometry, respectively. Classification was completed using color-color diagrams. At the end of the process were obtained 243 Class III sources, 102 Class II sources and 10 Classes I. Five regions were found where stellar formation is occurring: the northern region of NGC 2071, NGC 2068, the vicinity of V1648 Ori, NGC 2023 and NGC 2024. The ratio between Class III and Class II was 2.33, a similar result that was found in Orion A (2.36). No differences were found in terms of coronal temperatures between Class III and Class II and average values of temperature and column density similar to other regions of star forming regions. A conversion factor was performed with the analyzed sources between count rate and flux to generate the luminosity function and compare the result with the COUP data, finding similar populations in our range of completeness, although the population of COUP is more abundant.



---

# Índice general

|  |          |
|--|----------|
| Agradecimientos  | I        |
| Resumen  | III      |
| Abstract   | VII      |
| Índice   | XIII     |
| Lista de Figuras   | XVI      |
| Lista de Tablas  | XVIII    |
| Lista de Acrónimos   | XIX      |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b> |
| 1.1. Descripción general de las observaciones de las regiones de formación estelar . . . . . | 4        |
| 1.1.1. Regiones poco masivas de formación estelar . . . . .                                  | 4        |
| 1.1.2. Regiones muy masivas de formación estelar . . . . .                                   | 7        |
| 1.2. Características básicas de los YSOs . . . . .   | 9        |
| 1.2.1. Evolución y clasificación . . . . .   | 9        |
| 1.2.2. Actividad magnética . . . . .   | 12       |
| 1.3. Observaciones en rayos X de YSOs . . . . .  | 17       |
| 1.4. El Complejo Molecular de Orión . . . . .  | 22       |
| 1.4.1. Orión B . . . . .   | 26       |
| 1.5. Objetivos . . . . .   | 28       |
| 1.6. Estructura de la tesis . . . . .  | 29       |
|  | XI       |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2. Métodos</b>   | <b>31</b> |
| 2.1. El observatorio espacial <i>XMM-Newton</i> . . . . .                   | 31        |
| 2.1.1. Descripción técnica del telescopio de rayos X de <i>XMM-Newton</i> . | 33        |
| 2.1.2. La European Photon Imagen Camera . . . . .                           | 34        |
| 2.2. Science Analysis System . . . . .                                      | 36        |
| 2.3. XSPEC . . . . .  | 40        |
| 2.4. Otras herramientas . . . . .   | 41        |
| <b>3. Estudio de NGC 2023 con <i>XMM-Newton</i> y <i>Spitzer</i></b>        | <b>43</b> |
| 3.1. Introducción . . . . .   | 43        |
| 3.2. Observación de rayos X y reducción de datos . . . . .                  | 46        |
| 3.3. Propiedades infrarrojas de las fuentes de rayos . . . . .              | 48        |
| 3.3.1. Fotometría de <i>Spitzer</i> . . . . .                               | 48        |
| 3.3.2. Otros datos fotométricos . . . . .                                   | 52        |
| 3.3.3. La edad de los miembros de NGC 2023 . . . . .                        | 54        |
| 3.3.4. Ajuste de la SED . . . . .   | 54        |
| 3.3.5. Extinciones, masas estelares, temperaturas y luminosidades . . .     | 58        |
| 3.4. Análisis espectral de rayos X . . . . .                                | 59        |
| 3.5. Resultados . . . . .   | 60        |
| 3.6. Comparación . . . . .  | 63        |
| 3.7. Tablas y Figuras . . . . .   | 68        |
| <b>4. Estudio del Complejo Molecular de Orión B</b>                         | <b>79</b> |
| 4.1. La nebulosa molecular de Orión B . . . . .                             | 79        |
| 4.2. Observaciones y proceso de reducción de datos . . . . .                | 82        |
| 4.2.1. EPIC . . . . .   | 84        |
| 4.3. Naturaleza de las fuentes de rayos X . . . . .                         | 86        |
| 4.3.1. Fotometría óptica e infrarroja . . . . .                             | 86        |
| 4.3.2. Fuentes de rayos X sin contrapartida óptica o infrarroja . . . . .   | 92        |
| 4.4. Resultados . . . . .   | 92        |
| 4.4.1. Clasificación infrarroja . . . . .                                   | 92        |
| 4.4.2. Distribución espacial de las estrellas pre-secuencia principal . . . | 94        |
| 4.4.3. Propiedades en rayos X . . . . .                                     | 97        |
| 4.5. Comparación con trabajos previos . . . . .                             | 99        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.6. Función de luminosidad en rayos X . . . . . | 100        |
| 4.7. Tablas y Figuras . . . . .                  | 102        |
| <b>5. Resumen y Conclusiones</b>                 | <b>135</b> |
| <b>Bibliografía</b>                              | <b>138</b> |



---

# Índice de figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1. | Imagen de Orion Nebula Cluster (ONC) con una observación en infrarrojo (2MASS, izquierda) y con una de rayos X (XMM-Newton, derecha). Las imágenes fueron obtenidas del buscador de <i>Aladin</i> . . . . . | 2  |
| 1.2. | Esquema evolutivo de los YSOs. Imagen obtenida de Isella (2005) . . .   | 5  |
| 1.3. | Las cuatro posibilidades magnéticas que pueden ser responsables de la actividad magnética . . . . .   | 15 |
| 1.4. | Burbuja de Orión-Eridanus vista en $H\alpha$ . Los arcos A, B y C son parte del filamento de Eridanus. Imagen de Di Cicco & Walker. . . . .   | 23 |
| 1.5. | Imagen óptica que abarca la asociación Orión OB1 . . . . .  | 24 |
| 2.1. | Esquema del observatorio espacial <i>XMM-Newton</i> . . . . .   | 32 |
| 2.2. | Esquema de los telescopios de rayos X y los componetes de <i>XMM-Newton</i> . . . . .   | 35 |
| 3.1. | Imagen compuesta de EPIC (MOS+PN) del campo de visión de <i>XMM-Newton</i> en la banda de energía 0.3–8.0 keV. . . . .  | 45 |
| 3.2. | Curva de luz para todo el detector EPIC-PN a $E > 10$ keV. . . . .  | 47 |
| 3.3. | Diagramas color-color de IRAC para las fuentes de rayos X de NGC 2023 y sus alrededores. . . . .  | 51 |
| 3.4. | Diagrama color-color de 2MASS para las fuentes de NGC 2023 y sus alrededores. . . . .   | 53 |
| 3.5. | Diagrama color-color $I - J$ vs. $J - 3,6$ para las fuentes de NGC 2023. .  | 55 |
| 3.6. | Diagrama color-magnitud $K_s$ vs. $J - K_s$ de las fuentes de rayos X de NGC 2023. . . . .  | 56 |
| 3.7. | Función de distribución acumulada de $\log L_X$ para NGC 2023. . . . .  | 64 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.8. $\log L_X/L_{\text{bol}}$ en función de la masa estelar para las estrellas de COUP (cruces) y la muestra de estrellas de NGC 2023. Los cuadrados representan los objetos clasificados como Clase III, los triángulos como objetos de Clase II/II y los círculos como objetos de Clase II . . . . . | 67  |
| 3.9. Mosaico en 857 GHz del Complejo Molecular de Orión A, Orión B y Monoceros. . . . .   | 73  |
| 3.10. Imagen de <i>Spitzer</i> -IRAC en el canal 1 ( $3.6 \mu\text{m}$ ) de la nebulosa NGC 2023 y sus alrededores. . . . .   | 74  |
| 3.11. Distribución espectral de energía para los objects clasificados como Clase II en la Tabla 3.5. . . . .  | 75  |
| 3.12. Continuación de la Fig. 3.11 . . . . .  | 76  |
| 3.13. Igual que Fig. 3.11 pero para las estrellas clasificadas como Clase I/II y II/III en la Tabla 3.5. . . . .  | 77  |
| 4.1. Imagen en la banda 857 GHz de Planck de la Nebulosa Molecular de Orión, en verde está marcado el campo de visión de las obervaciones de <i>XMM-Newton</i> utilizados. . . . .  | 81  |
| 4.2. Mosaico de Orión B de las observaciones de <i>XMM-Newton</i> . . . . .   | 85  |
| 4.3. Distribución de las magnitudes [3.6] y [4.5] de <i>Spitzer</i> . . . . .   | 88  |
| 4.4. Diagramas infrarrojos color-magnitud usados para la detección de fuentes de fondo. . . . .   | 89  |
| 4.5. Diagramas color-color infrarrojos para la clasificación de la población de Orión B . . . . .   | 91  |
| 4.6. Distribución espacial para las distintas clases infrarrojas. . . . .   | 96  |
| 4.7. Función de luminosidad en rayos X. . . . .   | 101 |
| 4.8. Espectros para las fuentes ajustas con XSPEC. . . . .  | 131 |
| 4.9. Continuación de la Fig. 4.8. . . . .   | 132 |
| 4.10. Continuación de la Fig. 4.8. . . . .  | 133 |

---

# Índice de tablas

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 1.1. | Características de los YSOs . . . . .  | 12  |
| 1.2. | Características básicas de los instrumentos presentes en los telescopios espaciales de rayos X de última generación, La segunda fila corresponde a los instrumentos de <i>Chandra</i> . La tercera a los instrumentos de <i>XMM-Newton</i> . . . . . | 19  |
| 3.1. | Detalles de la observación de <i>XMM-Newton</i> sobre NGC 2023. . . . .  | 46  |
| 3.2. | Apertura de corrección para las diferentes radios de apertura . . . . .  | 50  |
| 3.3. | Resultados del ajuste espectral en rayos X para los modelos de plasma caliente de las estrellas de NGC 2023. . . . .   | 61  |
| 3.4. | Parámetros de rayos X para las fuentes de NGC 2023 obtenidos por SAS mediante la tarea <i>edetect_chain</i> . . . . .  | 69  |
| 3.5. | Magnitudes ópticas e infrarrojas para las fuentes detectadas en la observación de <i>XMM-Newton</i> . . . . .  | 70  |
| 3.6. | Fotometría infrarroja para las fuentes detectadas en la observación de <i>XMM-Newton</i> . <i>W</i> hace referencia a los datos obtenidos de <i>WISE</i> , <i>S</i> para los de <i>Spitzer</i> . . . . .   | 71  |
| 3.7. | Principales resultados del uso de la herramienta de ajuste espectral de <a href="#">Robitaille et al. (2007)</a> con las fuentes detectadas en rayos X en NGC 2023 . . . . .   | 72  |
| 4.1. | Detalles de las Observaciones de EPIC . . . . .  | 83  |
| 4.2. | Distribución de los YSO en función de su localización. . . . .   | 94  |
| 4.3. | Propiedades de los rayos X coronales para las YSOs . . . . .   | 97  |
| 4.4. | Magnitudes ópticas y de infrarrojo cercano para las fuentes detectadas   | 103 |

---

|   |     |
|---|-----|
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 104 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 105 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 106 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 107 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 108 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 109 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 110 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 111 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 112 |
| 4.4. – Continuación . . . . .   | 113 |
| 4.5. Magnitudes del infrarrojo medio para las fuentes detectadas . . . . .  | 114 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 115 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 116 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 117 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 118 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 119 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 120 |
| 4.5. – Continuación . . . . .   | 121 |
| 4.6. Ajuste de los modelos plasma en rayos X para las fuentes encontradas . | 122 |
| 4.7. Características en rayos X de las fuentes detectadas . . . . .         | 123 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 124 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 125 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 126 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 127 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 128 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 129 |
| 4.7. – Continuación . . . . .   | 130 |

---

## Lista de acrónimos

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| <b>2MASS</b>   | — | Two Micron All Sky Survey.                        |
| <b>AGN</b>     | — | Active Galactic Nucleus.                          |
| <b>ANS</b>     | — | Astronomical Netherlands Satellite.               |
| <b>APED</b>    | — | Astrophysical Plasma Emission Database.           |
| <b>CCD</b>     | — | Charge-Coupled Detector.                          |
| <b>CCF</b>     | — | Current Calibration File.                         |
| <b>CF</b>      | — | Coverision Factor.                                |
| <b>CR</b>      | — | Count Rate.                                       |
| <b>cTTS</b>    | — | Classical T-Tauri Star.                           |
| <b>COUP</b>    | — | Chandra Orion Ultra-deep Proyect.                 |
| <b>DEM</b>     | — | Differential Emission Measure.                    |
| <b>DENIS</b>   | — | Deep Near Infrared Survey.                        |
| <b>DROXO</b>   | — | Deep Rho-Oph X-ray Observation.                   |
| <b>EPIC</b>    | — | European Photon Imaging Camera.                   |
| <b>ERM</b>     | — | Epic Radiation Monitor.                           |
| <b>ESA</b>     | — | European Space Agency.                            |
| <b>FF</b>      | — | Full Frame.                                       |
| <b>GLIMPSE</b> | — | Galactic Legacy Infrared Midplane Extraordinarie. |
| <b>GMC</b>     | — | Giant Molecular Cloud.                            |
| <b>GTI</b>     | — | Good Time Interval.                               |
| <b>HH</b>      | — | Herbig-Haro.                                      |
| <b>HST</b>     | — | <i>Hubble Space Telescope.</i>                    |
| <b>HXR</b>     | — | Hard X-ray.                                       |
| <b>IDL</b>     | — | Interactive Data Language.                        |
| <b>IMF</b>     | — | Initial Mass Function.                            |

|              |   |
|--------------|---|
| <b>IR</b>    | — Infrared (o infrarrojo).                                  |
| <b>IRAC</b>  | — Infrared Array Camera.                                    |
| <b>IRAF</b>  | — Image Reduction and Analysis Facility.                    |
| <b>ISM</b>   | — Interstellar Medium.                                      |
| <b>LMSFR</b> | — Low Mass Star Forming Region.                             |
| <b>MIR</b>   | — Mid Infrared.   |
| <b>MOPEX</b> | — Mosaicker and Point Source Extractor.                     |
| <b>NIR</b>   | — Near Infrared.  |
| <b>MS</b>    | — Main Sequence.  |
| <b>MSFR</b>  | — Masive Star Forming Region.                               |
| <b>ODF</b>   | — Observation Data File.                                    |
| <b>OM</b>    | — Optical Monitor.  |
| <b>ONC</b>   | — Orion Nebula Cluster.                                     |
| <b>PMS</b>   | — Pre-Main Sequence.  |
| <b>PSF</b>   | — Point Spread Function.                                    |
| <b>RGS</b>   | — Reflection Grating Spectrometer.                          |
| <b>SAS</b>   | — Science Analysis System.                                  |
| <b>SCUBA</b> | — Submillimetric Common User Bolometric Array.              |
| <b>SED</b>   | — Spectral Energy Distribution.                             |
| <b>SOXS</b>  | — Survey of Orion A whit XMM-Newton and Spitzer.            |
| <b>SXR</b>   | — Soft X-ray.   |
| <b>TASS</b>  | — The Amateur Sky Survey.                                   |
| <b>TD</b>    | — Transitional Disk.  |
| <b>TTS</b>   | — T Tauri Star.   |
| <b>UCAC</b>  | — USNA CCD Astrograph Catalogue.                            |
| <b>UV</b>    | — Ultraviolet (o ultravioleta).                             |
| <b>VLA</b>   | — Very Large Array.   |
| <b>WCS</b>   | — World Coordinate System.                                  |
| <b>WISE</b>  | — Wide-field Infrared Survey Explorer.                      |
| <b>wTTS</b>  | — Weak-line T-Tauri Star.                                   |
| <b>XEST</b>  | — XMM-Newton Extended Survey of the Taurus Molecular Cloud. |
| <b>XLF</b>   | — X-ray Luminosity Function.                                |
| <b>XMM</b>   | — X-ray Multi-Mirror Mission.                               |

- XSA** — XMM-Newton Science Archive.  
**YSO** — Young Stellar Object.  
**ZAMS** — Zero Age Main Sequence.



---

# Capítulo 1

## Introducción

A mediados del siglo pasado, Becklin & Neugebauer (1967) descubrieron en la Nebulosa de Orión una estrella que brillaba en el rango infrarrojo (IR) pero que no tenía contrapartida óptica. Este caso fue tomado como la primera evidencia observacional la formación estelar. Desde entonces, extensos estudios en infrarrojo cercano (NIR) en las bandas  $J$ ,  $H$  y  $K_s$ , revelaron gran cantidad de objetos estelares con exceso en la banda infrarroja en las proximidades de nubes en las que se concentra la formación estelar. Es por ello, que el catálogo *Two Micron All Sky Survey* (2MASS) es ampliamente usando para identificar y estudiar regiones de formación estelar (e.g. Bica et al., 2003; Dutra et al., 2003). Con la llegada de los nuevos telescopios espaciales, como *Spitzer*, se revelaron impresionantes detalles de las regiones de formación mediante el mapeo de grandes áreas (Benjamin et al., 2003; Evans et al., 2003). Durante décadas, las observaciones en IR y en longitudes de onda más larga fueron las técnicas más usadas para identificar los objetos estelares jóvenes (en inglés, young stellar objects, YSO) y estudiar el proceso de formación estelar. Las estrellas jóvenes poseen discos circumestelares y envolturas que emiten predominantemente en las longitudes de onda larga (IR y milimétricas). Existen varios métodos ampliamente utilizados para la identificación de YSOs en estas longitudes de onda, basados principalmente en la observación de su distribución espectral de energía (SED; Adams et al., 1987). Para las observaciones de *Spitzer*-IRAC (InfraRed Array Camera) en el infrarrojo medio, Allen et al. (2004) desarrollaron un sistema de clasificación basado en los diagramas de colores de *Spitzer*. Lada et al. (1991b) identificaron cúmulos estelares en la nube de Orión B mediante conteos en la banda K. Adoptando una densidad media para las estrellas de fondo, la

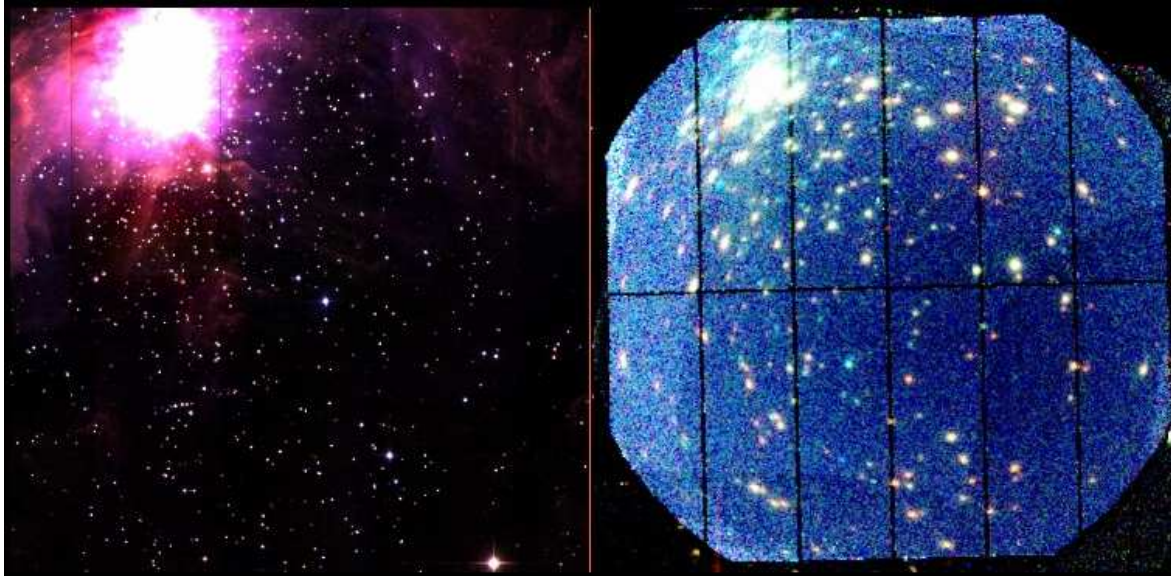


Figura 1.1: Imagen de Orion Nebula Cluster (ONC) con una observación en infrarrojo (2MASS, izquierda) y con una de rayos X (XMM-Newton, derecha). Las imágenes fueron obtenidas del buscador de *Aladin*.

pertenencia al cúmulo se puede evaluar estadísticamente restando la contaminación de fondo para todas las detecciones. Esta técnica ha demostrado ser muy útil en estudios de cúmulos muy oscurecidos (Gutermuth et al., 2005). En el óptico, el método más común adoptado para identificar estrellas jóvenes es la espectroscopía. A través de indicadores de juventud como la actividad cromoférica elevada o la abundancia de litio y berilio, que son elementos que desaparecen rápidamente en las estrellas o la detección de la línea de emisión  $H\alpha$  nebular (producida por el materia que está cayendo hacia la estrella Herbig & Bell, 1988; Hillenbrand et al., 1993). Más recientemente, la intensidad de la emisión en rayos X ha demostrado ser un indicador eficaz de la juventud de las estrellas (véase Feigelson & Montmerle, 1999).

El descubrimiento de la emisión extendida de rayos X asociada a la nebulosa de Orión por varios satélites de rayos X (Uhuru, ANS (Astronomical Netherlands Satellite) y *SAS-3*) estableció por primera vez el firme vínculo entre la emisión de rayos X y las regiones de formación estelar (Bradt & Kelley, 1979; den Boggende et al., 1978; Giacconi et al., 1972). Sin embargo no fue hasta la llegada del primer telescopio de imagen de rayos X, *Einstein Observatory*, cuando estrellas individuales fueron identificadas como fuentes de rayos X en la Nebulosa de Orión (Ku & Chanan, 1979). *Einstein*

---

y *ROSAT*, fueron capaces de detectar la emisión en rayos X de estrellas jóvenes poco masivas, en regiones de formación estelar cercanas (Feigelson & Decampli, 1981). Ahora se sabe que la emisión en rayos X es inherente al plasma caliente de las estrellas jóvenes (véase Feigelson et al., 2007). Las estrellas de poca masa son magnéticamente activas y los rayos X producidos por el plasma son generados a través de mecanismos similares a los que acontecen en la corona solar. Las estrellas T Tauri muestran fulguraciones de rayos X que son varios órdenes de magnitud más intensas que las producidas en el Sol. Durante los eventos de reconexión magnética, el gas caliente confinado dentro de los tubos magnéticos puede ser instantáneamente calentado a una temperatura suficiente para emitir rayos X. En estrellas O masivas, los rayos X son producidos por choques a pequeña escala en los vientos estelares (Albacete Colombo et al., 2007; Lucy & White, 1980; Owocki et al., 1988; Townsley et al., 2003).

Cuando se quiere conocer la población estelar de las regiones de formación estelar, los estudios en IR son la herramienta perfecta para caracterizar el estado evolutivo de los objetos encontrados. Sin embargo, se encuentra que en estas longitudes de onda se pierde parte de la población, ya sea por estar muy absorvidas o por que dejan de mostrar propiedades infrarrojas. Por ello, es necesario buscar un método complementario para relevar la población al completo. Al igual que ocurre con las ondas de radio, los rayos X duros ( $> 1$  keV) atraviesan las nubes de gas y el polvo sin casi interactuar con la materia debido a la sección eficaz de estos últimos. Como se puede ver en la Fig. 1.1 en las regiones donde el gas y el polvo ocultan la población estelar, los rayos X son capaces de revelarla. Esto sumado a que los objetos estelares jóvenes muestran una intensa emisión en rayos X permite a los estudios combinados de IR y rayos X caracterizar las regiones de formación estelar revelando la totalidad de la población de la nube. Un estudio de este tipo, combinando fotometría infrarroja (*Spitzer*, *WISE* y *2MASS*) se llevará a cabo en los Capítulos 3 y 4 para estudiar la población de NGC 2023 y de Orión B, respectivamente.

## 1.1. Descripción general de las observaciones de las regiones de formación estelar

### 1.1.1. Regiones poco masivas de formación estelar

La Fig. 1.2 muestra la evolución de un YSO. El gas y el polvo se contrae en el interior de la protoestrella, acompañado de chorros y emisiones moleculares que conservan el momento angular. Cuando la fase principal de acreción circumestelar está a punto de terminar, la protoestrella ha evolucionado hasta un sistema con una estrella central que continua contrayéndose muy lentamente y un disco protoplanetario de gas y polvo que la rodea. Este estado es conocido como T Tauri Clásica (cTTS en inglés). En este punto la protoestrella continua contrayéndose manteniendo una temperatura más o menos constante y disminuyendo su luminosidad. La siguiente etapa aparece cuando la mayor parte del disco de gas desaparece y el YSO se convierte en un estrella tipo T Tauri con líneas de emisión menos intensas (wTTS, en inglés) y tras un periodo que dura cientos de millones de años pasa a formar parte de la secuencia principal (MS, Main Sequence, en inglés). Debido a su proximidad y su gran cantidad de ejemplos, muchas regiones de formación estelar de poco masivas cercanas (LMSFRs, en inglés) han sido objetivo de estudios multi longitud de onda. Como ejemplo tenemos: Chamaelon, Taurus-Auriga y  $\rho$  Ophiuchi. Algunas observaciones destacadas incluyen: imágenes directas del *Telescopio Espacial Hubble* (HST) de discos circumestelares en torno a YSOs en la nebulosa molecular Taurus-Auriga (Padgett et al., 1999), y la detección de objetos de tipo Herbig-Haro (Reipurth & Bally, 2001). Estas observaciones proporcionan un fuerte apoyo a la hipótesis nebular. Las estrellas poco masivas que se encuentran en asociaciones OB están incluidas en Walter et al. (2000) y en Briçño et al. (2007). Usando observaciones infrarrojas desde tierra y desde el espacio, encontraron que la distribución espacial de las estrellas de poco masivas incluidas en asociaciones OB contienen subestructuras y la escala de tiempos para la disipación de los discos que son diferentes para estrellas de una misma masa.

Los estudios en rayos X en LMSFRs cercanas con *Einstein*, *ROSAT* y *ASCA* se revisan exhaustivamente en Feigelson & Montmerle (1999). Un punto culminante de estas investigación reveló que las observaciones de rayos X incrementan las muestras de grupos de estrellas jóvenes (especialmente cuando hay presencia se estrellas tipo

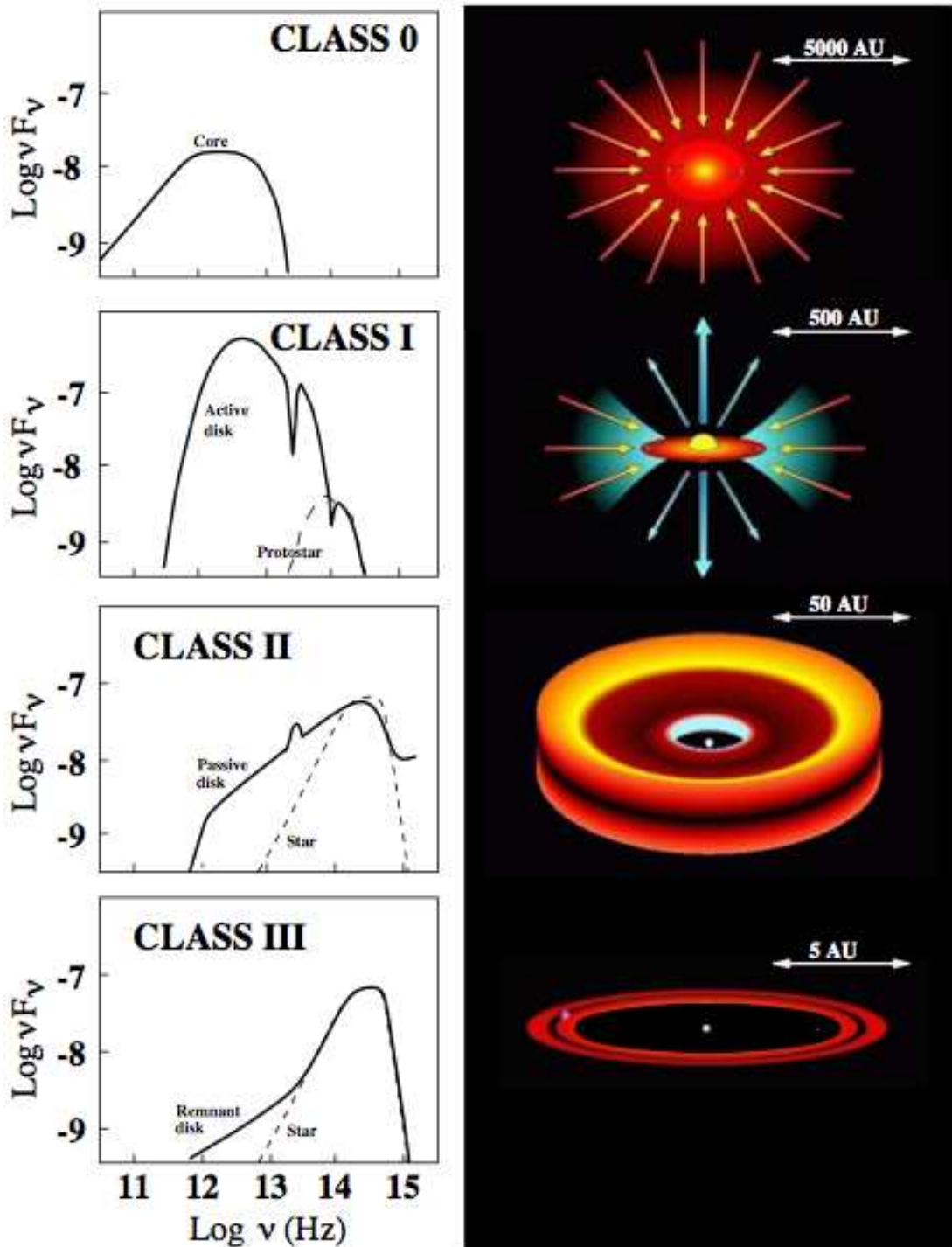


Figura 1.2: Esquema evolutivo de los YSOs. Imagen obtenida de Isella (2005)

WTT). Otra revisión completa de los procesos de alta energía producidos en YSOs incluyen Favata & Micela (2003) y Güdel (2004). La última revisión de Güdel et al. (2007) analizó toda la población estelar joven en rayos X reveladas por las observaciones multilongitud de onda de la nube molecular de Taurus, conocida como *XMM-Newton Extended Survey of the Taurus Molecular Cloud* (XEST), describiendo la relación entre luminosidad de rayos X y la masa, y mostrando evidencias de la menor luminosidad en rayos X de las cTTS comparadas con las wTTS. Otra de las LMSFRs cercanas al Sol es la nube  $\rho$  Ophiuchui (145 pc), y su cúmulo de estrellas, siendo éste uno de los más jóvenes de las regiones de formación cercanas. El contenido estelar del cúmulo se utilizó para la definición de fuente de Clase 0, I, II y III para YSOs de baja masa basado en la SED (Andre & Montmerle, 1994; Greene et al., 1994). La observación de *Chandra* de esta nube reportó la detección de rayos X emitidos por enanas marrones, fuentes Clase I y protoestrellas en fases más jóvenes que la Clase I (Imanishi et al., 2001). Más recientemente fue observado en el proyecto *Deep Rho-Oph X-ray Observation* (DROXO) basado en una observación de 500 ks de la región de formación. Este proyecto dió lugar la serie de artículos (Flaccomio et al., 2009; Giardino et al., 2007; Pillitteri et al., 2010), presentando y clasificando las fuentes encontradas, estudiando la variabilidad de la línea de emisión de Fe 6.4 keV del objeto de Clase I Elias 29 y la relación entre las líneas de [Ne II] y [Ne III] con los modelos de irradiación del disco en rayos X.

El complejo Taurus-Auriga se ha estudiado intensivamente desde que se encontraron entre su población estelar muchas estrellas T Tauri (Guillout et al., 1998a,b; Kenyon & Hartmann, 1995; Neuhaeuser et al., 1997). La nube tiene forma filamentosa y la formación estelar ocurre siguiendo los filamentos de polvo. Las observaciones en rayos X son muy útiles para la identificación de nuevas wTTS que se perderían en gran medida con observaciones en longitudes de onda más largas (Feigelson et al., 1987; Hacar et al., 2013; Neuhaeuser et al., 1995). El estudio con las observaciones de XEST cubre aproximadamente 5 grados cuadrados de la región de Taurus para estudiar la variabilidad y evolución del plasma que emite en rayos X y la búsqueda de nuevos miembros que pertenezcan a la asociación. Los resultados se puede ver en Güdel et al. (2007); Sacco et al. (2008); Stelzer et al. (2007). De las observaciones de rayos X acumuladas en estas LMSFRs, algunas de las propiedades de rayos X de YSOs poco masivos están bien caracterizadas. Por ejemplo para el estudio del complejo Taurus-Auriga se encontró que la luminosidad típica en rayos X es  $L_X < 10^{31}$  erg s<sup>-1</sup> con un

espectro plasma térmico de  $kT \sim 1 - 5$  keV y la relación empírica entre la luminosidad de los rayos X y la luminosidad bolométrica,  $L_X/L_{bol} \sim 10^{-3} - 10^{-5}$ .

En resumen, los estudios en las LMSFRs han demostrado que las estrellas frías jóvenes emiten en rayos X y cuanto más jóvenes, más intensa será la emisión en X. Esto es debido a que rotan más rápidamente y es la rotación la que regula la intensidad del campo magnético. Puesto que la intensidad del campo magnético regula el calentamiento coronal, la corona de las estrellas frías jóvenes será más caliente que la de las estrellas viejas como el Sol. Resultando que la emisión en rayos X es más intensa.

### **1.1.2. Regiones muy masivas de formación estelar**

Las estrellas masivas son aquellas con masas iniciales  $> 8M_{\odot}$  y que finalmente acaban sus vidas en violentas explosiones de supernovas, pudiendo llegar a convertirse en agujeros negros o estrellas de neutrones. Son muy luminosas y se caracterizan por mostrar fuertes vientos estelares, alta tasa de pérdida de masa, y una intensa radiación ultravioleta (UV). Sin duda, los vientos de las estrellas masivas y la explosión de supernovas afectan la química y a las condiciones físicas de la nube natal y el medio interestelar (ISM) porque de ésta forma regresan los elementos más pesados que el Hidrógeno producidos durante la evolución estelar, contribuyendo así a la evolución de las galaxias. La formación de nuevas generaciones de estrellas poco masivas se desencadena por la presencia de estrellas masivas. Las estrellas O masivas normalmente no están aisladas (excepto las llamadas estrellas O fugadas; Gies, 1987; Maiz-Apellaniz et al., 2004); viven en grupos OB densos o asociaciones OB no consolidadas. Por eso para comprender plenamente la formación estelar masiva es necesario estudiar los cúmulos estelares de las MSFRs.

Las MSFRs representan la oportunidad de medir la IMF (Initial Mass Function, en inglés) en un amplio rango de masa estelar. Las estrellas de gran masa aún siguen vivas, y no es necesario conocer con precisión la evolución estelar de la zona. Otra ventaja es que todas las estrellas tienen una misma distancia, metalicidad y edad, lo que permite una determinación de la masa a través de las isócrona teóricas. La IMF describe la distribución relativa de estrellas con diferentes masas tras su formación. Por lo tanto, es de fundamental importancia para una gran variedad de temas astrofísicos, como la comprensión de poblaciones estelares, la historia de la formación estelar o las interacciones entre las estrellas y el medio interestelar.

Desde que [Salpeter \(1955\)](#) utilizara la función de luminosidad en la vecindad solar para calcular la tasa de formación estelar en función de la masa y encontrara un máximo en torno a  $\sim 1.0M_{\odot}$ , existen pregunta sobre la IMF que no están claras. Como por ejemplo, sí existe un límite de masa superior, la dependencia de la IMF con respecto a las condiciones ambientales, porque la formación de estrellas masivas es variable en las regiones de formación estelar siendo la IMF universal y sí la IMF es variable es función de cómo se forman las estrellas masivas.

Hay dos grandes teorías que compiten por la explicación de la formación de estrellas masivas, que se revisan a fondo en [Bally & Zinnecker \(2005\)](#) y [Zinnecker & Yorke \(2007\)](#). La visión tradicional es que las estrellas masivas se forman en una versión ampliado de la formación de estrellas poco masivas en el interior de los núcleos densos y calientes en alta presión ([McKee & Tan, 2002](#); [Yorke, 2004](#)). Y alternativamente, la visión que ha sugerido que las estrellas masivas se forman a partir de la fusión de protoestrellas de menor masa en los cúmulos donde abundan las protoestrellas.

Hay varios problemas con la versión reducida de la hipótesis de formación de estrellas estándar. Trás los estudios pioneros de [Kahn \(1974\)](#) y [Yorke & Kruegel \(1977\)](#), [Wolfire & Cassinelli \(1987\)](#) argumentó que en una mezcla de gas interestelar y polvo y estrellas más masivas de  $10\text{-}20 M_{\odot}$  la presión de radiación puede detener el incremento de la acreción. Sin embargo, como el campo de radiación intenso disocia las moléculas, la opacidad del material de acreción se puede reducir en gran medida. No obstante, la presión de radiación tiende a hacer que los flujos de acreción sean altamente inestables, y para las estrellas más luminosas, incluso las envolturas libres de polvo pueden ser arrancadas. Por otra parte, como se muestra en [McKee & Tan \(2002\)](#), los flujos de acreción pueden superar a la presión de radiación en los núcleos de alta densidad y alta presión. Sin embargo, las observaciones indican que muchas estrellas masivas nacen en cúmulos donde los objetos cercanos pueden alterar fuertemente las condiciones físicas para la formación de estrellas aisladas. Las interacciones mutuas en estos proto-cúmulos densos pueden ser inevitables, y la fusión puede ser un proceso importante en algunos entornos de formación estelar muy densas.

[Bonnell et al. \(1997\)](#) propuso que las colisiones inducidas por la acreción en el núcleo de un cúmulo estelar denso y joven pueden formar estrellas masivas. Esto evita el problema de la acreción directamente en las estrellas con masas  $>10 M_{\odot}$  donde la presión de la radiación puede detener el colapso. La acreción de gas de los distintos

miembros del núcleo de un cúmulo estelar obliga al núcleo a contraerse. Si la escala de tiempo de acreción es comparable con el tiempo inicial de cruce, el núcleo puede contraerse lo suficiente para que las colisiones de núcleos se vuelven significativas. Las colisiones involucran estrellas de masa intermedia que se forman a través de la acreción de protoestrellas menos masivas. El radio de fusión estelar no afecta a este proceso, dado que el núcleo del cúmulo se reduce debido a la acreción y las colisiones se vuelven dominantes. Estas colisiones son probablemente detenidas por la expulsión del gas contenido en el núcleo una vez una estrella lo suficientemente masiva se forma ( $>25 M_{\odot}$ ). Este mecanismo para la formación de estrellas masivas implica que se tienen que formar en el centro de densos cúmulos estelares ricos y jóvenes. Podrían aparecer significativamente más jóvenes que la media de edad de las estrellas poco masivas. También existe la posibilidad de que las colisiones agoten el número de estrellas de masa intermedia.

En ambos casos se necesitan predicciones de las consecuencias físicas de ambas hipótesis, acreción y fusión, para establecer un conjunto de criterios de observación que puedan discriminar entre los dos modelos. Mientras que el comportamiento de las estrellas que se forman por acreción está razonablemente bien entendido, las consecuencias de la fusión no se han investigado plenamente. Ambas teorías tienen bases observacionales (Zinnecker & Yorke, 2007), pero se necesitan más observaciones específicas para descartar alguna de ellas.

## 1.2. Características básicas de los YSOs

### 1.2.1. Evolución y clasificación

La formación de estrellas comienza con el inicio del colapso gravitacional de los núcleos de la nube molecular con una densidad de  $10^{-17}$ - $10^{-16}$  g cm<sup>-3</sup>. El gas y polvo siguen contrayéndose en el núcleo central hasta la densidad crítica de  $10^{-13}$  g cm<sup>-3</sup>. A esta densidad, el núcleo se vuelve ópticamente opaco. La presión térmica aumenta adiabáticamente y se equilibra con la fuerza de la gravedad. Debido a la gran extinción del ambiente en el que se forman las estrellas Lada & Wilking (1984), Lada et al. (1991b) y Adams et al. (1987), establecieron un esquema de clasificación utilizando el exceso desde el infrarrojo cercano (NIR) al infrarrojo medio (MIR). De acuerdo a este

esquema, los YSO evolucionan a través de una serie de etapas denominadas de Clase 0 a Clase III como consecuencia de los procesos de colapso y acreción. Básicamente, la distribución espectral de energía (en inglés, Spectral Energy Distribution, SED) de estos objetos se desarrolla a partir de la radiación de cuerpo negro de su fotosfera más un exceso fuerte en el NIR. Este exceso de emisión proviene del disco circunestelar y su envoltura que poseen una menor temperatura ( $T = 100-1000$  K) que la fotosfera ( $T \sim 3000$  K) pero mucho más extensa. Para las etapas I-III, que son observables en el rango de longitudes de onda infrarrojo, la pendiente de la distribución de energía es el criterio de clasificación. Se puede definir como índice espectral  $\alpha$  entre las  $2,2 \mu\text{m}$  (la banda K) y  $10 \mu\text{m}$  (la banda M):

$$\alpha = \left. \frac{d \log v F_v}{d \log v} \right|_{2,2-10} \quad (1.1)$$

Cuando el flujo de la banda M no está disponible, los flujos J ( $1,2 \mu\text{m}$ ), H ( $1,6 \mu\text{m}$ ), y la banda K ( $2,2 \mu\text{m}$ ) se utilizan alternativamente para discriminar entre las clases utilizando diagramas color-color. Esta interpretación tiene un problema implícito y es que, la orientación del disco afecta a lo que se observa pudiéndose interpretar como un exceso infrarrojo. Koepferl et al. (2015) demostró que una estrella normal muy absorbida por una nube interestelar puede mostrar una SED típica de una estrella con disco. Con el índice espectral  $\alpha$ , Lada (1987) clasificó fuentes muy absorbidas (Clase I;  $\alpha > 0$ ), fuentes con disco (Clase II;  $-1.5 < \alpha < 0$ ) y fuentes con disco ópticamente transparente o sin disco (Clase III;  $\alpha < -1.5$ ), cuyas características son las siguientes:

- Clase 0: Es la fase más temprada de una estrella en formación. Reportados por André et al. (1993) y Barsony (1994) con posterioridad a la clasificación establecida por Lada (1987), son fuente de infrarrojo-milimétricas con envolturas masivas y frías (30K) que colapsan hacia las regiones centrales. Desarrollan discos, potentes emisiones y chorros moleculares y objetos de tipo Herbig-Haro. En qué momento la protoestrella empieza a emitir en rayos X aún no está clara. Con absorciones que puede llegar a  $A_V \simeq 1000$  mag para estas fuentes, y a pesar de las intensas búsquedas (Giardino et al., 2007) no se ha detectado ninguna emisión en rayos X. No obstante, este hecho no significa que los rayos X no estén presentes. ya que las envolturas alrededor de estos objetos son muy opacas y no permiten escapar los rayos X blandos. Esta fase evolutiva dura tan solo unos  $\sim 10^4-10^5$  años.

- Clase I: En esta etapa la luminosidad está dominada principalmente por la acreción, aunque ya se ha acretado una fracción considerable por la materia final. Comúnmente son acompañados de chorros y emisiones moleculares, cuya función consiste en conservar momento angular. Con la disminución de la extinción, la Clase I se hace visible en el infrarrojo cercano. No fue hasta la década de los 1990 cuando se encontró la primera evidencia de clase I emisora de rayos X, fue encontrada por *ROSAT* en la nube de  $\rho$  Ophiuchi y confirmada posteriormente con observaciones de *ASCA* (Casanova et al., 1995; Kamata et al., 1997). Sorprendentemente, estas fuentes se observaron en la banda 4 - 10 keV, mientras que la Clase II de ese campo se encontraron solo en la banda de 0.5 a 2 keV. Se han reportado en protoestrellas de la clase I fulguraciones intensas pudiendo llegar a picos de  $L_X \sim 10^{33}$ - $10^{35}$  erg  $s^{-1}$  (Grosso et al., 1997; Preibisch, 1998). Después de que la mayor parte de la materia circumestelar se acrete en la estrella o sea arrojado por chorros y emisiones moleculares, el YSOs se contrae cuasiestáticamente con un aumento de la temperatura y la densidad, llegando a la siguiente fase.
- Clase II: La contracción continúa con una temperatura superficial constante, lo que hace que se desplace hacia abajo a lo largo de la traza Hayashi en el diagrama de Hertzsprung-Russell (Hayashi, 1966). A partir de esta etapa, no hay más material envolvente, solo un disco de acreción ópticamente opaco, por lo que, la estrella se vuelve visible en el óptico. El tiempo de vida medio en esta fase es de  $\sim 3$  Ma, pero se puede extender hasta los 10 Ma. Es en esta fase donde se cree que tenga lugar la formación de planetas gigantes. A medida que evoluciona hacia la siguiente fase el disco circumestelar va desapareciendo.
- Clase III: La última fase de la formación estelar se caracteriza por un disco ópticamente transparente o sin disco de acreción. Las edades típicas de esta fase son del orden de  $10^6$  -  $10^7$  años. Finalmente, cuando la estrella alcanza la secuencia principal comienza la combustión de hidrógeno en su núcleo.

Anteriormente a esta clasificación, se descubrieron las estrellas T Tauri (de ahora en adelante, TTS), objetos asociados a nubes oscuras donde ocurría la formación estelar y eminentemente jóvenes demostrada por la presencia de la línea de absorción Li I  $\lambda$  6707 Å en su espectro (Bertout, 1989; Herbig, 1977). Las estrellas T Tauri mostraban las

|                     | YSOs    |         |          |                          | Secuencia Principal  |
|---------------------|---------|---------|----------|--------------------------|----------------------|
|                     | Clase 0 | Clase I | Clase II | Clase III                |                      |
| Edad (años)         | $10^4$  | $10^5$  | $10^6$   | $10^7$                   | $>10^7$              |
| Disco de acreción   | opaco   | opaco   | opaco    | transparente o sin disco | disco planetario (?) |
| Emisión X           | ?       | fuerte  | fuerte   | fuerte                   | débil                |
| Chorros y emisiones | sí      | sí      | sí       | no                       | no                   |

Tabla 1.1: Características de los YSOs

líneas de emisión de Balmer y las líneas Ca H y K y su espectro de emisión fotosférico era similar al de estrellas de tipo más tardía que F, y se identificaban a partir de la anchura equivalente (EW) de la emisión  $H\alpha$  en la banda óptica. Las TTS se dividen en dos clases; las TTS clásicas (cTTS, del inglés classical T Tauri star) están en la primera fase de TTS con un disco de acreción que es ópticamente opaco, y poseen una emisión lo suficientemente intensa de  $H\alpha$  como para indicar acreción,  $EW > 10 \text{ \AA}$ . La segunda fase, las estrellas T Tauri con líneas de emisiones menos intensas (wTTS, en inglés), muestran una anchura equivalente de  $H\alpha$  menor que  $10 \text{ \AA}$  y su disco es ópticamente transparente o sin disco. Los términos cTTS y wTTS son equivalentes a Clase II y Clase III respectivamente (Kenyon & Hartmann, 1995), ya que los primeros muestran una SED que se clasificaría como tal. Es por esto que se suelen utilizar como sinónimos a pesar de haber sido clasificados mediante distintos métodos. La Fig. 1.2 muestra la evolución de los YSO descritos anteriormente mientras que la Tabla 1.1 muestra las características básica de los mismos.

### 1.2.2. Actividad magnética

El método tradicional para medir la intensidad de los campos magnéticos en las estrellas de tipo tardío es la detección del efecto Zeeman en líneas de absorción. La aplicación de este método en YSO se complica debido a su gran absorción y a que las cTTS sufren velado en las líneas espectrales debido a la acreción. Se ha logrado con éxito en unos cuantos casos, indicando campos de 1 a 3 kG. La imagen fotométrica y Doppler muestra una distribución desigual de las manchas estelares, lo que sugiere que los campos superficiales son complejos y multipolares, como en el Sol.

Las mediciones espectrales muestran que la emisión de rayos X de los YSO, como

en estrellas de tipo solar, se corresponde con radiación térmica Bremsstrahlung con líneas de emisión de metales ionizados asociada a un plasma multi-temperatura con  $1 < TX < 10$  MK (Montmerle, 1991). Los parámetros espectrales del plasma emisor, temperatura, densidad de columna y abundancia de metales, son similares a los de otras estrellas de tipo tardío magnéticamente activas. Prácticamente todos los YSO examinados, en distintas épocas, muestran eventos fulgurativos luminosos, con una curva de luz que crece rápidamente y con un decaimiento exponencial que puede durar horas.

Se pueden distinguir tres evidencias claras de procesos de alta energía generados magnéticamente en YSO: la emisión de rayos X con alto nivel de emisión continua y poderosas fulguraciones con  $T \simeq 10^6$  a  $10^8$  K; la emisión de girosincrotón de electrones con energías de MeV que giran en espiral a lo largo de las líneas de campo magnético; y diversos estudios ópticos que demuestran que las superficies fotosféricas tienen campos magnéticos elevados, regiones activas y fulguraciones. Estas evidencias sugieren que los campos magnéticos de la superficie estelar son responsables de las fulguraciones observadas. Este razonamiento condujo al modelo de YSO con una actividad magnética tipo solar intensificada (véase, Feigelson et al., 1991; Montmerle et al., 1983). La actividad magnética de las estrellas cTTS es similar en la mayoría de los aspectos, aunque sus características estén enmascaradas por la acreción y la eyección de chorros.

La actividad magnética de tipo solar no es sorprendente para estrellas frías con una profunda zona conectiva y una rotación relativamente rápida. Para un Sol tranquilo, puede explicar la estructura magnética a gran escala. La teoría más popular, la dinamo  $\alpha$ - $\omega$ , combina la convección y la rotación diferencial para amplificar los campos, los cuales entran en erupción a través de la superficie y producen los trazadores magnéticos descritos anteriormente (Gilman, 1983). Este modelo puede explicar con éxito varios fenómenos solares, como el “diagrama de mariposa“. Aunque el mecanismo de la dinamo probablemente también opera en estrellas tardías, no existen cálculos o modelos detallados para YSO. La evidencia actual de la actividad magnética de tipo solar intensificada en los YSO se basa así más en analogías empíricas que en las intuiciones astrofísicas.

La interpretación de la actividad de tipo solar de las emisiones de alta energía en la etapa de YSO no está del todo claro, dado que las estructuras para el campo deben ser mucho más grandes que los que se ven en el Sol. Los modelos recientes para la Clase

I y II requieren que los campos magnéticos estelares tengan una fuerte componente dipolar que se extienda varios radios estelares, donde se acopla al disco en el radio de corrotación del disco estelar, que es típicamente de 3 a 10  $R_*$  desde la superficie estelar (Favata et al., 2005; Ferreira & Pelletier, 1995; Getman et al., 2008b; López-Santiago et al., 2016; Paatz & Camenzind, 1996; Shu et al., 1994; Spruit et al., 1997). Estos modelos explican la generación de vientos, las emisiones moleculares colimadas y la distribución de velocidades de rotación superficial de los YSO (Armitage & Clarke, 1996; Bouvier et al., 1997; Cameron et al., 1993; Li & Shu, 1996). La situación real, es sin duda, mucho más compleja que los modelos de YSO basados en la geometría magnética dipolar (Safier, 1998).

Desde una perspectiva amplia, se pueden considerar cuatro posibilidades magnéticas en YSO para que se produzca la actividad magnética mejorada:

1. Campos multipolares de tipo solar con ambos pies anclados en la fotosfera estelar. Como en el Sol, la reconexión surgiría de la convección y rotación diferencial (Gilman, 1983). Esta opción está aceptada que ocurre en las wTTS y cTTS.
2. Líneas de campo que conectan la estrella con el disco circumestelar en su radio de corrotación. Esta configuración es apoyada por el modelo de rotación centrífuga (Aarnio et al., 2010; Edwards et al., 1993; Favata et al., 2005; Getman et al., 2008b; Koenigl, 1991; López-Santiago et al., 2016), acreción magnética canalizada y emisiones moleculares colimadas. También existe la posibilidad de reconexión dentro del radio de corrotación si la estrella gira rápidamente con respecto al disco interior. Este caso puede darse en protoestrellas jóvenes antes del frenado magnético. Las fulguraciones de rayos X en la Clase I YLW 15 puede sugerir esta opción (Tsuboi et al., 1999)
3. Líneas de campo más allá del radio de corrotación (Hayashi et al., 1996).
4. Bucles magnéticos con ambos pies en el disco. La combinación de rotación diferencial y movimientos convectivos dentro del disco circumestelar puede producir una dinamo magnética auto-amplificante en el disco. Modelos magnéticos de este tipo han sido discutidos tanto en el contexto de los discos estelares (Field & Rogers, 1993; Romanova et al., 1998) como en la nebulosas protoplanetarias (Levy & Araki, 1989).

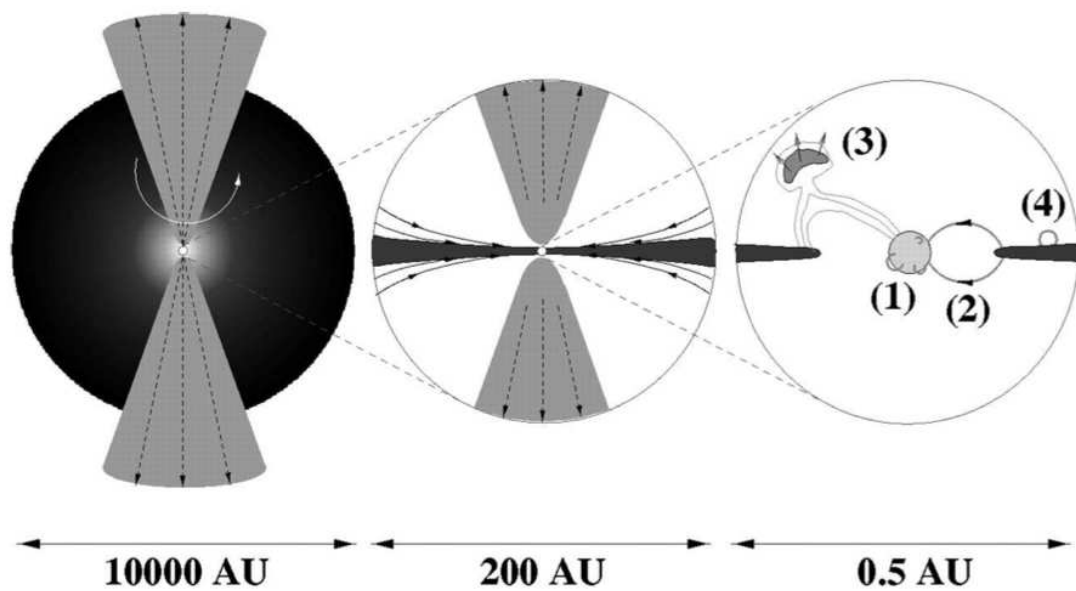


Figura 1.3: Las cuatro posibilidades magnéticas que pueden ser responsables de la actividad magnética. De izquierda a derecha, la envoltura del objeto estelar joven, el disco interior y una emisión molecular central y la interacción estrella-disco (Feigelson & Montmerle, 1999)

La Fig 1.3 muestra las cuatro posibilidades magnéticas explicadas anteriormente. La primera posibilidad ha sido ampliamente estudiada en el contexto solar, y es la explicación básica de la actividad magnética en las estrellas de tipo solar y estrellas evolucionadas, tales como, estrellas enanas rojas con líneas de emisión dMe o binarias de tipo RS CVn. Para los YSO, las posibilidades basadas en disco (2-4) han sido objeto de considerables estudios. Los campos estrella-disco dependen de forma crítica de la resistividad magnética del disco: un disco completamente ionizado tenderá a excluir los campos externos, mientras que un disco neutro estará totalmente enrollado pero desacoplado de tales campos. Las emisiones moleculares pueden ser aceleradas a lo largo de las líneas de campo poloidales mediante interacciones complejas en el límite del campo disco-estrella y/o por los campos poloidales del disco (Blandford & Payne, 1982; Kudoh & Shibata, 1997; Shang et al., 1998; Uchida & Shibata, 1984). Cálculos magneto-hidrodinámicos de la interacción disco-estrella muestran un plasma caliente a  $\leq 10^8$  K, consistente con las observaciones de fulguraciones en rayos X (Hayashi et al., 1996). En este contexto, si las líneas de campo se hilvanan con el disco a diferentes radios del disco, la rotación diferencial causará torsión y reconexión, lo que podría conducir a una corona perpetuamente emisora de rayos X (Romanova et al., 1998; Tout & Pringle, 1996), por lo que parece plausible que esta situación pueda ocurrir comunmente.

Se concluye así que los procesos de reconexión magnética ocurren muy frecuentemente en YSOs. Las condiciones fundamentales para la reconexión, el continuo desplazamientos de las huellas magnéticas, es aún más probable que ocurra en YSO que en situaciones estelares, dado las muchas configuraciones magnéticas posibles que ofrecen las interacciones estrella-estrella, estrella-disco y disco-disco.

La emisión de rayos X duros (HXR, en inglés Hard X-Ray) proporciona diagnósticos cruciales para el proceso de aceleración de partículas en la corona estelar y, por lo tanto, los de los mecanismos de liberación de energía primaria. Existen evidencias de poblaciones de electrones no térmicos en coronas estelares, incluyendo YSO. Se ha detectado emisión girosincrotrón de radio en muchas estrellas activas durante fulguraciones y en periodos de reposo; la emisión radio en quiescencia se correlaciona con la radiación de rayos X blanda (SXR, en inglés Soft X-Ray), lo que sugiere una relación causal entre la aceleración de las partículas y el calentamiento de la misma en las fulguraciones solares. Esto lleva a pensar que existe una emisión continua de HXR.

En efecto, observaciones solares revelan eventos fulgurativos a pequeña escala que ocurren en la corona en todo momento (Krucker & Benz, 1998; Lin et al., 1984). Su distribución sigue una ley de potencia del tipo:

$$\frac{dN}{dE} = kE^{-\alpha} \quad (1.2)$$

donde  $dN$  es el número de fulguraciones ocurridas por unidad de tiempo con una energía total (térmica o radiada) en el intervalo  $[E, E+dE]$ . Si el índice de la ley de potencias es  $\geq 2$ , entonces la integración de energía

$$P_{tot} = \int_{E_{min}}^{E_{max}} \frac{dN}{dE} E dE \approx \frac{k}{\alpha - 2} E_{min}^{-(\alpha-2)} \quad (1.3)$$

(suponiendo que  $E_{min} \ll E_{max}$  y  $\alpha > 2$  para la última aproximación) diverge para  $E_{min} \rightarrow 0$ , es decir, extrapolando la ley de potencias para energías de fulguraciones lo suficientemente pequeñas, cualquier potencia de energía liberada puede ser obtenida (Hudson, 1991). Los resultados de estudios solares han dado repetidamente valores para índice del orden 1.6-1.8 para fulguraciones ordinarias (Crosby et al., 1993), aunque algunas investigaciones sugieren  $\alpha = 2.0-2.6$  para pequeñas fulguraciones en la corona solar tranquila (Krucker & Benz, 1998; Parnell & Jupp, 2000). Los estudios estelares en ultravioleta y SXR han convergido predominantemente a  $\alpha$  entre 2 y 3, para una larga muestra de estrellas pre-secuencia principal (véase, Güdel et al., 2003; Stelzer et al., 2007).

### 1.3. Observaciones en rayos X de objetos estelares jóvenes en regiones de formación

Los objetos estelares jóvenes en todas sus etapas evolutivas, desde protoestrella de Clase I a estrella ZAMS, muestran niveles elevados de actividad de rayos X (pueden verse las revisiones de Favata & Micela, 2003; Feigelson & Montmerle, 1999). Las observaciones de rayos X de las regiones de formación estelar permiten estudiar los procesos de alta energía en los YSOs, que son de gran importancia para la comprensión del proceso de formación estelar.

Los primeros descubrimientos de la emisión de rayos X en estrellas T Tauri se

realizaron con el observatorio de rayos X *Einstein* (Feigelson & Decampli, 1981), encontrando una actividad en rayos X inesperadamente intensa, que superaba los niveles solares en varios ordenes de magnitud. El observatorio *ROSAT* aumentó considerablemente el número de regiones de formación estelar observadas, y por lo tanto el número de espectros cuyas fuentes eran emisoras de rayos X (Casanova et al., 1995; Feigelson et al., 1993; Neuhaeuser et al., 1995; Preibisch et al., 1996). Utilizando el *ROSAT All Sky Survey* Neuhaeuser & Preibisch (1997) demostró que las poblaciones estelares de las regiones de formación estelar son considerablemente mayores de lo que se sospechaba hasta entonces utilizando indicadores clásicos de juventud, como la emisión  $H\alpha$ . También descubrieron que aparentemente todas las estrellas enanas frías contienen coronas que emiten en rayos X con un flujo superficial alrededor de  $10^4 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (Schmitt et al., 1997). *ASCA* detectó la emisión de rayos X de numerosos YSOs con gran extinción, sin embargo, debido a su pobre resolución espacial la identificación apropiada de las fuentes de rayos X era a menudo difícil.

Las propiedades X que se encontraron para las TTS son:

- Espectro térmico con luminosidad en torno a  $10^{30}$ - $10^{31} \text{ ergs s}^{-1}$  y una temperatura de plasma de  $k_B T = 0.5$ - $5 \text{ keV}$ .
- Relación  $L_X/L_{bol}=10^{-3}$ - $10^{-5}$
- Variabilidad en rayos X generalizada. Las luminosidades de rayos X pico pueden llegar a  $L_{X,max} \sim 10^{32} \text{ erg s}^{-1}$  o más.
- No existen diferencias manifiestas en cuanto a propiedades en rayos X entre cTTS y wTTS, si bien es verdad que a medida que se pierde el disco mientras se contraen hacia la secuencia principal, se vuelven más luminosas en rayos X, presumiblemente debido al aumento de la velocidad de rotación y al aumento de la dinamo resultante (Getman et al., 2008a,b).

Todos estos resultados fueron obtenidos con observaciones previas de *Einstein*, *ROSAT* y *ASCA* (Feigelson & Montmerle, 1999) y confirmados posteriormente con *Chandra* y *XMM-Newton* con gran cantidad de ejemplos. Con la llegada de la nueva generación de telescopios, los estudios de rayos X llegaron a más profundidad, debido al aumento del área efectiva de estos observatorios con respecto a sus predecesores y su mayor sensibilidad. Debido a su amplia banda de energía, que se extiende desde  $\sim 0.2$

| Instrumento | Banda [keV] | FOV [seg. arco <sup>2</sup> ] | Resolución [FWHM] | Resolución Espectral (eV) |                 |                | Área Efectiva (cm <sup>2</sup> ) |         |         |
|-------------|-------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|---------|---------|
|             |             |                               |                   | 0.5 keV                   | 1 keV           | 6 keV          | 0.5 keV                          | 1 keV   | 6 keV   |
| HRC-I       | 0.08-10     | 31x31                         | <0.4              | —                         | 80              | —              | 65                               | 225     | 40      |
| HRC-S       | 0.06-6      | 7x97                          | <0.4              | 1.3                       | 5               | 180            | 10+11                            | 20+10   | 5       |
| ACIS-I      | 0.2-10      | 16x16                         | —                 | 50(FI)/                   | 55(FI)/         | 130(FI)/       | 110/FI,                          | 410/FI, | 200/FI, |
| ACIS-S      | 0.5-10      | —                             | —                 | 125(BI)                   | 125(BI)         | 190(BI)        | 400/B1                           | 800/B1  | 160BI   |
| +HEG        | 0.9-10      | —                             | 1-2               | —                         | 1 <i>FWHM</i>   | 45 <i>FWHM</i> | —                                | 11+1    | 23+0    |
| +MEG        | 0.4-5       | 8x48                          | —                 | 0.5 <i>FWHM</i>           | 2 <i>FWHM</i>   | 75 <i>FWHM</i> | 6+11                             | 50+3    | 20+0    |
| +LETG       | 0.2-9       | —                             | —                 | 1.5                       | 2.5             | 300            | 10+?                             | 50+?    | 25+?    |
| MOS         | 0.2-12      | 30                            | 6                 | ~50                       | 57              | 130            | 420                              | 850     | 768     |
| PN          | 0.1-12      | 30                            | 6                 | ~60                       | 67              | 125            | 1000                             | 1227    | 900     |
| RGS         | 0.33-2.5    | ~5                            | —                 | 1.5 <i>FWHM</i>           | 4.5 <i>FWHM</i> | —              | 120+60                           | 135+75  | —       |

Tabla 1.2: Características básicas de los instrumentos presentes en los telescopios espaciales de rayos X de última generación, La segunda fila corresponde a los instrumentos de *Chandra*. La tercera a los instrumentros de *XMM-Newton*.

keV hasta  $\sim 12$  keV, son muy adecuados para estudiar la emisión de rayos X blanda de YSOs muy oscurecidos. Además gracias las mejores en PSF (point spread function) de la nueva generación, proporcionan una resolución espacial de entre uno y varios segundo de arco, acabando con los problemas de identificación habituales en las regiones de formación cercanas. En la Tabla 1.2 se muestran las principales características de los instrumentos a bordo de las misiones espaciales *Chandra* y *XMM-Newton*.

Los principales avances se observan en los estudio de protoestrellas Clase I. En la era de *ASCA* y *ROSAT*, solo un número limitado de fuentes Clase I pudieron ser identificadas (Grosso, 2001; Grosso et al., 1997; Kamata et al., 1997; Koyama et al., 1996; Neuhaeuser & Preibisch, 1997; Ozawa et al., 1999), aunque con el bajo número de fotones recolectados fue difícil describir las propiedades en rayos X de estos objetos. Un caso fundamental fue presentado por Imanishi et al. (2001) que utilizando una observación profunda de *Chandra* sobre  $\rho$  Ophiuchi. En ella detectaron rayos X provenientes de sus candidatas a Clase I. Además investigaron sus espectros y curvas de luz en rayos X y encontraron que las fuentes de Clase I tienen unas características similares en rayos X a las TTS, aunque con una mayor temperatura de plasma (aunque esto puede ser debido a la degeneración en el ajuste de los parámetros), una mayor densidad de columna y luminosidad en X, así como más eventos fulgurativos.

Con los primeros datos del *Chandra Orion Ultra-deep Project* (COUP), Preibisch et al. (2005) describió correlaciones entre la luminosidad en rayos X y los parámetros estelares: luminosidad bolométrica, masa estelar y temperatura efectiva. Encontraron que la correlación entre  $L_X$  y Masa para estrellas TTS muestra una pendiente similar a la correlación correspondiente a las estrellas de la secuencia principal, lo que probablemente está relacionado con la asociación entre la masa y el nivel de saturación de rayos

X para la secuencia principal. La correlación entre la actividad en rayos X y el periodo de rotación, aunque poco fiable debido a la falta de los datos del período de rotación de las fuentes, muestra que sigue la relación rotación-actividad que ocurre en las estrellas de la secuencia principal, es decir, el aumento de la actividad lleva a la disminución de los periodos de rotación seguido por la saturación en la relación  $L_X/L_{bol} \sim 10^{-3}$  para los rotadores más rápidos. Para el resto de correlaciones entre la actividad en rayos X y otros parámetros estelares se encuentra una gran dispersión debido a la variabilidad de la emisión en rayos X, las incertidumbres en las variables y los efectos de las binarias no resueltas, siendo esta dispersión achacada a las diferencias intrínsecas en las propias TTS. Sí se encontró un contraste entre las propiedades de las fuentes acretoras y no acretoras, mostrando las estrellas acretoras unos niveles de actividad en rayos X aproximadamente 3 veces inferiores. Pudiendo este efecto ser causa de los cambios estructurales en la corona o en la estructura estelar interna inducido por el proceso de acreción (Getman et al., 2008a).

La acreción como mecanismo de emisión en rayos X ha sido un tema de estudio y debate desde su descubrimiento. Skinner & Walter (1998) presentaron un resultado interesante utilizando observaciones de *ASCA* para la cTTS más brillante en el complejo Taurus-Auriga (SU Aur). Describieron que existen dos emisiones de rayos X diferentes debidas a dos picos en la medida de emisión diferencial (DEM) presente en la fuente. Esta distribución bimodal de la temperatura de plasma es muy similar a las observadas en estrellas de la secuencia principal de tipo tardío con emisión en rayos X originada en la corona. En estudios con *ROSAT* se encontró que algunas estrellas activas parecían poseer dos picos de temperatura en sus DEM. Más tarde Sacco et al. (2008) mediante un modelo hidrodinámico describió el impacto de un tubo de acreción sobre la cromosfera de una cTTS. El resultado del estudio reveló un pico a baja temperatura. Seguidamente Argiroffi et al. (2009) usando *XMM-Newton* encontró dos picos de temperatura en TW Hya y MP Mus. Una componente fría en torno a 3-4 MK confirmando el resultado de Sacco et al. (2008) y otra más caliente en torno a 10-20 MK atribuida a la corona de plasma

Con la mejora de las mediciones espectroscópicas de rayos X se descubrió que existen mecanismos que pueden alterar o suprimir la emisión en rayos X de una fuente como son:

- Rayos X procedentes de choques de acreción: la espectroscopía de rayos X de alta

resolución mostró evidencias de emisión de rayos X producida por choques de acreción en TTS (Günther et al., 2007; Telleschi et al., 2007). El material acretado amortigua e irradia lejos su energía cinética afectando a la fotosfera estelar, produciendo un exceso de rayos ultravioletas y rayos X blandos (Calvet & Gullbring, 1998; Lamzin et al., 1996). La temperatura de los choques de acreción son como máximo de unos pocos MK que darían lugar a la emisión de rayos X blandos (Sacco et al., 2008). Esto sugiere que la emisión de rayos X coronal domina el espectro de rayos X de las TTS. Además, si la emisión de rayos X proviene exclusivamente de los choques de acreción se podría esperar ver variaciones de brillo simultáneas en longitudes de onda óptica, UV y en rayos X, sin embargo, esto no se encuentra (Stassun et al., 2006), pudiendo ser debido a la orientación del disco (Argiroffi et al., 2009). La muestra de COUP analizada por Robberto et al. (2004) y las simulaciones de Orlando et al. (2010) sugiere que la emisión en rayos X de los choques de acreción no domina en el espectro de rayos X de las TTS, aunque sí pueden contribuir con alguna fracción a la emisión de rayos X blanda.

- Rayos X procedentes de la interacción estrella-disco: los grandes bucles magnéticos que conectan la estrella con el disco también pueden contribuir a la emisión de rayos X de las TTS mediante eventos de reconexión magnética. La rotación diferencial entre la estrella y el disco tuerce las líneas del de campo que se abren y se vuelven a conectar. El plasma atrapado en las líneas de campo puede ser calentado a una temperatura lo suficientemente alta como para emitir rayos X debido a la energía liberada en los eventos de reconexión magnética. Favata et al. (2005) encontraron en las observaciones de COUP, intensas fulguraciones que aparentemente ocurren dentro de grandes estructuras magnéticas extendidas que conectan la estrella con el disco circundante. Sin embargo estas grandes erupciones se encuentran rara vez, siendo la mayoría de los casos ocurridas en torno al radio solar. Esto sugiere que la contribución a la emisión de rayos X de las interacciones estrella-disco solo se produce durante las fulguraciones más intensas, por lo que, no contribuyen a la mayor parte de la emisión de rayos X. López-Santiago et al. (2016) mostraron que algunos de los eventos de reconexión en las estrellas de COUP estudiadas por Favata et al. (2005) sólo pudieron ocurrir en bucles magnéticos que conectaban la estrella con el disco de acreción.

- Supresión de la emisión de rayos X por acreción: Se han presentado varias ideas para explicar por qué las TTS acretoras son menos activas que las no-acretoras. Se ha sugerido que la débil observación de la emisión de rayos X de cTTS podrá ser causada por la mayor extinción, debido a la absorción del disco (Stassun et al., 2004b). Sin embargo, los resultados de COUP no apoyaron esta sugerencia. Otra sugerencia es que la acreción puede alterar la estructura estelar, y de esta forma influir en el proceso de generación de campos magnéticos (Preibisch et al., 2005). Siess et al. (1999) sugirió modelos estelares de evolución donde la acreción reduce la eficiencia de la convección, una idea apoyada por Stassun et al. (2004a). Esto conduce a una acción de la dinamo más débil, y por lo tanto a una reducción de la emisión de rayos X. La tercera idea es que las TTS acretoras son emisores de rayos X más débiles debido al frenado magnético a través de la interacción con el disco. Esto conducía a una acción de la dinamo más débil y, por lo tanto, a una emisión menor que las wTTS no-frenadas. La sugerencia más plausible es que la supresión de la emisión de rayos X en las estrellas acretoras está relacionada con la geometría de los tubos de acreción. Estos tubos giran a través de las líneas de visión de un observador y pueden atenuar la emisión de rayos X observadas en las estrellas acreedoras (Flaccomio et al., 2003; Güdel & Telleschi, 2007; Stassun et al., 2004b).

## 1.4. El Complejo Molecular de Orión

El Complejo Molecular de la nube de Orión está formado por un grupo de nebulosas brillantes, nubes oscuras y estrellas jóvenes en la constelación de Orión. Alberga una asociación de estrellas masivas ampliamente estudiada: la asociación OB1 de Orión. Estas asociaciones estelares se corresponden con un grupo de estrellas luminosas y calientes de tipos espectrales O y B, asociadas a miles de estrellas poco masivas y a un significativo número de protoestrellas. Situada cerca de nosotros y formando su propio interbrazo, vemos el complejo proyectado fuera del disco galáctico lo que hace que existan poca confusión con otras estructuras galácticas, permitiendo el examen de sus estrellas con detalle.

Las primeras estrellas nacieron en Orión aproximadamente hace 12 millones de años, cuando una onda de choque en expansión, posiblemente la misma que creó el cinturón

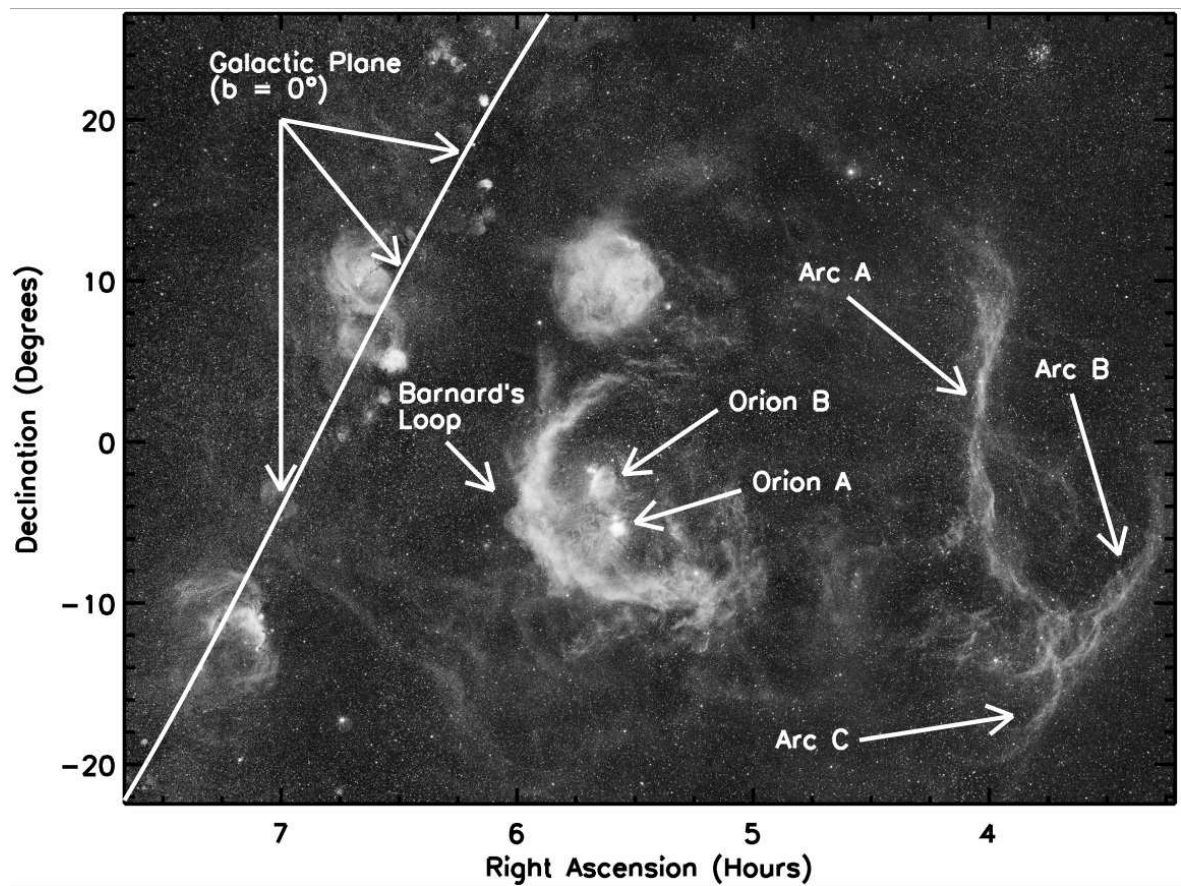


Figura 1.4: Burbuja de Orión-Eridanus vista en  $H\alpha$ . Los arcos A, B y C son parte del filamento de Eridanus. Imagen de Di Cicco & Walker.

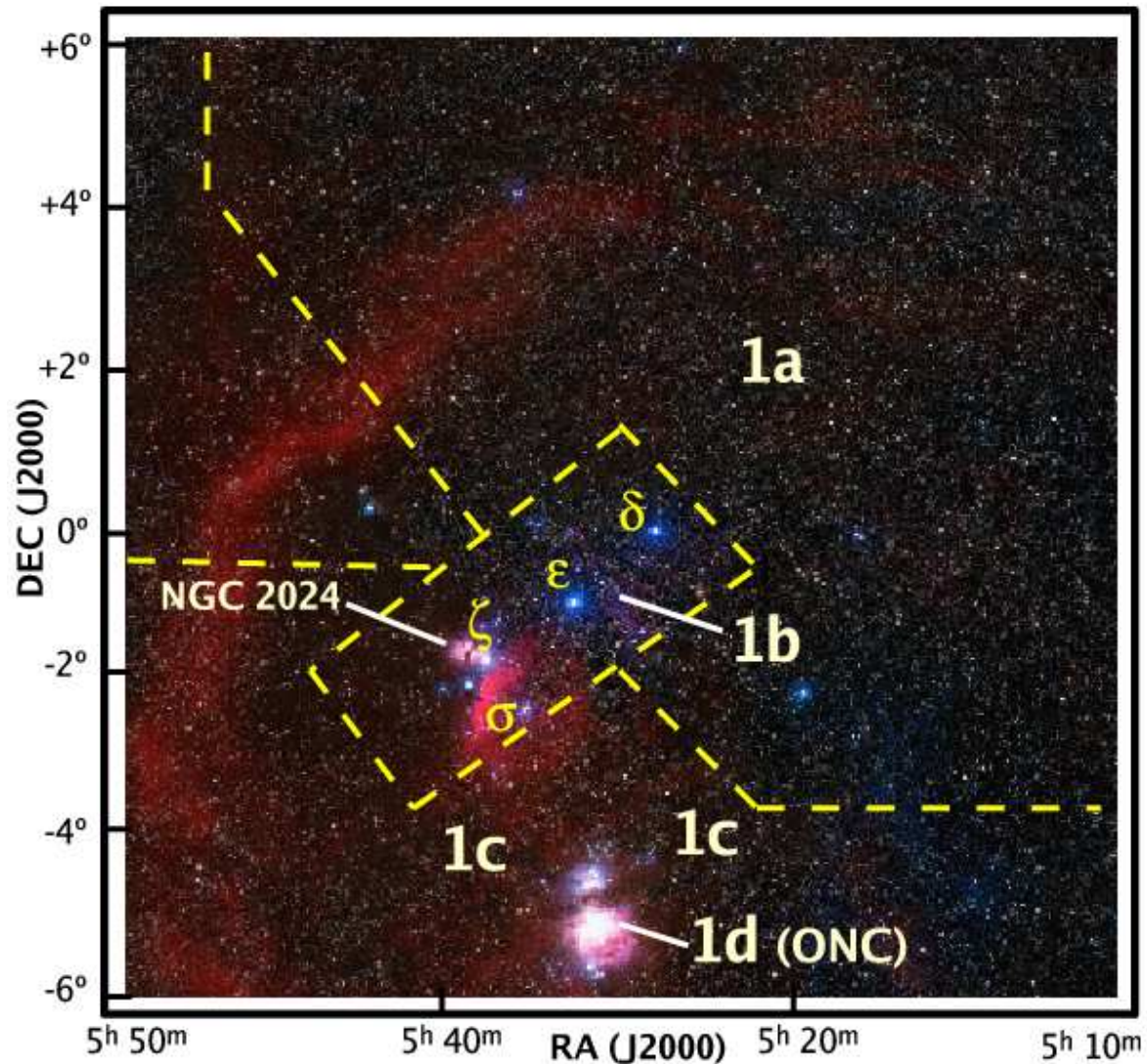


Figura 1.5: Imagen óptica que abarca la asociación Orión OB1. Las tres estrellas del cinturón de Orión están indicadas, así como la estrella  $\sigma$  Ori. Las líneas discontinuas delimitan cada sub-asociación tal como se describe en Warren & Hesser (1977). La región Ori OB1a, es la más antigua y más extensa, y abarca el área aproximadamente al noreste del cinturón de Orión. La sub-asociación Ori OB1b corresponde al área que rodea las estrellas del cinturón. La región Ori OB1c abarca aproximadamente el área de la Espada de Orión, alrededor de la Nebulosa de Orión, mientras que Ori OB1d corresponde esencialmente a ONC. Imagen obtenida de Briceño (2008).

de Gould, llegó a las nubes moleculares masivas generando un brote de formación estelar. En pocos millones de años las estrellas más masivas explotaron como supernovas, creando la enorme burbuja Orión-Eridanus. Otra teoría propone que fue la propia formación estelar la que creó una presión de radiación suficiente para formar la burbuja. La parte destacable de esta burbuja es el bucle de Barnard, una estructura de choque de ionización creada por las asociaciones OB de Orión, que emite en  $H\alpha$  al estar es una región no muy densa. Sin embargo, el borde opuesto se expandió rápidamente hacia Eridanus y Taurus.

La primera etapa de formación estelar generó el subgrupo OB1a, que se encuentra al oeste del cinturón de Orión y tiene una edad de entre 8 a 12 Ma (Blaauw, 1991; Brown et al., 1994). Evidencias actuales sugieren que éste es el grupo parental de la estrella fugada Betelgeuse ( $\alpha$  Orionis; Mackey et al., 2012).

Con la explosión de las primeras supernovas surgió la formación del subgrupo OB1b. Se corresponde a las tres estrellas del cinturón de Orión y la estrella múltiple  $\sigma$  Orionis. Este subgrupo se sitúa en el borde occidental de la nube molecular de Orión, siendo esta región evaporada e ionizada por  $\sigma$  Orionis, creando los pilares pertenecientes a IC 434. Este subgrupo se estima que tiene una edad menor de 1 Ma.

No mucho después de la aparición de las estrellas del cinturón, las estrellas de la espada de Orión formaron el subgrupo OB1c. Este subgrupo cuyo miembro más destacado  $\iota$  Ori, tiene una edad estimada de 2 a 6 Ma aunque al ser una región con reserva de gas molecular, una sola edad no puede aplicarse en sentido estricto, pues la formación estelar está en curso (Bally, 2008).

Por último se formó el subgrupo OB1d asociado al cúmulo del Trapecio, M42, en el interior de OB1c, hace aproximadamente un millón de años. Este cúmulo contiene una docena de grupos pequeños de estrellas relativamente aisladas que se forman en las nubes moleculares de Orión (como NGC 2068 y 2071; Gibb, 2008).

Este entramado evolutivo ha dotado a la nebulosa de Orión de una multitud de escenarios de formación estelar entre las que destacan tres regiones donde se está produciendo la formación estelar. De norte a sur son (ver Fig. 3.9):

- Orion C: También conocido como Orión Este, es la nube L1622, una pequeña región donde está impactando justo ahora el bucle de Barnard y donde se están empezando a formar estrellas.

- Orión B: El objetivo de este trabajo y que será descrita en la Sección 1.4.1.
- ONC: Conocida como el cúmulo del Trapecio o asociación OB1d, el Cúmulo de la Nebulosa de Orión (ONC) es una de las regiones de formación estelar más cercanas a nosotros y ricas en estrellas PMS (Pre-Main Sequence, en inglés, estrellas pre-secuencia principal). Contiene aproximadamente unos 2000 miembros en una esfera de radio 1 pc, siendo el 80% de éstos estrellas jóvenes menores de 1 Ma (Hillenbrand, 1997). ONC ha sido objetivo de un gran número de estudios, entre los cuales destacan: estadística de fulguraciones en soles jóvenes (Wolk et al., 2005), modelos físicos sobre la intensidad de fulguraciones (Favata et al., 2005), modulación rotacional (Flaccomio et al., 2005), variabilidad en rayos X de estrellas calientes (Stelzer et al., 2005), y fulguraciones en estrellas poco masivas (Caramazza et al., 2007).
- Orión A: contiene los filamentos de gas de Lynds 1641 Norte y Sur (L1641N y L1641S). El proyecto de mayor envergadura que ha estudiado Orión A ha sido el *Survey of Orion A with XMM-Newton and Spitzer* (SOXS) a cargo de Pillitteri et al. (2013). SOXS realizó un estudio multi-longitud de onda de la población estelar joven de Orión A, utilizando el telescopio espacial *XMM-Newton* y los datos de *Spitzer* procedentes de Megeath et al. (2012). SOXS está cubierto por siete observaciones de *XMM-Newton* más cuatro observaciones de archivo, con tiempos de exposición típicos de 50-60 ks. El principal resultado de este estudio fue encontrar tres cúmulos ricos en fuentes de Clases III, uno en el norte entorno a NGC 1981, otro en torno a  $\iota$  Orionis, y el último al sur de L1641S, posteriormente identificado como  $\kappa$  Ori (Pillitteri et al., 2016)

### 1.4.1. Orión B

Encuadrada dentro de la mitad norte del bucle de Barnard, la Nebulosa Molecular de Orión B fue designada como una nube oscura de opacidad 4 por Lynds (1962) y nombrada como L1630. Orión B contiene varias regiones de formación estelar bien descritas y estudiadas, que ordenadas de norte a sur son: NGC 2071, NGC 2068, HH24-26, NGC 2024 y NGC 2023, y la Nebulosa de la Cabeza de Caballo. Ópticamente, Orión B es una región de oscurecimiento leve de  $4^\circ$  de longitud y  $2^\circ$  de extensión este-oeste, y está predominantemente orientada norte-sur (Tucker et al., 1973). Estudios

de mapeo de líneas moleculares revelaron grandes concentraciones de gas molecular y una composición en dos núcleos de formación estelar: el norte con NGC 2068/2071 y el sur con NGC 2023/2024 y al igual que la nube, tiene una línea geométrica general norte-sur.

Aunque la mayoría de los estudios asumen una distancia de 400 pc para toda la nube de Orión B, algunos autores han encontrado diferentes distancias para la parte norte y para parte sur de 390 y 415 pc, respectivamente (Anthony-Twarog, 1982; Brown et al., 1994; Warren & Hesser, 1977, 1978), lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos para NGC 2023 (López-García et al., 2013).

Observaciones  $H\alpha$  de alta resolución e infrarrojas de *Spitzer* (Flaherty & Muzerolle, 2008) revelaron, en la parte norte de la nube, objetos estelares con tipos espectrales desde K0 a M5, y objetos con exceso infrarrojo estimando una edad a la población de  $2\pm 1$  Ma. En la zona sur de Orión B se encuentra NGC 2023, el primer objeto de estudio de este trabajo, una nebulosa de reflexión brillante, situada justo al sur de NGC 2024 e iluminada por las estrella B1.5 HD-37903 (Meyer et al., 2008). Lada et al. (1991b) encuentra que NGC 2023 es el cúmulo más pequeño perteneciente a la nube y Reipurth et al. (2004) encontraron una protoestrella (VLA3) que no se había detectado en estudio previos en rayos X. Al norte de NGC 2023 se encuentra la Nebulosa de la Llama, NGC 2024, caracterizada por una extensa región HII. NGC 2024 fue observada con *Chandra* por Skinner et al. (2003) quienes encontraron correlación entre la emisión en rayos X y la luminosidad bolométrica. Al sureste de NGC 2023 se encuentra la Nebulosa de la Cabeza de Caballo, una nube oscura que está siendo fotoevaporada por la cercana estrella O9.5 V+  $\sigma$  Ori. Estudios con *Spitzer*-IRAC (Bowler et al., 2009; Megeath et al., 2005) revelaron dos protoestrellas en la región emergiendo del extremo occidental de la nebulosa y otras dos en la base del pilar.

Lada et al. (1991a) encuentra una cantidad de gas mayor en los núcleos de la parte norte que en los núcleos de la parte sur, en torno a un 30 % (1983  $M_{\odot}$  frente a 1505  $M_{\odot}$ ). En un estudio más reciente, Nutter & Ward-Thompson (2007) encontraron un factor más reducido en cuanto a masa del gas se refiere, 434  $M_{\odot}$  frente 234  $M_{\odot}$ . En cualquier caso, ambos trabajos apuntan a que la región norte posee más gas que la sur.

Debido a los distintos frentes de ionización que están actuando sobre Orión B, esta nebulosa se convierte en un objetivo ideal para el estudio de la formación estelar en distintos escenarios.

## 1.5. Objetivos

Los estudios infrarrojos nos permiten caracterizar las poblaciones estelares en sus distintas etapas de camino a la secuencia principal. Sin embargo, parte de la población estelar joven queda oculta, en especial las estrellas wTTS que ya no registran un exceso infrarrojo debido a que han perdido su disco de acreción. Además otros objetos de naturaleza no estelar pueden ser clasificados por error como objetos estelares jóvenes, ya que la SED de estos objetos puede confundirse con la de objetos extragalácticos como los núcleos de galaxias activas (AGNs). Es necesario usar métodos complementarios para revelar la población de estrellas wTTSs, ya que dentro de las nubes moleculares, donde no es posible observar en el óptico, dada la alta extinción. El análisis de observaciones en rayos X es una herramienta muy poderosa en este sentido, ya que las estrellas jóvenes emiten intensamente en esta banda de energía y la extinción en energías mayores a 1 keV es relativamente baja, lo que permite detectar los objetos estelares jóvenes de la nube al completo.

Aplicar este tipo de estudios en una región de formación estelar extensa aporta información sobre la morfología y distribución de los objetos de que la forman. La Nebulosa Molecular de Orión B, situada a uno 400 pc de distancia posee distintas regiones donde la formación estelar se está produciendo. Se cubre así en un objetivo único para explorar sus características. Además, las regiones colindantes a Orión B, tales como ONC y Orión A ya han sido estudiadas y caracterizadas mediante los proyectos COUP y mediante SOXS, respectivamente. Por esto, y para completar el estudio de la región de Orión al completo, es necesario el estudio de Orión B, más aún teniendo en cuenta que L1622 (Orión Este) está siendo estudiada por otros miembros del grupo de investigación (López-Santiago et al., in prep).

As pues los objetivos principales de este trabajo son:

1. Realizar un estudio de la población estelar de NGC 2023, medir sus propiedades infrarrojas y de rayos X, y derivar sus parámetros estelares.
2. Realizar un estudio global de la población que compone la Nebulosa Molecular de Orión B, que es una región pobremente caracterizada en altas energías debido a su extensión.
3. Revelar la población estelar joven menos masiva de la Nube Molecular de Orión

- B, estudiando si existen diferencias en el mecanismo de formación estelar, tanto a nivel individual dentro de la nebulosa como en relación con los complejos vecinos.
4. Estudiar las propiedades infrarrojas y las propiedades coronales de los miembros de la Nube Molecular de Orión B.
  5. Y estudiar la influencia de los distintos frentes de ionización que actúan en la nebulosa de Orión B y su influencia en la juventud de las fuentes que circundan.

## 1.6. Estructura de la tesis

A continuación se detalla la estructura de la tesis:

- En el Capítulo 2 se detallarán los instrumentos utilizados para la realizar las observaciones usadas en esta tesis, las herramientas necesarias para el proceso de reducción y tratamiento de las mismas y las aplicaciones necesarias para obtener los resultados.
- En el Capítulo 3 se realizará el estudio de la nebulosa de reflexión NGC 2023. Mediante fotometría del infrarrojo medio se caracterizarán las fuentes encontradas en rayos X. Correlacionando con fotometría del infrarrojo cercano y óptica y utilizando la red de modelos de objetos estelares jóvenes de [Robitaille et al. \(2007\)](#) y [Robitaille \(2008\)](#) se obtendrán los parámetros estelares y mediante un análisis de rayos X sus propiedades coronales. Se compararán los resultados obtenidos con los estudios de ONC.
- En el Capítulo 4 se ampliará el estudio a toda la regiones de Orión B. Utilizando observaciones de archivo de *XMM-Newton* y fotometría de *Spitzer* y *WISE*, se caracterizarán los objetos encontrados. Se estudiarán las diferencias entre la parte norte de la nube y la sur y se comparán los resultados obtenidos en Orión A y ONC.
- Por último en el Capítulo 5 se presentarán las conclusiones del estudio realizado en NGC 2023 y en Orión B.



---

# Capítulo 2

## Métodos

En este Capítulo, se revisa brevemente el telescopio y los instrumentos utilizados en las observaciones de esta tesis. Las observaciones se describen individualmente en su correspondiente Capítulo. También se describe en detalle algunos procedimientos adoptados y las herramientas utilizadas para facilitar la reducción y análisis de datos.

### 2.1. El observatorio espacial *XMM-Newton*

Dado que la atmósfera de la Tierra es opaca a los rayos X, las observaciones celestes en esta longitud de onda tiene que ser ejecutada desde globos a gran altura, cohetes, satélites o estaciones espaciales. Esto ha hecho que la astronomía X sea una rama joven de la astronomía observacional.

El X-Ray Multi-Mirror Mission (XMM, Jansen et al., 2001) es el proyecto principal del programa científico *Horizon 2000* (Bonnet, 1998) de la European Space Agency (ESA). El satélite fue lanzado al espacio con un cohete lanzador *Ariane V* desde el puerto espacial europeo Kourou, en la Guayana Francesa, el 10 de Diciembre de 1999. Después de su exitoso lanzamiento, fue renombrado como *XMM-Newton*. Aunque en un principio la misión tenía una duración de diez años, el robusto observatorio va camino de los veinte años de duración sin mostrar signos de agotamiento. Recientemente el Comité de Programas Científicos de la ESA ha extendido la duración de la misión, al menos, hasta el 31 de Diciembre de 2018, aunque se revisará cada dos años la viabilidad del proyecto.

El satélite órbita a la Tierra cada 47.86 horas, describiendo una elipse con excentri-

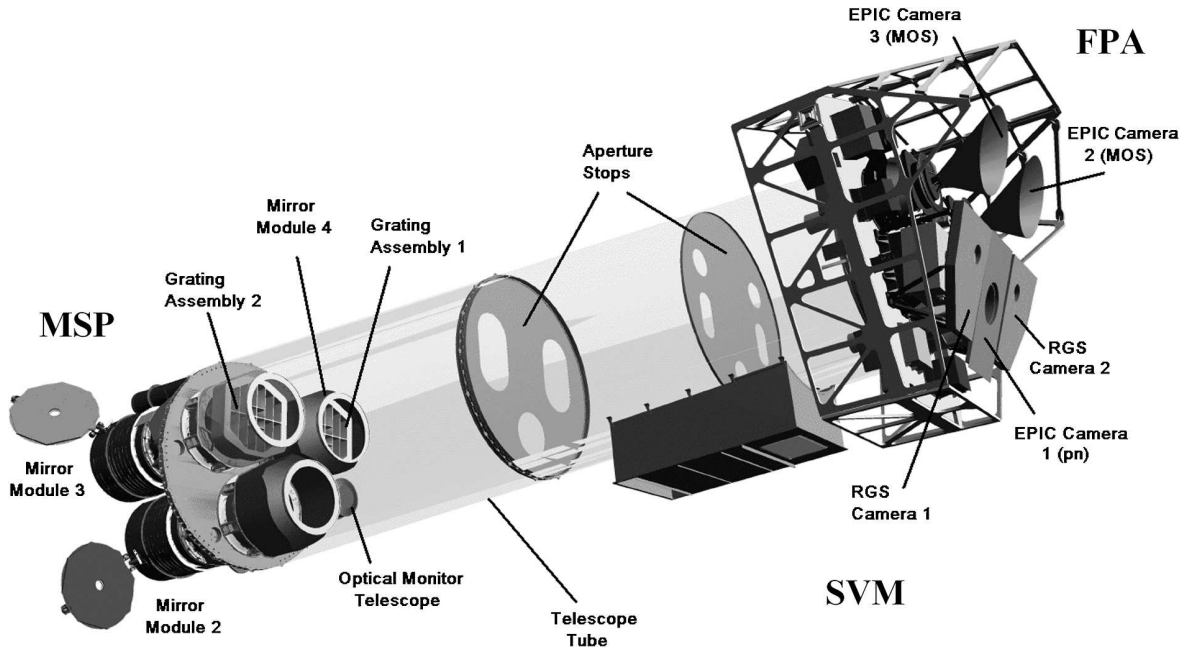


Figura 2.1: Esquema del observatorio espacial *XMM-Newton*. A la izquierda, la plataforma de soporte que transporta los tres telescopios de rayos X. A la derecha, la plataforma del plano focal que contiene los detectores EPIC. Imagen procedente de la webpage de la ESA.

cidad  $e = 0.82$ , una inclinación de  $69^\circ$ , un apogeo de 115.000 km y un perigeo de 5600 km (aunque los datos son variables debido a varias perturbaciones éstos son los datos previstos para mayo de 2017<sup>1</sup>). Esta órbita larga y de alta altitud ofrece la posibilidad de observaciones ininterrumpidas de hasta 130 kilosegundos (ks) de duración en un entorno estable, ya que optimiza el tiempo que el satélite pasa fuera de los cinturones de Van-Allen, evitando el pasaje a través de la sombra de la Tierra.

La Fig. 2.1 presenta un esquema de la nave *XMM-Newton* de 10 metros de longitud y 4 toneladas de peso. Tiene tres telescopios de rayos X alineados y en cada plano focal de cada telescopio una European Photon Imaging Camera (EPIC) de rayos X. *XMM-Newton* lleva también dos espectrómetros de rendija de reflexión (RGS, [den Herder et al., 2001](#)) para realizar espectroscopía de alta resolución de fuentes brillantes observadas en el eje. Estas rendijas desvían la luz de los instrumentos MOS a los cuales les llega un 44 % del flujo incidente. También incluye un monitor óptico (OM, [Mason](#)

<sup>1</sup>Los parámetros referentes a la órbita se pueden consultar en el *XMM-Newton Users' Handbook*, Issue.4.1, Tabla 28.

et al., 2001), un telescopio de 30 centímetros de tipo Ritchey-Chrétien que permite la observación simultánea de fuentes ultravioletas y ópticas. Otros instrumentos de apoyo es el EPIC Radiaton Monitor (ERM), que registra electrones por encima de 50 keV y protones por encima de 3.5 MeV.

### 2.1.1. Descripción técnica del telescopio de rayos X de *XMM-Newton*

Las técnicas de los telescopios ópticos, donde se utilizan espejos o lentes para recolectar radiación electromagnética, no es válida para los fotones de rayos X, ya que éstos son absorbidos o transmitidos cuando pasan a través de la materia. Sin embargo, la reflexión total bajo incidencia rasante propociona la posibilidad de “doblar“ los rayos X. Tal y como muestra Wolter (1952), se puede lograr un enfoque a través de la reflexión en ángulos pequeños utilizando una combinación de superficie paraboloidal e hiperboloidal. Los llamados *telescopios Wolter de tipo I* son comúnmente usados en los observatorio de rayos X a día de hoy, siendo la precisión de la forma del reflector y la suavidad de sus superficies los aspectos más importantes para el enfoque.

Los telescopios de rayos X de *XMM-Newton* (Aschwanden & Charbonneau, 2002; Charbonneau et al., 1999) fueron diseñados para lograr el área efectiva más grande disponible en la banda (0.2-10.0) keV para recolectar un gran número de fotones. Para obtener una gran área efectiva es necesario anidar una gran cantidad de capas de espejos con distinto radio pero con la misma distancia focal. En el caso de *XMM-Newton* para cada uno de los 3 telescopios se anidaron 58 capas de espejo. Para cumplir el objetivo y no generar un peso excesivo, fue necesario producir espejos tan finos como fuera posible, lo que se consiguió replicando los espejos a través del pulimiento de un mandril con forma negativa, en lugar de formar y pulir directamente los espejos. Estos mandriles están recubiertos con una capa de oro de 0.2  $\mu\text{m}$ , la cual está soportada por una capa de níquel, que se añade después de un baño electrolítico. Los espejos tiene un espesor de entre 0.47 y 1.07 milímetros dependiendo del radio de la concha. Después de anidar los 58 espejos individuales con una distancia de entre 1 mm y 5 mm entre ellos, el telescopio tiene un diámetro radial de 70 cm y una longitud axial de 60 cm. La Fig. 2.2 en su parte superior muestra una imagen del módulo del espejo y un esquema de su funcionamiento. Los rayos X se reflejan en los ángulos de pastoreo entre 17° y

40', dando como resultado un área efectiva de  $\sim 1400 \text{ cm}^2$  a 1.5 keV. Como el ángulo crítico para la reflexión total disminuye con el aumento de la energía de los fotones, la distancia focal debe ser lo más alta posible. Para los telescopios de *XMM-Newton*, esta distancia focal es de 7.5 metros, permitiendo la obtención de imágenes de fotos de alta energía.

### 2.1.2. La European Photon Imagen Camera

Los dispositivos de carga acoplada (CCDs) de silicio son sensibles a los rayos X y han sido ampliamente utilizados en las misiones de rayos X (por ejemplo: *XMM-Newton*, *Chandra X-Ray Observatory*, *Suzaku* y *Swift*). En contraste con la medición de la radiación óptica, donde un fotón crea un par electrón-hueco, un fotón de rayos X es suficientemente energético para liberar una gran cantidad de electrones. Esto permite el conteo de un solo fotón con una resolución moderada, como el número de electrones escalados con la energía del fotón. Después de un cierto tiempo de exposición de el CCD a los rayos X, los electrones liberados se desplazan pixel a pixel hasta el borde del CDD, donde la carga es amplificada por la lectura electrónica.

EPIC tiene dos tipos de detectores. Una oblea pn-CCD (EPIC-pn [Strüder et al., 2001](#)) detrás de un telescopio con un haz no obstruido y dos CCDs semiconductores de óxido metálico (EPIC-MOS [Turner et al., 2001](#)) que reciben el 44 % de los fotones de los otros dos telescopios. Cada detector cubre un área de  $\sim 36 \text{ cm}^2$  en el plano focal. Los detectores están en un radiador que los mantiene funcionando a una temperatura de entre  $-90 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $-120 \text{ }^\circ\text{C}$ .

EPIC-pn consta de una matriz de 2x6 CCDs iluminados por la parte trasera, todos en la misma oblea (véase la Fig. 2.2 abajo derecha) para tener un ambiente homogéneo. Los CCDs tiene un tamaño individual de  $3 \times 1 \text{ cm}^2$  y están separados por espacios insensibles de  $40 \text{ }\mu\text{m}$  o  $190 \text{ }\mu\text{m}$ . Cada uno de los doce CCD tiene  $200 \times 64$  píxeles con un tamaño de pixel de  $150 \times 150 \text{ }\mu\text{m}^2$ . Los CCDs proporcionan un volumen al detector de  $270 \text{ }\mu\text{m}$  en profundidad y están iluminados por la parte trasera para evitar la absorción de rayos X en la lectura electrónica. Esto mejora la eficiencia cuántica en la banda sub-keV y proporciona una mayor resistencia a los daos por radiación. La cámara puede operar en los modos: full frame, extended full frame, large windows, small windows, timing y burst, para conseguir una resolución más alta o reducir el tiempo de lectura.

Los dos instrumento EPIC-MOS están constituidos por siete CCDs de iluminación

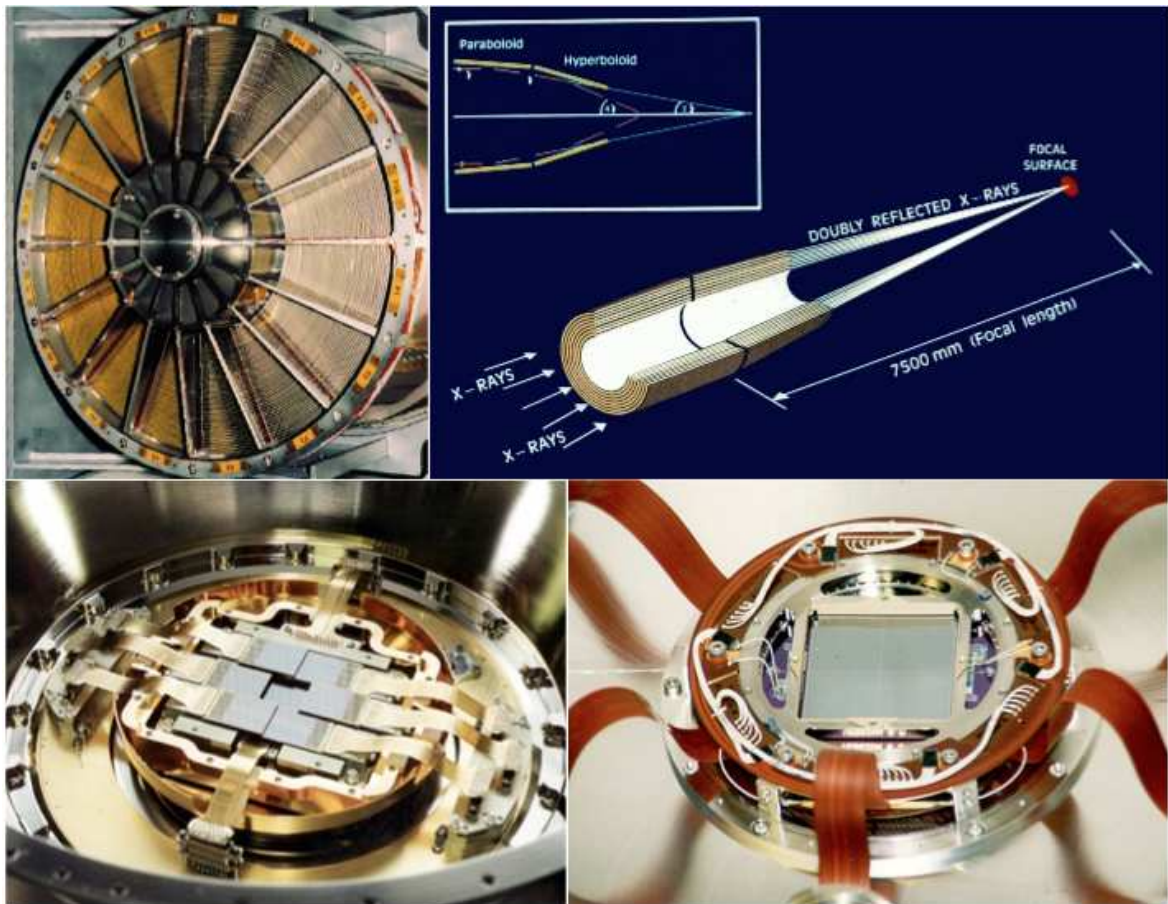


Figura 2.2: Esquema de los telescopios de rayos X y los componentes de *XMM-Newton*. **Arriba izquierda:** Los 58 espejos de rayos X concéntricos; **Arriba derecha:** Esquema general de los telescopios de rayos X de *XMM-Newton*; **Abajo izquierda:** Detector EPIC-MOS con sus 7 CCDs; **Abajo derecha:** Detector EPIC-PN con sus 12 CCDs. Imagen generada a partir de imágenes de la webpage de ESA.

frontal y dispuestos a distintas alturas (véase la Fig 2.2 abajo izquierda) para seguir la forma del plano focal y mejorar la función de dispersión de puntos (PSF, en inglés point spread function) para fuentes fuera del eje. Los detectores cuentan con 600x600 píxeles con un tamaño de 40x40  $\mu\text{m}$ . Cada EPIC-MOS tiene una región de almacenamiento que está protegida de los rayos X y que es el lugar donde las nubes de carga se desplazan antes de ser leídas. Desde el 9 de Marzo de 2005, el CCD 6 de la MOS1 ya no está operativo, probablemente debido al impacto de un micro-meteorito (Abbey et al., 2006). Al igual que el detector pn, MOS tiene varios modos operativos, los cuales solo afectan al CCD central.

Los filtros delante de los detectores se utilizan para proteger el CCD de los fotones de menor energía provenientes de las bandas UV, óptica e infrarroja. Tales fotones aumentarían el ruido en el detector y causarían un desplazamiento en la escala de energía. Dependiendo del flujo óptico esperado para la observación, se puede utilizar tres tipos de filtros: delgado, medio y grueso. Los dos primeros consisten en una película de poli-imida de 16  $\mu\text{m}$  recubierta con 4  $\mu\text{m}$  y 8  $\mu\text{m}$  de aluminio, respectivamente. El filtro grueso tiene una capa de polipropeno de 33  $\mu\text{m}$  de grosor recubierta con 11  $\mu\text{m}$  de aluminio y 4.5  $\mu\text{m}$  de estaño. Además, todos los detectores se pueden blindar completamente con 1050  $\mu\text{m}$  de aluminio en la posición de filtro cerrado. Esto es necesario para proteger los detectores durante los intervalos de radiación fuerte.

## 2.2. Science Analysis System

El Science Analysis System (SAS) es una colección de tareas, scripts y librerías diseñados específicamente para reducir y analizar datos recopilados por el observatorio *XMM-Newton*. Para empezar a trabajar con los datos obtenidos a través de los telescopios de *XMM-Newton* es necesario:

- Instalar SAS: Actualmente la última versión se corresponde con SAS 16.0.0 y se puede descargar de la página web de ESA<sup>2</sup>. SAS está disponible para Linux 65-Bit (RHEL6.8 y Ubuntu16.04.1LTS), Mac OS X 64-Bit (Darwin 14.5.0 y Darwin 15.6.0) y como máquina virtual (Ubuntu 16.04.1). El software SAS se distribuye en un único archivo *tgz* que incluye el script shell *install.sh*, que se utiliza para

---

<sup>2</sup><https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-download>

instalarlo. Para poder trabajar con SAS es necesario instalar algunas herramientas adicionales como: Perl, ds9, Grace, Heasoft y WCSTools, además si se usa un sistema operativo Mac OS X es necesario instalar el software X Windows o X11.

- Los Observation Data File (ODF): La telemetría obtenida de *XMM-Newton* está organizada en los ODF. La mayoría de los archivos ODF tienen un formato FITS. Un archivo ASCII resume y proporciona al usuario cierta información general sobre la observación (apuntado, propuesta, registro de calidad de datos, etc), así como un índice de los archivos contenidos en los ODF. Los ODF contienen los archivos científicos no calibrados y deben ser tratados para poder ser analizados. Tras realizarse una observación con *XMM-Newton* los ODF son entregados al investigador responsable de la observación. Sin embargo también es posible obtener ODF desde el *XMM-Newton Science Archive* (XSA). En el XSA se acumulan los datos de todas las observaciones realizadas, y se hacen públicos a los dos años, de esta forma es posible utilizar las observaciones para reanalizarlas o hacer otro tipo de estudios que los originales.
- Los Current Calibration File (CCF): Todos los datos de calibración *XMM-Newton* están organizados en un archivo de calibración actual (CCF). Cada componente del CCF se identifica de forma única por su número de emisión (progresivo) y su fecha de validez. Contrariamente a la forma usual de producir y distribuir versiones de calibración en otros telescopios, los CCF de *XMM-Newton* se actualizan de forma dinámica y continua. Los anuncios de una o varias actualizaciones de archivos se publican a través de la lista de correo de ccf. Las sucesivas versiones de CCF no tienen números de versión. Una vez anunciados, los archivos de datos CCF están disponibles para su descarga inmediata. Todos los CCF de *XMM-Newton* que se han hecho públicos, actualmente  $\sim 1400$  archivos que ocupan  $\sim 3$  GB, están disponibles. Éstos archivos solo serían necesarios si quisieramos procesar datos antiguos, ya que muchos CCF han sido reemplazados por calibraciones más precisas. Si no es el propósito se recomienda descargar un subconjunto de todos los CCF, conocido como Valid CCF con un tamaño de  $\sim 600$  MB.

En este punto ya es posible empezar a utilizar SAS para comenzar el proceso de reducción de datos. Este proceso es, comparado con otras longitudes de onda, bastante mecánico. Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Iniciación de SAS. Para empezar es necesario definir donde se encuentran los archivos de SAS, los archivos ODF y los archivos CCF para comenzar el proceso, eso se realiza mediante los comandos:

```
setenv SAS_DIR /some_dir/xmmsas_20100423_1801
```

```
setenv SAS_CCFPATH /ccf
```

```
setenv SAS_ODF /home/user/sasdata/MY_OBS
```

Para poder procesar los ODF se deben identificar que archivos de calibración van a usarse de entre todos los disponibles. Esta tarea se realiza mediante un archivo CIF, que informará a SAS sobre los archivos específicos CCF que van a usarse para cada instrumento. `cifbuild` A continuación indicamos a SAS donde se cuenta el archivos `ccf.cif` generado por la tarea `cifbuild` `setenv SAS_CCF ccf.cif` Dentro de los componentes de los ODF hay un archivo que resume toda la información observacional involucrada. Este archivo ha de actualizarse antes de procesar los datos con el comando `odfingest` Una vez hecho esto, debe volver a definirse la variable SAS\_ODF para apuntar al nuevo archivo de resumen `setenv SAS_ODF 'ls -1 *SUM.SAS'` En este punto los datos están listo para ser procesados.

2. Calibración. A continuación vamos a procesar los archivos ODF para obtener listas de eventos calibrados. Para ello ejecutamos las tareas de reducción de EPIC `epproc` para EPIC-PN `emproc` para EPIC-MOS Los archivos producidos son los siguientes

```
????_????????????_AttHk.ds
```

```
????_????????????_EPN_????_01_Badpixels.ds
```

```
????_????????????_EPN_????_ImagingEvts.ds
```

Siendo el primero un archivo auxiliar, el segundo una tabla de datos por cada CCD reducido que contiene los píxeles malos y el tercero la lista de eventos calibrados que se utilizará como entrada para extraer el resultado científico.

3. Filtrado de eventos. En este punto es necesario eliminar la parte de la observación que ha sido contaminada por eventos de alta actividad de fondo. El resultado de este punto será una lista de eventos limpia y un archivo GTI que contiene los intervalos de de buen tiempo para la observación dada. Para ello seleccionamos

una curva de luz de la observación con eventos simples y seleccionamos los tiempos donde la curva es baja constante donde la tasa de cuenta es menor de 0.35 para EPIC-MOS y 0.40 para EPIC-pn. Se obtiene así un archivo `EPICgti.fits` donde se encuentran los tiempo donde la observación está limpia y tras filtrar la lista de eventos con este archivo obtenemos la lista de eventos final y lista para ser utilizada, un archivo del tipo `EPICclean.fits`. Un ejemplo del archivo de eventos sin filtrar es la Fig. 3.2 donde se muestran los intervalos de alta contaminación de fondo.

4. Detección de fuentes. SAS permite mediante el comando `edetec_chain` realizar la detección de fuentes de nuestra observación. Para ello producimos 6 imágenes en distintas bandas de energía para cubrir el espectro entero: [200:12000], [200:500], [500:1000], [1000:2000], [2000:4500] y [4500:12000] y para cada detector. La detección se puede hacer por separado para cada detector o los tres detectores simultáneamente. La tarea `edetec_chain` requiere unos parámetros básicos por detector para la detección. Uno de ellos es `emldetect` que define el umbral de detección, siendo su valor por defecto de 10. El resultado final del proceso es un archivo del tipo `XX.emllist.fit` con las fuentes detectadas.
5. Obtención de espectros. El archivo obtenido de la detección de fuentes se compone de las coordenadas de la fuente y de un círculo alrededor de la misma. Este archivo es interpretable con ds9 y al ejecutarlo sobre una imagen de nuestra observación sobrepone los círculos sobre las fuentes detectadas. En este paso ajustaremos el tamaño de los círculos con el tamaño de la fuente. Y generaremos una nueva lista con círculos del fondo para cada fuente. Por último con la tarea `specgroup` asociamos el espectro de la fuente, su fondo y las matrices de respuesta, obteniendo el espectro final.

Este es *grosso modo* el proceso de transformación de los ODF en productos útiles de ciencia. Un ejemplo más detallado puede verse en los apéndices con todos los comandos y ilustrado con imágenes.

Además de los procesos explicados SAS nos permite otra gran variedad de tareas y subcomandos para las tareas como: generar imágenes, fusionar imágenes de distintas observaciones, analizar fuentes extensas, analizar la PSF, analizar los eventos fuera de tiempo, análisis de pile-up, etc.

## 2.3. XSPEC

XSPEC es un programa de ajuste espectral de rayos X interactivo, dirigido por comandos y diseñado para ser completamente independiente del detector, de forma que pueda ser utilizado por cualquier espectrómetro. XSPEC se ha utilizado para analizar datos de *HEAO-1 A2*, *Einstein Observatory*, *EXOSAT*, *Ginga*, *ROSAT*, *BBXRT*, *ASCA*, *CGRO*, *IUE*, *RXTE*, *Chandra*, *XMM-Newton* e *Integral/SPI*.

Con los archivos obtenidos de la detección de fuentes XSPEC nos permite caracterizar el plasma que genera la emisión en rayos X. Para proceder al análisis necesitamos:

- El espectro de una fuente + fondo.
- El espectro de fondo.
- La matriz de redistribución (archivo RMF).
- El vector de área eficaz (archivo ARF).

Para analizar el espectro XSPEC permite cargar una gran variedad de modelos, en nuestro caso vamos a utilizar dos modelos: *wasp* y *apec*.

- El primer modelo *wasp* (Morrison & McCammon, 1983) representa una absorción fotoeléctrica usando secciones transversales de Wisconsin. Tiene como parámetro la columna de hidrógeno equivalente  $N_H$  cuyas unidades son  $10^{22}$  átomos  $\text{cm}^{-2}$ .
- El segundo modelo es *apec* (Smith et al., 2001a) representa un modelo de plasma caliente cuyos parámetros son: la temperatura de plasma en keV, la abundancia metálica, en función de la solar. Los elementos incluidos son C, N, O, Ne, Mg, Al, Si, S, Ar, Ca, Fe y Ni. El desplazamiento al rojo, y la normalización de la emisión.

Una vez cargados los modelos, se realiza el ajuste. Cualquier parámetro puede ser fijado a un determinado valor, y realizar de nuevo el ajuste. XSPEC permite cargar un tercer modelo. Este tercer modelo suele ser un segundo modelo *apec*, ya que una sola temperatura no suele representar un plasma térmico, y con una segunda se mejora la aproximación. También es posible obtener el flujo entre una determinada banda de energía y realizar una gráfica del espectro. Al final del ajuste se obtiene la densidad de columna, la abundancia, la/las temperaturas que representan el plasma caliente y el desplazamiento al rojo. Para analizar el espectro de una estrella es necesario fijar el desplazamiento al rojo a cero.

## 2.4. Otras herramientas

- SAOImage ds9. ds9 es una aplicación de visualización astronómica de imágenes y datos. Soporta imágenes FITS y tablas binarias, carga de múltiples marcos, manipulación de regiones y muchos algoritmos de escala y mapas de colores. Es una aplicación independiente y no requiere instalación ni archivos de soporte. ds9 proporciona funciones avanzadas como la carga de marcos 2-D, 3-D y RGB, imágenes en mosaico, parpadeos, marcadores geométricos, manipulación del mapa de color, el escalado, el zoom arbitrario, el recorte, la rotación, la panorámica y una gran variedad de sistemas de coordenadas. A través de esta herramienta se han visualizado las imágenes obtenidas del proceso de reducción. Se analizan las regiones procedentes de la detección de fuentes y sus correspondientes fondo de cielo.
- Aladin Atlas Sky. Aladin es un atlas interactivo que permite al usuario visualizar imágenes astronómicas digitalizadas u observaciones completas, superponer entradas de catálogos o bases de datos astronómicas y acceder a datos e información de la base de datos Simbad, el servicio Vizier y otros archivos para todos los objetos astronómicos conocidos. Aladin permite correlacionar las fuentes detectadas en las observaciones de rayos X con los distintos catálogos que están disponibles en la literatura. Además permite cargar imágenes en distintas fotometrías pudiendo realizar composiciones de imagen RGB.
- Interactive Data Language. IDL es un lenguaje de programación utilizado para el análisis de datos. Su utilización está bastante extendida en algunas áreas de la ciencia, como la astronomía, la física atmosférica y la imagen médica. Comparte una sintaxis común con PV-Wave y se originó a partir de la misma base de código, aunque los idiomas han divergido posteriormente en detalle. IDL se ha utilizado para realizar todos los cálculos matemáticos, así como todas las gráficas en las que se representaban conjuntos numéricos.
- Mosaicker and Point Source Extractor. MOPEX es un paquete para reducir y analizar los datos y las imágenes de MIPS. Incluye el paquete de extracción de fuentes puntuales APEX. MOPEX está diseñado para realizar mosaicos de las observaciones de *Spitzer*, eliminar los valores anómalos temporales y espaciales

al realizar mosaicos, realizar la detección de fuentes en los mosaicos, determinar la fotometría de apertura o la fotometría de ajuste PRF para fuentes puntuales y obtener las SED de las fuentes detectadas.

- Ajuste de SED online<sup>3</sup>. Robitaille (2008) presenta un método para analizar las SED de los YSOs de forma online. Esta aplicación web permite cargar la fotometría del objeto en cuestión en magnitudes o flujo en los filtros o instrumentos: Bessel (bandas V, R e I), SDSS (u', g', r', i' y z'), UKIDSS (Z, Y, J, H y K), 2MASS (J, H y K<sub>S</sub>), UKIRT (L, L'y R), IRAC (3.4 μm, 4.6 μm, 5.8 μm y 8 μm), WISE (3.5 μm, 4.6 μm, 12 μm y 22 μm), MIPS (24 μm, 70 μm y 160 μm), MSX (A, C, D y E), IRAS (12 μm, 25 μm, 60 μm y 100μm), PACS (70 μm, 100 μm y 170 μm), SPIRE (250 μm, 350 μm, 500 μm), SHARC (350 μm), SCUBA (450 μm y 850 μm), CSA (624 μm y 729 μm) y IRAM (1.2). La aplicación permite delimitar la entrada de dos parámetros, la distancia y la absorción interestelar. Como resultado genera la gráfica del mejor modelos ajustado a los datos introducidos y el "top ten" de modelos que mejor ajusta.

---

<sup>3</sup><http://www.astro.wisc.edu/protostars>

---

## Capítulo 3

# Estudio de NGC 2023 con *XMM-Newton* y *Spitzer*

En este Capítulo de la tesis, se presenta el estudio de las fuentes de rayos X en la región de formación estelar de NGC 2023 y sus alrededores. El objetivo es llevar a cabo un estudio para presentar las características generales de las fuentes detectadas en rayos X. Además de la observación de *XMM-Newton*, el estudio se completa con fotometría de *Spitzer*, *2MASS*, *WISE* y *DENIS*. Utilizando la SED y los diagramas color-color se clasificaron las fuentes en Clase 0/I, Clase II y Clase III. Mediante el análisis del espectro en rayos X se obtienen las propiedades coronales, temperatura, densidad de columna y medida de emisión, de las fuentes detectadas. Se utilizaron modelos de estrellas más disco para obtener los parámetros esterales, masa, distancia, radio, temperatura y luminosidad bolométrica. Para finalizar, se compararon los resultados con las regiones Tauro y ONC.

### 3.1. Introducción

La Nebulosa Molecular de Orión B que se extiende de norte a sur contiene, NGC 2071, NGC 2068, NGC 2024, NGC 2023 y La Nebulosa Cabeza de Caballo. La parte sur de Orion B limita con la gran región HII IC 434, que se está expandiendo en la nube molecular. La interacción entre la nube molecular y la región HII (IC 434) es visto como una cresta brillante de gas con la Nebulosa Cabeza de Caballo y varios pilares más pequeños (Mookerjea et al., 2009). La Nebulosa Cabeza de Caballo apunta

directamente hacia el sistema  $\sigma$  Ori, que está ionizando IC 434. La Nebulosa Cabeza de Caballo es el pilar de formación más cercano al Sol y representa un laboratorio ideal para estudiar la aparición y evolución de la emisión de rayos X en estrellas muy jóvenes, sus propiedades de rayos X y la influencia de la emisión de rayos X y su variabilidad en el calentamiento y la evolución de los discos proto-planetarios (ver estudios de infrarrojos por Bowler et al., 2009; Mookerjea et al., 2009).

NGC 2023 se encuentra a unos 15 minutos de arco al noreste del pilar. En contraste con NGC 2024, que contiene un cúmulo estelar integrado con más de 200 miembros y varios candidatos a protoestrella (Haisch et al., 2000; Skinner et al., 2003), NGC 2023 muestra una baja densidad estelar. Algunos núcleos emisores en radio se han detectado usando VLA (Very Large Array, Anglada & Rodríguez, 2002; Reipurth et al., 2004). Uno de ellos, MM1, es una fuente de Clase 0 confirmada, con un gran flujo molecular y bien colimado (Sandell et al., 1999). Tres objetos Herbig-Haro fueron identificados por Malin et al. (1987): [MOW87] HH1, HH2 y HH3. Mookerjea et al. (2009) asociaron HH3 con la estrella T Tauri clásicas V615 Ori, pero la asociación de HH1 y HH2 con alguna fuente detectada es más incierto. A pesar de esto, los autores asociaron HH2 con una fuente del infrarrojo-medio MIR-51, mientras que HH1 podría estar asociada a la fuente de radio MM3, la fuente del infrarrojo-medio MIR-62 o incluso la fuente del infrarrojo cercano NIR-15, ubicada a 40 segundos de arco de HH1. Por lo tanto, NGC 2023 representa un buen ejemplo de una región de formación de estelar que está siendo modelado por procesos de alta energía.

La edad de NGC 2023 no está bien establecida. Alcalá et al. (2000) obtuvo una edad en torno a  $0.5 < \tau_{edad} < 7.0$  Ma para las estrellas de las nubes L1641 y L1630 con una contrapartida en rayos X. Para NGC 2024, Eisner & Carpenter (2003) determinaron una edad de 0.3 Ma a través de la frecuencia de disco, mientras que Ali et al. (1998) propuso 0.5 Ma como la edad de este grupo, con base en la fotometría infrarroja. La coexistencia de ambos núcleos en radio y la de estrellas sin un disco proto-planetario en la región de NGC 2023 (por ejemplo Mookerjea et al., 2009) sugiere que la formación estelar tuvo lugar durante varios millones de años, aunque esta hipótesis aún debe ser probada con firmeza.

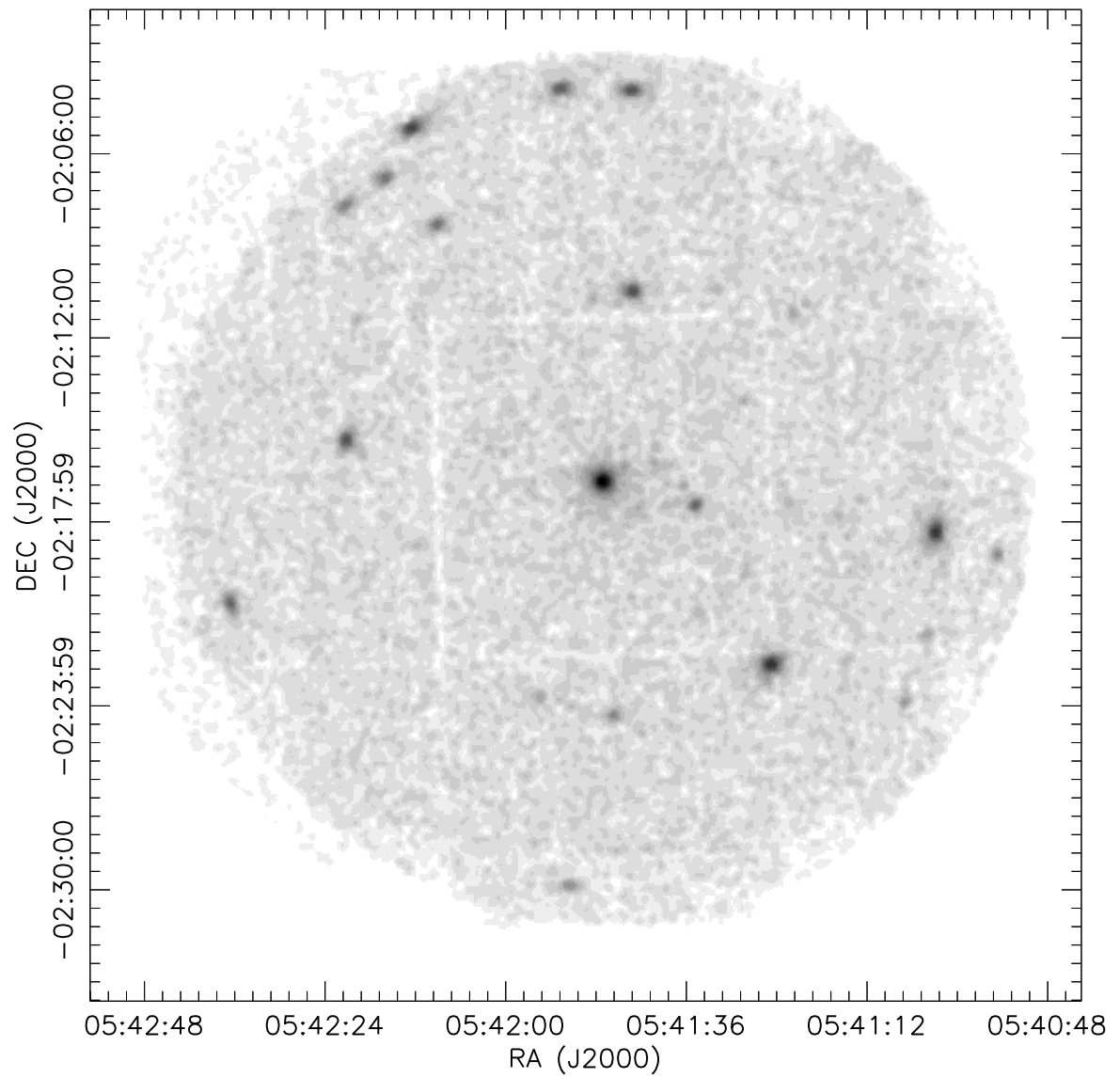


Figura 3.1: Imagen compuesta de EPIC (MOS+PN) del campo de visión de *XMM-Newton* en la banda de energía 0.3–8.0 keV.

Tabla 3.1: Detalles de la observación de *XMM-Newton* sobre NGC 2023.

|                      | PN                  | MOS1       | MOS2       |
|----------------------|---------------------|------------|------------|
| Tiempo Exp. (ks)     | 25.09               | 29.13      | 29.12      |
| Tiempo Efectivo (ks) | 13.60               | 15.00      | 15.80      |
| Filtro               | Medium              | Thin       | Medium     |
| Modo                 | Extended Full Frame | Full Frame | Full Frame |

### 3.2. Observación de rayos X y reducción de datos

La observación de *XMM-Newton* sobre de nebulosa de reflexión NGC 2023 (ID 0112640201) fue parte de un programa dirigido a estudiar cúmulos estelares profundamente arraigados en Orión B. Se realizó como una única observación de 30 ks de duración en 2002 durante la revolución 419 del satélite utilizando la cámara EPIC en modo full-frame. La observación se centra en  $\alpha = 05\text{h}41\text{m} 47.20 \text{ s}$  y  $\delta = 02\text{d}16\text{m} 37.0 \text{ s}$ . La Tabla 3.1 resume la información de los parámetros utilizados para cada detector de EPIC.

La reducción de datos se realizó usando el software de *XMM-Newton* Science Analysis System (SAS) con la versión 10.0. Las imágenes y los espectros se obtuvieron con las herramientas estándar de SAS. Se rechazaron los períodos de fondo con alta actividad fotónica de los análisis de la curva de luz para cada detector (independientemente para MOS1, MOS2 y PN) y se seleccionaron los períodos de tiempo con emisión baja y constante de rayos X con  $E > 10 \text{ keV}$  (ver la Fig. 3.2). Los malos eventos y el ruido también se rechazaron para crear los GTI y finalmente las tablas de eventos. Del análisis, se concluyó que la observación fue contaminada en gran medida por períodos de emisión alta de rayos X de fondo (generalmente atribuida a los protones y otras partículas relativistas producidos durante las erupciones solares). Después de la aplicación de los GTI, el tiempo de exposición útil se redujo a 13.6 ks para PN, 15 ks para MOS1 y 15.8 ks para MOS2.

En la Fig. 3.1, se muestra un mosaico de imágenes de PN y MOS de NGC 2023 en la banda de energía: 0.3 - 8.0 keV, creada con comando *emosaic*. Se utilizó el comando de SAS *edetect\_chain* para revelar las fuentes en tres diferentes bandas de energía (0.3 -1.2, 1.2 -2.5 y 2.5-4.5 keV) en PN, MOS1 y MOS2 por separado. La segunda etapa consistió en el uso de la banda de energía 0.3-8.0 keV para confirmar las primeras detecciones. Se detectaron un total de 50 fuentes.

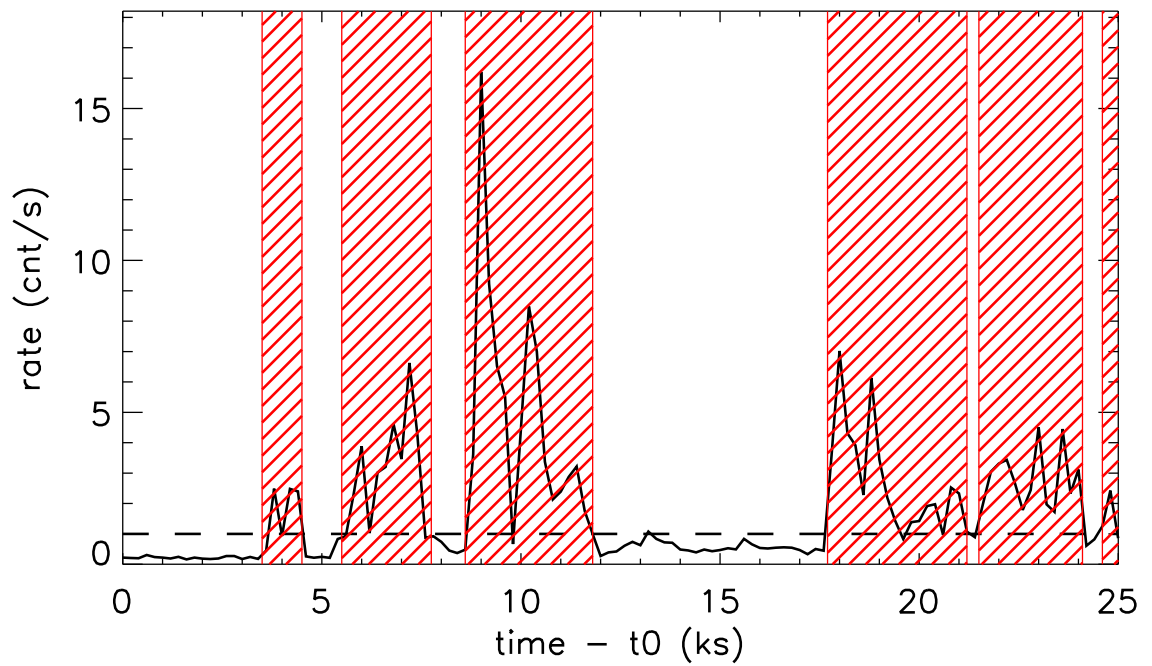


Figura 3.2: Curva de luz para todo el detector EPIC-PN a  $E > 10$  keV. La línea discontinua negra indica el valor máximo para el cual la observación se considera válida. Las zonas rayadas en rojo son los tiempos excluidos debido a la emisión de fondo, producido por fulguraciones solares según el manual de SAS.

Después de una cuidadosa inspección que incluyó una correlación cruzada con catálogos ópticos e infrarrojos (véase la Sección 3.3), se descartaron 14 de las fuentes por ser múltiples o falsas detecciones, por lo general en el borde del detector o cerca de una fuente luminosa. La lista definitiva de las fuentes de rayos X se da en la Sección 3.7 Tabla 3.4. Las fuentes consideradas como detecciones falsas durante los análisis ópticos e infrarrojos (Sección 3.3) se eliminaron de las tablas, aunque se mantuvo la numeración original por conveniencia. Las fuentes de rayos X de Yamauchi et al. (2000) se identificaron en la última columna de la Tabla 3.4 como [YKK2000] seguido del número de identificación dado por los autores.

### 3.3. Propiedades infrarrojas de las fuentes de rayos

#### 3.3.1. Fotometría de *Spitzer*

Tanto la región de NGC 2023 como sus alrededores se encuentra una gran cantidad de gas y polvo que produce una elevada absorción en el óptico y en el infrarrojo cercano (ver Bowler et al., 2009). La absorción por el gas y el polvo es menos dramática en el infrarrojo medio, en particular en en las bandas de *Spitzer*-IRAC (Infrared Array Camera) y en longitudes de onda de radio. Mookerjee et al. (2009) utilizó una observación de archivo de *Spitzer* de esta región y observaciones sub-milimétricas realizadas por ellos mismos con el *Submillimeter Common User Bolometric Array (SCUBA; Holland et al., 1999)* para crear un censo de objetos jóvenes y protoestrellas. Sin embargo, en su estudio sólo analizó una parte de las observaciones de *Spitzer*-IRAC cercana a la Cabeza de Caballo. La región que seleccionaron se superpone parcialmente con la observación de *XMM-Newton* que se centra en NGC 2023. Se decidió volver a analizar los datos de *Spitzer* que cubren el campos de la observación de *XMM-Newton* para buscar las contrapartidas infrarrojas de todas las fuentes de rayos X.

En ésta tesis, se utilizaron las observaciones con números AORKEY 8773120 y 8773632. Para cada canal de IRAC se dispuso de dos conjuntos de imágenes con tiempos 0.6 y 10.4 segundos, cuyos datos se trataron por separado. El proceso de reducción de IRAC se utilizó MOPEX (*MOsaicker and Point source EXtractor*, versión 18.4.9) para la reducción y la creación del mosaico final. Al terminar éste proceso de reducción, se obtuvieron dos mosaicos para cada canal de IRAC y observación, y un total de cuatro

mosaicos por canal. El análisis fotométrico se llevó a cabo en cada mosaico de forma independiente.

No era objetivo de éste trabajo obtener los flujos de IRAC para todas las fuentes en el campo. No obstante, se determinaron los flujos infrarrojos para las contrapartidas de las fuentes de rayos X (ver Fig. 3.10). Para obtener los flujos, se utilizó el paquete DAOPHOT incluido en IDL, que es una adaptación del código de Fortran, también se utilizó IRAF<sup>1</sup> (Image Reduction and Analysis Facility). Se llevó a cabo un proceso de fotometría de apertura usando tres radios de extracción diferente (de 2, 3 y 4 segundos de arco). Para poder restar el fondo el cielo, se utilizó un anillo exterior con radios interno y externo de 20 y 30 segundos de arco, respectivamente. Como los mosaicos realizados con MOPEX están en unidades de mJy/s. Se transformaron a mJy y se aplica una corrección de apertura. Las correcciones de apertura se estimaron a partir de las PRFs<sup>2</sup> (Point Response Functions) semiempíricas dadas en el Manual de *Spitzer*. Sus valores se dan en la Tabla 3.2 para cada canal. Las incertidumbres incluyen los efectos del World Coordinate System (WCS) de error de alineado aleatorio (que es siempre menor que 1 píxel; ver Pérez-González et al., 2008). Para cada fuente, se determinaron las magnitudes en el sistema AB y en el sistema Vega, este último se determinó utilizando la conversión flujo a magnitud de GLIMPSE<sup>3</sup> (Galactic Legacy Infrared Midplane Extraordinaire).

Para cada fuente infrarroja, los flujos obtenidos con radios de extracción de dos, tres y cuatro segundos de arco, dieron un resultado muy similar, excepto en el caso de las dos fuentes IRAC más brillantes, que muestran diferencias de hasta un 10 % en los cuatro canales. La misma consideración es aplicable a la comparación entre las observaciones con tiempo de 0.6 y 10.4 segundos. En este último caso, las diferencias surgen del hecho de que estas fuentes están muy cercanas al régimen de saturación para exposiciones prolongadas. Para evitar éstos problemas con esas fuentes, se decidió utilizar sólo las imágenes con tiempos de exposición más cortos. La fotometría de *Spitzer* se muestra en la Tabla 3.6. Se observó que la Src. 24 no se correlacionó con una única contrapartida IRAC debido a la proximidad de varias fuentes infrarrojas que contaminaban las medidas fotométricas. En las tablas, se da la fotometría de la

---

<sup>1</sup>IRAF: <http://iraf.noao.edu/>

<sup>2</sup>Los pixeles de *Spitzer* son relativamente grandes en relación con las fuentes puntuales, así MOPEX encaja las PRFs, que tienen en cuenta las sensibilidades intra-píxel.

<sup>3</sup>GLIMPSE: <http://www.astro.wisc.edu/sirtf/>

Tabla 3.2: Apertura de corrección para las diferentes radios de apertura canal de IRAC

| Apertura<br>(arcsec) | 3.6 $\mu$ m<br>(mag) | 4.5 $\mu$ m<br>(mag) | 5.4 $\mu$ m<br>(mag) | 8.0 $\mu$ m<br>(mag) |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1.5                  | 0.59 $\pm$ 0.04      | 0.63 $\pm$ 0.04      | 0.83 $\pm$ 0.04      | 0.94 $\pm$ 0.06      |
| 2.0                  | 0.32 $\pm$ 0.03      | 0.36 $\pm$ 0.03      | 0.53 $\pm$ 0.02      | 0.65 $\pm$ 0.03      |
| 3.0                  | 0.13 $\pm$ 0.03      | 0.14 $\pm$ 0.02      | 0.22 $\pm$ 0.02      | 0.36 $\pm$ 0.02      |
| 4.0                  | 0.03 $\pm$ 0.02      | 0.03 $\pm$ 0.02      | 0.05 $\pm$ 0.02      | 0.21 $\pm$ 0.03      |

estrella más cercana a Src. 24. Sin embargo, esos valores no son fiables por lo que no se hicieron uso de ellos en el estudio.

La Figura 3.3 muestra el diagrama color-color de los cuatro canales de IRAC para las fuentes de nuestra muestra con contrapartida en las cuatro bandas. En esta figura se marcó la ubicación típica de los objetos infrarrojos de Clase I, II y III, así como el lugar donde se encuentran los núcleos de galaxias activas (zonas rayadas y punteadas), tal y como muestra en Stern et al. (2005). Los números ID de para las Clases I y Clase II se pintaron encima de su símbolo en la gráfica. La cruz en la esquina inferior derecha representa la barra de error media en ambos colores. El error típico en los colores de las fuentes luminosas es de 0.1 mag, mientras que las fuentes débiles muestran una barras de error con valores de hasta 1.2 mag en algunos casos.

La principal concentración de las fuentes se detectó en el espacio ocupado por la Clase III, que por lo general se identifican con wTTS y las estrellas de la secuencia principal (asteriscos en la figura 3.3). Cinco fuentes están situadas dentro de los límites de los objetos de Clase II y otras dos están muy cerca de esos límites. Estas fuentes de Clase II se suelen identificar con cTTS, dibujadas en la Fig. 3.3 como círculos rellenos en rojo. Por último, se encontraron dos fuentes que tienen los colores típicos de los objetos de Clase I (cuadrados azules en la figura). Las fuentes con éstas propiedades infrarrojas se suelen relacionar con protoestrellas y estrellas T Tauri con envolturas circunestelares. Sin embargo hay que tener en cuenta que los objetos de Clase II absorbidos pueden presentar colores en IRAC típicos de objetos de Clase I. Por ello, las dos fuentes de la Fig. 3.3 clasificados como Clase I objetos pudieran ser Clases II muy absorbidas. De hecho, una de las fuentes ha sido clasificado previamente como una estrella de Clase I en la literatura. En este caso el objeto fue detectado por Mookerjee et al. (2009) con *Spitzer* y *SCUBA* (Nombrada VLA 3 y MIR 46 en su artículo, fuente número 7 en

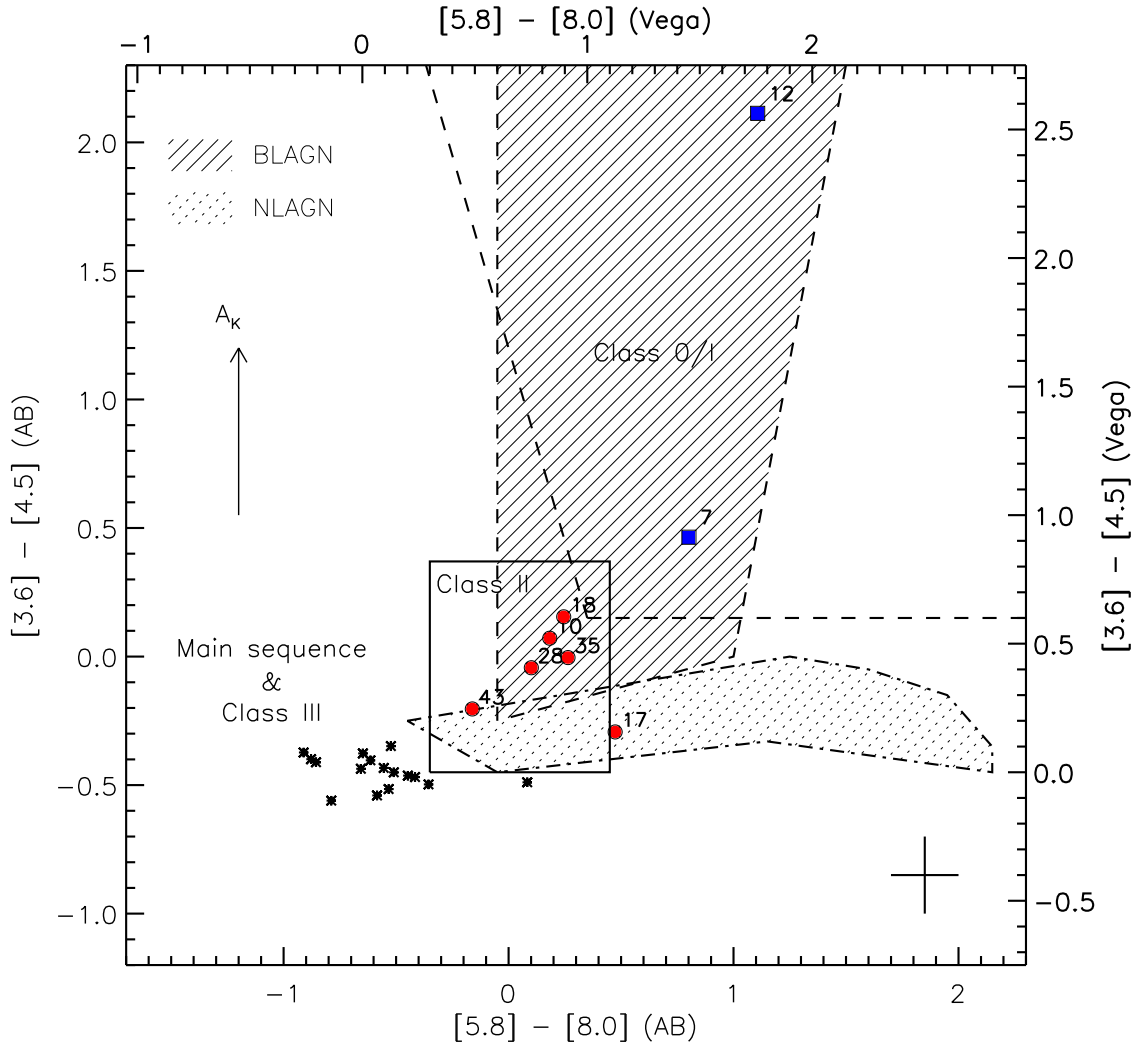


Figura 3.3: Diagramas color-color de IRAC para las fuentes de rayos X de NGC 2023 y sus alrededores. La región rayada se corresponde con la localización en el diagrama de los núcleos de galaxias activas. El símbolo de la cruz en la parte inferior derecha representa el error típico de las fuentes de la muestra. Los cuadrados azules representan los objetos de Clase I. El cuadrado dibujado con raya continua se corresponde con el lugar de los objetos de Clase II, representados por círculos rojos. Y los asteriscos son los objetos de la Clase III y estrellas de la secuencia principal. El vector de extinción es  $A_K = 5$  mag, se corresponde con la flecha vertical.

nuestro trabajo, Src 7).

### 3.3.2. Otros datos fotométricos

Para complementar nuestro estudio se realizó una correlación cruzada de la muestra con otros catálogos. En particular, se utilizó la segunda versión del catálogo fotométrico TASS (The Amateur Sky Survey) Mark IV (Droege et al., 2007, 2006) para la magnitud  $V$ , la base de datos de DENIS (Deep Near Infrared Survey of the Southern Sky, DENIS Consortium, 2005) para la magnitud  $I$ , la base de datos de 2MASS (Skrutskie et al., 2006) para el infrarrojo cercano, y la publicación preliminar de los datos de *WISE* (Cutri & et al., 2012) para el infrarrojo medio. La correlación cruzada se realizó a través de la herramienta específica de Java Aladin (Bonnarel et al., 2000). Se usó un radio de búsqueda de 5 segundos de arco para evitar la pérdida de coincidencias debido a las posibles incertidumbres posicionales de *XMM-Newton*. Finalmente se correlacionó nuestra muestra con la lista de estrellas de Mookerjea et al. (2009).

En las Tablas 3.5 y 3.6 se resumen los datos fotométricos para cada uno de nuestras fuentes. De las 50 fuentes detectadas en los rayos X en 13 no se encontró contrapartida en ninguno de los catálogos mencionados anteriormente. Se consideraron como detecciones espúreas de rayos X y, por lo tanto, se eliminaron de las tablas. Se mantuvo la Src. 23 porque está situado a 11 segundos de arco desde una fuente óptica, no se puede descartar esta fuente como una detección real. Las fuentes restantes tienen una contrapartida en DENIS y/o en 2MASS, a excepción de la fuente 7 (VLA3 en Mookerjea et al., 2009, véase la Sección 3.3.1) y la fuente Src 12, que sólo posee fotometría de *Spitzer*. En la Fig. 3.3 se puede ver el diagrama color-color de 2MASS para estas fuentes, donde la secuencia principal está representada por una línea continua. La región sombreada en la figura representa el lugar donde aparecen los núcleos de galaxias activas (AGN) y está determinada usando datos de Kouzuma & Yamaoka (2010). La posición de la mayoría de las estrellas en el diagrama de color-color indicó una alta extinción interestelar en esta región de formación. Al igual que en la Fig. 3.3, se identificaron los objetos de Clase II con su correspondiente ID de su fuente X.

Se estimó un valor para la extinción de ( $A_V$ ) para cada estrella del diagrama de color de color de 2MASS (Fig. 3.3). Los resultados se dan en la Tabla 3.5 y serán discutidos y comparados con los obtenidos del ajuste espectral (SED) en la Sección 3.3.4.

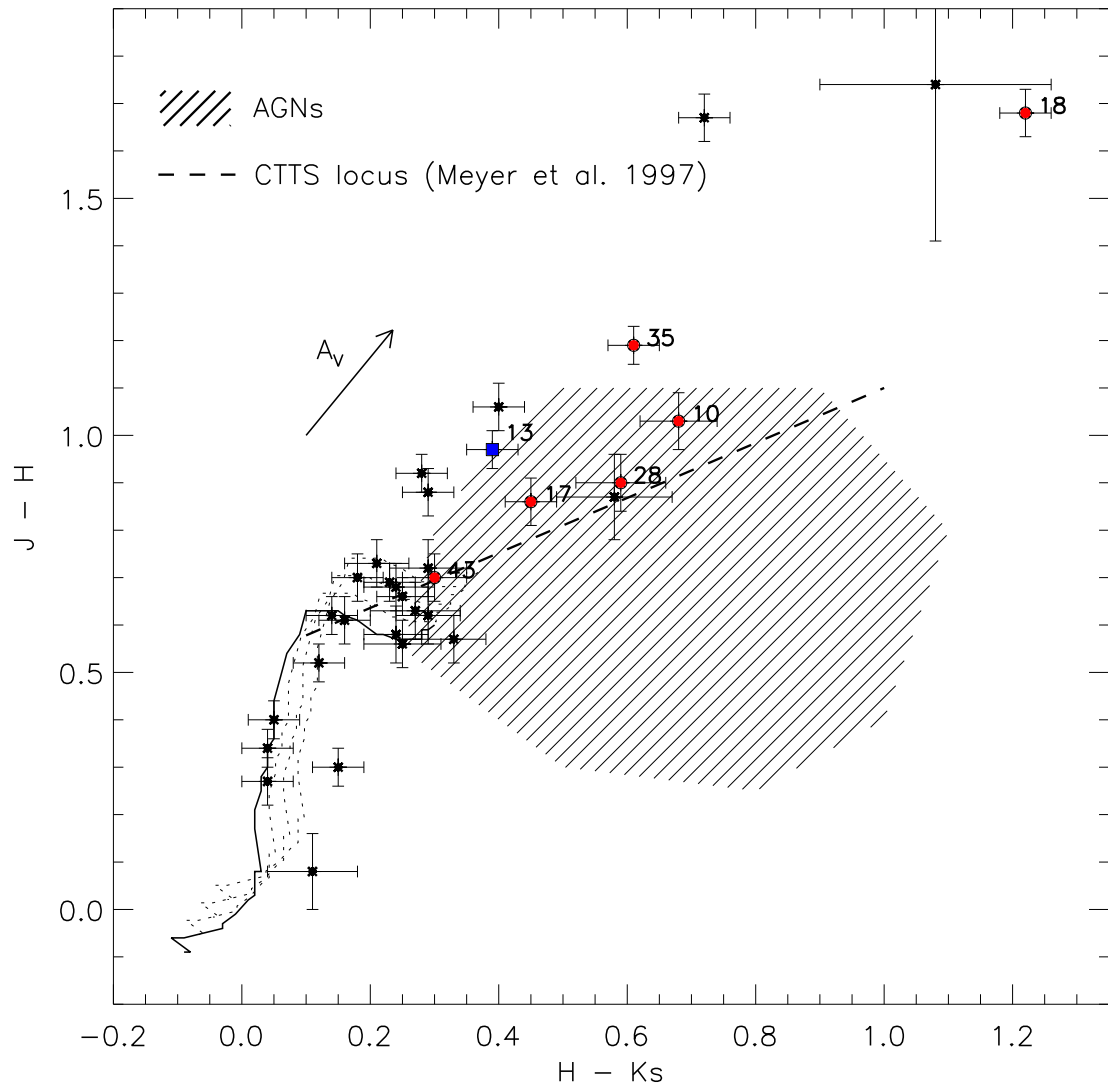


Figura 3.4: Diagrama color-color de 2MASS para las fuentes de NGC 2023 y sus alrededores. La secuencia principal de la secuencia principal está pintada como raya continua. El vector de extinción es  $A_V = 3$  mag. La línea punteada se corresponde con la secuencia principal con extinciones de  $A_V = 0,5, 1.0$  and  $1.5$  mag. Los símbolos se corresponden con los mismos que en la Fig. 3.3.

Barrado et al. (2011) mostró que el diagrama de color-color  $I - J$  vs  $J - [3.6]$  se puede utilizar para rechazar objetos extragalácticos a partir de muestras de rayos X, debido a que los núcleos de galaxias activos están bien separados de las estrellas. La Fig. 3.5 muestra este diagrama para nuestras 32 fuentes que poseen una contrapartida en DENIS. Se encontró que las fuentes Src. 10 y Src. 28 estaban situadas cerca de las fronteras de la región delimitada para las fuentes extragalácticas, pero fueron claramente identificadas con estrellas en las imágenes ópticas (de hecho Src. 10 es V615 Ori). Sólo Src. 18 y Src. 35 podrían ser cuásars absorbidos, debido a la dirección del vector de extinción (en las Tablas 3.5 y 3.6 se identifican como posibles AGN).

### 3.3.3. La edad de los miembros de NGC 2023

En la Sección 3.1 se mencionó que la edad de la región de NGC 2023 no está bien establecida. Son muy pocos los trabajos sobre este tema en la literatura (ver Meyer et al., 2008, para una revisión más profunda). Alcalá et al. (2000) dio un rango de edades para las estrellas pertenecientes al Complejo Molecular de Orión, pero no hay ningún estudio particular sobre cada región. La edad determinada para estas estrellas están en el rango de 0.5 a 7.0 Ma.

En la Fig. 3.6, se muestra el diagrama color-magnitud de 2MASS con las trazas evolutivas de Baraffe et al. (1998) y Siess et al. (2000) para masas estelares por encima de  $1.6 M_{\odot}$ . Se asumió una distancia media de 400 pc para la creación de las isócronas de 1.3 Ma a 7 Ma y para la ZAMS. También se dibujaron las trazas evolutivas de masas comprendidas entre 0.2 y  $1.4 M_{\odot}$ . Aunque hay una concentración de estrellas de baja masa alrededor del isócrono de 7 Ma, la densidad de isócronas en esa región del diagrama hace difícil asegurar que esta sea la edad del cúmulo. De hecho, las estrellas más masivas parecen seguir las isócronas más jóvenes, por lo tanto, sólo se puede afirmar que la edad de las estrellas de NGC 2023 está en el rango aproximado de 1 - 7 Ma.

### 3.3.4. Ajuste de la SED

Para investigar con más detalle la naturaleza de nuestras fuentes de rayos X, se realizó un ajuste de la SED utilizando los datos fotométricos que se compilaron para cada fuente y que se dan en las Tablas 3.5 y 3.6. Se usó la red modelos de transferencia

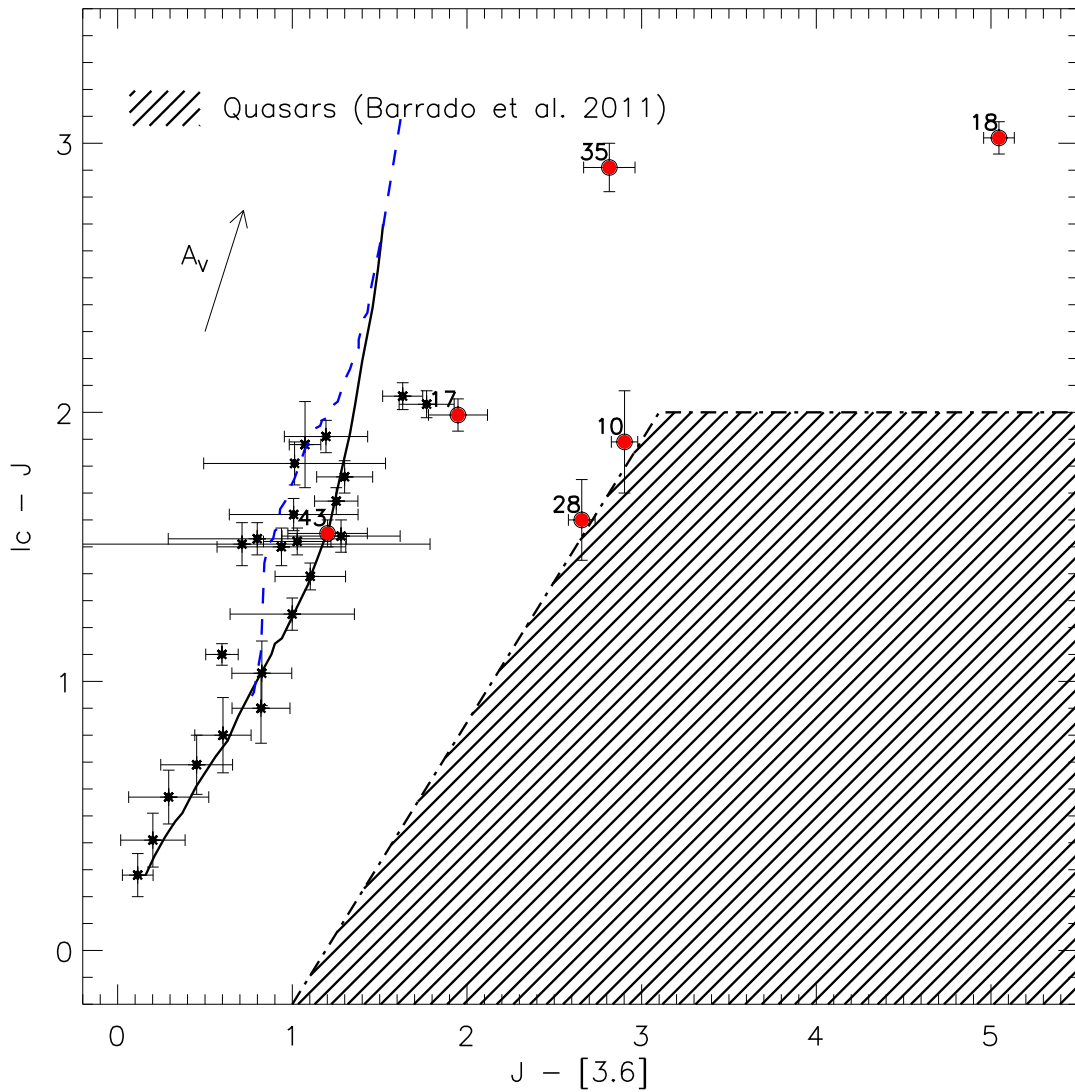


Figura 3.5: Diagrama color-color  $I - J$  vs.  $J - 3,6$  para las fuentes de NGC 2023. La línea continúa representa la secuencia principal de edad cero (ZAMS) y la línea a rayas la isócrona de 1 Ma (Baraffe et al., 1998). La región rayada se corresponde con el lugar que ocupan los cuásares (adapted from Barrado et al., 2011). Los símbolos son los mismos que en la Fig.3.3 y el vector de extinción es  $A_V = 1,5$  mag.

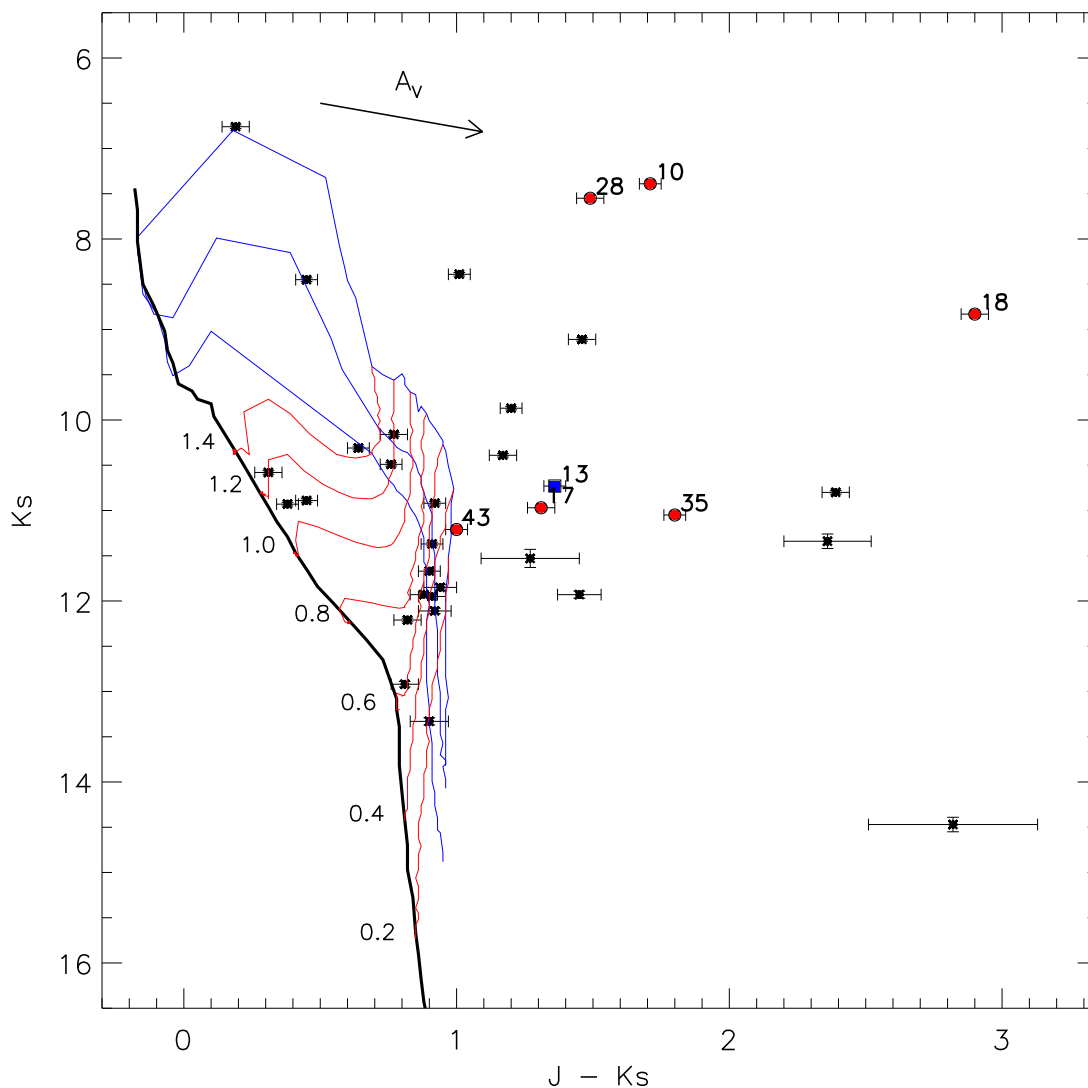


Figura 3.6: Diagrama color-magnitud  $K_s$  vs.  $J - K_s$  de las fuentes de rayos X de NGC 2023. Las líneas delgadas rojas y azules representan las trazas evolutivas para varias masas ( $d = 400$  pc) sacadas de Baraffe et al. (1998) y Siess et al. (2000) para isocronas de 1.3 Ma a 7 Ma. La línea gruesa negra representa las ZAMS. Los símbolos son los mismos que en la Fig. 3.3. El vector de extinción es  $A_V = 5$  mag.

radiativa para objetos estelares jóvenes de Robitaille et al. (2007). En los modelos, se introdujo un rango para la extinción pudiendo variar desde cero hasta el valor máximo dado por el diagrama color-color de 2MASS (Fig. 3.3). La extinción y la distancia son los únicos parámetros externos que restringimos al introducir datos en los modelos. El ajuste se realizó para las 32 fuentes de la muestra que poseyeron una contrapartida en DENIS. Incluir, al menos, una banda óptica permite mejorar la determinación del tipo espectral, ya que, por ejemplo, la zona azul del espectro de un objeto cTTS (Clase II) se ve puede ver afectado por la acreción, produciéndose un exceso en el azul y en el rango espectral ultravioleta. En las Fig. 3.11 y 3.13, se muestra el mejor ajuste para esas 32 fuentes. En algunos casos, hay más de un modelo que encaja muy bien con nuestros datos. Para esos casos, se sobrepintaron como líneas grises. Se asumieron como modelos válidos aquellos en los que  $(\chi^2 - \chi_{\text{mejor}}^2)/\chi_{\text{mejor}}^2 < 0.1$ . En la mayoría de los casos, no es posible descartar ninguno de los ajustes que encajó, y sería necesarios más datos el rango espectral submilimétrico (ver discusión en la Sección 3.5).

La clasificación en las distintas clases infrarrojas se puede ver en las Tablas 3.5 y 3.6 y se realizó de acuerdo a los resultados del ajuste de la SED, utilizando el parámetro  $\alpha$ , definida como la pendiente de la SED desde  $2.2 \mu\text{m}$  (el proceso de clasificación se describe en la Sección 1.2.1 de forma más detallada). Se utilizaron todos los puntos de la SED disponibles para este propósito, uniéndose los datos de *WISE* y de *Spitzer*. Un revisión más profunda sobre este método de clasificación se pueden encontrar en Stahler & Palla (2005). Se clasificaron como de objetos de Clase III las fuentes para las que un modelo estelar absorbido es suficiente para adaptarse a la SED observado ( $\alpha \leq -1.5$ ). Sólo la fuente Src. 14 parece mostrar un disco circumestelar muy delgado (ver Fig. 3.11). Sin embargo, los datos también se adaptan bien a una fotosfera estelar. Los objetos de la Clase II ( $-1.5 < \alpha \leq 0.0$ ) muestran un exceso evidente en las bandas de IRAC (ver Fig. 3.13). Para estas fuentes, cualquier intento de ajustar un modelo estelar sin disco no tuvo éxito. Las fuentes Src. 13 y Src. 17 muestran características tanto de objetos de Clase I y II. Su SED disminuye primero entre  $1.0$  y  $5.4 \mu\text{m}$ , pero luego aumenta de nuevo. Se clasificaron como objetos de Clase I/II. Por último, hay varias fuentes que tienen SEDs típicas de los objetos de la Clase III, pero con un exceso en longitudes de onda más larga que  $10 \mu\text{m}$ . Se han clasificado como objetos de la Clase II/III. La fuente Src. 42 está situada en el diagrama de color-color de IRAC (Fig. 3.3) en una posición que normalmente está ocupado por estrellas con discos de transición.

Nuestra clasificación en clases infrarrojas utilizando la SED coincidió muy bien con la que se hizo primero utilizando el diagrama de color-color de IRAC, a excepción de la fuente Src. 44, cuya SEDs muestra un exceso por encima de  $10 \mu\text{m}$  pero en el diagrama color-color se encuentra dentro de los límites de los objetos de la Clase III.

Por último, la herramienta de ajuste de SED de Robitaille et al. (2007) permite obtener una edad para cada objeto. Este valor se determina a través del ajuste de una isocrona, por lo que su resultado depende en gran medida del modelo elegido. Robitaille et al. (2007) usa los modelos evolutivos pre-secuencia principal de Siess et al. (2000) que difieren ligeramente de los modelos de Baraffe et al. (1998). La herramienta tiende a adaptarse a las isócronas de menor edad incluso cuando el modelo de fotosfera simple es el más adecuado para ajustar la SED. Por lo tanto, los resultados de la herramienta de ajuste se deben usar con precaución.

Las edad determinadas utilizando la herramienta de ajustes de Robitaille et al. (2007) están en el rango de 0.5 a 9 Ma, lo que, en principio, puede estar de acuerdo con los resultados discutidos en la Sección 3.3.3. Sin embargo, para las estrellas que mostraron excesos grandes en el infrarrojo, se obtienen unas edades que están en torno a 0.5-2 Ma.

### 3.3.5. Extinciones, masas estelares, temperaturas y luminosidades

En la Tabla 3.7 se resumieron los resultados principales del ajuste de la SED para las 32 fuentes con contrapartida óptica (ver Sección 3.3.4). Para las fuentes con más de un buen ajuste, solo se dieron los parámetros del mejor modelo ajustado. Para los objetos de Clase II, se dieron también la tasa de acreción y el estado evolutivo. Para describir el estado evolutivo de los objetos estelares jóvenes, Robitaille et al. (2007) define un parámetro basado en las propiedades físicas de las envolturas o discos, tales como la tasa de pérdida de masa y la tasa de acreción. Para clasificar los objetos entre, estrellas con envolturas estelares (objetos en estado I), estrellas con discos ópticamente opacas y envolturas delgados (objetos en la estado II), y estrellas con discos ópticamente transparente (objetos en la estado III). Se determinó este estado para todas fuentes y lo se incluyó en la Tabla 3.7. Se observa que esta clasificación coincide muy bien con lo dada por el diagrama color-color IRAC o la pendiente de la SED.

Se ha mencionado anteriormente que los parámetros que figuran en la Tabla 3.7 son los dados por los modelos. La extinción ( $A_V$ ) y la distancia son los parámetros obtenidos del modelo radiativo que se han restringido (ver Robitaille et al., 2007), mientras que, la masa y el radio estelar se determinan a partir de las trazas evolutivas (Robitaille, 2008). Por tanto, los parámetros que se obtuvieron puramente de los modelos son la temperatura y la luminosidad de la estrella.

Con respecto a los valores obtenidos para la extinción interestelar, los valores procedentes de la herramienta de ajuste de las SED son bastante similares a las determinado con el diagrama color-color de 2MASS si se tienen en cuenta las barras de error en el caso de las estrellas que muestran una menor extinción. Para las estrellas restantes, hay una tendencia en la cual la  $A_V$  determinada usando el diagrama color-color tiende a ser mayor que la dada por la herramienta del ajuste de la SED. La media entre los valores de  $A_V$  determinados con ambos métodos es 1.35 a 1.5 si se consideran sólo las estrellas con  $A_V \geq 1$ . Estas estrellas son mayoritariamente aquellas para las cuales la extinción determinada por ambos métodos no coincidía incluso teniendo en cuenta las barras de error.

### 3.4. Análisis espectral de rayos X

En la Sección 3.2, se mostró que la observación de rayos X de la Nebulosa NGC 2023 se vio afectada por períodos de alta actividad de fondo (ver Fig. 3.2). La variable actividad de fondo nos impidió llevar a cabo un estudio sobre la variabilidad de las fuentes detectadas. Por lo tanto, nuestro estudio se limitó al análisis espectral. El espectro de rayos X de las fuentes con más de 100 cuentas netas aproximadamente se comparó (usando procedimientos de ajuste) con los modelos de plasma caliente utilizando XSPEC (Arnaud 1996 y Arnaud 2004). El software carga los datos extraídos previamente utilizando las herramientas específicas de SAS (espectro de la fuente y del fondo, matriz de respuesta y el archivo auxiliar) y genera el modelo de plasma. Existen dos modelos de plasma caliente disponibles en XSPEC: *Mekal* (Kaastra, 1992; Liedahl et al., 1995; Mewe et al., 1985, 1986) y *apec* (Smith et al., 2001a). Para ser coherentes con trabajos anteriores del grupo de investigación (por ejemplo, López-Santiago et al., 2010; López-Santiago & Caballero, 2008), se optó por usar este último para el presente análisis. En dicho modelo se utilizan los datos atómicos contenidos en el Astrophysical

Plasma Emission Database (APED; Smith et al., 2001b).

Debido a las limitaciones de nuestra observación en términos de número de cuentas, debido a la cantidad de tiempo perdido por los períodos de alta actividad de fondo, se ha usado solamente modelos de 1 y 2 temperaturas ( $1T$  y  $2T$ ) para realizar los ajustes. Los resultados del ajuste espectral se dan en la Tabla 3.3 para aquellas fuentes con las cuentas necesarias (al menos 100). Para varias estrellas, el valor de la abundancia obtenida durante el ajuste fue inconsistente, en estos casos se fijó la abundancia a  $Z/Z_{\odot} = 0.2$ . Aunque algunos autores han utilizado otros valores en sus obras (por ejemplo, Robrade & Schmitt, 2007; Stelzer & Schmitt, 2004), en otras estrellas de esta región de formación estelar encontramos siempre un valor de  $Z/Z_{\odot}$  muy cerca a 0.2. Se usó la estadística  $\chi^2$  para obtener la bondad de nuestros ajustes. Los canales de energía se agruparon para contener por lo menos 15 cuentas en cada agrupación de energía.

### 3.5. Resultados

El ajuste espectral se realizó para las once fuentes de la muestra con al menos 100 cuentas (combinando PN, MOS1 y MOS2). Los resultados se muestran en la Tabla 3.3.

La posición en el diagrama color-color de la Fig. 3.5 de las once fuentes espectroscópicas estudiadas en este trabajo indicó que son realmente objetos estelares. De acuerdo con ese esquema, sólo las fuentes Src. 35 y Src. 18 podrían ser fuentes extragaláctica absorvidas. Los parámetros generales de rayos X que se obtuvieron para estas once estrellas son muy similares a los observados en estrellas de la misma clase en otras regiones de formación estelar (por ejemplo, Getman et al., 2005; Güdel et al., 2007). De éstas fuentes, tres fueron clasificados como Clases II por sus SED (ver Tablas 3.5 y 3.6.). Son las fuentes Src. 10 (V615 Ori), Src. 17 y Src. 28. Otros dos objetos tienen probablemente discos de transición (Src. 36 y Src. 41). El resto se clasificaron como objetos de Clase III o de la secuencia principal.

Tabla 3.3: Resultados del ajuste espectral en rayos X para los modelos de plasma caliente de las estrellas de NGC 2023.

| ID | $N_{\text{H}}$<br>( $\times 10^{22}$ cm $^{-2}$ ) | $kT_1$<br>(keV)        | $kT_2$<br>(keV)        | $EM_1/EM_2$ | Z<br>( $Z_{\odot}$ )   | $\chi^2$<br>(d.o.f) | $f_X^a$<br>( $\times 10^{-13}$ erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ ) | $\log L_X^b$<br>(erg s $^{-1}$ ) |
|----|---|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|---------------------|---|----------------------------------|
| 3  | $0.00^{+0.01}_{-0.00}$                            | $0.62^{+0.09}_{-0.11}$ | $1.26^{+0.21}_{-0.13}$ | 0.70        | $0.23^{+0.05}_{-0.05}$ | 1.29 (276)          | 3.95  | 29.2                             |
| 10 | $0.50^{+0.05}_{-0.04}$                            | $2.49^{+0.34}_{-0.52}$ | ...                    | ...         | $0.33^{+0.22}_{-0.16}$ | 1.29 (140)          | 12.20   | 31.3                             |
| 17 | $0.22^{+0.44}_{-0.08}$                            | $1.24^{+1.62}_{-0.53}$ | ...                    | ...         | = 0,2                  | 1.27 (54)           | 0.57  | 30.3                             |
| 20 | $0.07^{+0.05}_{-0.05}$                            | $0.78^{+0.16}_{-0.80}$ | $1.64^{+2.32}_{-2.32}$ | 2.59        | $0.13^{+0.13}_{-0.03}$ | 0.88 (78)           | 2.30  | 30.5                             |
| 22 | $0.05^{+0.06}_{-0.04}$                            | $0.34^{+0.07}_{-0.04}$ | $1.21^{+0.17}_{-0.20}$ | 1.29        | $0.18^{+0.10}_{-0.06}$ | 0.83 (120)          | 3.30  | 30.5                             |
| 27 | $0.41^{+0.33}_{-0.21}$                            | $18.3^{+60.0}_{-13.7}$ | ...                    | ...         | = 0,2                  | 0.51 (10)           | 1.38  | 30.0                             |
| 28 | $0.44^{+0.07}_{-0.05}$                            | $0.28^{+0.05}_{-0.04}$ | $1.24^{+0.04}_{-0.05}$ | 1.02        | $0.16^{+0.03}_{-0.03}$ | 1.10 (602)          | 33.41   | 31.9                             |
| 34 | $0.40^{+0.10}_{-0.08}$                            | $2.73^{+1.08}_{-0.58}$ | ...                    | ...         | = 0,2                  | 1.26 (59)           | 6.99  | 30.9                             |
| 36 | $0.24^{+0.16}_{-0.10}$                            | $2.14^{+1.76}_{-0.81}$ | ...                    | ...         | = 0,2                  | 0.72 (61)           | 2.17  | 30.4                             |
| 41 | $0.08^{+0.03}_{-0.02}$                            | $2.36^{+0.55}_{-0.61}$ | ...                    | ...         | $0.15^{+0.14}_{-0.10}$ | 1.18 (271)          | 11.53   | 30.6                             |
| 50 | $0.22^{+0.08}_{-0.08}$                            | $2.00^{+1.86}_{-0.62}$ | ...                    | ...         | = 0,2                  | 1.33 (65)           | 3.41  | 30.2                             |

(<sup>a</sup>) Flujo sin absorber en la banda de energía [0.3-8.0] keV. (<sup>b</sup>) Luminosidad en rayos X sin absorber en la banda de energía [0.3-8.0] keV. Se asumió una distancia a ONC de  $d = 450$  pc para todas las fuentes

Las temperaturas coronales que se obtuvieron en el análisis son consistentes con estrellas jóvenes T Tauri (ver Güdel et al., 2007). Sólo la fuente Src. 27 mostró una temperatura extremadamente alta, aunque esto puede ser debido a que es la fuente con el menor número de cuentas y pudo llevar a irregularidades durante el análisis. Los flujos en rayos X no absorbidos en la banda de energía [0.3-8.0] keV se determinaron para las once fuentes para las cuales se realizó un ajuste espectral y luego se transformo el flujo en luminosidades utilizando las distancias obtenidas durante el procedimiento de ajuste de la SED (Tabla 3.7). Se observó que para HD 37805 (Src. 3). La distancia dada por la herramienta de ajuste SED estaba ligeramente subestimado (*Hipparcos* da una distancia para HD 37805 es  $d = 82 \pm 7$  pc). Siendo esta, una de las pocas estrella para los que pudimos encontrar un valor para la distancia en la literatura. Al resultar probablemente una estrella de campo, la interpolación del resultado de su distancia a los objetos restantes no puede ser realizada. La distancia obtenida con este procedimiento para V615 Ori (Src. 10,  $d = 371$  pc) es consistente con algunos resultados encontrados en la literatura: hay indicios de que la Nebulosa Cabeza de Caballo se encuentra a pocos parsecs cerca de nosotros y que  $\sigma$  Orionis se encuentra aproximadamente a 385 pc. (ver Caballero & Solano, 2008, y las referencias en él). Por lo tanto, el uso de las distancias obtenidas a partir de la herramienta de ajuste de las SEDs parece ser una buena opción, sin duda mejor que usar la misma distancia de todas las fuentes.

Las luminosidades en rayos X observadas son indicativos de la escasa profundidad de esta observación. Las luminosidades de rayos X típicas de las estrellas jóvenes tipo M están en el rango de  $L_X \sim 10^{28.5} - 10^{30}$  erg s<sup>-1</sup> (por ejemplo Preibisch et al., 2005). En esta observación, el límite de completitud para el flujo es  $f_X \sim 5 \times 10^{-14}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> lo que corresponde a  $L_X \sim 10^{30}$  erg s<sup>-1</sup> para una distancia de 400 pc. Stelzer et al. (2012) señalaron que hay una tendencia a que el nivel de emisión en rayos X dependa de la masa a lo largo de los diversas etapas evolutivas de los objetos estelares jóvenes. Comparando las luminosidades de los objetos de la Clase II y Clase III en nuestra muestra, no se encontraron tales diferencias, pero nuestra muestra es demasiado pequeña para lograr resultados sólidos.

## 3.6. Comparación

Uno de los objetivos del análisis en rayos X es comparar nuestra muestra con las de otras regiones de formación estelar. Para ello se generó la función de distribución acumulada de luminosidad en rayos X de la muestra, así como, la de la región de Orion (ONC) y el Complejo Molecular de Tauro (ver Fig. 3.7). Se tomaron los datos de esas regiones de [Getman et al. \(2005\)](#) y [Güdel et al. \(2007\)](#), respectivamente. Para cada región de formación estelar, se utilizó toda la muestra sin distinción entre las clases espectrales infrarrojas. En el caso de NGC 2023, se descartó HD 37805 (Src. 3), que es probablemente una estrella de campo, y las estrellas para los que no se ha podido ajustar un modelo de SED (Src. 7, Src. 12, Src. 16 y Src. 24). En el caso de los objetos sin cuentas suficientes para realizar un análisis espectral con XSPEC, se usó el siguiente procedimiento para determinar los flujos a partir del número de cuentas registrada. Se utilizó la submuestra de once estrellas de la Tabla 3.3 para las que se hizo el ajuste espectral en rayos X y se determinó un factor de conversión (CF, Conversion Factor, en inglés) entre el número de cuentas registradas y el flujo absorbido, para cada estrella y cada detector EPIC (PN, MOS1 y MOS2) de forma independiente. A continuación, se realizó una regresión lineal para cada uno de los tres conjuntos de datos. Las relaciones obtenidas fueron:

$$f_X[MOS1] = (0,5 \pm 0,3) + (0,056 \pm 0,005) \cdot CR \quad (3.1)$$

$$f_X[MOS2] = (0,2 \pm 0,4) + (0,057 \pm 0,005) \cdot CR \quad (3.2)$$

$$f_X[PN] = (1,5 \pm 0,2) + (0,003 \pm 0,005) \cdot CR \quad (3.3)$$

Los flujos determinados con las tres relaciones son compatibles. La Tabla 3.4 da los valores de los flujos determinados para nuestra muestra usando estas relaciones con el número de cuentas, se incluyó en esa Tabla las once estrellas de la Tabla 3.3, para completarla. Para estas fuentes, los valores de los flujos son aquellos determinados a partir del ajuste espectral X y su flujo transformado a luminosidades utilizando las distancias obtenidas a partir de su ajuste de la SED (Tabla 3.3.4).

Para realizar la comparación de la función de luminosidad de rayos X de las diferentes regiones de formación estelar se utilizó solo el rango de completitud de la

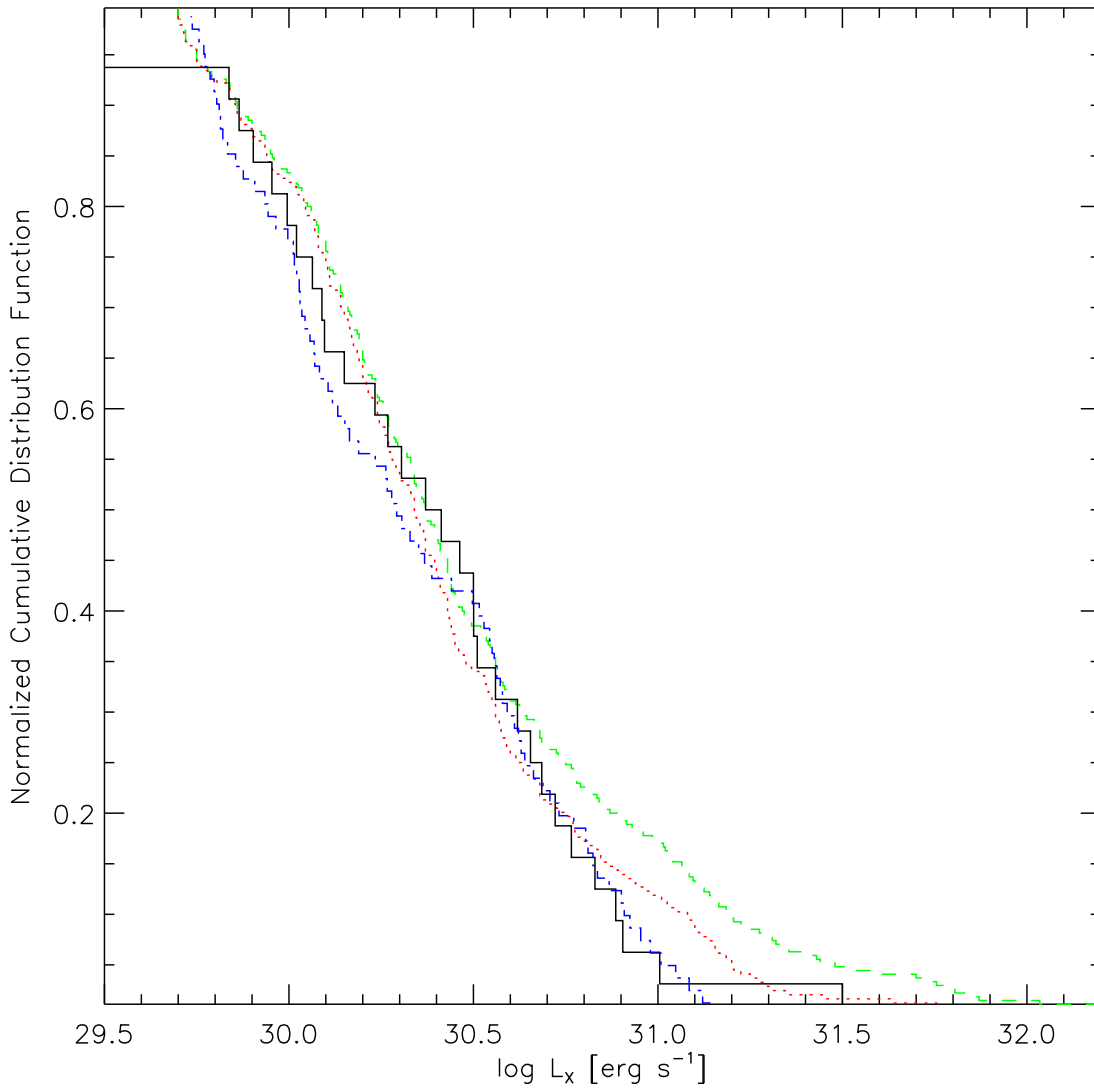


Figura 3.7: Función de distribución acumulada de de  $\log L_X$  para NGC 2023 (línea continua negra), Taurus (línea punto-rayada azul) y para ONC (línea discontinua verde). ONC se representa dos veces, una para toda la muestra (línea discontinua verde) y otra para las estrellas con masas menores de  $3 M_\odot$  (línea de puntos rojos).

observación de *XMM-Newton* de NGC 2023 ( $\log L_X[\text{ergs}^{-1}] \geq 29.8$ ). Los miembros que no pertenecen a ONC identificados por Getman et al. (2005) fueron descartados para esta comparación. Según la Fig. 3.7, parece ser que NGC 2023 es más similar al Complejo Molecular de Tauro; sin embargo, en ambos casos, hay una falta de estrellas más brillantes que  $L_X \sim 10^{31} \text{ erg s}^{-1}$ , mientras que ONC tiene estrellas con luminosidades de rayos X hasta  $10^{31.5-32.0} \text{ erg s}^{-1}$ . Este resultado puede explicarse de acuerdo con las diferentes poblaciones estelares de cada región: mientras que ONC tiene estrellas masivas, éstas no están presentes en Tauro ni en NGC 2023. Para tratar de confirmar esta hipótesis se construyó una nueva muestra de COUP con aquellas estrellas menos masivas de  $3 M_\odot$  (más similares al rango de masas en NGC 2023). La Fig. 3.7, presenta la nueva muestra como una línea de puntos rojos. La figura sugiere que la muestra restringida al mismo rango de masas de COUP es más similar a NGC 2023 que la muestra sin restricción de masa. Se observa que las edades de las muestras de Taurus y ONC no son iguales y no se pudo determinar con firmeza la edad de NGC 2023 únicamente en este diagrama.

En la Fig. 3.7, se muestran relación de luminosidades ( $L_X/L_{bol}$ ) frente a la masa para la muestra de fuentes de NGC 2023 junto con los datos de COUP (Getman et al., 2005). Para NGC 2023, se utilizaron las masas y las luminosidades bolométricas dadas en la Tabla 3.7 y las luminosidades de rayos X determinadas en la Tabla 3.4. Todas las estrellas de NGC 2023 poco masivas ( $M < 1M_\odot$ ) se encontraron dentro de los límites de las estrellas de COUP. Sólo las estrellas más masivas en nuestra muestra (según se determina mediante la herramienta de ajuste de SED de Robitaille et al., 2007) tienen valores muy bajos de  $\log L_X/L_{bol}$  (fuera de los límites de la Fig. 3.8, ver Tabla 3.7). Hay tres tipos de fuentes con valores muy bajos de  $\log L_X/L_{bol}$  en nuestra muestra: (1) objetos que muestran gran exceso de infrarrojo, para las cuales la herramienta de ajuste de SED dió luminosidades bolométricas muy altas, (2) estrellas de la secuencia principal o estrellas pre-secuencia principal de masa intermedia (tipos espectrales A y F), y (3) La Src. 18, que puede ser un AGN en vez de una estrella (ver Sección 3.3.2 y la Fig. 3.5). En el procedimiento de ajuste espectral de la SED se obtuvieron las luminosidades bolométricas y las temperaturas directamente y luego se determinaron las masas utilizando las trazas evolutivas (ver Robitaille, 2008). Para las estrellas con grandes excesos en el infrarrojos, obtener un valor robusto de su luminosidad puede ser difícil ya que depende de la precisión con que se determinan las características del disco

(y de las envolturas en algunos casos). Por lo tanto, para esas estrellas de la muestra, el valor  $L_{\text{bol}}$  puede estar sobreestimado.

Para las dos estrellas clasificadas como objetos de Clase III (es decir, estrellas sin un disco de acreción) su temperatura puede haber sido también sobrestimada. Sin embargo, la estrella HD 37805 (Src. 3) que es una de aquellas dos estrellas pre-secuencia principal o estrellas de la secuencia principal con un valor muy bajo de la relación  $\log L_X/L_{\text{bol}}$ , es una estrella bien conocida (por ejemplo Mookerjea et al., 2009), y ya se detectó en rayos X con ASCA (Yamauchi et al., 2000). Por lo tanto, la presencia de una compañera de baja masa que sea responsable de la emisión de rayos X no se puede descartar en estas tres estrellas de masa intermedia de nuestra muestra. La otra fuente de Clase III con baja  $\log L_X/L_{\text{bol}}$  es la fuente Src. 33 (MIR 83).

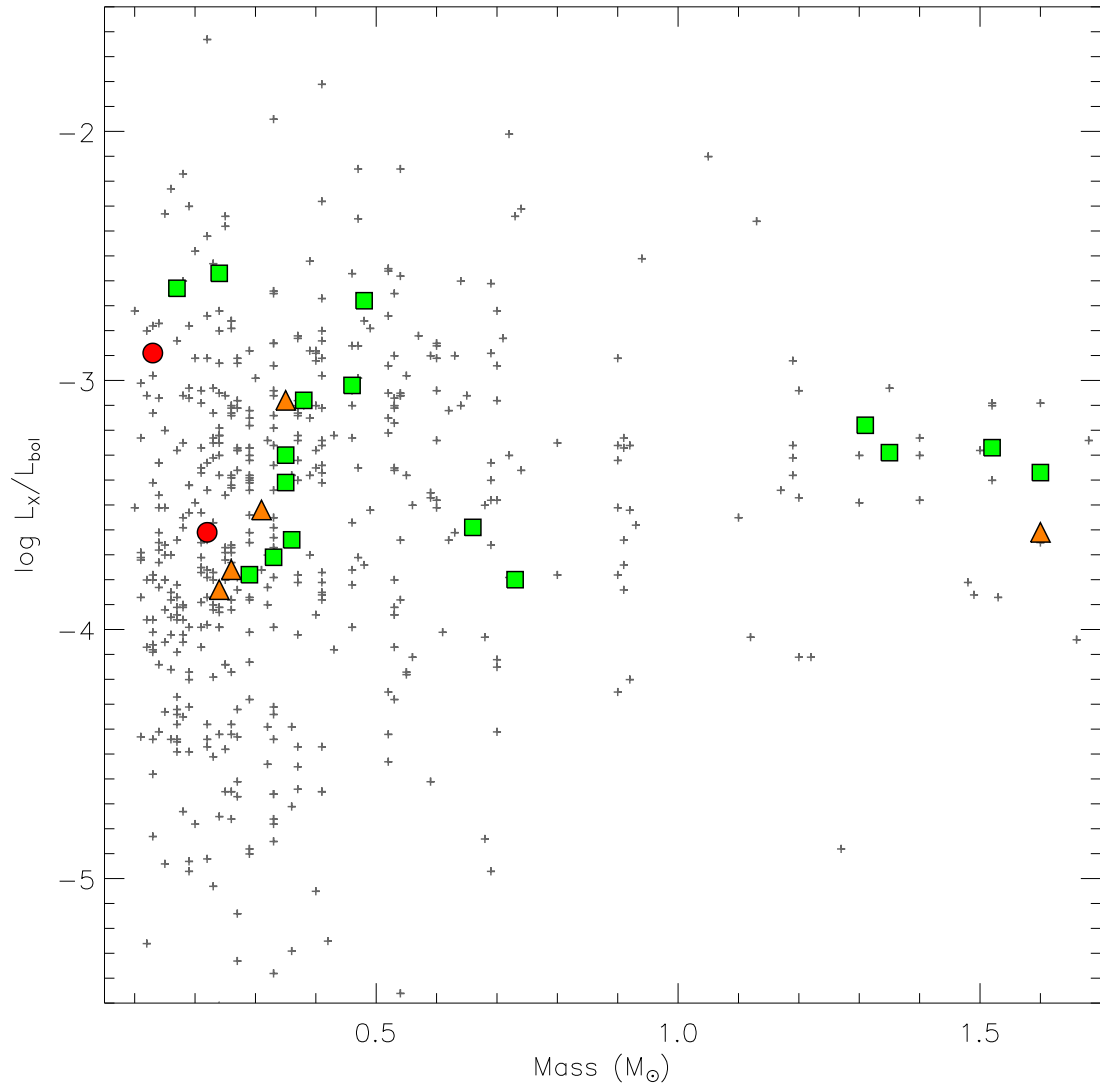


Figura 3.8:  $\log L_X/L_{\text{bol}}$  en función de la masa estelar para las estrellas de COUP (cruces) y la muestra de estrellas de NGC 2023. Los cuadrados representan los objetos clasificados como Clase III, los triángulos como objetos de Clase II/II y los círculos como objetos de Clase II

### **3.7. Tablas y Figuras**

Tabla 3.4: Parámetros de rayos X para las fuentes de NGC 2023 obtenidos por SAS mediante la tarea *edetect\_chain*.

| Src | $\alpha$<br>(deg) | $\delta$<br>(deg) | rate [pn]<br>(ks <sup>-1</sup> ) | rate [mos]<br>(ks <sup>-1</sup> ) | rate [mos <sup>2</sup> ]<br>(ks <sup>-1</sup> ) | Flujo Obs. <sup>a</sup><br>(10 <sup>-13</sup> erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) | HR1   | HR2   | Notas <sup>b</sup>  |
|-----|-------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|--|-------|-------|---------------------|
| 1   | 05 40 54.2        | -02 19 04.8       | ...                              | 8 ± 1                             | 10 ± 2  | 0.79 ± 0.44  | -0.55 | -0.49 |                     |
| 3   | 05 41 02.6        | -02 18 18.0       | 310 ± 8                          | 67 ± 5                            | 87 ± 4  | 3.95 ± 0.10  | -0.72 | -0.80 | [YKK2000] A5        |
| 4   | 05 41 03.8        | -02 21 39.6       | 12 ± 2                           | ...                               | 6 ± 1   | 0.97 ± 0.42  | -0.56 | -0.31 |                     |
| 5   | 05 41 06.7        | -02 23 52.8       | 13 ± 2                           | 5 ± 1                             | 4 ± 1   | 0.98 ± 0.42  | -0.71 | -1.00 |                     |
| 6   | 05 41 11.5        | -02 27 25.2       | ...                              | 2 ± 1                             | 1 ± 1   | 0.22 ± 0.44  | ...   | ...   |                     |
| 7   | 05 41 21.6        | -02 11 09.6       | 8 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.93 ± 0.41  | -0.53 | -0.15 | [YKK2000] A6        |
| 10  | 05 41 24.7        | -02 22 37.2       | 203 ± 6                          | 79 ± 4                            | 77 ± 3  | 5.84 ± 1.28  | 0.24  | -0.49 | [YKK2000] A7        |
| 12  | 05 41 25.7        | -02 23 06.0       | 3 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.87 ± 0.41  | -0.45 | -0.34 |                     |
| 13  | 05 41 28.3        | -02 13 58.8       | 4 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.88 ± 0.41  | -0.70 | -1.00 |                     |
| 14  | 05 41 28.3        | -02 19 44.4       | 3 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.87 ± 0.41  | -0.78 | -1.00 |                     |
| 15  | 05 41 31.9        | -02 10 19.2       | 5 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.89 ± 0.41  | -0.73 | -1.00 |                     |
| 16  | 05 41 32.6        | -02 13 19.2       | 3 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.87 ± 0.41  | -1.00 | -0.08 |                     |
| 17  | 05 41 34.8        | -02 17 24.0       | 17 ± 2                           | 11 ± 1                            | 9 ± 1   | 1.03 ± 0.15  | -0.20 | -0.89 |                     |
| 18  | 05 41 36.5        | -02 16 48.0       | ...                              | 1 ± 1                             | 1 ± 1   | 0.22 ± 0.44  | -0.63 | -0.42 |                     |
| 20  | 05 41 43.0        | -02 10 26.4       | 100 ± 4                          | 26 ± 2                            | 27 ± 2  | 1.81 ± 0.22  | -0.50 | -0.70 | [YKK2000] A9        |
| 21  | 05 41 43.2        | -02 17 38.4       | 2 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.86 ± 0.41  | -0.95 | -1.00 |                     |
| 22  | 05 41 43.2        | -02 03 54.0       | 161 ± 7                          | 51 ± 4                            | 48 ± 4  | 2.34 ± 2.30  | -0.72 | -0.91 | [YKK2000] A10       |
| 23  | 05 41 43.7        | -02 10 22.8       | ...                              | 4 ± 1                             | ...   | 0.72 ± 0.39  | -0.79 | -1.00 | Fuente óptica a 11" |
| 24  | 05 41 44.2        | -02 16 08.4       | 3 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.87 ± 0.41  | -0.95 | -0.03 |                     |
| 27  | 05 41 45.6        | -02 24 18.0       | 14 ± 2                           | 6 ± 1                             | 5 ± 1   | 1.29 ± 0.38  | 0.57  | -0.34 |                     |
| 28  | 05 41 47.0        | -02 16 37.2       | 477 ± 7                          | 166 ± 4                           | 159 ± 4   | 8.32 ± 0.87  | -0.18 | -0.68 | [YKK2000] A11       |
| 31  | 05 41 48.2        | -02 10 40.8       | 7 ± 1                            | 2 ± 1                             | ...   | 0.92 ± 0.41  | -0.79 | -0.66 |                     |
| 33  | 05 41 51.1        | -02 29 52.8       | ...                              | 15 ± 2                            | 10 ± 2  | 0.73 ± 0.44  | -0.01 | -0.70 |                     |
| 34  | 05 41 52.6        | -02 03 50.4       | 131 ± 6                          | 50 ± 4                            | 35 ± 4  | 4.10 ± 1.01  | 0.30  | -0.61 | [YKK2000] A12       |
| 35  | 05 41 55.7        | -02 23 42.0       | 14 ± 2                           | 3 ± 1                             | ...   | 1.26 ± 0.47  | 0.16  | -0.77 |                     |
| 36  | 05 42 09.1        | -02 08 20.4       | 62 ± 6                           | 16 ± 2                            | 20 ± 2  | 1.48 ± 0.99  | -0.05 | -0.55 |                     |
| 38  | 05 42 10.1        | -02 10 22.8       | 7 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.92 ± 0.41  | -0.91 | -1.00 |                     |
| 41  | 05 42 12.5        | -02 05 09.6       | 517 ± 13                         | ...                               | 145 ± 7   | 9.90 ± 0.93  | -0.36 | -0.53 |                     |
| 42  | 05 42 16.1        | -02 06 46.8       | 72 ± 5                           | 27 ± 3                            | 18 ± 2  | 1.57 ± 0.74  | -0.71 | -0.61 | [YKK2000] A13       |
| 43  | 05 42 16.8        | -02 06 39.6       | 12 ± 3                           | 6 ± 2                             | ...   | 0.97 ± 0.42  | -0.89 | -0.43 | [YKK2000] A13       |
| 44  | 05 42 18.5        | -02 19 44.4       | 4 ± 1                            | ...                               | ...   | 0.88 ± 0.41  | -0.95 | -0.58 |                     |
| 45  | 05 42 19.7        | -02 15 32.4       | ...                              | 1 ± 1                             | 3 ± 1   | 0.34 ± 0.44  | ...   | ...   |                     |
| 46  | 05 42 20.2        | -02 11 27.6       | 9 ± 2                            | 3 ± 1                             | ...   | 0.94 ± 0.41  | -0.46 | -1.00 |                     |
| 47  | 05 42 21.1        | -02 15 18.0       | 96 ± 4                           | 34 ± 3                            | 34 ± 2  | 1.77 ± 0.91  | -0.06 | -0.68 | [YKK2000] A14?      |
| 48  | 05 42 21.4        | -02 07 44.4       | 50 ± 4                           | 20 ± 3                            | 19 ± 2  | 1.36 ± 0.59  | -0.38 | -0.92 |                     |
| 49  | 05 42 33.8        | -02 09 46.8       | 9 ± 2                            | ...                               | ...   | 0.94 ± 0.41  | ...   | ...   |                     |
| 50  | 05 42 36.7        | -02 20 38.4       | 96 ± 4                           | 25 ± 3                            | 35 ± 3  | 1.78 ± 1.58  | -0.08 | -0.60 |                     |

(a) Flujo obtenido mediante la conversión cuentas-flujo tal y como se explica en la Sección ??; (b) Como en la Tabla 3.5 y 3.6, se han eliminado las fuentes consideradas espúreas. [YKK2000] hace referencia a Yamauchi et al. (2000).

Tabla 3.5: Magnitudes ópticas e infrarrojas para las fuentes detectadas en la observación de XMM-Newton

| Src | Nombre          | V<br>(mag)   | I<br>(mag)   | J<br>(mag)   | H<br>(mag)   | K <sub>s</sub><br>(mag) | Av<br>(mag) | Clase <sup>†</sup> y<br>otras notas |
|-----|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------------------------------|
| 1   |                 | ...          | 14.06 ± 0.03 | 12.81 ± 0.03 | 12.11 ± 0.02 | 11.93 ± 0.02            | 1.0 ± 0.5   | III                                 |
| 3   | HD 37805/MIR 31 | 7.53 ± 0.05  | 7.23 ± 0.05  | 6.95 ± 0.03  | 6.87 ± 0.05  | 6.76 ± 0.02             | 0.0 ± 0.5   | III                                 |
| 4   |                 | ...          | 14.48 ± 0.03 | 12.86 ± 0.03 | 12.24 ± 0.03 | 11.95 ± 0.02            | 0.7 ± 0.7   | III                                 |
| 5   |                 | ...          | 14.56 ± 0.03 | 13.03 ± 0.03 | 12.45 ± 0.03 | 12.21 ± 0.02            | 0.0 ± 0.5   | III                                 |
| 6   |                 | ...          | 17.31 ± 0.11 | 13.70 ± 0.08 | ...          | 11.34 ± 0.08            | ...         | III                                 |
| 7   | VLA 3/MIR 46    | ...          | ...          | ...          | ...          | ...                     | ...         | I                                   |
| 10  | V615 Ori/MIR 52 | 13.11 ± 0.24 | 10.99 ± 0.17 | 9.10 ± 0.02  | 8.07 ± 0.04  | 7.39 ± 0.02             | 12.2 ± 3.5  | II                                  |
| 12  |                 | ...          | ...          | ...          | ...          | ...                     | ...         | -                                   |
| 13  |                 | ...          | 14.21 ± 0.03 | 12.09 ± 0.02 | 11.12 ± 0.02 | 10.73 ± 0.02            | 6.6 ± 1.5   | I/II                                |
| 14  | MIR 55          | 12.83 ± 0.25 | 12.03 ± 0.09 | 11.34 ± 0.02 | 10.94 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02            | 0.0 ± 0.6   | III                                 |
| 15  |                 | ...          | 15.74 ± 0.05 | 14.23 ± 0.03 | 13.60 ± 0.03 | 13.33 ± 0.04            | 0.7 ± 0.5   | III                                 |
| 16  | NIR 17          | ...          | ...          | 17.29 ± 0.23 | 15.55 ± 0.10 | 14.47 ± 0.08            | 23.8 ± 6.0  | III?                                |
| 17  | MIR 60          | ...          | 14.27 ± 0.03 | 12.28 ± 0.03 | 11.42 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02            | 1.0 ± 0.5   | I/II                                |
| 18  | MIR 62          | ...          | 14.75 ± 0.03 | 11.73 ± 0.03 | 10.05 ± 0.02 | 8.83 ± 0.02             | 8.5 ± 1.5   | II (AGN?)                           |
| 20  | MIR 71          | 13.58 ± 0.39 | 12.28 ± 0.10 | 11.25 ± 0.02 | 10.63 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02            | 0.0 ± 0.5   | III                                 |
| 21  | WB 57/NIR 24    | ...          | 14.57 ± 0.03 | 13.03 ± 0.03 | 12.35 ± 0.02 | 12.11 ± 0.03            | 1.0 ± 0.3   | III                                 |
| 22  |                 | 13.13 ± 0.24 | 11.83 ± 0.10 | 10.93 ± 0.03 | 10.32 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02            | 0.0 ± 0.8   | III                                 |
| 23  |                 | ...          | ...          | ...          | ...          | ...                     | ...         | opt. source at 11arcsec             |
| 24  | W 218/NIR 25    | ...          | ...          | 13.38 ± 0.04 | 12.51 ± 0.05 | 11.93 ± 0.04            | ...         | not reliable <sup>†</sup>           |
| 27  | MIR 76          | ...          | 16.90 ± 0.11 | 13.19 ± 0.03 | 11.52 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02            | 14.8 ± 1.5  | III                                 |
| 28  | MIR 80          | 12.39 ± 0.20 | 10.64 ± 0.13 | 9.04 ± 0.02  | 8.14 ± 0.04  | 7.55 ± 0.03             | 1.0 ± 1.0   | II                                  |
| 31  | MIR 81          | 11.93 ± 0.14 | 11.30 ± 0.07 | 10.89 ± 0.03 | 10.62 ± 0.02 | 10.58 ± 0.02            | 0.5 ± 0.5   | II/III                              |
| 33  | MIR 83          | ...          | 10.00 ± 0.22 | 8.90 ± 0.02  | 8.60 ± 0.02  | 8.45 ± 0.02             | 2.9 ± 0.5   | III                                 |
| 34  | V621 Ori        | ...          | 12.63 ± 0.02 | 10.57 ± 0.03 | 9.51 ± 0.02  | 9.11 ± 0.02             | 7.5 ± 0.7   | III                                 |
| 35  | MIR 86          | ...          | 15.76 ± 0.07 | 12.85 ± 0.02 | 11.66 ± 0.02 | 11.05 ± 0.02            | 5.8 ± 0.5   | II (AGN?)                           |
| 36  |                 | ...          | 12.74 ± 0.03 | 11.07 ± 0.02 | 10.15 ± 0.02 | 9.87 ± 0.02             | 1.7 ± 0.5   | II/III                              |
| 38  |                 | 12.60 ± 0.20 | 11.88 ± 0.08 | 11.31 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02            | 0.0 ± 1.5   | III                                 |
| 41  |                 | ...          | 13.36 ± 0.03 | 11.84 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02            | 1.0 ± 0.5   | II/III                              |
| 42  | V622 Ori        | 12.96 ± 0.23 | 11.75 ± 0.12 | 10.95 ± 0.02 | 10.43 ± 0.02 | 10.31 ± 0.02            | 1.5 ± 2.0   | III                                 |
| 43  |                 | ...          | 13.76 ± 0.03 | 12.21 ± 0.02 | 11.51 ± 0.03 | 11.21 ± 0.02            | 0.0 ± 1.5   | II/III                              |
| 44  |                 | ...          | 14.29 ± 0.04 | 12.79 ± 0.03 | 12.06 ± 0.02 | 11.85 ± 0.03            | 1.5 ± 0.7   | II/III                              |
| 45  | V623 Ori        | ...          | 14.10 ± 0.04 | 12.80 ± 0.08 | ...          | 11.53 ± 0.10            | ...         | II/III                              |
| 46  |                 | ...          | 15.54 ± 0.06 | 13.73 ± 0.02 | 13.17 ± 0.03 | 12.92 ± 0.03            | 0.5 ± 0.6   | II                                  |
| 47  |                 | 13.03 ± 0.18 | 11.28 ± 0.14 | 9.40 ± 0.02  | 8.68 ± 0.04  | 8.39 ± 0.02             | 0.5 ± 0.5   | III                                 |
| 48  |                 | ...          | 13.67 ± 0.03 | 12.28 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02            | 1.0 ± 0.6   | III                                 |
| 49  |                 | ...          | 14.48 ± 0.04 | 12.57 ± 0.02 | 12.00 ± 0.03 | 11.67 ± 0.02            | 0.0 ± 0.7   | III                                 |
| 50  |                 | ...          | 13.32 ± 0.03 | 11.56 ± 0.03 | 10.68 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02            | 4.5 ± 1.0   | III                                 |

<sup>†</sup> Objetos de clase infrarroja obtenidos del análisis de la SED y se su posición en el diagrama color-color de Spitzer y notas particulares de cada fuente. Se han eliminado las fuentes espúreas (2, 8, 9, 11, 19, 25, 26, 29, 30, 32, 37, 39, 40). <sup>‡</sup> La fotometría de la fuente Src. 24 no es fiable debido a la confusión entre varias fuentes de la región.

Tabla 3.6: Fotometría infrarroja para las fuentes detectadas en la observación de *XMM-Newton*. *W* hace referencia a los datos obtenidos de *WISE*, *S* para los de *Spitzer*.

| Src.        | $F_{3.4}^W$ (mJy) | $F_{3.6}^S$ (mJy) | $F_{3.5}^S$ (mJy) | $F_{4.6}^W$ (mJy) | $F_{5.4}^S$ (mJy) | $F_{8.0}^S$ (mJy) | $F_{12}^W$ (mJy) | $F_{22}^W$ (mJy) | $F_{24}^S$ (mJy) | Clase <sup>†</sup> /Notas |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 1           | 5.9 ± 0.4         | 5.3 ± 0.3         | 3.5 ± 0.3         | 3.5 ± 0.3         | 1.6 ± 0.6         | 1.0 ± 0.1         | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 3           | ...               | 518.2 ± 5.2       | 336.5 ± 3.5       | ...               | 219.7 ± 2.5       | 149.8 ± 2.0       | ...              | ...              | 55.4 ± 0.2       | III                       |
| 4           | 5.5 ± 0.4         | 5.1 ± 0.3         | 4.6 ± 0.3         | 3.8 ± 0.3         | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 5           | ...               | 3.6 ± 0.3         | 3.1 ± 0.3         | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 6           | ...               | ...               | 8.2 ± 0.3         | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 7           | ...               | ...               | 4.6 ± 0.3         | ...               | 6.5 ± 0.5         | 13.6 ± 0.6        | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 10          | 998.9 ± 36.3      | 931.9 ± 9.0       | 995.2 ± 9.6       | 1468.9 ± 48.3     | 1020.1 ± 9.9      | 1207.5 ± 11.7     | 1215.3 ± 32.9    | 1396.89 ± 55.5   | 23.4 ± 0.2       | I                         |
| 12          | ...               | 0.1 ± 0.2         | 0.7 ± 0.3         | ...               | 2.2 ± 0.7         | 6.1 ± 1.0         | ...              | ...              | 1067.0 ± 0.5     | II                        |
| 13          | 23.6 ± 1.3        | 20.9 ± 0.5        | 11.8 ± 0.4        | 16.1 ± 1.2        | 27.3 ± 1.0        | ...               | ...              | ...              | ...              | I/II                      |
| 14          | 14.0 ± 0.4        | 12.4 ± 0.4        | 7.4 ± 0.3         | 7.5 ± 0.2         | 9.3 ± 0.6         | 4.5 ± 0.4         | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 15          | 1.5 ± 0.1         | 1.1 ± 0.2         | 1.3 ± 0.2         | 1.0 ± 0.1         | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | III?                      |
| 16          | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | III?                      |
| 17          | 21.1 ± 0.8        | 20.7 ± 0.5        | 15.8 ± 0.5        | 19.59 ± 0.7       | 40.4 ± 2.1        | 62.5 ± 2.4        | 156.1 ± 18.4     | 559.7 ± 79.3     | ...              | I/II                      |
| 18          | 508.1 ± 21.9      | 595.6 ± 6.0       | 686.7 ± 6.8       | 700.5 ± 20.8      | 764.1 ± 10.0      | 957.6 ± 21.8      | ...              | 2560.7 ± 162.5   | 1063.0 ± 1.0     | II (AGN?)                 |
| 20          | ...               | 19.0 ± 0.5        | 12.4 ± 0.4        | ...               | 7.4 ± 0.6         | 4.9 ± 0.6         | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 21          | ...               | 5.6 ± 0.3         | 3.0 ± 0.3         | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 22          | 28.7 ± 0.7        | 25.4 ± 0.6        | ...               | 16.24 ± 0.4       | 11.6 ± 0.6        | ...               | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 23          | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | opt. source at 11"        |
| 24          | ...               | 295.4 ± 3.2       | 501.3 ± 5.1       | ...               | 706.4 ± 7.3       | 1161.2 ± 12.6     | ...              | ...              | ...              | not reliable <sup>‡</sup> |
| 27          | 19.7 ± 0.5        | 20.3 ± 0.5        | 13.9 ± 0.4        | 14.7 ± 0.4        | 13.2 ± 0.7        | 6.0 ± 0.3         | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 28          | 811.2 ± 30.8      | 785.9 ± 7.7       | 755.0 ± 7.4       | 944.0 ± 27.2      | 719.1 ± 7.2       | 789.3 ± 8.7       | 827.8 ± 21.1     | 785.5 ± 33.2     | 458.7 ± 0.3      | II                        |
| 31          | 19.1 ± 0.5        | 14.9 ± 0.4        | 10.3 ± 0.4        | 10.37 ± 0.3       | 5.3 ± 0.6         | ...               | 4.3 ± 1.6        | ...              | ...              | II/III                    |
| 33          | 160.5 ± 4.3       | 134.1 ± 1.7       | 89.7 ± 1.2        | 91.1 ± 2.3        | 65.9 ± 1.2        | 36.0 ± 0.7        | 11.6 ± 1.5       | ...              | 24.4 ± 0.2       | III                       |
| 34          | 83.8 ± 2.2        | 74.7 ± 1.1        | ...               | 50.8 ± 1.3        | 38.2 ± 0.8        | ...               | 12.4 ± 0.5       | ...              | ...              | III                       |
| 35          | 22.6 ± 0.5        | 27.2 ± 0.6        | 27.1 ± 0.6        | 24.1 ± 0.6        | 30.5 ± 0.8        | 38.9 ± 0.8        | 58.3 ± 2.2       | 154.9 ± 9.6      | ...              | II (AGN?)                 |
| 36          | 39.8 ± 1.1        | 33.2 ± 0.6        | 21.0 ± 0.5        | 22.1 ± 0.5        | 16.1 ± 0.6        | 11.6 ± 0.5        | 12.8 ± 1.0       | 17.9 ± 4.5       | ...              | II/III                    |
| 38          | 13.9 ± 0.4        | 11.0 ± 0.4        | 7.8 ± 0.3         | 7.6 ± 0.2         | 8.1 ± 0.6         | 3.5 ± 0.3         | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 41          | 15.4 ± 0.4        | 13.3 ± 0.4        | ...               | 9.4 ± 0.2         | 6.9 ± 0.7         | ...               | 3.4 ± 0.6        | ...              | ...              | II/III                    |
| 42          | 24.5 ± 0.7        | 20.4 ± 0.5        | 13.0 ± 0.4        | 13.4 ± 0.3        | 6.3 ± 0.6         | 6.8 ± 0.3         | 4.8 ± 0.9        | ...              | ...              | III                       |
| 43          | 13.2 ± 0.4        | 11.1 ± 0.4        | 9.2 ± 0.4         | 9.6 ± 0.2         | 8.7 ± 0.6         | 7.5 ± 0.4         | 4.6 ± 0.1        | ...              | ...              | II/III                    |
| 44          | 6.3 ± 0.2         | 5.1 ± 0.3         | 3.7 ± 0.3         | 3.9 ± 0.1         | 3.4 ± 0.5         | 2.1 ± 0.3         | 2.6 ± 0.8        | 5.7 ± 1.6 ±      | ...              | II/III                    |
| 45 V623 Ori | 9.1 ± 0.2         | ...               | ...               | 8.8 ± 0.2         | ...               | ...               | 7.6 ± 0.9        | 13.7 ± 4.2       | ...              | II/III                    |
| 46          | 2.5 ± 0.1         | 2.3 ± 0.2         | 2.0 ± 0.2         | 1.8 ± 0.1         | 0.9 ± 0.5         | ...               | 2.8 ± 0.7        | 9.9 ± 2.7 ±      | ...              | II                        |
| 47          | 149.9 ± 4.0       | 131.1 ± 1.6       | 79.7 ± 1.1        | 85.4 ± 2.1        | 61.0 ± 1.1        | 35.6 ± 0.7        | 19.8 ± 1.1       | 9.6 ± 3.2        | ...              | III                       |
| 48          | 8.8 ± 0.2         | 9.5 ± 0.3         | 6.0 ± 0.3         | 5.6 ± 0.2         | 3.1 ± 0.6         | ...               | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 49          | 7.4 ± 0.2         | 7.9 ± 0.3         | 5.3 ± 0.3         | 5.1 ± 0.1         | 3.0 ± 0.5         | 1.8 ± 0.3         | ...              | ...              | ...              | III                       |
| 50          | 24.8 ± 0.7        | 22.1 ± 0.5        | 15.3 ± 0.5        | 14.6 ± 0.4        | 11.9 ± 0.6        | 5.3 ± 0.4         | ...              | ...              | ...              | III                       |

<sup>†</sup> Objetos de clase infrarroja obtenidos del análisis de la SED y se su posición en el diagrama color-color de Spitzer y notas particulares de cada fuente. Se han eliminado las fuentes espúreas (2, 8, 9, 11, 19, 25, 26, 29, 30, 32, 37, 39, 40). <sup>‡</sup> La fotometría de la fuente Src. 24 no es fiable debido a la confusión entre varias fuentes de la región.

Tabla 3.7: Principales resultados del uso de la la herramienta de ajuste espectral de Robitaille et al. (2007) con las fuentes detectadas en rayos X en NGC 2023

| Src. ID | Name             | $A_V$<br>(mag) | Distancia<br>(pc) | $M_*$<br>( $M_\odot$ ) | $R_*$<br>( $R_\odot$ ) | $T_*$<br>(K) | $L_{bol}$<br>( $L_\odot$ ) | $\log L_X/L_{bol}$ | $\dot{M}$<br>( $M_\odot/yr$ ) | Estado <sup>a</sup> | Clase IR <sup>b</sup> |
|---------|------------------|----------------|-------------------|------------------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1       |                  | 0.05           | 398               | 0.48                   | 1.02                   | 3735         | 0.19                       | -2.68              | ...                           | ...                 | III                   |
| 3       | HD 37805/MIR 31  | 0.10           | 56                | 1.45                   | 1.77                   | 7500         | 8.53                       | -13.02             | ...                           | ...                 | III                   |
| 4       |                  | 1.11           | 299               | 0.35                   | 0.77                   | 3550         | 0.09                       | -3.41              | ...                           | ...                 | III                   |
| 5       |                  | 0.25           | 398               | 0.38                   | 0.52                   | 3650         | 0.01                       | -3.08              | ...                           | ...                 | III                   |
| 6       |                  | 8.81           | 630               | 0.66                   | 0.76                   | 4672         | 0.27                       | -3.59              | ...                           | ...                 | III                   |
| 10      | V615 Ori/ MIR 52 | 5.19           | 371               | 2.96                   | 4.39                   | 7902         | 67.4                       | -69.89             | $1.82 \times 10^{-9}$         | ...                 | II                    |
| 13      |                  | 1.90           | 500               | 1.09                   | 10.14                  | 4037         | 24.6                       | -27.52             | $1.03 \times 10^{-8}$         | I                   | I/II                  |
| 14      | MIR 55           | 0.00           | 575               | 1.60                   | 1.88                   | 5084         | 2.11                       | -3.37              | ...                           | ...                 | III                   |
| 15      |                  | 0.24           | 479               | 0.29                   | 0.76                   | 3399         | 0.07                       | -3.78              | ...                           | ...                 | III                   |
| 17      | MIR 60           | 1.19           | 575               | 0.48                   | 5.40                   | 3692         | 4.87                       | -8.36              | $2.15 \times 10^{-9}$         | I                   | I/II                  |
| 18      | MIR 62           | 5.33           | 457               | 3.42                   | 2.63                   | 11725        | 118                        | -121.6             | $4.51 \times 10^{-9}$         | III                 | II                    |
| 20      | MIR 71           | 0.76           | 347               | 1.31                   | 1.46                   | 4809         | 1.02                       | -3.18              | ...                           | ...                 | III                   |
| 21      | NIR 24           | 0.42           | 245               | 0.24                   | 0.72                   | 3366         | 0.06                       | -2.57              | ...                           | ...                 | III                   |
| 22      |                  | 0.34           | 288               | 1.35                   | 1.52                   | 4886         | 1.18                       | -3.29              | ...                           | ...                 | III                   |
| 27      | MIR 76           | 7.65           | 275               | 0.35                   | 1.92                   | 3500         | 0.63                       | -3.30              | ...                           | ...                 | III                   |
| 28      | MIR 80           | 3.11           | 436               | 2.96                   | 4.39                   | 7902         | 67.4                       | -69.09             | $1.82 \times 10^{-9}$         | III                 | II                    |
| 31      | MIR 81           | 0.88           | 616               | 1.85                   | 1.53                   | 7978         | 9.32                       | -12.03             | $1.70 \times 10^{-14}$        | III                 | II/III                |
| 33      | MIR 83           | 2.15           | 280               | 1.93                   | 2.78                   | 6835         | 15.1                       | -4.92              | ...                           | ...                 | III                   |
| 34      | V621 Ori         | 4.30           | 309               | 2.05                   | 2.96                   | 4828         | 4.27                       | -3.54              | ...                           | ...                 | III                   |
| 35      | MIR 86           | 3.87           | 550               | 0.22                   | 2.86                   | 3119         | 0.93                       | -3.61              | $1.07 \times 10^{-7}$         | I                   | II                    |
| 36      |                  | 2.88           | 309               | 1.60                   | 1.91                   | 4847         | 1.82                       | -3.61              | $2.70 \times 10^{-13}$        | III                 | II/III                |
| 38      |                  | 0.07           | 199               | 0.33                   | 0.47                   | 3500         | 0.01                       | -3.71              | ...                           | ...                 | III                   |
| 41      |                  | 0.55           | 166               | 0.35                   | 0.77                   | 3567         | 0.09                       | -3.08              | $2.54 \times 10^{-10}$        | III                 | II/III                |
| 42      | V622 Ori         | 0.11           | 407               | 1.52                   | 1.83                   | 4759         | 1.54                       | -3.27              | $1.13 \times 10^{-13}$        | III                 | III                   |
| 43      |                  | 0.37           | 182               | 0.24                   | 0.82                   | 3343         | 0.08                       | -3.84              | $1.53 \times 10^{-11}$        | III                 | II/III                |
| 44      |                  | 0.51           | 257               | 0.31                   | 0.29                   | 3556         | 0.02                       | -3.52              | $7.88 \times 10^{-12}$        | III                 | III                   |
| 45      | V623 Ori         | 0.13           | 309               | 0.26                   | 0.27                   | 3401         | 0.01                       | -3.76              | $1.09 \times 10^{-8}$         | III                 | II/III                |
| 46      |                  | 0.07           | 500               | 0.13                   | 0.15                   | 3052         | 0.002                      | -2.89              | $3.07 \times 10^{-11}$        | III                 | II                    |
| 47      |                  | 1.49           | 148               | 0.73                   | 0.61                   | 4331         | 0.13                       | -3.80              | $3.00 \times 10^{-14}$        | III                 | III                   |
| 48      |                  | 0.09           | 275               | 0.36                   | 1.00                   | 3548         | 1.43                       | -3.64              | ...                           | ...                 | III                   |
| 49      |                  | 0.29           | 398               | 0.17                   | 0.16                   | 3042         | 0.20                       | -2.63              | ...                           | ...                 | III                   |
| 50      |                  | 1.37           | 190               | 0.46                   | 1.11                   | 3706         | 0.21                       | -3.02              | ...                           | ...                 | III                   |

(a) Estado evolutivo, parámetro obtenido de ?. (b) Clases infrarrojas basadas en la SED (Tabla 3.5 3.6).

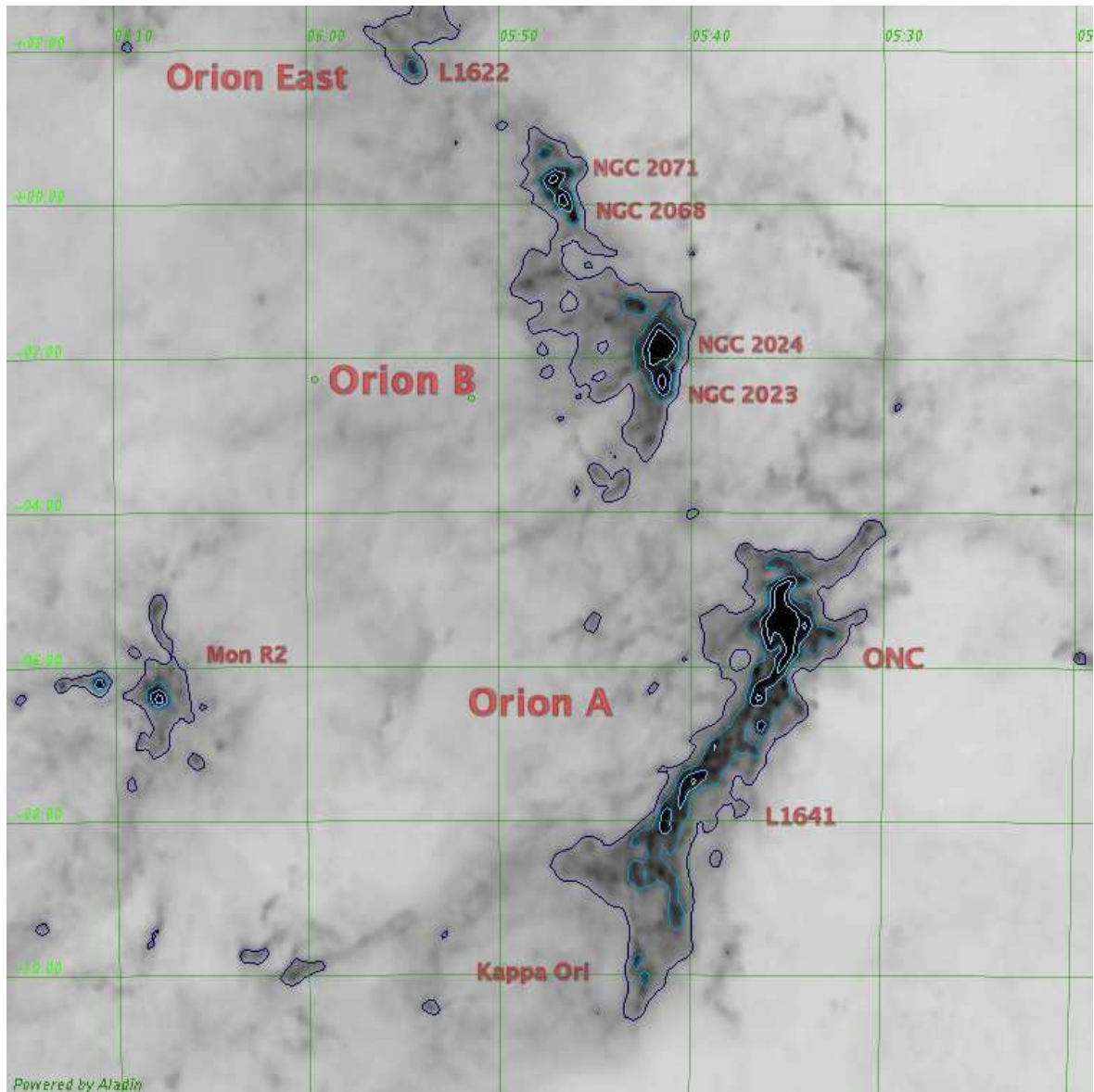


Figura 3.9: Mosaico de IRAS en  $100\mu\text{m}$  del Complejo Molecular de Orion A, Orion B y Monoceros. Los contornos del mapa de CO están sobrepintados como líneas continuas.

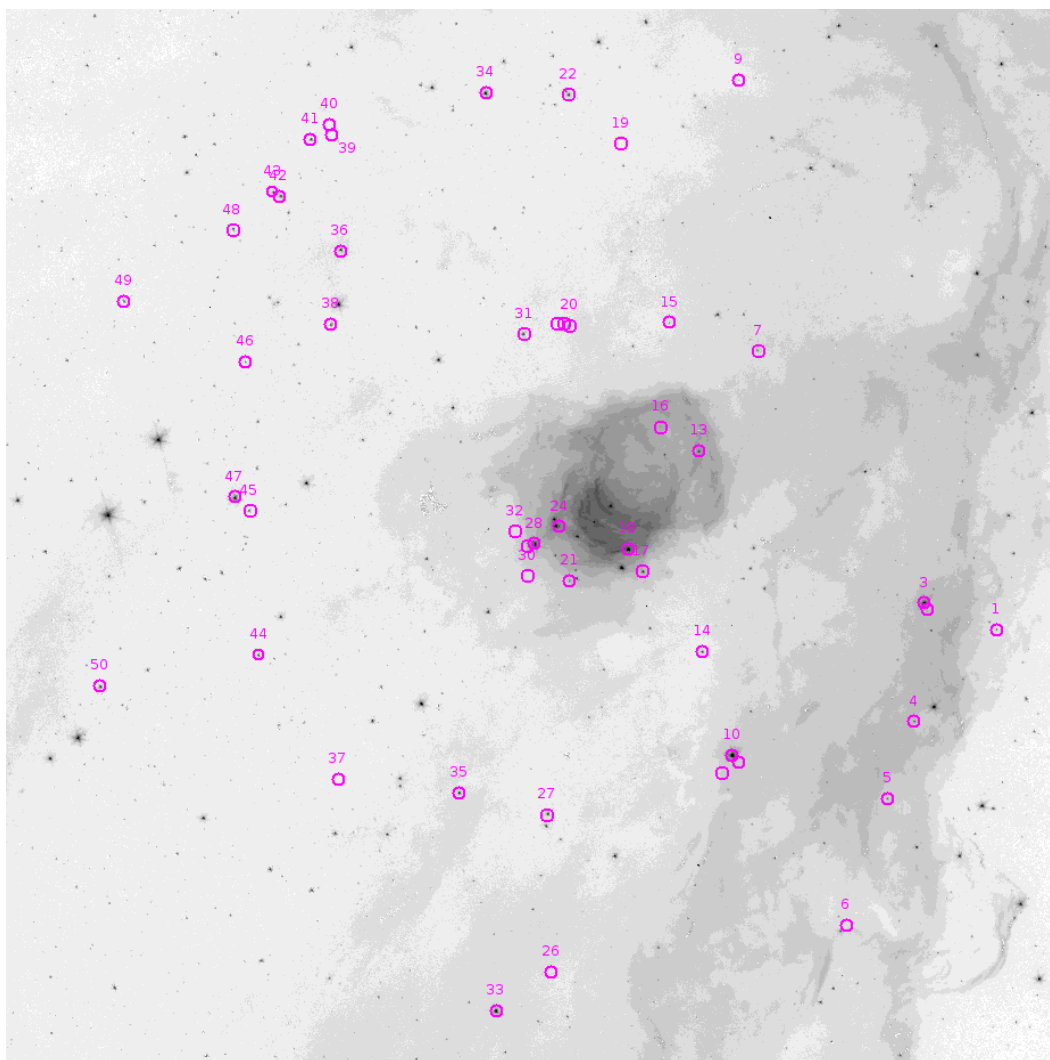


Figura 3.10: Imagen de *Spitzer*-IRAC en el canal 1 ( $3.6 \mu\text{m}$ ) de la nebulosa NGC 2023 y sus alrededores. La Nebulosa de la Cabeza de Caballo es visible en la esquina inferior derecha. Las fuentes de rayos X detectadas en la observación de *XMM-Newton* están marcadas y numeradas en color magenta. Para evitar confusiones han sido eliminadas las fuentes aparentemente espúreas con números 11 y 12 (probablemente una *multi-detección* de Src 10), 23 y 25 (*multi-detección* de Src 20) y 29 (*multi-detección* de Src 28), véase Sección 3.3. para más detalles

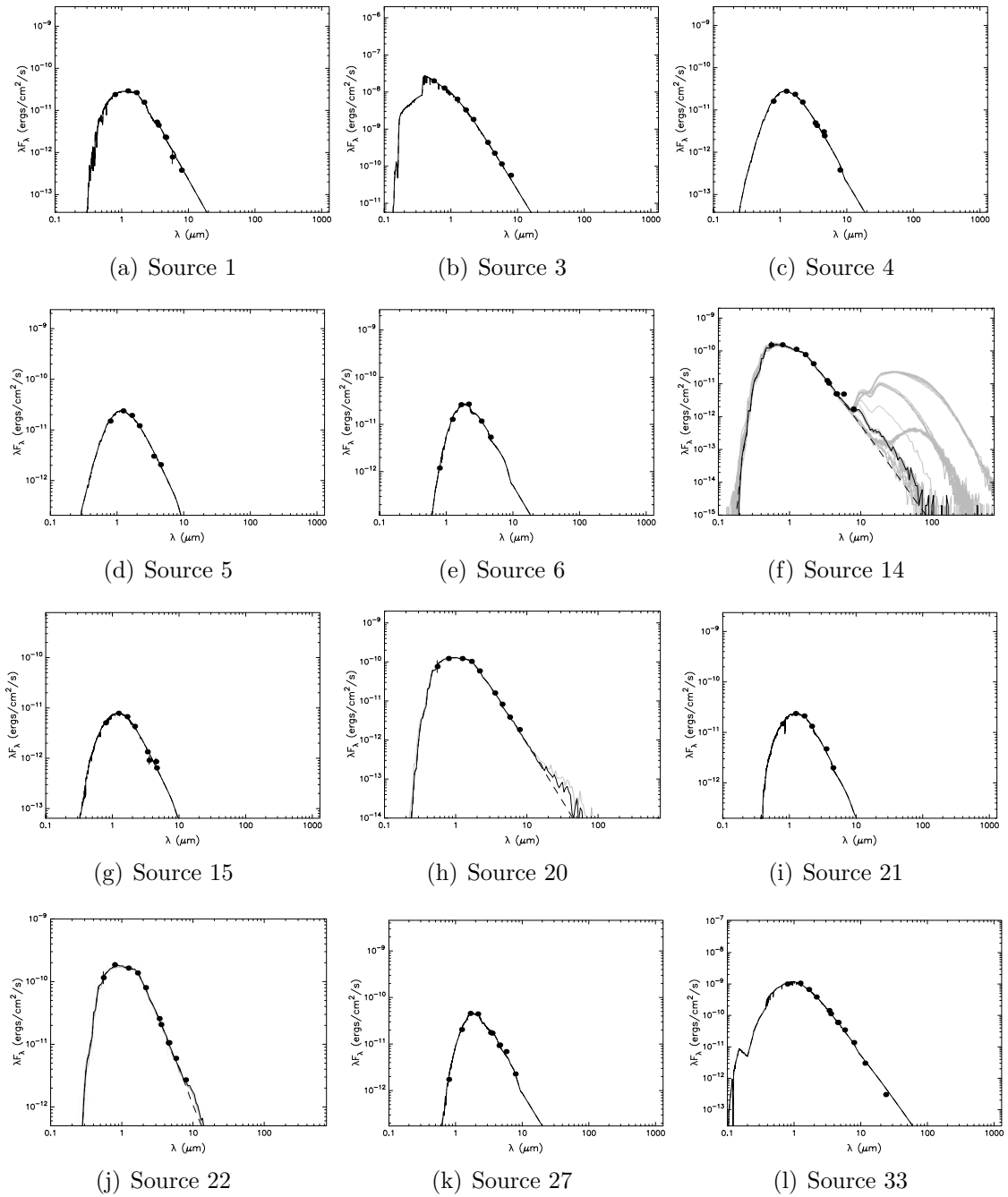


Figura 3.11: Distribución espectral de energía para los objects clasificados como Clase II en la Tabla 3.5. La línea continua negra indica el mejor ajuste del modelo usando Robitaille et al. (2007). Las líneas grises son otros modelos similares al mejor ajuste ( $(\chi^2 - \chi_{\text{best}}^2)/\chi^2 \leq 10\%$ ) y con menor valor  $\chi^2$ . Línea discontinua representa la fotosfera estelar del modelo aceptado.

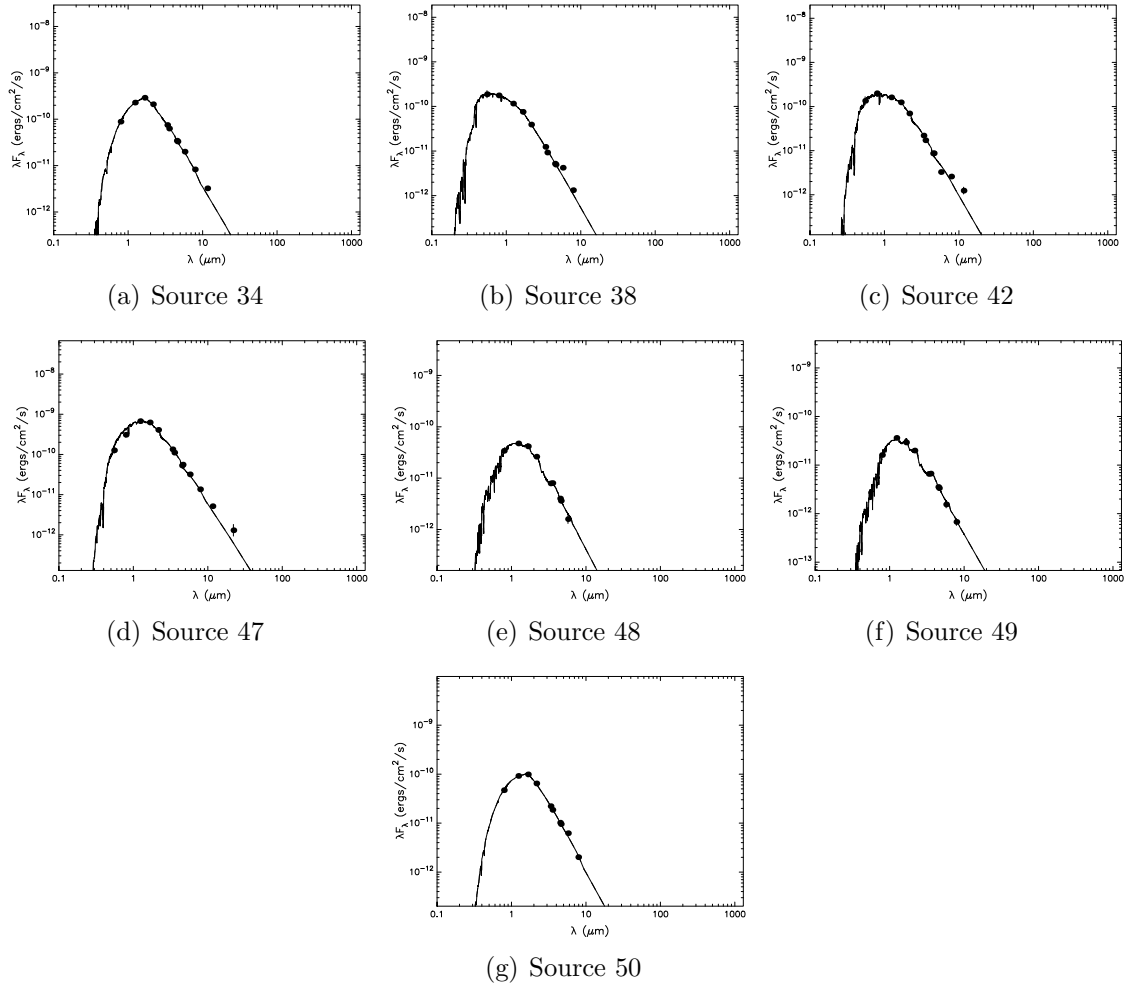


Figura 3.12: Continuación de la Fig. 3.11

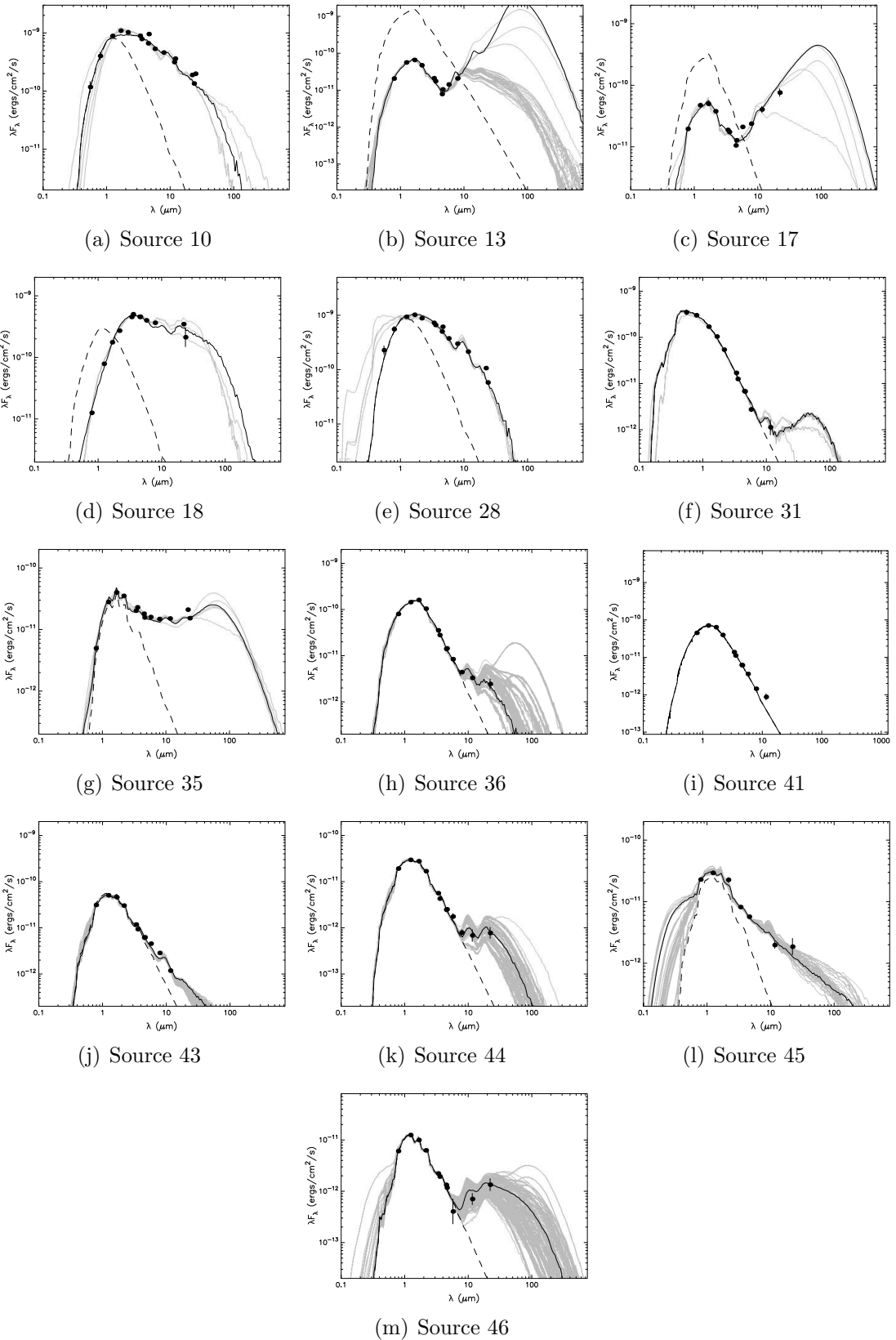


Figura 3.13: Igual que Fig. 3.11 pero para las estrellas clasificadas como Clase I/II y II/III en la Tabla 3.5.



---

## Capítulo 4

# Estudio del Complejo Molecular de Orión B

### 4.1. La nebulosa molecular de Orión B

El Complejo Molecular de Orión es una de las nubes moleculares gigantes (GMC) más cercanas ( $d \sim 450$  pc). Cuando se observa en longitudes de onda de radio y milimétricas, Orión se divide principalmente en dos grandes estructuras: Orión A (L1641) y Orión B (L1630) (véase: Bally, 2008; Genzel & Stutzki, 1989, para una descripción más detallada). Orión A contiene el Orion Nebula Cluster (ONC), a una distancia de  $\sim 400$ -500 pc. Debido a su proximidad, ONC ha sido el objetivo de la observación de rayos X más largo de una región de formación estelar hasta la fecha: el *Chandra* Orion Ultra-Deep Project (COUP), que se llevó a cabo durante 13 días (interrumpidos solo por intervalos de algunas horas por causas técnicas y de forma periódica) detectando más de 1600 fuentes en rayos X.

Orión B se encuentra al norte de Orión A. A una distancia media de  $d = 400$  pc (Alcalá et al., 2000; Mookerjee et al., 2009; Skinner et al., 2009; Warren & Hesser, 1995), la nube se extiende desde el Sur hacia el Norte-Oeste a lo largo del filamento L1630. La región sur de Orión B contiene la Nebulosa Cabeza de Caballo (Barnard 33), la nebulosa de reflexión NGC 2023, la Nebulosa de la Llama (NGC 2024) y el cúmulo estelar alrededor de la estrella tipo O  $\zeta$  Ori. La parte norte de Orión B está formada por las nebulosas de reflexión NGC 2068 y NGC 2071. NGC 2024 es la región más poblada y masiva de Orión B. Contiene estrellas tipo O, protoestrellas masivas y

otros objetos estelares jóvenes (véase Skinner et al., 2003). Las nebulosas NGC 2071 y el norte de NGC 2068 también contiene estrellas de tipo B y varias protoestrellas masivas (Launhardt et al., 1996). NGC 2023 en el Sur y la región alrededor HH 24-26 contienen sólo estrellas jóvenes de tipo T Tauri (Gibb, 2008; López-García et al., 2013; Mookerjea et al., 2009).

La formación estelar en Orión B fue posiblemente producida por el paso del bucle de Barnard, una estructura de gas que se expande desde el centro de Orión (Kun et al., 2008). Por lo tanto, es esperable encontrar un gradiente de edad desde el Sur hacia el Norte en este complejo. Sin embargo, un segundo frente de ionización procedente de cúmulo de  $\sigma$  Orionis, ubicado a pocos parsecs de distancia de NGC 2023 y NGC 2024, está ionizando la parte sur de Orión B. El frente de ionización (IC 434) contiene también la Nebulosa Cabeza de Caballo. López-García et al. (2013) mostró que la población estelar de NGC 2023 es muy joven ( $\sim 1$  Ma). Ésta puede ser la segunda generación de la población estelar de la región. Por lo tanto, Orión B representa un buen laboratorio para estudiar las propiedades de emisión de rayos X estelar en diferentes ambiente y condiciones.

Varios estudios en rayos X se centraron en la población estelar del complejo Orión B. Skinner et al. (2007, 2009) presentó los resultados de las observaciones de *Chandra*, *XMM-Newton* y *Spitzer* en NGC 2071. Su estudio se centró en un pequeño núcleo de objetos estelares jóvenes infrarrojos de gran masa. Detectaron emisión fluorescente del ión de hierro (6.4 keV) en las fuentes centrales, probablemente asociados a la irradiación de material frío (disco o gas circumestelar) producida por los fotones de rayos X duros de la fuente central. V1647 Ori es un YSO eruptivo bien conocido de tipo EXOr (Kastner et al., 2006; Teets et al., 2011). Basado en 11 observaciones de *Chandra*, Principe et al. (2014) realizaron un análisis IR de rayos X multi-época de V1647-Ori y su vecindad. El estudio reveló un total de 52 YSO emisores de rayos X, incluyendo 5 protoestrellas de Clase 0/I .

La población estelar de rayos X de NGC 2023 y NGC 2024 en la región sur de Orión B fue investigada por medio de *ASCA* (Yamauchi et al., 2000) y de *Chandra* (Skinner et al., 2003). Más recientemente, López-García et al. (2013) realizó un análisis en infrarrojo y de rayos X de la población joven que rodea la nebulosa de reflexión NGC 2023. En este trabajo extendemos el estudio a todo el complejo de formación estelar de Orión B. Se presenta en esta parte de la tesis un estudio multi-longitud de

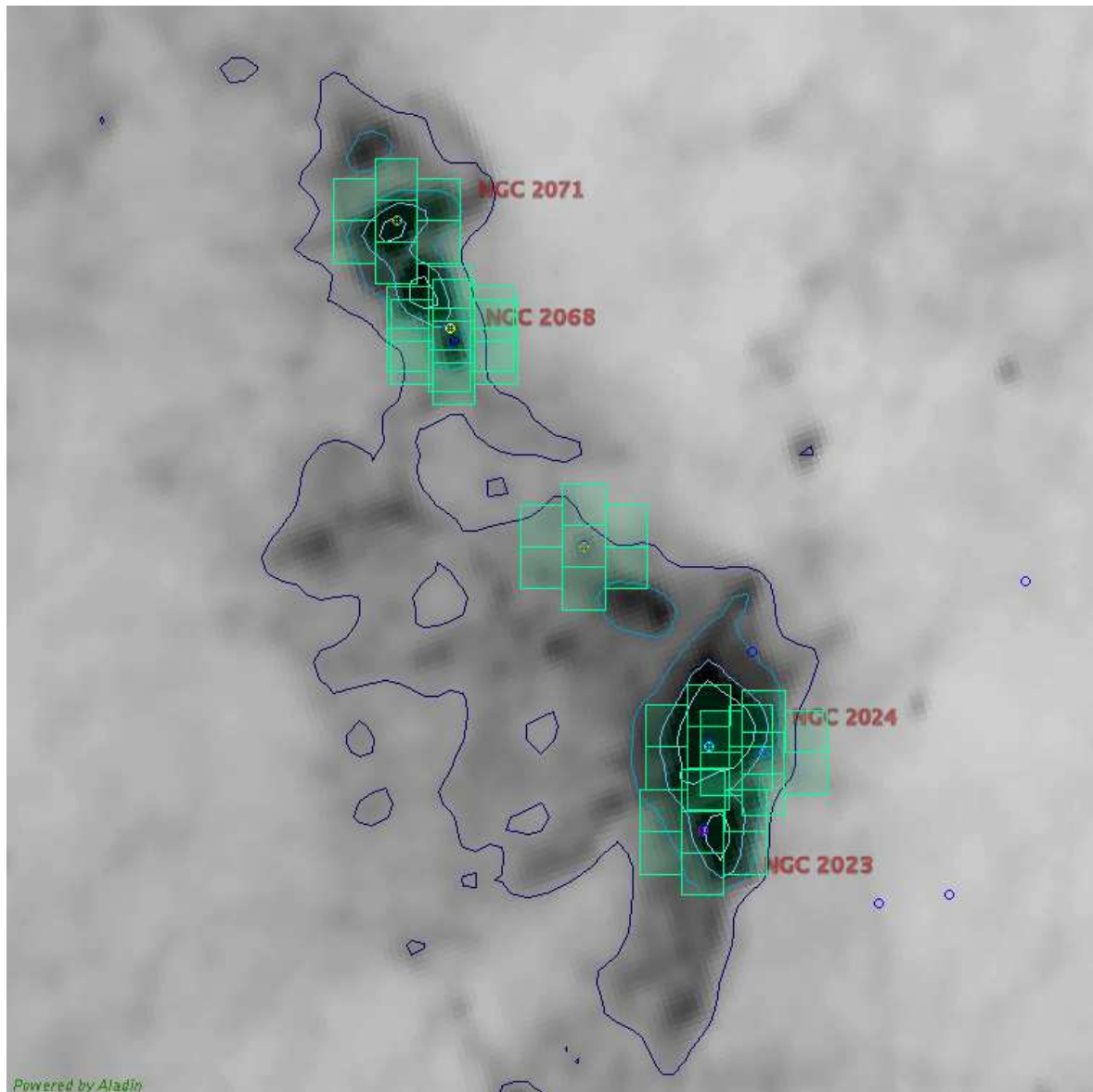


Figura 4.1: Imagen en la banda 857 GHz de Planck de la Nebulosa Molecular de Orión, en verde está marcado el campo de visión de las observaciones de *XMM-Newton* utilizados.

la nube molecular de Orión B utilizando los datos de rayos X a partir de observaciones de *XMM-Newton*, infrarrojo cercano con datos de 2MASS, infrarrojo medio usando *Spitzer* y *WISE* y los datos ópticos del *UCAC4*. Se utilizan diagramas color-color y color-magnitud con magnitudes infrarrojos y ópticos para identificar las fuentes en sus diferentes estados evolutivos. A través del análisis de los espectros de rayos X se obtiene  $N_H$ , la temperatura en rayos X y sus flujos que nos permiten derivar las propiedades coronales promedio para las diferentes fases de YSO (Clase 0 / I, II, y III). También se compara la función de luminosidad de rayos X (XLF) para los subgrupo de YSO en Orión B entre sí y la XLF global de toda la muestra de Orión B con la de la ONC obtenido a partir de COUP.

## 4.2. Observaciones y proceso de reducción de datos

A través del archivo de observaciones de *XMM-Newton* se realizó una búsqueda de las observaciones existentes a lo largo de la nube molecular de Orión B y se encontraron nueve observaciones centradas en  $\zeta$  Orionis, NGC 2023, NGC 2024, V1647 Orionis, NGC 2071 y en los objetos Herbig-Haro HH 212 y HH 24-26. Con estas nueve observaciones se cubre ampliamente la nube molecular L1630 (Fig . 4.1). Las observaciones del detector EPIC fueron realizadas en diferentes modos, siendo el modo Full Frame (FF) el más utilizado, y con distintos filtros. Los tiempos de exposición varían entre 29.7 ks el menor y 106 ks para la observación más larga. La Tabla 4.1 resume la información de los parámetros instrumentales para cada observación.

Tabla 4.1: Detalles de las Observaciones de EPIC

| Objetivo       | Obs        | Fecha      | RA <sup>a</sup><br>(grados) | DEC <sup>a</sup><br>(grados) | PA <sup>a</sup><br>(grados) | Cámara | Modo <sup>b</sup> | Filtro | Tiempo Exp,<br>(s) | Tiempo Efec. <sup>c</sup><br>(s) |
|----------------|------------|------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------|-------------------|--------|--------------------|----------------------------------|
| Zeta Ori       | 0112530101 | 2002-09-15 | 85.171                      | -1.921                       | 87.11                       | PN     | FF                | Thick  | 38362              | 36323                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | SW                | Thick  | 41731              | 40175                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FU                | Thick  | 41479              | 40215                            |
| NGC 2024       | 0112640101 | 2002-03-06 | 85.447                      | -1.932                       | 263.97                      | PN     | FF                | Medium | 31427              | 15420                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Medium | 31353              | 19500                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 33126              | 21180                            |
| NGC 2023       | 0112640201 | 2002-03-24 | 85.461                      | -2.301                       | 271.71                      | PN     | EFF               | Medium | 25090              | 13600                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Thin   | 29128              | 15000                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 25090              | 15800                            |
| HH212          | 0149890301 | 2003-09-17 | 85.948                      | -1.025                       | 87.809                      | PN     | FF                | Thin   | 47278              | 14640                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Thin   | 16117              | 14700                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Thin   | 16121              | 15540                            |
| HH24-26        | 0153150101 | 2003-09-03 | 86.515                      | -0.145                       | 82.292                      | PN     | FF                | Medium | 48035              | 18095                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Medium | 49663              | 23100                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 49676              | 23100                            |
| IRAS05436-0007 | 0164560201 | 2004-04-03 | 86.567                      | -0.127                       | 276.163                     | PN     | FF                | Medium | 38673              | 18615                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Medium | 38665              | 26970                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 37035              | 28715                            |
| NGC 2071       | 0201530101 | 2005-03-30 | 86.784                      | 0.336                        | 274.24                      | PN     | FF                | Medium | 43637              | 27540                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Medium | 45173              | 28670                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 45177              | 28612                            |
| V1647Ori-I     | 0301600101 | 2005-03-24 | 86.571                      | -0.125                       | 271.885                     | PN     | FF                | Medium | 106924             | 63660                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Medium | 93933              | 75000                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 93993              | 76080                            |
| V1647Ori-II    | 0601960201 | 2010-02-28 | 86.573                      | -0.123                       | 261.653                     | PN     | FF                | Medium | 32534              | 24360                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS1   | FF                | Medium | 34121              | 27660                            |
|                |            |            |                             |                              |                             | MOS2   | FF                | Medium | 34130              | 27720                            |

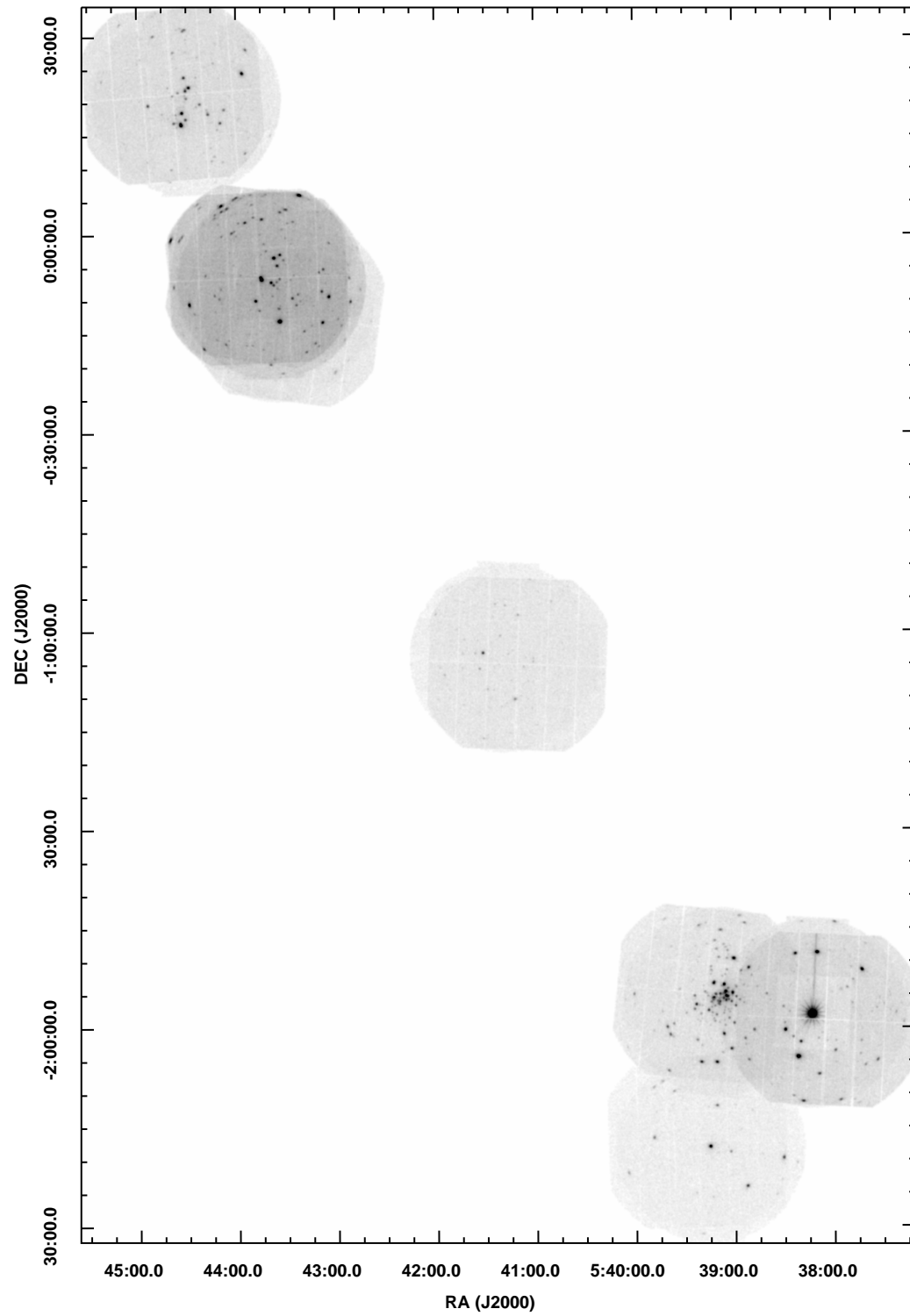
(<sup>a</sup>) Posición media del apuntado en inclinación angular del observatorio. (<sup>b</sup>) Modos de Epic: Full Frame (FF), East Uncompressed (FU), Small Windows (SW) and Extended Full Frame (EFF). (<sup>c</sup>) Tiempo efectivo de la observación tras excluir los periodos de alta actividad de fondo.

### 4.2.1. EPIC

Para reducir los datos de las observaciones y al igual que en el capítulo anterior se usó el software SAS de *XMM-Newton* en su versión 12.0.1. Se creó una lista de eventos de fotones con el comando *epproc* y *emproc* para EPIC-pn y EPIC-MOS, respectivamente. Se utilizó el comando de SAS *espfilt* para filtrar la lista de eventos de PN y de MOS de protones de baja energía y eventos solares, creando los archivos GTI. A partir del análisis, se descubrió que todas las observaciones se vieron afectados por una alta actividad del fondo en una mayor o menor medida. Como resultado, el tiempo de exposición efectivo de cada observación disminuyó con respecto al tiempo de observación real (véase la Tabla 4.1, última columna).

Se utilizaron imágenes en cuatro bandas de energía para realizar la detección de la fuente con las herramientas estándar de SAS. Se definieron las bandas de energía de la siguiente manera: Banda suave: S = 0.3–1.2 KeV, banda media: M = 1.2–2.5 KeV, banda dura: H = 2.5–7.5 KeV y banda ancha: B = S + M + H. Para la detección de la fuente se procedió en dos pasos. En el primero se analizaron todos los detectores EPIC por separado como se ha descrito anteriormente. En el segundo paso se comparó y evaluó la sensibilidad de los detectores para calcular la relación de las tasas de cuentas medidas por EPIC-pn y EPIC-MOS (donde MOS se refiere a MOS1 y MOS2),  $(C_{\text{pn}}/C_{\text{MOS}})_i$  con  $i = \text{S, M, H, B}$ , por separado para cada banda de energía. La mediana de los valores obtenidos para las fuentes brillantes detectadas con los tres instrumentos se utilizó después para escalar los mapas de exposición de EPIC-pn para el análisis conjunto de los tres instrumentos. Al final del proceso se obtuvo una observación combinada que es equivalente a una exposición efectiva de MOS de duración  $(C_{\text{pn}}/C_{\text{MOS}})_i \cdot t_{\text{pn}} + t_{\text{M1}} + t_{\text{M2}}$ , donde  $t_{\text{pn}}$ ,  $t_{\text{M1}}$ ,  $t_{\text{M2}}$  son los tiempos de exposición individuales de pn, MOS1 y MOS2.

La lista final de fuentes de rayos X contiene todas las fuentes detectadas en la observación de EPIC fusionada, además de todas las fuentes detectadas en los instrumentos individuales, pero no en la observación combinada. Se pueden producir detecciones en un detector, pero no en los mosaico combinados, e. g. si la fuente se encuentra fuera del campo de visión cerca de un hueco del chip detector, o en una región de baja exposición (tales como una mala columna) en uno o más de los instrumentos. Se utilizó un umbral de detección de  $\text{ML} \geq 15$ . Después de la correlación cruzada de las nueve observaciones individuales se obtuvo una sola lista con las fuente principales para todas

Figura 4.2: Mosaico de Orión B de las observaciones de *XMM-Newton*.

las observaciones de *XMM-Newton* disponibles en Orión B, con un total de 604 fuentes de rayos X. En la Tabla 4.7 se resume sus parámetros de rayos X.

Se analizaron los espectros en rayos X para las 45 fuentes de rayos X detectadas en, al menos, un detector de EPIC y con más de 100 cuentas (Albacete-Colombo et al., 2016). Bajo esta restricción, se analizaron 45 del total de 604 fuentes de origen. Espectros, fondo de cielo, matriz de respuesta y el archivo auxiliar se extrajeron utilizando las herramientas específicas de SAS. Los canales de energía se agruparon para contener por lo menos 15 eventos en cada canal de energía (Cash, 1979). El ajuste espectral se calculó utilizando XSPEC (Arnaud, 2004, 1996) en su versión 12.7.1. Para ser consistentes con anteriores trabajos (López-García et al., 2013; López-Santiago et al., 2010), se adoptó el modelo de plasma caliente *APEC* descrito en Smith et al. (2001a) que utiliza los datos atómicos contenidos en la Astrophysical Plasma Emission Database (APED; Smith et al., 2001b). Se utilizó para el ajuste espectral de las fuentes, modelos de una y dos temperaturas ( $1T$  o  $2T$ ), a excepción de una fuente que requirió un modelo de tres temperaturas. La abundancia se fijó para todas las fuentes a  $Z/Z_{\odot} = 0,3$  (véase Barrado et al., 2011; Stelzer & Schmitt, 2004). Se utilizó la estadística  $\chi^2$  como estimación de la bondad de nuestros ajustes (Cash, 1979). Los resultados del ajuste espectral se dan en la Tabla 4.7.

## 4.3. Naturaleza de las fuentes de rayos X

### 4.3.1. Fotometría óptica e infrarroja

Para el análisis en la banda infrarroja, se utilizaron los datos de Spitzer, *WISE* y 2MASS. Estos catálogos se correlacionaron con las fuentes obtenidas en la detección de fuentes de las observaciones que cubren la nebulosa de Orión. Para las fuentes con contrapartidas en las distintas bandas infrarrojas se realizó una clasificación utilizando diagramas color-color, color-magnitud e índices espectrales.

Se correlacionó nuestra lista de fuentes de rayos X con las fotometrías de *Spitzer* y 2MASS usando un radio de búsqueda de cinco segundos de arco para tener en cuenta la incertidumbre posicional de *XMM-Newton* (Della Ceca et al., 2004). Alrededor del 61 % de las fuentes de rayos X detectadas (360 fuentes) tienen una contrapartida en algunas de las bandas de *Spitzer*, mientras que solo el 28 % tienen las 4 bandas principales

([3.6], [4.5], [5.8] y [8.0]). Así mismo el 58 % de las fuentes tienen las tres bandas de 2MASS. Además para completar la fotometría se decidió correlacionar también con el catálogo de *WISE* (Wide-Field Infrared Survey Explorer) cuyas bandas fotométricas son [3.4], [4.6], [12] y [22], y con el catálogo óptico *DENIS*.

Primero se intentó aislar a la población de fondo extragaláctica, identificadas como las estrellas azules en los diagramas color-magnitud [3.6] vs. [3.6]-[4.5] y [4.5] vs. [4.5]-[8.0] (Diagramas a) y b) en la Fig. 4.4). Los objetos más débiles que [4.5] = 14 mag son usualmente galaxias o estrellas de fondo de cielo (Jørgensen et al., 2006; Pillitteri et al., 2013). De hecho el histograma de la magnitud [4.5] mostró una distribución con dos picos cuyo mínimo se encuentra en 14.5 magnitudes. El pico principal está compuesto por los objetos que probablemente forman parte de la nube, mientras que el segundo pico, mucho menos poblado, está formado por objetos distantes, entre los que se encuentran estrellas de fondo y galaxias. Esta doble población es claramente diferenciable en los histogramas de las magnitudes [3.6] y [4.5] de *Spitzer* y [3.4] y [4.6] de *WISE* (Fig. 4.3). De esta forma, se asumió que las 90 fuentes pertenecientes al segundo pico eran población de fondo de cielo. Estas fuentes ya no se representaron en los siguientes diagramas.

La clasificación de objetos estelares jóvenes comenzó utilizando el índice espectral de energía que se define como:

$$\alpha = \frac{d \log F_\lambda}{d \log \lambda} \quad (4.1)$$

evaluándolo entre 2.2  $\mu\text{m}$  y 8  $\mu\text{m}$ . Con este índice se clasifican los objetos como Clase I para  $\alpha \geq 0$ , Clase II para  $\alpha < 0$  y  $\geq -1.5$  y Clase III para  $\alpha < -1.5$ . Con el índice espectral se clasificaron 3 Clases I, 77 Clases II y 117 Clases III. Sin embargo este índice tiene el problema de que es necesario que las fuentes tengan la magnitud  $K_S$  de 2MASS y la banda [8.0] de *Spitzer* para poder obtener el índice de la misma, y tan solo el 36 % de las fuentes pertenecientes a la nube lo posee. Por lo tanto, muchas fuentes quedan sin poder ser clasificadas. Para resolver este problema se utilizaron diagramas color-color y color-magnitud para completar nuestra clasificación, además de la evaluación del índice espectral en otras longitudes de onda.

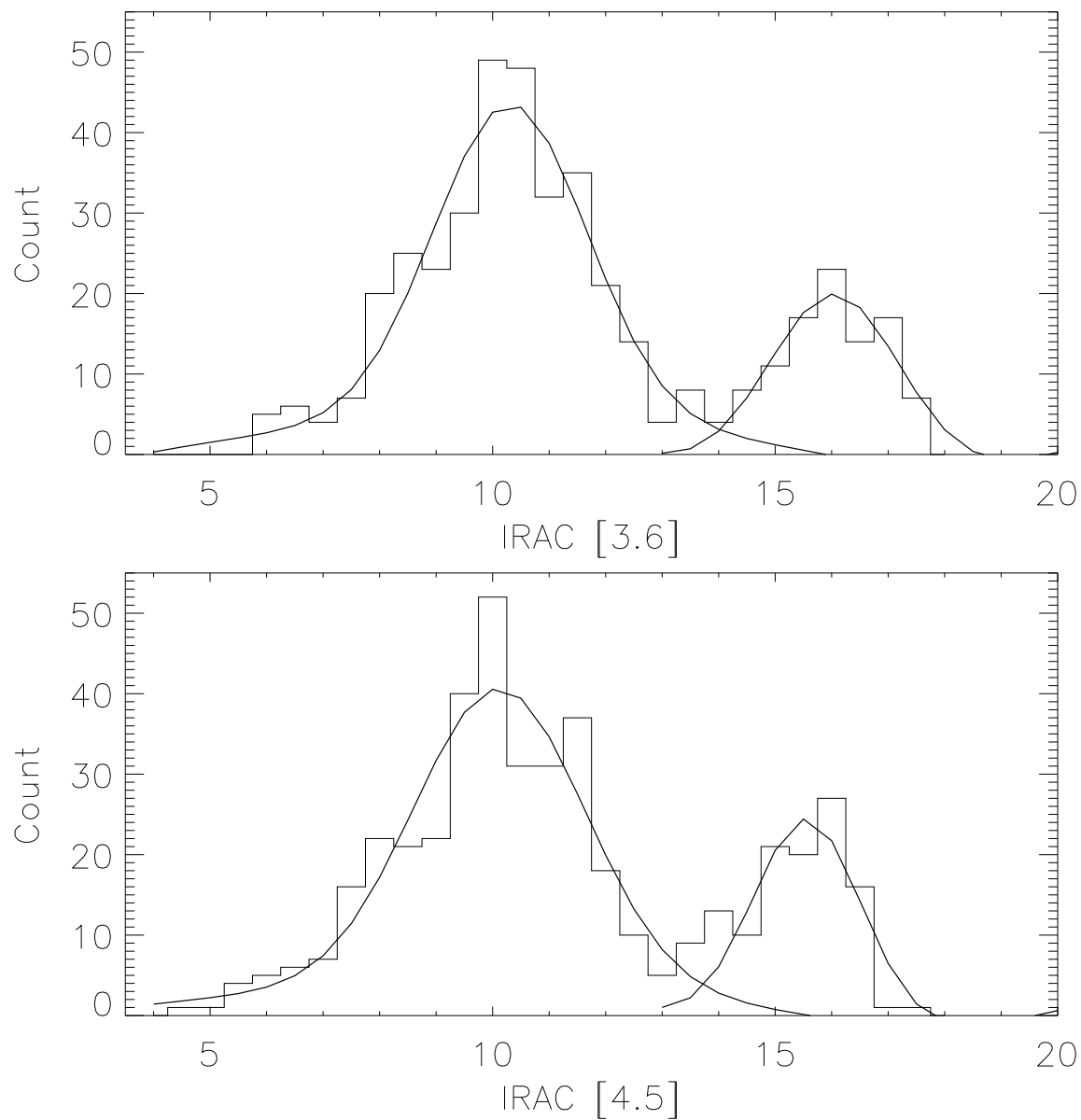
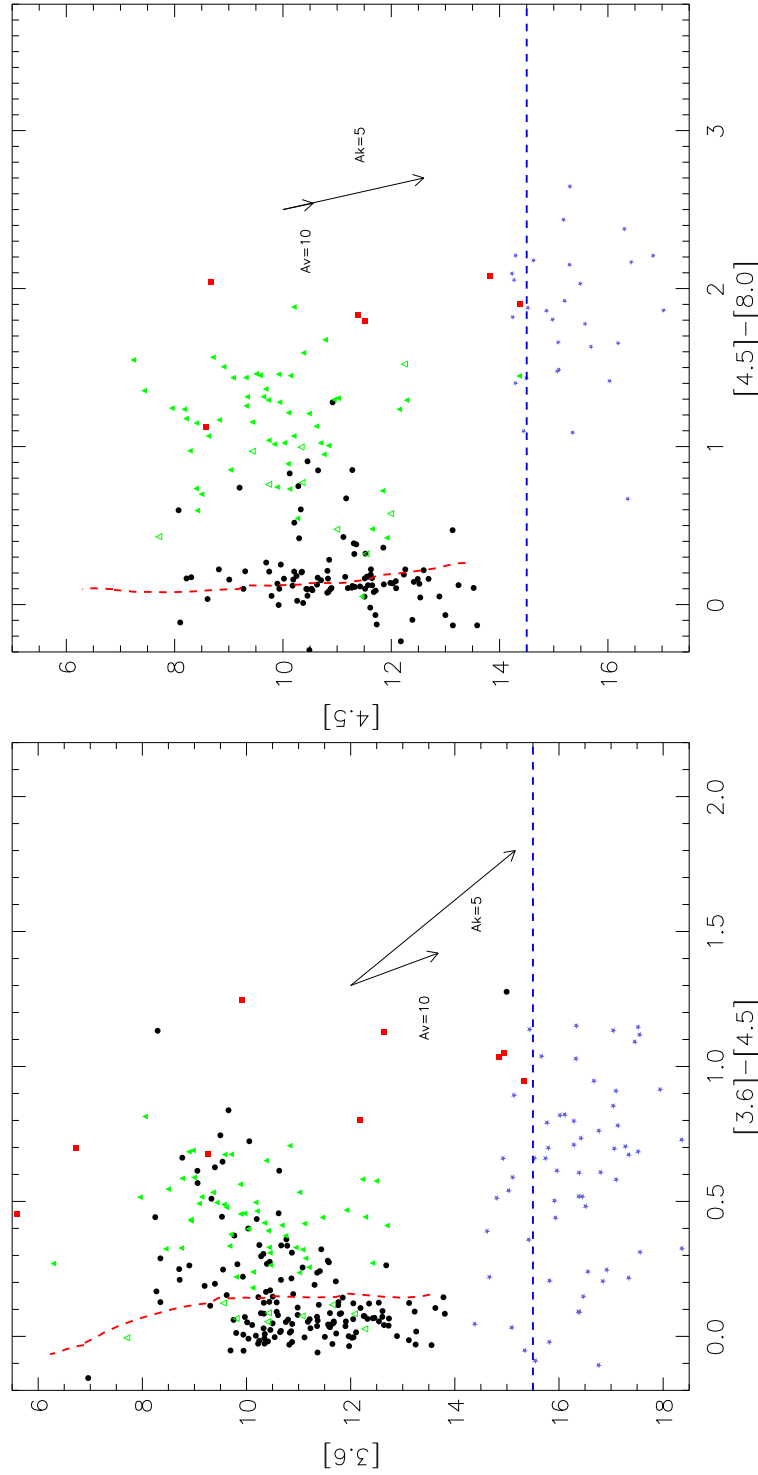


Figura 4.3: Distribución de las magnitudes [3.6] y [4.5] de *Spitzer*



(a) Diagram 3.6 vs 3.6-4.5

(b) Diagram 4.5 vs 4.5-8.0

Figura 4.4: Diagramas infrarrojos color-magnitud usados para la detección de fuentes de fondo. La línea discontinua azul representa el límite de las fuentes consideradas de la nube, definido por (Jørgensen et al., 2006). Los objetos de Clase I aparecen representados como cuadros rojos, las Clases II como triángulos verdes, las Clases III como círculos negros y los objetos de fondo como estrellas azules.

El Diagrama [3.6]-[4.5] vs. [5.8]-[8.0] (ver Fig. 4.5 arriba-izquierda) se utilizó para identificar estrellas con exceso de emisión circumestelar. Los objetos de Clase III aparecen alrededor de la posición (0,0) y representan objetos sin exceso en las bandas de *Spitzer*. Los objetos de Clase II aparecieron en el cuadro definido por Allen et al. (2004). En una primera inspección se encontró que existían fuentes que no estaban clasificadas de forma correcta debido a que la fotometría no estaba disponible en algunas bandas, como 2MASS o *Spitzer*, por lo que se decidió realizar una inspección de la SED para las fuentes llegando a la conclusión de que era necesario la creación de nuevos índices con las fotometrías disponibles para realzar la clasificación en función de ellos. Se eligió crear dos índices nuevos, uno que tuviera en cuenta la fotometría de *Spitzer* y otro la fotometría de *WISE*, utilizando las bandas [3.6] y [8.0] con el nombre de Beta y [3.4] y [12] con el nombre de Gamma, respectivamente para cada instrumento. Estos índices nos aportaron información extra sobre como es la envoltura o disco de los objetos jóvenes, y se aplicó cuando el índice anterior no estuvo disponible, por lo que la prioridad a la hora de clasificar fue: alfa, beta, gamma, siempre y cuando el índice anterior no estuviera disponible. Recientemente Wolk et al. (2013) utilizó fotometría de *WISE* para clasificar YSO mediante el diagrama [3.4]-[4.6] vs. [4.6]-[12], este diagrama es similar al utilizado con la fotometría de *Spitzer* y es de gran utilidad cuando no está disponible (ver Fig. 4.5 arriba-derecha).

Otros diagramas color-color son también útiles para la clasificación de fuentes IR. El diagrama [3.6]-[5.8] vs. [4.5]-[8.0] permite identificar fuentes de procedencia extragaláctica, que se corresponden con el lugar geométrico descrito por Gutermuth et al. (2008). El diagrama I-J vs. J-[3.6] marca una región con línea discontinua que se corresponde con el lugar donde se encuentran los candidatos a cuasares (Barrado et al., 2011).

Con pocas excepciones, el acuerdo entre la clasificación entre los diferentes diagramas, los índices y las SEDs es bastante buena. Se descubrieron nueve fuentes en el diagrama [3.6] - [5.8] vs. [4.5] - [8.0] que aparecen en la región de las Clase II, pero que fueron clasificadas como Clases III. Debido a su ubicación en el diagrama  $[3.6] - [4.5] \leq 0,15$  y  $[5.8] - [8.0] \geq 0,4$ , se re-clasificaron como estrellas con discos de transición (TD, triángulos verdes sin relleno, véase Cieza et al., 2007; Sicilia-Aguilar et al., 2006).

En resumen, se usaron diagramas color-magnitud, diagramas color-color, tres índices espectrales y las SEDs y se obtuvo una clasificación con 243 objetos de Clase III, 102

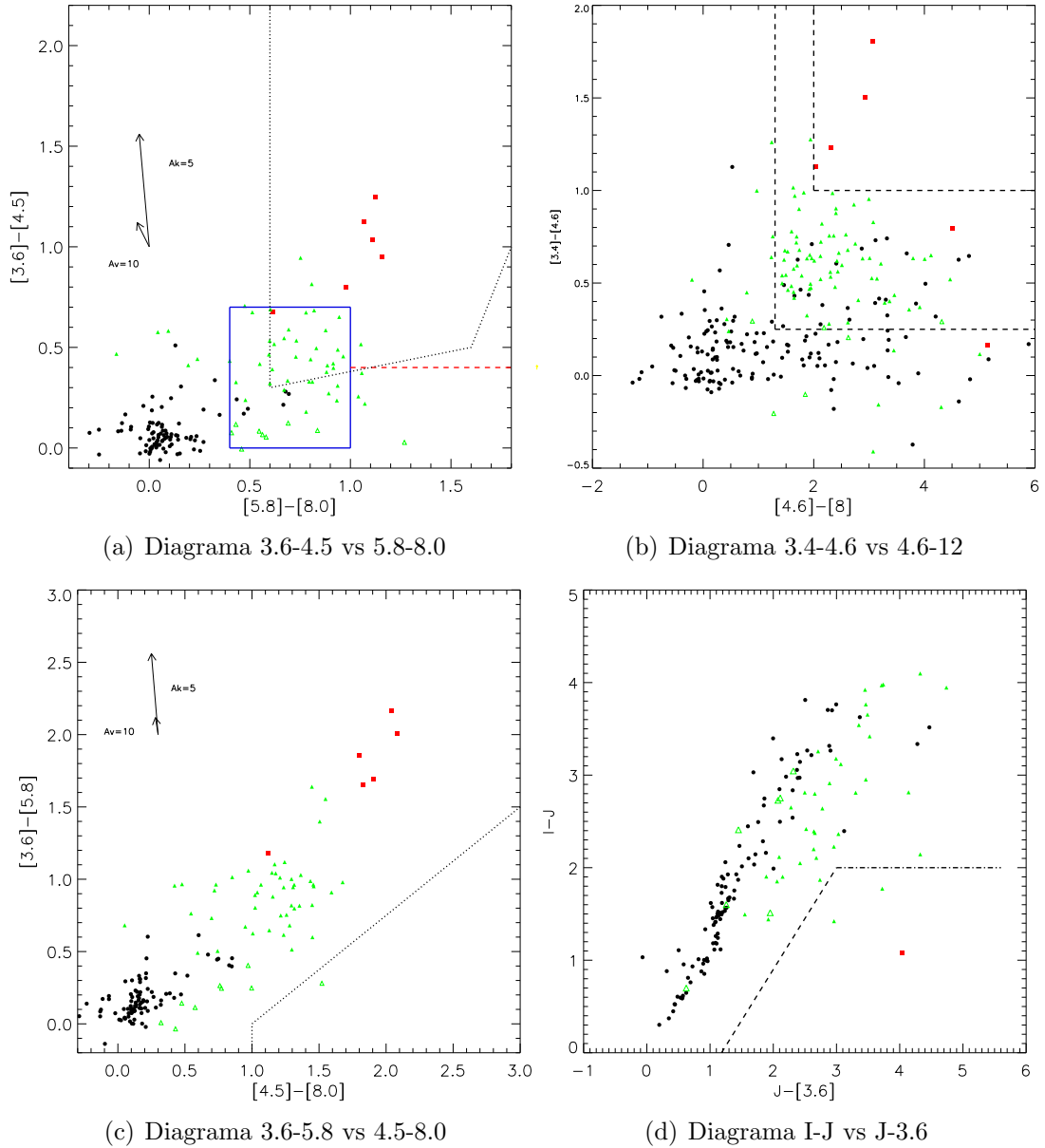


Figura 4.5: Diagramas color-color infrarrojos para la clasificación de la población de Orión B. Los símbolos son los mismos que en la Fig. 4.4, se incluyeron los triángulos verdes vacíos que representan a los objetos con discos en transición. (a) Diagrama de color-color con las cuatro bandas de *Spitzer*. La línea continua azul representa el lugar geométrico donde se encuentran los objetos de Clase II, por encima de ella, los objetos de Clase I y objetos extragalácticos. (b) Diagrama color-color con las tres primera magnitudes de *WISE*, las dos líneas discontinuas representan los lugares donde se encuentran los objetos Clase II y Clase I respectivamente. (c) Diagrama color-color con las tres primera magnitudes de *Spitzer*. La línea discontinua representa el lugar donde se encuentran los objetos extragalácticos. Y (d) diagrama color-color, la línea negra discontinua representa el lugar geométrico de los cuásares.

estrellas con discos clasificadas como objetos de Clase II, de las cuales nueve son consideradas discos de transición (TD), diez protoestrellas (Clase I) y 90 objetos clasificados estrellas de fondo u objetos extragalácticos.

Para trazar el vector de la extinción en los diagramas de color-color y color-magnitud se utilizó una ley de extinción promedio determinada por tres regiones en las nubes moleculares de Orión: NGC 2024/NGC 2023, NGC 2068/NGC 2071, y Orión A (Tabla 3 en Flaherty et al., 2007). Se adoptaron valores de  $A_J/A_{K_s} = 2.65$ ,  $A_H/A_{K_s} = 1.55$ ,  $A_{[3,6]}/A_{K_s} = 0.634$ ,  $A_{[4,5]}/A_{K_s} = 0.537$ ,  $A_{[5,8]}/A_{K_s} = 0.5$  y  $A_{[8,0]}/A_{K_s} = 0.504$ . El valor  $A_K/A_V = 0.282$  que se tomó de Rieke & Lebofsky (1985).

### 4.3.2. Fuentes de rayos X sin contrapartida óptica o infrarroja

Las fuentes de rayos X que se encuentran en las regiones de formación estelar y que no tienen contrapartidas en el NIR ni en el óptico, son un tema interesante a tratar. El número de estas fuentes suele ser en torno al 10 %-15 % del total (Valtchanov et al., 2001). Aunque ese número depende significativamente del algoritmo que se usa para la detección de fuentes y el límite de completitud de los catálogos NIR y óptico en general excede el número de fuentes de background esperadas, como en el caso particular de la Orion Nebula Cluster (ONC, Feigelson et al., 2002). La naturaleza de estas fuentes no está completamente determinada todavía.

En Orión B se encontraron 159 fuentes que no tenían contrapartida en ninguna de las bandas fotométricas utilizadas para la creación de las SED (*Spitzer*, *WISE*, *2MASS*, *UCAC* y *DENIS*). Este número casi duplica el 10 %-15 % esperado de fuentes espúreas. Como para el caso de NGC 2023 (Sección 3.3.2) se eliminaron de las tablas de resultados por ser consideradas fuentes espúreas o fuentes extragalácticas, aunque por conveniencia la numeración de fuentes no se varió.

## 4.4. Resultados

### 4.4.1. Clasificación infrarroja

El análisis de infrarrojo combinado de diagramas color-color, color-magnitud, índices espectrales y SEDs clasificaron 243 Clases III, 102 Clases II, de las cuales 9 TD y 10 Clases I. De las Figs. 4.4 y 4.3 se concluyó que 90 fuentes son contaminación de

fondo, ya que aparecieron debajo de las línea de 15.5, 14.5, 16.5 y 14.0 magnitudes respectivamente para las bandas [3.6] y [4.5] de *Spitzer* y [3.4] y [4.6] de *WISE*. Y 159 fuentes son probablemente espúreas u objetos extragalácticos.

Algunas fuentes se clasificaron como estelares y pertenecientes a la nube a través de los diagramas color-color y su índice espectral (Src. 115, Src. 237, Src. 445 y Src. 582). Sin embargo, aparecen también en los cuadros que definen población extragaláctica (Barrado et al., 2011; Gutermuth et al., 2008) en los diagramas [4.5]-[8.0] vs. [3.6]-[8.0] y J-[3.6] vs. I-J (parte inferior de la Fig. 4.5). La fuente Src. 582 fue clasificada como Clase I. Aparece en el diagrama [3.4]-[4.6] vs. [4.6]-[12] en la zona de las Clases I y posee una fotometría en las bandas de *Sitzer* [3.6], [4.5] y [8.0] más brillante que 7 en todos los casos, lo que nos hace indicar que es una protoestrella. El resto de fuentes se clasificaron como Clases II, con fotometría en *WISE*, *Spitzer* y 2MASS, mostrando valores en la banda del infrarrojo medio por debajo de 13, por lo que se asume que son YSO.

Nueve fuentes (Src. 188, Src. 232, Src. 237, Src. 243, Src. 377, Src. 411, Src. 471, Src. 512 y Src. 520) fueron clasificadas como Clase III a través de los índices y diagramas color-color, pero aparecen en la parte baja del cuadro que define la región de las Clases II (diagrama a) en la Fig. 4.5). Estas fuentes no muestran exceso en el color [3.6]-[4.5] pero sí un fuerte exceso en [5.8]-[8.0] ( $[5.8]-[8.0] > 0.4$ ). Sicilia-Aguilar et al. (2006) interpretó la naturaleza de estos objetos como "disco de transición", objetos con exceso en [8.0] pero no en [4.5], con una fracción típica del 10% entre las estrellas T Tauri, basado en este criterio se clasificaron como discos en transición (TD).

También se encontró un objeto que aparece en la región de las Clases III (en torno a (0.0) en el diagrama [3.6]-[4.5] vs. [5.8]-[8.0]) y que muestran un alto exceso en [3.6]-[4.5], la fuente Src. 214. Del mismo modo ocurre en el diagrama [3.4]-[4.6] vs. [4.6]-[12] a las fuentes Src. 197, Src. 201 y Src. 384. Objetos similares fueron encontrados por Fang et al. (2013), y se explicaron como estrellas sin disco y con una alta extinción debido a una gran nebulosidad, como YSO productores de jets o como objetos con discos fulgurativos de inclinación alta. Tres de estos objetos se encuentran en la región de NGC 2024 y el cuarto en NGC 2071, ambas nebulosas de reflexión donde abunda el gas y el polvo por lo que esta explicación es factible para estas fuentes.

Tabla 4.2: Distribución de los YSO en función de su localización.

|         | Total | Clase III | Clase II <sup>1</sup> | Clase I | Radio <sup>2</sup> |
|---------|-------|-----------|-----------------------|---------|--------------------|
| Norte   | 147   | 84        | 59                    | 6       | 1.42               |
| Centro  | 19    | 19        | 0                     | 0       | —                  |
| Sur     | 189   | 142       | 43                    | 4       | 3.30               |
| Orión B | 355   | 243       | 102                   | 10      | 2.33               |

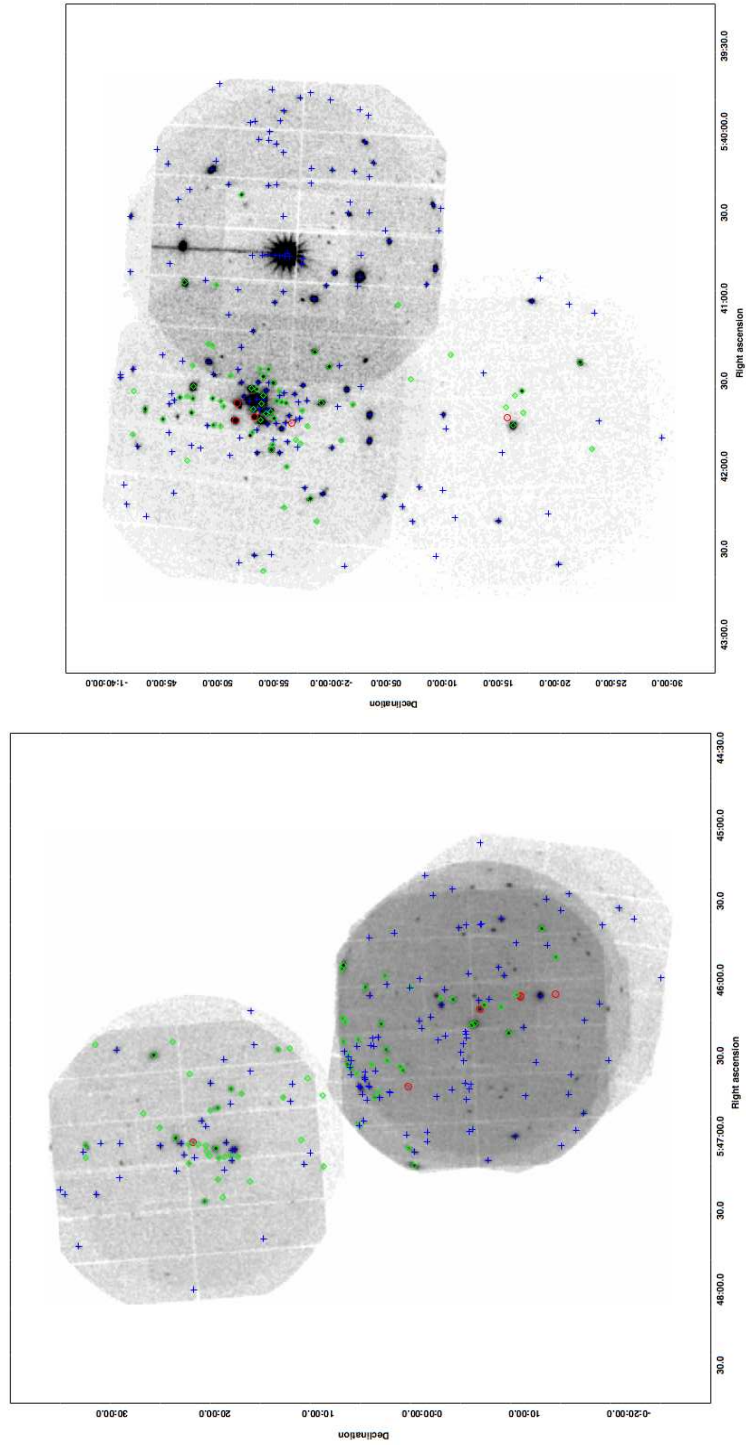
<sup>1</sup> Se han incluido los objetos clasificados como disco en transición dentro de las Clases II. <sup>2</sup>Radio Clase III / Clase II

#### 4.4.2. Distribución espacial de las estrellas pre-secuencia principal

En esta sección se da una descripción de la distribución espacial de la población de los YSO en Orión B. En la Fig. 4.6 se muestran los objetos de Clase III, Clase II y Clase I que se encuentran en el norte (correspondientes a las observaciones de HH 24–26, NGC 2071 y V1647Ori) y en el sur (observaciones de Zeta-Ori, NGC 2024 y NGC 2023). Se encontraron cinco regiones, donde la formación de estrellas se ha producido recientemente, y que corresponde con la ubicación de las Clases I y sus alrededores. El grupo de formación estelar más denso está en los alrededores de V1647 Ori donde se localizan hasta 4 Clases I. En la región norte también se encontraron dos grupos, la parte norte de NGC 2071, donde se encuentra NGC 2071-IR (ver Skinner et al., 2009) y NGC 2068 con una fuente de Clase I cada una. En la parte sur, además de NGC 2024, donde se localizan tres objetos de Clase I, se encuentra otro grupo, localizado en NGC 2023 (esta Clase I ya fue detectada en el estudio previo de NGC 2023, Capítulo 3).

Se verificó que estas regiones más jóvenes aparecen en la imagen de Planck (Fig. 4.2) en concordancia con los lugares donde abundan cantidades de gas y polvo. Se descubrieron cinco núcleos de polvo, tres en la región norte y dos en la región sur. Los dos primeros se encuentran en la correspondencia de NGC 2071 y NGC 2068, por debajo de estos grupos parecen uno más pequeño que se corresponde con los alrededores de V1647-Ori. En la región sur se reconoce el grupo de NGC 2024 y otro núcleo en NGC 2023. Los objetos de Clase I objetos se distribuyen seis en el norte y cuatro en el sur), al comprobar la relación entre las Clases III y II (Tabla 4.3) se obtuvo 1.42 frente a 3.30 respectivamente. Se llegó a la conclusión de que el estado evolutivo de la

región sur está más adelantado que el del norte. La relación entre Clase III y Clase II para toda la muestra es de 2.33, este número es bastante similar al obtenido para la población de Orión A (2.39; Pillitteri et al., 2013).



(a) Orión B Norte

(b) Orión B Sur

Figura 4.6: Distribución espacial para las distintas clases infrarrojas. La Clase III se representan como cruces azules, la Clase II como diamantes verdes y la Clase I como círculos rojos.

Tabla 4.3: Propiedades de los rayos X coronales para las YSOs

|           | Número de<br>objetos | $kT$<br>(keV)   | $N_H$<br>( $\times 10^{22}$ cm $^{-2}$ ) |
|-----------|----------------------|-----------------|--|
| Clase I   | 1                    | $3.48 \pm 0.25$ | $2.46 \pm 0.15$                          |
| Clase II  | 15                   | $2.04 \pm 0.08$ | $1.12 \pm 0.15$                          |
| Clase III | 29                   | $2.01 \pm 0.11$ | $0.53 \pm 0.07$                          |

#### 4.4.3. Propiedades en rayos X

De las 355 consideradas como fuentes pertenecientes a Orión B, solamente 45 fueron lo suficientemente brillantes como para llevar a cabo un análisis espectral de rayos X. Se utilizó una combinación de hasta tres componentes térmicos para el modelado de los espectros y la obtención de las temperaturas del plasma, las medidas de emisión de los componentes individuales, y la absorción global. Se utilizaron modelos de plasma caliente de *apec* (Smith et al., 2001a) con una temperatura (1T) para 11 fuentes, modelos con dos temperaturas (2T) para 33 fuentes, y en un caso un modelo con tres temperaturas (3T) (los análisis comenzaron con un ajuste a un modelo de 2T, y en función de la tasa de cuentas y de la bondad del ajuste, se aplicó un modelo 1T o 3T). Se obtuvo una temperatura media de  $2.08 \pm 0.11$  keV y una absorción media de  $(0.79 \pm 0.10) \times 10^{22}$  cm $^{-2}$  (que corresponde a una  $A_V = (4.38 \pm 0.55)$  mag, siguiendo la relación  $N_H = 1.8 \times 10^{21} \cdot A_V$  (Predehl & Schmitt, 1995)). Las temperaturas coronales son consistentes con valores de estrellas jóvenes T Tauri (Güdel et al., 2007). En estas observaciones, el límite de completitud es  $f_X \sim 4,7 \times 10^{-14}$  erg cm $^{-2}$  s $^{-1}$ , que corresponde con  $L_X \sim 10^{30,1}$  erg s $^{-1}$  a una distancia de 400 pc.

Las fuente Src. 191 y Src. 392 muestran temperaturas muy elevada ( $4.05 \pm 0.33$  keV y  $6.26 \pm 1.21$  keV), respectivamente. El mejor ajuste se logró con modelos de 1T en ambos casos. Estas fuentes muestran también una alta absorción ( $2.87$  y  $4.63 \times 10^{22}$  cm $^{-2}$ ). Están clasificadas como Clase III y Clase I, respectivamente.

El análisis nos permitió buscar las diferencias en las propiedades espectrales de rayos X de las distintas clases IR. Como se muestra en la Tabla 4.3, los objetos de Clase I muestran en media unos valores altos de temperaturas y absorción,  $kT = 3.48$  keV y  $N_H = 2.46 \times 10^{22}$  cm $^{-2}$ , claramente por encima de los valores medios respectivos

para toda la muestra. Este resultado se debe utilizar con precaución, debido al hecho de que sólo una protoestrella de Clase I fue lo suficientemente brillante como para realizar un análisis espectral. Sin embargo, el resultado está claramente en línea con lo observado en otras regiones de formación de estrellas, como Orión A (Pillitteri et al., 2013) o Rho Ophiuchi (Pillitteri et al., 2010). Se advierte también que la detección del componente suave del espectro en la Clase I se ve impedida por el oscurecimiento de su envoltura opaca.

No se encontraron diferencias significativas en las temperaturas de plasma de los objetos de Clase II y Clase III,  $kT = (2.04 \pm 0.08)$  keV en comparación con  $(2.01 \pm 0.11)$  keV. En contraste, el promedio de absorción se incrementa de la Clase III a la Clase II  $N_H = (0.53 \pm 0.07) \times 10^{22}$  cm<sup>-1</sup> y  $N_H = (1.12 \pm 0.15) \times 10^{22}$  cm<sup>-2</sup>. Esto se puede interpretar como una consecuencia de la presencia de un disco en objetos de Clase II.

Se utilizaron las 45 estrellas para las cuales se pudo realizar el análisis espectral con XSPEC para determinar un factor de conversión (CF) entre la tasa de cuentas observada y el flujo en la banda [0.3-8.0]. Este CF se determinó para cada estrella y cada detector EPIC (PN, MOS1 y MOS2), respectivamente. A continuación, se realizó una regresión lineal para cada uno de los tres detectores. Obteniéndose las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} f_X[MOS1] &= (0,67 \pm 0,30) + (67,40 \pm 8,86) \cdot CR \\ f_X[MOS2] &= (0,41 \pm 0,17) + (70,82 \pm 6,85) \cdot CR \\ f_X[PN] &= (0,43 \pm 0,32) + (24,00 \pm 2,05) \cdot CR \end{aligned}$$

donde la tasa de cuentas está en s<sup>-1</sup> y el flujo en unidades de 10<sup>-13</sup> erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Los flujos obtenidos a partir de las tasas de cuentas y la relaciones anteriores se utilizaron para obtener las luminosidades de rayos X de las fuentes que eran demasiado débiles para realizar un análisis espectral suponiendo una distancia de  $d = 400$  pc. No se encontró diferencia en la luminosidad media de rayos X de la Clase III ( $3.02 \times 10^{30}$  erg s<sup>-1</sup>) y Clase II ( $2.26 \times 10^{30}$  erg s<sup>-1</sup>). Un análisis de las funciones de luminosidad de rayos X se presenta en la Sección 4.6.

## 4.5. Comparación con trabajos previos

Recientemente Megeath et al. (2016) realizó un estudio utilizando *Spitzer* y *Chandra* de las nubes moleculares de Orión A y Orión B (aunque *Chandra* solo está disponible para ONC y NGC 2024). En la primera parte del estudio clasificaron las fuentes como: protoestrellas, fuentes con exceso infrarrojos y fuentes sin exceso. En la segunda parte realiza un estudio sobre la distribución espacial y demografía de los YSO. Skinner et al. (2003) estudió NGC 2024 con *Chandra* detectando 283 fuentes de rayos X, en la misma zona que nuestra observación de *XMM-Newton* detectó sólo 143 fuentes. Las posibles razones de esta discrepancia son: (a) las diferencias en la resolución espacial de los instrumentos y/o (b) la diferente sensibilidad de las observaciones. De hecho, la imagen de *Chandra* tiene una exposición de 76 ks mientras que nuestra imagen tiene alrededor de 15 ks de tiempo efectivo. A partir de su análisis de rayos X, Skinner et al. (2003) obtuvo una temperatura media de  $\langle kT \rangle = 2.8$  keV y una extinción media  $\langle A_V \rangle = 10.5$  mag. Estos resultados son ligeramente superiores comparados con nuestros resultados para las fuentes de rayos X en la misma zona:  $\langle kT \rangle = (2.38 \pm 0.12)$  keV y  $\langle A_V \rangle = (7.83 \pm 0.71)$  mag. NGC 2024 es una región con una gran cantidad de polvo y gas y Skinner utilizó una relación  $N_H-A_V$  (Gorenstein, 1975) diferente a la usada en este trabajo,  $N_H = 2.22 \times 10^{21} A_V$  (Predehl & Schmitt, 1995), también si comparamos la  $N_H$  deshaciendo la relación obtenemos  $2.31 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  (por Skinner) frente a  $1.41 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  para nuestros datos, teniendo en cuenta que nuestra estadística es muy baja (solamente siete fuentes fueron analizadas espectralmente).

NGC 2071 ha sido también estudiada por (Skinner et al., 2007, 2009), en un primer trabajo con *XMM-Newton* (que es la misma observación que se está utilizando para esta tesis) y la segunda vez con *Chandra*. El objeto principal de sus dos estudios fue la caracterización del núcleo NGC 2071-IR. La mejor resolución espacial de *Chandra* permite a Skinner resolver los detalles del clúster. Descubriendo una Clase I, IRS1 (nuestra Src. 543). Otro de los hallazgos del estudio de Skinner es el descubrimiento de la línea del ión de Fe XXV (en 6.7 keV) en el espectro sin actividad fulgurante. En este trabajo no se ha realizado un estudio de la variabilidad, sin embargo se pudo comprobar los casos en los que aparecía la línea Fe XXV y una fulguración evidente. De 13 fuentes con la posible línea Fe XXV, sólo cuatro mostraban una clara presencia de fulguración (una Clase I, una Clase II y dos Clases III).

## 4.6. Función de luminosidad en rayos X

Debido a la proximidad entre ONC y Orión B y a su edad similar, se espera que las propiedades en rayos X de las fuentes de ambas regiones sean similares. Sin embargo, debido a la dependencia de la luminosidad en rayos X con la masa estelar, la comparación entre ambas debe considerarse en el mismo rango de masas. En la Fig. 4.7 se trazó la función de luminosidad de rayos X como  $dN/d(\log L_X)$  vs.  $\log(L_X)$  siguiendo la comparación entre el complejo de Carina y COUP (Feigelson et al., 2011). Se seleccionaron todas las fuentes de rayos X que se clasifican como estrellas, excluyendo así las fuentes de fondo y extragalácticas. La línea continua y la línea de puntos representan Orión B y COUP (Getman et al., 2005) respectivamente. La comparación de la XLF (X-ray Luminosity Function) entre regiones de formación estelar debe hacerse con precaución, el FC pueden variar en función de la proporción entre las clases espectrales, que no es la misma en todas las regiones comparadas. A pesar de que población de COUP es significativamente superior que la de Orión B, se observó que su comportamiento es proporcional dentro del límite de completitud (de 30 a 31.5, en  $\log(L_X)$ ). Las pendientes obtenidas en el ajuste son prácticamente iguales (1.05 y 1.02, respectivamente para COUP y Orión B), estimándose que la población de COUP, en esta banda de luminosidad es 1.6 veces mayor que la de Orión B. Debido al alto tiempo de exposición de la observación de COUP. Feigelson et al. (2011) pudieron detectar fuentes mucho menos luminosas que en Orión B es imposible detectar. En términos generales las dos curvas son muy similares a excepción de la región de alta luminosidad donde los datos Orión B está claramente por debajo de los datos de COUP.

También se compararon las funciones de luminosidad de rayos X entre las diferentes clases de infrarrojos. Las funciones de luminosidad de los objetos de Clase II y Clase III son similares, pero a baja luminosidad Clase III son más numerosos que los objetos de la Clase II, mientras que a altas luminosidades se encontraron más objetos de la Clase II que de la Clase III. Se obtuvo una mediana para  $L_{X_{ClaseIII}} = 30.39$  y un rango 25% - 75% de 30.19 a 30.64, y una mediana para  $L_{X_{ClaseII}} = 30.32$  y rango 25% - 75% de 30.17 a 30.69.

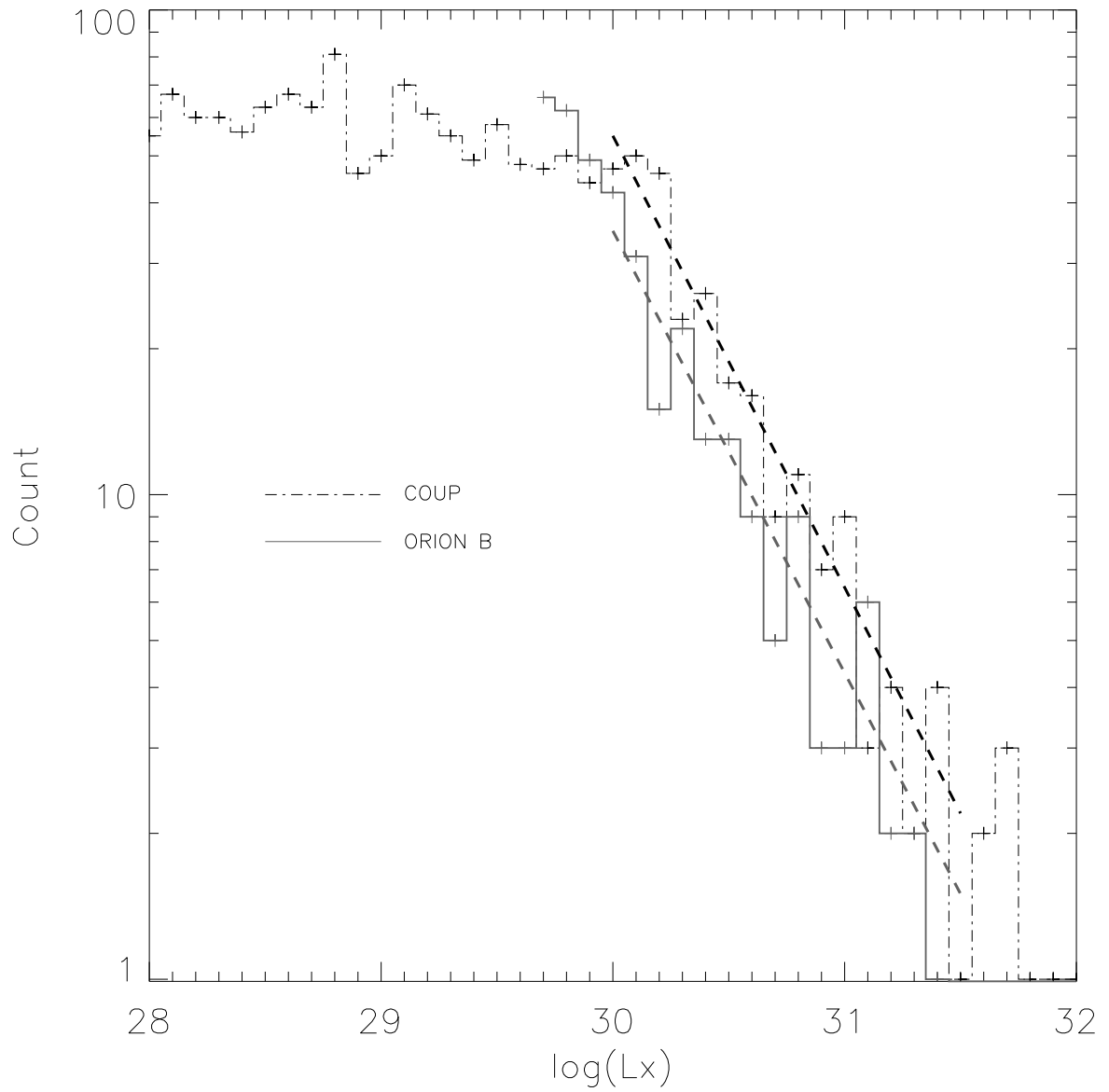


Figura 4.7: Función de luminosidad en rayos X. La línea discontinua negra representa los datos obtenidos en COUP, mientras que la línea continua azul los datos de Orión B

## **4.7. Tablas y Figuras**

Tabla 4.4: Magnitudes ópticas y de infrarrojo cercano para las fuentes detectadas

| src | Optical Monitor |     | UCAC          |               | DENIS        |              | 2MASS        |              |     |           | Clase |
|-----|-----------------|-----|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|-----------|-------|
|     | B               | V   | B             | V             | I            | J            | H            | K            | K   |           |       |
| 7   | ...             | ... | 10.90 ± 3.00  | 10.65 ± 3.00  | 10.56 ± 0.00 | 10.20 ± 0.03 | 10.06 ± 0.02 | 9.97 ± 0.02  | ... | Clase III |       |
| 11  | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | ... | Clase III |       |
| 12  | ...             | ... | 17.94 ± 26.00 | 16.99 ± 26.00 | 14.16 ± 0.00 | 12.65 ± 0.03 | 11.97 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 13  | ...             | ... | 14.16 ± 2.00  | 13.30 ± 2.00  | 12.36 ± 0.00 | 11.35 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 10.87 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 15  | ...             | ... | 15.86 ± 9.00  | 14.56 ± 9.00  | 13.12 ± 0.00 | 11.81 ± 0.02 | 11.13 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 16  | ...             | ... | ...           | ...           | 14.40 ± 0.00 | 12.58 ± 0.02 | 11.95 ± 0.02 | 11.67 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 20  | ...             | ... | ...           | ...           | 14.19 ± 0.00 | 11.99 ± 0.02 | 11.26 ± 0.02 | 11.02 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 23  | ...             | ... | 13.27 ± 3.00  | 12.32 ± 3.00  | 11.34 ± 0.00 | 10.46 ± 0.02 | 9.94 ± 0.02  | 9.81 ± 0.02  | ... | Clase III |       |
| 25  | ...             | ... | 17.56 ± 17.00 | 15.95 ± 17.00 | 13.89 ± 0.00 | 12.57 ± 0.02 | 11.84 ± 0.02 | 11.66 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 28  | ...             | ... | ...           | ...           | 14.06 ± 0.00 | 12.40 ± 0.02 | 11.78 ± 0.02 | 11.54 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 30  | ...             | ... | ...           | ...           | 15.17 ± 0.00 | 13.90 ± 0.04 | 13.21 ± 0.05 | 12.97 ± 0.04 | ... | Clase III |       |
| 32  | ...             | ... | 14.44 ± 3.00  | 13.25 ± 3.00  | 12.04 ± 0.00 | ...          | ...          | ...          | ... | Clase III |       |
| 33  | ...             | ... | 17.28 ± 21.00 | 15.64 ± 21.00 | 13.90 ± 0.00 | 12.30 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | 11.20 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 35  | ...             | ... | 11.44 ± 4.00  | 10.97 ± 4.00  | 10.33 ± 0.00 | 9.79 ± 0.02  | 9.52 ± 0.02  | 9.40 ± 0.02  | ... | Clase III |       |
| 38  | ...             | ... | 17.85 ± 9.00  | 16.03 ± 9.00  | 13.45 ± 0.00 | 11.98 ± 0.02 | 11.38 ± 0.02 | 11.11 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 40  | ...             | ... | 18.15 ± 32.00 | 16.45 ± 32.00 | 14.12 ± 0.00 | 12.79 ± 0.03 | 12.10 ± 0.02 | 11.89 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 43  | ...             | ... | 15.98 ± 8.00  | 14.66 ± 8.00  | 12.89 ± 0.00 | 11.71 ± 0.02 | 11.03 ± 0.02 | 10.84 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 44  | ...             | ... | ...           | ...           | 15.43 ± 0.00 | 13.48 ± 0.02 | 12.59 ± 0.03 | 12.25 ± 0.03 | ... | Clase III |       |
| 52  | ...             | ... | ...           | ...           | 14.18 ± 0.00 | 12.72 ± 0.02 | 12.05 ± 0.02 | 11.80 ± 0.03 | ... | Clase III |       |
| 53  | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | ... | Clase II  |       |
| 54  | ...             | ... | 12.41 ± 8.00  | 11.44 ± 8.00  | 10.77 ± 0.00 | 9.95 ± 0.05  | 9.46 ± 0.05  | 9.34 ± 0.05  | ... | Clase III |       |
| 55  | ...             | ... | 1.77 ± 99.00  | 1.88 ± 99.00  | ...          | 2.24 ± 0.31  | 2.35 ± 0.23  | 2.40 ± 0.28  | ... | Clase III |       |
| 67  | ...             | ... | ...           | ...           | 15.49 ± 0.00 | 13.70 ± 0.03 | 13.13 ± 0.03 | 12.75 ± 0.04 | ... | Clase III |       |
| 68  | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 13.08 ± 0.03 | 12.47 ± 0.02 | 12.22 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 69  | ...             | ... | 16.17 ± 14.00 | 14.72 ± 14.00 | 12.62 ± 0.00 | 11.44 ± 0.03 | 10.76 ± 0.02 | 10.53 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 70  | ...             | ... | ...           | ...           | 17.19 ± 0.00 | 13.77 ± 0.03 | 12.48 ± 0.03 | 12.13 ± 0.04 | ... | Clase III |       |
| 71  | ...             | ... | ...           | ...           | 13.30 ± 0.00 | 12.18 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 11.32 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 73  | ...             | ... | 12.07 ± 5.00  | 11.29 ± 5.00  | 10.44 ± 0.00 | 9.81 ± 0.02  | 9.39 ± 0.02  | 9.29 ± 0.02  | ... | Clase III |       |
| 74  | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 12.81 ± 0.02 | 12.11 ± 0.02 | 11.93 ± 0.02 | ... | Clase III |       |
| 77  | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 12.34 ± 0.02 | 11.02 ± 0.02 | 10.25 ± 0.02 | ... | Clase II  |       |
| 78  | ...             | ... | 10.28 ± 3.00  | 10.10 ± 3.00  | 9.58 ± 0.00  | 8.91 ± 0.01  | 8.74 ± 0.03  | 8.64 ± 0.02  | ... | Clase III |       |
| 79  | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 13.78 ± 0.38 | 12.44 ± 0.12 | 11.63 ± 0.06 | ... | Clase II  |       |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | Optical Monitor |              | UCAC         |              | DENIS        |              | 2MASS        |              |              |              | Clase     |
|-----|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
|     | B               | V            | B            | V            | I            | J            | H            | K            |              |              |           |
| 80  | ...             | ...          | 12.89 ± 3.00 | 12.07 ± 3.00 | 11.10 ± 0.00 | 10.51 ± 0.02 | 10.09 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | Clase III |
| 84  | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 12.87 ± 0.03 | 12.26 ± 0.02 | 11.98 ± 0.02 | 11.98 ± 0.02 | 11.98 ± 0.02 | Clase III |
| 85  | ...             | ...          | 14.58 ± 8.00 | 13.31 ± 8.00 | 11.57 ± 0.00 | 10.47 ± 0.02 | 9.80 ± 0.02  | 9.58 ± 0.02  | 9.58 ± 0.02  | 9.58 ± 0.02  | Clase III |
| 86  | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase III |
| 87  | ...             | ...          | 9.09 ± 0.00  | 9.06 ± 0.00  | 9.20 ± 0.00  | 6.95 ± 0.02  | 6.87 ± 0.04  | 6.76 ± 0.01  | 6.76 ± 0.01  | 6.76 ± 0.01  | Clase III |
| 88  | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 14.16 ± 0.04 | 13.55 ± 0.04 | 13.23 ± 0.04 | 13.23 ± 0.04 | 13.23 ± 0.04 | Clase II  |
| 89  | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.48 ± 0.00 | 12.86 ± 0.02 | 12.24 ± 0.03 | 11.95 ± 0.02 | 11.95 ± 0.02 | 11.95 ± 0.02 | Clase III |
| 90  | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.72 ± 0.00 | 12.85 ± 0.02 | 12.25 ± 0.02 | 11.94 ± 0.02 | 11.94 ± 0.02 | 11.94 ± 0.02 | Clase III |
| 92  | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.56 ± 0.00 | 13.03 ± 0.02 | 12.45 ± 0.02 | 12.21 ± 0.02 | 12.21 ± 0.02 | 12.21 ± 0.02 | Clase III |
| 93  | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 15.06 ± 0.07 | 13.27 ± 0.04 | 12.26 ± 0.03 | 12.26 ± 0.03 | 12.26 ± 0.03 | Clase I   |
| 97  | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 13.51 ± 0.03 | 12.90 ± 0.03 | 12.64 ± 0.02 | 12.64 ± 0.02 | 12.64 ± 0.02 | Clase III |
| 99  | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 14.50 ± 0.03 | 12.22 ± 0.02 | 11.21 ± 0.02 | 11.21 ± 0.02 | 11.21 ± 0.02 | Clase III |
| 100 | ...             | ...          | ...          | ...          | 17.38 ± 0.00 | 13.86 ± 0.03 | 11.81 ± 0.02 | 10.45 ± 0.02 | 10.45 ± 0.02 | 10.45 ± 0.02 | Clase III |
| 101 | ...             | ...          | ...          | ...          | 15.69 ± 0.00 | 13.15 ± 0.03 | 11.84 ± 0.02 | 11.30 ± 0.02 | 11.30 ± 0.02 | 11.30 ± 0.02 | Clase III |
| 102 | ...             | ...          | 17.38 ± 2.00 | 16.29 ± 2.00 | 13.93 ± 0.00 | 12.69 ± 0.03 | 11.93 ± 0.02 | 11.74 ± 0.02 | 11.74 ± 0.02 | 11.74 ± 0.02 | Clase III |
| 103 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase I   |
| 104 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 18.25 ± 0.03 | 14.00 ± 0.03 | 12.01 ± 0.02 | 12.01 ± 0.02 | 12.01 ± 0.02 | Clase III |
| 106 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase II  |
| 107 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 14.72 ± 0.05 | 12.83 ± 0.03 | 12.02 ± 0.02 | 12.02 ± 0.02 | 12.02 ± 0.02 | Clase II  |
| 108 | ...             | ...          | 12.07 ± 3.00 | 11.62 ± 3.00 | 10.94 ± 0.00 | 10.32 ± 0.02 | 9.96 ± 0.02  | 9.83 ± 0.02  | 9.83 ± 0.02  | 9.83 ± 0.02  | Clase III |
| 109 | ...             | ...          | 15.00 ± 3.00 | 13.19 ± 3.00 | 10.94 ± 0.00 | 9.10 ± 0.02  | 8.07 ± 0.04  | 7.39 ± 0.02  | 7.39 ± 0.02  | 7.39 ± 0.02  | Clase II  |
| 110 | ...             | ...          | ...          | ...          | 17.71 ± 0.00 | 13.79 ± 0.03 | 12.10 ± 0.02 | 11.24 ± 0.02 | 11.24 ± 0.02 | 11.24 ± 0.02 | Clase II  |
| 111 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 13.44 ± 0.02 | 12.78 ± 0.02 | 12.48 ± 0.03 | 12.48 ± 0.03 | 12.48 ± 0.03 | Clase III |
| 112 | ...             | ...          | ...          | ...          | 13.97 ± 0.00 | 11.50 ± 0.02 | 10.21 ± 0.02 | 9.46 ± 0.02  | 9.46 ± 0.02  | 9.46 ± 0.02  | Clase II  |
| 113 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 12.23 ± 0.02 | 11.33 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | Clase III |
| 114 | ...             | ...          | ...          | ...          | 13.86 ± 0.00 | 10.71 ± 0.06 | 9.54 ± 0.03  | 8.36 ± 0.05  | 8.36 ± 0.05  | 8.36 ± 0.05  | Clase II  |
| 115 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.76 ± 0.00 | 13.34 ± 0.02 | 12.27 ± 0.02 | 11.59 ± 0.02 | 11.59 ± 0.02 | 11.59 ± 0.02 | Clase II  |
| 116 | ...             | ...          | ...          | ...          | 16.71 ± 0.00 | 13.74 ± 0.03 | 12.52 ± 0.02 | 11.96 ± 0.02 | 11.96 ± 0.02 | 11.96 ± 0.02 | Clase III |
| 117 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.21 ± 0.00 | 12.09 ± 0.02 | 11.12 ± 0.02 | 10.73 ± 0.02 | 10.73 ± 0.02 | 10.73 ± 0.02 | Clase II  |
| 118 | ...             | ...          | ...          | ...          | 16.19 ± 0.00 | 12.96 ± 0.02 | 11.52 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | Clase III |
| 120 | ...             | ...          | ...          | ...          | 16.01 ± 0.00 | 13.17 ± 0.02 | 11.94 ± 0.02 | 11.44 ± 0.02 | 11.44 ± 0.02 | 11.44 ± 0.02 | Clase III |
| 121 | ...             | 18.07 ± 0.22 | ...          | ...          | 14.74 ± 0.00 | 11.88 ± 0.02 | 10.54 ± 0.02 | 9.98 ± 0.02  | 9.98 ± 0.02  | 9.98 ± 0.02  | Clase III |
| 122 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 13.00 ± 0.03 | 12.32 ± 0.03 | 12.12 ± 0.03 | 12.12 ± 0.03 | 12.12 ± 0.03 | Clase III |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | — Optical Monitor — |              |     | UCAC         |              | DENIS        |              | 2MASS        |              |              | Clase     |
|-----|---------------------|--------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
|     | B                   | V            | V   | B            | V            | I            | J            | H            | K            |              |           |
| 124 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 12.50 ± 0.02 | 11.12 ± 0.02 | 10.55 ± 0.02 | 10.55 ± 0.02 | Clase III |
| 126 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 17.09 ± 0.00 | 13.39 ± 0.03 | 11.71 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | Clase III |
| 127 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.74 ± 0.00 | 14.23 ± 0.02 | 13.60 ± 0.03 | 13.33 ± 0.04 | 13.33 ± 0.04 | Clase III |
| 128 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 16.06 ± 0.00 | 12.43 ± 0.03 | 10.76 ± 0.03 | 10.00 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | Clase III |
| 129 | 17.05 ± 0.03        | 15.71 ± 0.02 | ... | 16.55 ± 1.00 | 15.37 ± 1.00 | 13.59 ± 0.00 | 12.30 ± 0.03 | 11.56 ± 0.03 | 11.37 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02 | Clase III |
| 130 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.65 ± 0.00 | 13.92 ± 0.03 | 13.26 ± 0.03 | 12.94 ± 0.03 | 12.94 ± 0.03 | Clase III |
| 131 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.11 ± 0.00 | 11.34 ± 0.03 | 9.62 ± 0.02  | 8.81 ± 0.02  | 8.81 ± 0.02  | Clase III |
| 132 | ...                 | 17.07 ± 0.10 | ... | ...          | ...          | 14.61 ± 0.00 | 11.80 ± 0.02 | 10.27 ± 0.02 | 9.37 ± 0.02  | 9.37 ± 0.02  | Clase II  |
| 133 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 18.17 ± 0.00 | 13.96 ± 0.03 | 12.21 ± 0.03 | 11.35 ± 0.03 | 11.35 ± 0.03 | Clase III |
| 135 | ...                 | ...          | ... | 14.39 ± 5.00 | 13.38 ± 5.00 | 12.11 ± 0.00 | 11.23 ± 0.03 | 10.64 ± 0.04 | 10.45 ± 0.03 | 10.45 ± 0.03 | Clase III |
| 136 | ...                 | 17.87 ± 0.20 | ... | ...          | ...          | 15.05 ± 0.00 | 12.07 ± 0.03 | 10.69 ± 0.03 | 10.11 ± 0.03 | 10.11 ± 0.03 | Clase III |
| 137 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.49 ± 0.00 | 13.12 ± 0.03 | 11.84 ± 0.02 | 11.20 ± 0.02 | 11.20 ± 0.02 | Clase II  |
| 138 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 16.39 ± 0.03 | 14.18 ± 0.05 | 11.94 ± 0.03 | 11.94 ± 0.03 | Clase I   |
| 139 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 14.27 ± 0.00 | 12.28 ± 0.02 | 11.42 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | Clase III |
| 140 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 13.72 ± 0.02 | 13.08 ± 0.02 | 12.84 ± 0.03 | 12.84 ± 0.03 | Clase III |
| 141 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 13.96 ± 0.03 | 13.00 ± 0.03 | 12.54 ± 0.02 | 12.54 ± 0.02 | Clase III |
| 142 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 15.51 ± 0.05 | 12.63 ± 0.02 | 11.21 ± 0.02 | 11.21 ± 0.02 | Clase III |
| 143 | 17.72 ± 0.08        | 17.19 ± 0.11 | ... | ...          | ...          | 14.52 ± 0.00 | 12.38 ± 0.03 | 10.28 ± 0.02 | 8.89 ± 0.02  | 8.89 ± 0.02  | Clase II  |
| 144 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 14.75 ± 0.00 | 11.73 ± 0.03 | 10.05 ± 0.02 | 8.83 ± 0.02  | 8.83 ± 0.02  | Clase III |
| 145 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 16.20 ± 0.00 | 12.86 ± 0.02 | 11.50 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | Clase III |
| 146 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 12.33 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | Clase II  |
| 147 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 13.15 ± 0.04 | 11.84 ± 0.04 | 11.21 ± 0.03 | 11.21 ± 0.03 | Clase III |
| 148 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.35 ± 0.00 | 12.40 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | 10.00 ± 0.02 | Clase II  |
| 149 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 16.14 ± 0.00 | 12.04 ± 0.03 | 10.10 ± 0.03 | 8.82 ± 0.02  | 8.82 ± 0.02  | Clase II  |
| 150 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.21 ± 0.00 | 12.67 ± 0.03 | 11.23 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02 | Clase II  |
| 151 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 14.56 ± 0.00 | 10.75 ± 0.03 | 9.12 ± 0.03  | 8.27 ± 0.03  | 8.27 ± 0.03  | Clase III |
| 153 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 15.15 ± 0.00 | 12.44 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | 10.65 ± 0.02 | 10.65 ± 0.02 | Clase II  |
| 154 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 14.12 ± 0.03 | 12.44 ± 0.02 | 11.81 ± 0.02 | 11.81 ± 0.02 | Clase III |
| 155 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 12.05 ± 0.03 | 10.10 ± 0.04 | 9.17 ± 0.03  | 9.17 ± 0.03  | Clase III |
| 156 | ...                 | 19.00 ± 0.43 | ... | ...          | ...          | 15.88 ± 0.00 | 12.82 ± 0.02 | 11.51 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | Clase III |
| 157 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 16.72 ± 0.00 | 12.49 ± 0.04 | 10.44 ± 0.04 | 9.27 ± 0.02  | 9.27 ± 0.02  | Clase III |
| 158 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | 17.34 ± 0.00 | 13.69 ± 0.03 | 12.35 ± 0.03 | 11.78 ± 0.03 | 11.78 ± 0.03 | Clase III |
| 159 | ...                 | ...          | ... | ...          | ...          | ...          | 13.73 ± 0.02 | 11.76 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | Clase III |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | Optical Monitor |     | UCAC          |               | DENIS        |              | 2MASS        |              |              |              |              | Clase     |
|-----|-----------------|-----|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
|     | B               | V   | B             | V             | I            | J            | H            | K            |              |              |              |           |
| 160 | ...             | ... | 16.90 ± 3.00  | 15.05 ± 3.00  | 12.61 ± 0.00 | 10.62 ± 0.02 | 9.66 ± 0.02  | 9.18 ± 0.02  | 9.18 ± 0.02  | 9.18 ± 0.02  | 9.18 ± 0.02  | Clase III |
| 161 | ...             | ... | ...           | ...           | 18.42 ± 0.00 | 16.07 ± 0.16 | 13.12 ± 0.06 | 11.36 ± 0.03 | 11.36 ± 0.03 | 11.36 ± 0.03 | 11.36 ± 0.03 | Clase III |
| 162 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 11.66 ± 0.02 | 9.09 ± 0.02  | 7.51 ± 0.02  | 7.51 ± 0.02  | 7.51 ± 0.02  | 7.51 ± 0.02  | Clase II  |
| 163 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 14.09 ± 0.03 | 11.18 ± 0.02 | 9.36 ± 0.02  | 9.36 ± 0.02  | 9.36 ± 0.02  | 9.36 ± 0.02  | Clase II  |
| 164 | ...             | ... | ...           | ...           | 16.40 ± 0.00 | 13.18 ± 0.03 | 11.76 ± 0.03 | 11.13 ± 0.02 | 11.13 ± 0.02 | 11.13 ± 0.02 | 11.13 ± 0.02 | Clase III |
| 165 | ...             | ... | ...           | ...           | 15.12 ± 0.00 | 12.48 ± 0.02 | 11.18 ± 0.02 | 10.41 ± 0.02 | 10.41 ± 0.02 | 10.41 ± 0.02 | 10.41 ± 0.02 | Clase II  |
| 166 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 14.16 ± 0.03 | 12.13 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | Clase III |
| 167 | ...             | ... | ...           | ...           | 17.44 ± 0.00 | 14.05 ± 0.03 | 13.10 ± 0.02 | 12.60 ± 0.03 | 12.60 ± 0.03 | 12.60 ± 0.03 | 12.60 ± 0.03 | Clase III |
| 168 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 11.31 ± 0.02 | 10.35 ± 0.02 | 9.89 ± 0.02  | 9.89 ± 0.02  | 9.89 ± 0.02  | 9.89 ± 0.02  | Clase II  |
| 169 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 16.40 ± 0.03 | 14.39 ± 0.03 | 14.10 ± 0.17 | 14.10 ± 0.17 | 14.10 ± 0.17 | 14.10 ± 0.17 | Clase III |
| 171 | ...             | ... | ...           | ...           | 12.60 ± 0.00 | 10.40 ± 0.02 | 9.13 ± 0.02  | 8.22 ± 0.02  | 8.22 ± 0.02  | 8.22 ± 0.02  | 8.22 ± 0.02  | Clase II  |
| 172 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 17.74 ± 0.03 | 14.26 ± 0.02 | 11.09 ± 0.02 | 11.09 ± 0.02 | 11.09 ± 0.02 | 11.09 ± 0.02 | Clase III |
| 173 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 17.15 ± 0.03 | 13.84 ± 0.02 | 11.55 ± 0.02 | 11.55 ± 0.02 | 11.55 ± 0.02 | 11.55 ± 0.02 | Clase III |
| 174 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 16.87 ± 0.03 | 14.20 ± 0.05 | 12.42 ± 0.04 | 12.42 ± 0.04 | 12.42 ± 0.04 | 12.42 ± 0.04 | Clase III |
| 175 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 12.59 ± 0.02 | 10.48 ± 0.02 | 9.32 ± 0.02  | 9.32 ± 0.02  | 9.32 ± 0.02  | 9.32 ± 0.02  | Clase III |
| 176 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 16.51 ± 0.13 | 12.87 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | Clase III |
| 177 | ...             | ... | ...           | ...           | 14.14 ± 0.00 | 11.77 ± 0.02 | 10.50 ± 0.02 | 9.79 ± 0.02  | 9.79 ± 0.02  | 9.79 ± 0.02  | 9.79 ± 0.02  | Clase II  |
| 178 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 12.31 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | Clase III |
| 179 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 14.69 ± 0.09 | 11.99 ± 0.06 | 10.61 ± 0.04 | 10.61 ± 0.04 | 10.61 ± 0.04 | 10.61 ± 0.04 | Clase III |
| 180 | ...             | ... | 14.36 ± 12.00 | 13.36 ± 12.00 | 12.25 ± 0.00 | 11.25 ± 0.02 | 10.63 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02 | 10.49 ± 0.02 | Clase III |
| 181 | ...             | ... | 14.17 ± 6.00  | 13.15 ± 6.00  | 11.89 ± 0.00 | 10.93 ± 0.02 | 10.32 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02 | Clase III |
| 182 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 15.43 ± 0.04 | 12.59 ± 0.02 | 11.28 ± 0.02 | 11.28 ± 0.02 | 11.28 ± 0.02 | 11.28 ± 0.02 | Clase III |
| 183 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 12.80 ± 0.02 | 11.96 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | Clase II  |
| 184 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 17.98 ± 0.03 | 15.15 ± 0.03 | 12.44 ± 0.06 | 12.44 ± 0.06 | 12.44 ± 0.06 | 12.44 ± 0.06 | Clase III |
| 185 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 13.38 ± 0.04 | 12.51 ± 0.05 | 11.93 ± 0.03 | 11.93 ± 0.03 | 11.93 ± 0.03 | 11.93 ± 0.03 | Clase III |
| 186 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 13.66 ± 0.04 | 11.34 ± 0.04 | 9.81 ± 0.04  | 9.81 ± 0.04  | 9.81 ± 0.04  | 9.81 ± 0.04  | Clase III |
| 187 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 13.72 ± 0.02 | 11.75 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | Clase III |
| 188 | ...             | ... | ...           | ...           | 14.67 ± 0.00 | 11.91 ± 0.03 | 10.67 ± 0.02 | 10.24 ± 0.02 | 10.24 ± 0.02 | 10.24 ± 0.02 | 10.24 ± 0.02 | TD        |
| 189 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 13.88 ± 0.02 | 13.27 ± 0.02 | 12.99 ± 0.03 | 12.99 ± 0.03 | 12.99 ± 0.03 | 12.99 ± 0.03 | Clase III |
| 190 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 17.21 ± 0.03 | 13.23 ± 0.02 | 10.34 ± 0.02 | 10.34 ± 0.02 | 10.34 ± 0.02 | 10.34 ± 0.02 | Clase III |
| 191 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 17.87 ± 0.03 | 14.11 ± 0.02 | 11.89 ± 0.02 | 11.89 ± 0.02 | 11.89 ± 0.02 | 11.89 ± 0.02 | Clase III |
| 192 | ...             | ... | ...           | ...           | 16.90 ± 0.00 | 13.19 ± 0.02 | 11.52 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | Clase III |
| 193 | ...             | ... | ...           | ...           | ...          | 18.30 ± 0.03 | 15.61 ± 0.09 | 11.32 ± 0.02 | 11.32 ± 0.02 | 11.32 ± 0.02 | 11.32 ± 0.02 | Clase III |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | — Optical Monitor — |              | — UCAC —      |               | DENIS        |              | — 2MASS —    |              |     |     | Clase     |
|-----|---------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|-----|-----------|
|     | B                   | V            | B             | V             | I            | J            | H            | K            |     |     |           |
| 194 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 18.46 ± 0.03 | 17.49 ± 0.03 | 14.86 ± 0.13 | ... | ... | Clase I   |
| 195 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.44 ± 0.03 | 13.45 ± 0.03 | 12.86 ± 0.22 | ... | ... | Clase III |
| 196 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 17.02 ± 0.03 | 15.91 ± 0.26 | 12.19 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 197 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 10.99 ± 0.03 | 9.56 ± 0.02  | 8.78 ± 0.02  | ... | ... | Clase III |
| 198 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.25 ± 0.00 | 13.14 ± 0.02 | 11.75 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | ... | ... | Clase II  |
| 199 | ...                 | ...          | 13.61 ± 6.00  | 12.29 ± 6.00  | 10.50 ± 0.00 | 9.04 ± 0.01  | 8.15 ± 0.04  | 7.55 ± 0.02  | ... | ... | Clase II  |
| 200 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.25 ± 0.00 | 12.71 ± 0.02 | 11.16 ± 0.02 | 10.40 ± 0.02 | ... | ... | Clase II  |
| 201 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.48 ± 0.10 | 13.39 ± 0.03 | 11.60 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 202 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.52 ± 0.03 | 13.82 ± 0.02 | 11.20 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 203 | ...                 | ...          | 12.34 ± 4.00  | 11.88 ± 4.00  | 11.26 ± 0.00 | 10.89 ± 0.02 | 10.62 ± 0.02 | 10.58 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 204 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.10 ± 0.05 | 12.70 ± 0.03 | 11.51 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 205 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.23 ± 0.09 | 12.51 ± 0.06 | 11.48 ± 0.05 | ... | ... | Clase III |
| 206 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.78 ± 0.00 | 13.69 ± 0.03 | 12.33 ± 0.03 | 11.80 ± 0.03 | ... | ... | Clase III |
| 207 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.89 ± 0.02 | 12.71 ± 0.02 | 12.18 ± 0.02 | ... | ... | Clase II  |
| 208 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 9.63 ± 0.02  | 8.78 ± 0.05  | 8.34 ± 0.01  | ... | ... | Clase III |
| 209 | ...                 | ...          | 12.18 ± 1.00  | 11.24 ± 1.00  | 10.01 ± 0.00 | 8.90 ± 0.01  | 8.60 ± 0.01  | 8.45 ± 0.02  | ... | ... | Clase III |
| 210 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.52 ± 0.00 | ...          | ...          | ...          | ... | ... | Clase III |
| 211 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.81 ± 0.00 | 12.83 ± 0.02 | 11.06 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02 | ... | ... | Clase II  |
| 212 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.01 ± 0.05 | 11.99 ± 0.07 | 11.45 ± 0.07 | ... | ... | Clase III |
| 213 | ...                 | ...          | 16.49 ± 35.00 | 14.94 ± 35.00 | 14.00 ± 0.00 | 10.88 ± 0.03 | 10.00 ± 0.03 | 9.51 ± 0.02  | ... | ... | Clase II  |
| 214 | ...                 | ...          | 16.76 ± 1.00  | 15.05 ± 1.00  | 12.63 ± 0.00 | 10.57 ± 0.02 | 9.51 ± 0.02  | 9.11 ± 0.02  | ... | ... | Clase III |
| 215 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.77 ± 0.02 | 11.95 ± 0.02 | 11.13 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 216 | ...                 | 19.49 ± 0.49 | ...           | ...           | 15.99 ± 0.00 | 12.23 ± 0.02 | 10.61 ± 0.02 | 9.68 ± 0.02  | ... | ... | Clase II  |
| 217 | ...                 | 18.32 ± 0.11 | ...           | ...           | ...          | 14.56 ± 0.09 | 11.99 ± 0.06 | 10.40 ± 0.04 | ... | ... | Clase III |
| 218 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.98 ± 0.00 | 13.08 ± 0.02 | 11.92 ± 0.02 | 11.39 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 219 | ...                 | ...          | 17.10 ± 13.00 | 15.40 ± 13.00 | 12.88 ± 0.00 | 11.23 ± 0.03 | 10.41 ± 0.03 | 10.16 ± 0.03 | ... | ... | Clase III |
| 220 | ...                 | 18.70 ± 0.28 | ...           | ...           | 15.59 ± 0.00 | 12.84 ± 0.02 | 11.76 ± 0.02 | 11.26 ± 0.02 | ... | ... | Clase III |
| 221 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.80 ± 0.00 | 16.54 ± 0.03 | 15.64 ± 0.03 | 13.94 ± 0.05 | ... | ... | Clase II  |
| 222 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.75 ± 0.03 | 14.15 ± 0.04 | 13.84 ± 0.06 | ... | ... | Clase III |
| 223 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.76 ± 0.00 | 12.85 ± 0.02 | 11.66 ± 0.02 | 11.05 ± 0.02 | ... | ... | Clase II  |
| 224 | ...                 | 17.45 ± 0.14 | ...           | ...           | 14.94 ± 0.00 | 12.78 ± 0.04 | 11.78 ± 0.04 | 11.24 ± 0.04 | ... | ... | Clase III |
| 225 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.60 ± 0.00 | 13.34 ± 0.03 | 11.85 ± 0.03 | 11.29 ± 0.03 | ... | ... | Clase III |
| 226 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.45 ± 0.02 | 12.35 ± 0.02 | 11.89 ± 0.03 | ... | ... | Clase III |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | Optical Monitor |              | UCAC         |              | DENIS        |              | 2MASS        |              |              |              | Clase     |
|-----|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
|     | B               | V            | B            | V            | I            | J            | H            | K            |              |              |           |
| 228 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 14.01 ± 0.02 | 12.00 ± 0.02 | 11.14 ± 0.02 | 11.14 ± 0.02 | 11.14 ± 0.02 | Clase III |
| 229 | ...             | 18.71 ± 0.43 | ...          | ...          | 16.00 ± 0.00 | 13.51 ± 0.03 | 12.29 ± 0.02 | 11.81 ± 0.02 | 11.81 ± 0.02 | 11.81 ± 0.02 | Clase III |
| 230 | ...             | ...          | ...          | ...          | 16.42 ± 0.00 | 13.55 ± 0.02 | 12.23 ± 0.02 | 11.54 ± 0.02 | 11.54 ± 0.02 | 11.54 ± 0.02 | Clase II  |
| 231 | ...             | ...          | ...          | ...          | 17.38 ± 0.00 | 14.05 ± 0.03 | 12.06 ± 0.06 | 10.90 ± 0.04 | 10.90 ± 0.04 | 10.90 ± 0.04 | Clase III |
| 232 | ...             | ...          | ...          | ...          | 15.23 ± 0.00 | 12.50 ± 0.02 | 11.32 ± 0.02 | 10.81 ± 0.02 | 10.81 ± 0.02 | 10.81 ± 0.02 | TD        |
| 234 | ...             | ...          | 16.69 ± 4.00 | 14.98 ± 4.00 | 12.74 ± 0.00 | 11.07 ± 0.02 | 10.15 ± 0.02 | 9.87 ± 0.02  | 9.87 ± 0.02  | 9.87 ± 0.02  | Clase III |
| 235 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.59 ± 0.00 | 12.10 ± 0.02 | 11.00 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | Clase III |
| 236 | ...             | ...          | 13.18 ± 3.00 | 12.57 ± 3.00 | 11.84 ± 0.00 | 11.31 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | 10.93 ± 0.02 | Clase III |
| 237 | ...             | ...          | 15.98 ± 7.00 | 14.92 ± 7.00 | 13.60 ± 0.00 | 12.90 ± 0.02 | 12.34 ± 0.02 | 12.27 ± 0.03 | 12.27 ± 0.03 | 12.27 ± 0.03 | TD        |
| 238 | ...             | ...          | 13.98 ± 3.00 | 12.95 ± 3.00 | 11.77 ± 0.00 | 10.76 ± 0.02 | 10.15 ± 0.02 | 10.02 ± 0.02 | 10.02 ± 0.02 | 10.02 ± 0.02 | Clase III |
| 239 | ...             | ...          | 17.27 ± 7.00 | 15.70 ± 7.00 | 13.36 ± 0.00 | 11.84 ± 0.02 | 11.15 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | Clase III |
| 240 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.45 ± 0.00 | 11.44 ± 0.03 | 10.17 ± 0.02 | 9.60 ± 0.02  | 9.60 ± 0.02  | 9.60 ± 0.02  | Clase II  |
| 241 | ...             | ...          | 14.44 ± 6.00 | 13.69 ± 6.00 | 12.63 ± 0.00 | 12.04 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | 11.58 ± 0.02 | 11.58 ± 0.02 | 11.58 ± 0.02 | Clase III |
| 242 | ...             | ...          | 14.06 ± 5.00 | 13.11 ± 5.00 | 11.88 ± 0.00 | 10.94 ± 0.02 | 10.43 ± 0.02 | 10.31 ± 0.02 | 10.31 ± 0.02 | 10.31 ± 0.02 | Clase III |
| 243 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.51 ± 0.00 | 12.91 ± 0.02 | 12.24 ± 0.02 | 11.98 ± 0.02 | 11.98 ± 0.02 | 11.98 ± 0.02 | TD        |
| 245 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.28 ± 0.00 | 12.80 ± 0.03 | 12.06 ± 0.02 | 11.85 ± 0.02 | 11.85 ± 0.02 | 11.85 ± 0.02 | Clase III |
| 247 | ...             | ...          | ...          | ...          | 15.54 ± 0.00 | 13.73 ± 0.02 | 13.17 ± 0.02 | 12.92 ± 0.03 | 12.92 ± 0.03 | 12.92 ± 0.03 | Clase III |
| 248 | ...             | ...          | 14.70 ± 7.00 | 13.10 ± 7.00 | 10.83 ± 0.00 | 9.40 ± 0.02  | 8.68 ± 0.04  | 8.39 ± 0.02  | 8.39 ± 0.02  | 8.39 ± 0.02  | Clase III |
| 249 | ...             | ...          | ...          | ...          | 13.48 ± 0.00 | 12.03 ± 0.03 | 11.27 ± 0.03 | 10.95 ± 0.02 | 10.95 ± 0.02 | 10.95 ± 0.02 | Clase II  |
| 250 | ...             | ...          | 17.62 ± 1.00 | 16.08 ± 1.00 | 13.66 ± 0.00 | 12.28 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02 | Clase III |
| 251 | ...             | ...          | ...          | ...          | 15.24 ± 0.00 | 13.44 ± 0.02 | 12.81 ± 0.02 | 12.56 ± 0.02 | 12.56 ± 0.02 | 12.56 ± 0.02 | Clase III |
| 252 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.13 ± 0.00 | 12.60 ± 0.02 | 11.86 ± 0.02 | 11.60 ± 0.02 | 11.60 ± 0.02 | 11.60 ± 0.02 | Clase III |
| 253 | ...             | ...          | ...          | ...          | 14.48 ± 0.00 | 12.57 ± 0.02 | 12.00 ± 0.02 | 11.67 ± 0.02 | 11.67 ± 0.02 | 11.67 ± 0.02 | Clase III |
| 255 | ...             | ...          | 17.56 ± 1.00 | 15.60 ± 1.00 | 13.32 ± 0.00 | 11.56 ± 0.02 | 10.68 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | Clase III |
| 257 | ...             | ...          | 18.41 ± 0.00 | 16.63 ± 0.00 | ...          | 12.65 ± 0.02 | 12.04 ± 0.02 | 11.76 ± 0.02 | 11.76 ± 0.02 | 11.76 ± 0.02 | Clase III |
| 260 | ...             | ...          | 11.15 ± 4.00 | 10.73 ± 4.00 | 10.16 ± 0.00 | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase III |
| 265 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 14.32 ± 0.03 | 12.68 ± 0.02 | 11.86 ± 0.02 | 11.86 ± 0.02 | 11.86 ± 0.02 | Clase III |
| 268 | ...             | ...          | 13.06 ± 6.00 | 12.39 ± 6.00 | ...          | 10.68 ± 0.02 | 10.31 ± 0.02 | 10.18 ± 0.02 | 10.18 ± 0.02 | 10.18 ± 0.02 | Clase III |
| 271 | ...             | ...          | ...          | ...          | ...          | 14.41 ± 0.02 | 13.07 ± 0.02 | 12.57 ± 0.02 | 12.57 ± 0.02 | 12.57 ± 0.02 | Clase III |
| 273 | ...             | 17.08 ± 0.03 | ...          | ...          | ...          | 13.15 ± 0.02 | 12.32 ± 0.03 | 12.02 ± 0.02 | 12.02 ± 0.02 | 12.02 ± 0.02 | Clase III |
| 275 | ...             | 18.93 ± 0.12 | ...          | ...          | ...          | 13.85 ± 0.03 | 13.29 ± 0.03 | 13.00 ± 0.03 | 13.00 ± 0.03 | 13.00 ± 0.03 | Clase III |
| 280 | ...             | 12.73 ± 0.01 | 14.10 ± 6.00 | 12.80 ± 6.00 | 11.09 ± 0.00 | 10.13 ± 0.02 | 9.51 ± 0.02  | 9.32 ± 0.02  | 9.32 ± 0.02  | 9.32 ± 0.02  | Clase III |
| 283 | ...             | ...          | ...          | ...          | 18.42 ± 0.00 | 16.42 ± 0.11 | 15.76 ± 0.16 | 15.61 ± 0.24 | 15.61 ± 0.24 | 15.61 ± 0.24 | Clase III |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | Optical Monitor |              |     | UCAC          |               |              | DENIS        |              |              | 2MASS        |              |           | Clase |
|-----|-----------------|--------------|-----|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
|     | B               | V            | B   | B             | V             | I            | J            | H            | K            |              |              |           |       |
| 284 | ...             | 17.94 ± 0.05 | ... | 9.42 ± 19.00  | 9.09 ± 19.00  | 15.30 ± 0.00 | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase III |       |
| 286 | ...             | 14.36 ± 0.01 | ... | 9.42 ± 19.00  | 9.09 ± 19.00  | 9.23 ± 0.00  | 8.20 ± 0.03  | 8.15 ± 0.06  | 8.08 ± 0.02  | 8.15 ± 0.06  | 8.08 ± 0.02  | Clase III |       |
| 287 | ...             | 13.29 ± 0.01 | ... | 14.60 ± 10.00 | 13.64 ± 10.00 | 12.31 ± 0.00 | 11.55 ± 0.03 | 11.02 ± 0.03 | 10.86 ± 0.02 | 11.02 ± 0.03 | 10.86 ± 0.02 | Clase III |       |
| 294 | ...             | 15.83 ± 0.01 | ... | 17.17 ± 7.00  | 15.85 ± 7.00  | 14.05 ± 0.00 | 13.05 ± 0.03 | 12.43 ± 0.03 | 12.25 ± 0.02 | 12.43 ± 0.03 | 12.25 ± 0.02 | Clase III |       |
| 298 | ...             | 15.42 ± 0.01 | ... | ...           | ...           | 12.92 ± 0.00 | 11.59 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | 10.77 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | 10.77 ± 0.02 | Clase III |       |
| 300 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 14.88 ± 0.00 | 12.70 ± 0.02 | 11.80 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 11.80 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | Clase III |       |
| 301 | ...             | 13.84 ± 0.01 | ... | 14.77 ± 8.00  | 13.95 ± 8.00  | 12.92 ± 0.00 | 12.27 ± 0.02 | 11.83 ± 0.03 | 11.71 ± 0.02 | 11.83 ± 0.03 | 11.71 ± 0.02 | Clase III |       |
| 302 | ...             | 16.81 ± 0.02 | ... | ...           | ...           | 14.20 ± 0.00 | 12.52 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | 11.41 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | 11.41 ± 0.02 | Clase III |       |
| 313 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 15.34 ± 0.00 | 13.04 ± 0.02 | 11.99 ± 0.02 | 11.58 ± 0.02 | 11.99 ± 0.02 | 11.58 ± 0.02 | Clase III |       |
| 316 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 14.74 ± 0.00 | 13.56 ± 0.02 | 12.85 ± 0.03 | 12.67 ± 0.02 | 12.85 ± 0.03 | 12.67 ± 0.02 | Clase III |       |
| 317 | ...             | ...          | ... | 16.16 ± 3.00  | 15.11 ± 3.00  | 13.78 ± 0.00 | 12.94 ± 0.02 | 12.37 ± 0.02 | 12.26 ± 0.03 | 12.37 ± 0.02 | 12.26 ± 0.03 | Clase III |       |
| 319 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase II  |       |
| 322 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 14.63 ± 0.00 | 12.96 ± 0.02 | 12.22 ± 0.02 | 11.93 ± 0.02 | 12.22 ± 0.02 | 11.93 ± 0.02 | Clase III |       |
| 324 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase I   |       |
| 325 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 14.86 ± 0.00 | 13.84 ± 0.02 | 13.21 ± 0.02 | 13.07 ± 0.03 | 13.21 ± 0.02 | 13.07 ± 0.03 | Clase III |       |
| 327 | ...             | ...          | ... | 11.11 ± 7.00  | 10.71 ± 7.00  | 10.30 ± 0.00 | 10.00 ± 0.02 | 9.87 ± 0.02  | 9.80 ± 0.02  | 9.87 ± 0.02  | 9.80 ± 0.02  | Clase III |       |
| 329 | ...             | ...          | ... | 12.49 ± 6.00  | 11.86 ± 6.00  | 11.11 ± 0.00 | 10.66 ± 0.02 | 10.33 ± 0.03 | 10.30 ± 0.02 | 10.33 ± 0.03 | 10.30 ± 0.02 | Clase III |       |
| 335 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 14.29 ± 0.00 | 12.65 ± 0.02 | 11.82 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | 11.82 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | Clase III |       |
| 336 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 15.84 ± 0.00 | 14.72 ± 0.04 | 14.05 ± 0.04 | 13.83 ± 0.06 | 14.05 ± 0.04 | 13.83 ± 0.06 | Clase III |       |
| 339 | ...             | ...          | ... | 14.95 ± 6.00  | 14.05 ± 6.00  | 13.05 ± 0.00 | 12.46 ± 0.02 | 12.00 ± 0.02 | 11.92 ± 0.03 | 12.00 ± 0.02 | 11.92 ± 0.03 | Clase III |       |
| 340 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 16.66 ± 0.00 | 14.21 ± 0.04 | 13.42 ± 0.04 | 13.08 ± 0.04 | 13.42 ± 0.04 | 13.08 ± 0.04 | Clase III |       |
| 341 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | 14.43 ± 0.00 | 12.86 ± 0.03 | 12.09 ± 0.03 | 11.85 ± 0.03 | 12.09 ± 0.03 | 11.85 ± 0.03 | Clase III |       |
| 342 | ...             | ...          | ... | 16.49 ± 9.00  | 15.07 ± 9.00  | 13.10 ± 0.00 | 11.93 ± 0.02 | 11.18 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 11.18 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | Clase III |       |
| 347 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 12.90 ± 0.02 | 12.21 ± 0.02 | 11.91 ± 0.02 | 12.21 ± 0.02 | 11.91 ± 0.02 | Clase III |       |
| 349 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 13.93 ± 0.02 | 13.15 ± 0.03 | 12.68 ± 0.03 | 13.15 ± 0.03 | 12.68 ± 0.03 | Clase III |       |
| 355 | 17.94 ± 0.02    | ...          | ... | 18.00 ± 21.00 | 16.73 ± 21.00 | ...          | 12.78 ± 0.02 | 11.96 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | 12.78 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | Clase III |       |
| 358 | ...             | ...          | ... | 17.55 ± 14.00 | 15.98 ± 14.00 | ...          | 12.13 ± 0.02 | 11.33 ± 0.02 | 11.03 ± 0.02 | 12.13 ± 0.02 | 11.03 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 359 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 14.96 ± 0.04 | 13.69 ± 0.04 | 13.15 ± 0.04 | 14.96 ± 0.04 | 13.15 ± 0.04 | Clase III |       |
| 360 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 14.01 ± 0.02 | 13.31 ± 0.02 | 12.99 ± 0.03 | 14.01 ± 0.02 | 12.99 ± 0.03 | Clase II  |       |
| 363 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 12.05 ± 0.02 | 11.22 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | 12.05 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 364 | 18.71 ± 0.05    | 17.03 ± 0.05 | ... | ...           | ...           | ...          | 11.06 ± 0.02 | 9.98 ± 0.02  | 9.40 ± 0.02  | 11.06 ± 0.02 | 9.40 ± 0.02  | Clase III |       |
| 366 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 12.85 ± 0.03 | 12.02 ± 0.03 | 11.63 ± 0.03 | 12.85 ± 0.03 | 11.63 ± 0.03 | Clase III |       |
| 368 | ...             | ...          | ... | ...           | ...           | ...          | 13.41 ± 0.02 | 12.52 ± 0.02 | 12.20 ± 0.03 | 13.41 ± 0.02 | 12.20 ± 0.03 | Clase III |       |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | — Optical Monitor — |              | — UCAC —      |               | DENIS        |              | — 2MASS —    |              |           |  | Clase |
|-----|---------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--|-------|
|     | B                   | V            | B             | V             | I            | J            | H            | K            |           |  |       |
| 369 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.36 ± 0.02 | 12.28 ± 0.02 | 11.74 ± 0.03 | Clase II  |  |       |
| 370 | ...                 | ...          | 16.88 ± 1.00  | 15.42 ± 1.00  | ...          | 11.34 ± 0.03 | 10.12 ± 0.03 | 9.45 ± 0.02  | Clase II  |  |       |
| 372 | 19.85 ± 0.26        | 18.08 ± 0.12 | ...           | ...           | ...          | 12.39 ± 0.03 | 11.24 ± 0.02 | 10.82 ± 0.02 | Clase III |  |       |
| 375 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.46 ± 0.09 | 14.08 ± 0.08 | 12.96 ± 0.07 | Clase II  |  |       |
| 376 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase I   |  |       |
| 377 | 15.99 ± 0.01        | ...          | 15.83 ± 13.00 | 14.05 ± 13.00 | ...          | 9.80 ± 0.04  | 8.65 ± 0.05  | 8.40 ± 0.03  | TD        |  |       |
| 378 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 12.36 ± 0.02 | 11.36 ± 0.02 | 10.98 ± 0.02 | Clase III |  |       |
| 379 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.91 ± 0.05 | 14.39 ± 0.05 | 14.11 ± 0.06 | Clase III |  |       |
| 381 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.20 ± 0.12 | 13.46 ± 0.13 | 11.94 ± 0.08 | Clase I   |  |       |
| 382 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.86 ± 0.03 | 14.15 ± 0.12 | 11.16 ± 0.05 | Clase III |  |       |
| 383 | 20.20 ± 0.31        | 18.05 ± 0.11 | ...           | ...           | ...          | 11.29 ± 0.03 | 10.16 ± 0.02 | 9.50 ± 0.02  | Clase II  |  |       |
| 384 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.14 ± 0.08 | 13.36 ± 0.02 | 11.95 ± 0.03 | Clase III |  |       |
| 385 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.01 ± 0.03 | 12.45 ± 0.02 | 11.72 ± 0.02 | Clase II  |  |       |
| 386 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 17.88 ± 0.03 | 16.38 ± 0.03 | 14.42 ± 0.07 | Clase II  |  |       |
| 388 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.68 ± 0.03 | 12.66 ± 0.02 | 12.30 ± 0.02 | Clase III |  |       |
| 389 | 20.63 ± 0.45        | 18.94 ± 0.23 | ...           | ...           | ...          | 11.50 ± 0.03 | 10.10 ± 0.02 | 9.34 ± 0.02  | Clase III |  |       |
| 390 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.94 ± 0.04 | 12.19 ± 0.03 | 11.20 ± 0.03 | Clase II  |  |       |
| 391 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.63 ± 0.03 | 13.94 ± 0.02 | 13.51 ± 0.04 | Clase II  |  |       |
| 392 | ...                 | 17.47 ± 0.06 | ...           | ...           | ...          | 14.74 ± 0.03 | 12.16 ± 0.03 | 10.27 ± 0.02 | Clase I   |  |       |
| 394 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.35 ± 0.04 | 12.79 ± 0.05 | 12.30 ± 0.03 | Clase III |  |       |
| 396 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.02 ± 0.00 | 12.88 ± 0.02 | 11.62 ± 0.02 | 11.05 ± 0.02 | Clase III |  |       |
| 398 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.10 ± 0.00 | 12.84 ± 0.03 | 11.28 ± 0.03 | 10.40 ± 0.03 | Clase III |  |       |
| 400 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.60 ± 0.00 | 12.21 ± 0.02 | 11.07 ± 0.02 | 10.47 ± 0.02 | Clase II  |  |       |
| 401 | 17.10 ± 0.03        | 15.52 ± 0.02 | ...           | ...           | 13.05 ± 0.00 | 11.20 ± 0.02 | 10.16 ± 0.02 | 9.72 ± 0.02  | Clase II  |  |       |
| 402 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 10.63 ± 0.03 | 9.03 ± 0.03  | 7.87 ± 0.01  | Clase II  |  |       |
| 404 | 16.39 ± 0.02        | 14.87 ± 0.01 | 16.14 ± 12.00 | 14.61 ± 12.00 | 12.56 ± 0.00 | 10.69 ± 0.02 | 9.65 ± 0.02  | 9.00 ± 0.02  | Clase II  |  |       |
| 407 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.86 ± 0.03 | 13.09 ± 0.02 | 12.26 ± 0.02 | Clase III |  |       |
| 409 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.57 ± 0.00 | 15.06 ± 0.04 | 14.44 ± 0.04 | 14.22 ± 0.07 | Clase III |  |       |
| 411 | 16.71 ± 0.02        | 15.42 ± 0.01 | 16.74 ± 33.00 | 15.14 ± 33.00 | 13.02 ± 0.00 | 11.51 ± 0.02 | 10.65 ± 0.02 | 10.21 ± 0.02 | TD        |  |       |
| 415 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.99 ± 0.00 | 14.68 ± 0.04 | 13.05 ± 0.03 | 12.38 ± 0.02 | Clase III |  |       |
| 419 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.57 ± 0.00 | 13.60 ± 0.03 | 11.74 ± 0.02 | 10.74 ± 0.02 | Clase II  |  |       |
| 421 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.40 ± 0.03 | 11.96 ± 0.02 | 10.41 ± 0.02 | Clase II  |  |       |
| 423 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.60 ± 0.03 | 12.98 ± 0.03 | 12.13 ± 0.02 | Clase II  |  |       |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | — Optical Monitor — |              | — UCAC —      |               | — DENIS —    |              | — 2MASS —    |              |              |              | Clase        |           |
|-----|---------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
|     | B                   | V            | B             | V             | I            | J            | H            | K            |              |              |              |           |
| 427 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.40 ± 0.00 | 13.91 ± 0.02 | 13.35 ± 0.02 | 13.02 ± 0.03 | 13.02 ± 0.03 | 13.02 ± 0.03 | 13.02 ± 0.03 | Clase III |
| 434 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.08 ± 0.00 | 12.66 ± 0.04 | 11.11 ± 0.05 | 9.99 ± 0.03  | 9.99 ± 0.03  | 9.99 ± 0.03  | 9.99 ± 0.03  | Clase II  |
| 435 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.45 ± 0.04 | 12.09 ± 0.02 | 10.88 ± 0.02 | 10.88 ± 0.02 | 10.88 ± 0.02 | 10.88 ± 0.02 | Clase II  |
| 436 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.10 ± 0.00 | 12.17 ± 0.02 | 11.30 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | 10.99 ± 0.02 | Clase III |
| 439 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 13.67 ± 0.00 | 11.63 ± 0.02 | 10.44 ± 0.02 | 9.63 ± 0.02  | 9.63 ± 0.02  | 9.63 ± 0.02  | 9.63 ± 0.02  | Clase II  |
| 440 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.87 ± 0.00 | 13.42 ± 0.02 | 11.82 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | 10.90 ± 0.02 | Clase II  |
| 444 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.71 ± 0.00 | 14.74 ± 0.03 | 13.33 ± 0.03 | 12.80 ± 0.03 | 12.80 ± 0.03 | 12.80 ± 0.03 | 12.80 ± 0.03 | Clase III |
| 445 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.49 ± 0.00 | 12.72 ± 0.02 | 11.17 ± 0.02 | 10.21 ± 0.02 | 10.21 ± 0.02 | 10.21 ± 0.02 | 10.21 ± 0.02 | Clase II  |
| 447 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.66 ± 0.03 | 12.77 ± 0.02 | 11.88 ± 0.02 | 11.88 ± 0.02 | 11.88 ± 0.02 | 11.88 ± 0.02 | Clase III |
| 451 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.14 ± 0.00 | 11.96 ± 0.03 | 10.57 ± 0.03 | 9.73 ± 0.03  | 9.73 ± 0.03  | 9.73 ± 0.03  | 9.73 ± 0.03  | Clase II  |
| 454 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.27 ± 0.03 | 12.24 ± 0.02 | 11.61 ± 0.02 | 11.61 ± 0.02 | 11.61 ± 0.02 | 11.61 ± 0.02 | Clase III |
| 456 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.13 ± 0.00 | 13.19 ± 0.02 | 10.97 ± 0.02 | 9.67 ± 0.02  | 9.67 ± 0.02  | 9.67 ± 0.02  | 9.67 ± 0.02  | Clase II  |
| 457 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.49 ± 0.00 | 11.67 ± 0.02 | 10.42 ± 0.02 | 9.52 ± 0.02  | 9.52 ± 0.02  | 9.52 ± 0.02  | 9.52 ± 0.02  | Clase II  |
| 462 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.02 ± 0.00 | 13.37 ± 0.04 | 11.96 ± 0.04 | 11.08 ± 0.03 | 11.08 ± 0.03 | 11.08 ± 0.03 | 11.08 ± 0.03 | Clase II  |
| 463 | 21.18 ± 0.44        | 20.40 ± 0.45 | ...           | ...           | 16.06 ± 0.00 | 13.41 ± 0.02 | 12.19 ± 0.02 | 11.70 ± 0.02 | 11.70 ± 0.02 | 11.70 ± 0.02 | 11.70 ± 0.02 | Clase II  |
| 466 | ...                 | ...          | 15.61 ± 8.00  | 13.25 ± 8.00  | 10.48 ± 0.00 | 8.46 ± 0.02  | 7.44 ± 0.02  | 7.09 ± 0.01  | 7.09 ± 0.01  | 7.09 ± 0.01  | 7.09 ± 0.01  | Clase III |
| 470 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.90 ± 0.08 | 14.27 ± 0.05 | 13.22 ± 0.04 | 13.22 ± 0.04 | 13.22 ± 0.04 | 13.22 ± 0.04 | Clase II  |
| 471 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 12.78 ± 0.03 | 11.77 ± 0.03 | 11.40 ± 0.03 | 11.40 ± 0.03 | 11.40 ± 0.03 | 11.40 ± 0.03 | TD        |
| 474 | 18.67 ± 0.05        | 16.79 ± 0.02 | ...           | ...           | 13.83 ± 0.00 | 11.69 ± 0.02 | 10.66 ± 0.02 | 10.23 ± 0.02 | 10.23 ± 0.02 | 10.23 ± 0.02 | 10.23 ± 0.02 | Clase III |
| 476 | ...                 | ...          | 12.82 ± 5.00  | 12.10 ± 5.00  | 11.31 ± 0.00 | 10.79 ± 0.02 | 10.48 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | 10.39 ± 0.02 | Clase III |
| 480 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.51 ± 0.00 | 12.22 ± 0.05 | 10.19 ± 0.05 | 8.51 ± 0.03  | 8.51 ± 0.03  | 8.51 ± 0.03  | 8.51 ± 0.03  | Clase III |
| 482 | ...                 | ...          | 11.04 ± 4.00  | 10.41 ± 4.00  | 9.54 ± 0.00  | 8.66 ± 0.01  | 8.41 ± 0.04  | 8.18 ± 0.01  | 8.18 ± 0.01  | 8.18 ± 0.01  | 8.18 ± 0.01  | Clase III |
| 483 | ...                 | ...          | 15.66 ± 34.00 | 14.74 ± 34.00 | 12.60 ± 0.00 | 10.37 ± 0.02 | 9.35 ± 0.03  | 8.95 ± 0.02  | 8.95 ± 0.02  | 8.95 ± 0.02  | 8.95 ± 0.02  | Clase III |
| 485 | 17.61 ± 0.02        | 15.95 ± 0.01 | ...           | ...           | 13.47 ± 0.00 | 11.56 ± 0.02 | 10.61 ± 0.02 | 10.22 ± 0.02 | 10.22 ± 0.02 | 10.22 ± 0.02 | 10.22 ± 0.02 | Clase II  |
| 490 | 21.76 ± 0.71        | 20.09 ± 0.33 | ...           | ...           | 16.72 ± 0.00 | 14.84 ± 0.04 | 14.20 ± 0.05 | 14.03 ± 0.05 | 14.03 ± 0.05 | 14.03 ± 0.05 | 14.03 ± 0.05 | Clase III |
| 491 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.08 ± 0.00 | 13.68 ± 0.02 | 12.30 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | 11.53 ± 0.02 | Clase III |
| 492 | ...                 | ...          | 14.10 ± 7.00  | 13.14 ± 7.00  | 11.35 ± 0.00 | 9.73 ± 0.02  | 9.12 ± 0.02  | 8.76 ± 0.02  | 8.76 ± 0.02  | 8.76 ± 0.02  | 8.76 ± 0.02  | Clase III |
| 493 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.50 ± 0.15 | 15.50 ± 0.11 | 14.91 ± 0.13 | 14.91 ± 0.13 | 14.91 ± 0.13 | 14.91 ± 0.13 | Clase III |
| 496 | 16.70 ± 0.01        | 15.10 ± 0.01 | 16.96 ± 19.00 | 15.13 ± 19.00 | 12.85 ± 0.00 | 10.89 ± 0.02 | 9.86 ± 0.02  | 9.34 ± 0.02  | 9.34 ± 0.02  | 9.34 ± 0.02  | 9.34 ± 0.02  | Clase III |
| 500 | ...                 | ...          | 17.76 ± 1.00  | 16.41 ± 1.00  | 14.40 ± 0.00 | 12.29 ± 0.02 | 11.13 ± 0.02 | 10.40 ± 0.02 | 10.40 ± 0.02 | 10.40 ± 0.02 | 10.40 ± 0.02 | Clase II  |
| 502 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase I   |
| 503 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.61 ± 0.00 | 14.35 ± 0.03 | 13.72 ± 0.03 | 13.49 ± 0.04 | 13.49 ± 0.04 | 13.49 ± 0.04 | 13.49 ± 0.04 | Clase III |
| 504 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.85 ± 0.00 | 13.03 ± 0.04 | 11.35 ± 0.03 | 10.17 ± 0.03 | 10.17 ± 0.03 | 10.17 ± 0.03 | 10.17 ± 0.03 | Clase II  |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | Optical Monitor |              | UCAC          |               | DENIS        |              | 2MASS        |              |              |              | Clase     |
|-----|-----------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
|     | B               | V            | B             | V             | I            | J            | H            | K            |              |              |           |
| 505 | ...             | ...          | ...           | ...           | 15.65 ± 0.00 | 12.86 ± 0.02 | 11.66 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | 11.66 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | Clase II  |
| 506 | ...             | ...          | ...           | ...           | 15.30 ± 0.00 | 13.07 ± 0.02 | 12.03 ± 0.02 | 11.61 ± 0.02 | 12.03 ± 0.02 | 11.61 ± 0.02 | Clase III |
| 510 | ...             | ...          | ...           | ...           | 15.93 ± 0.00 | 13.08 ± 0.02 | 11.90 ± 0.03 | 11.39 ± 0.02 | 11.90 ± 0.03 | 11.39 ± 0.02 | Clase III |
| 512 | 21.05 ± 0.47    | 19.54 ± 0.23 | ...           | ...           | 15.93 ± 0.00 | 13.52 ± 0.02 | 12.85 ± 0.03 | 12.50 ± 0.02 | 12.85 ± 0.03 | 12.50 ± 0.02 | TD        |
| 514 | 20.80 ± 0.36    | 18.87 ± 0.12 | ...           | ...           | 15.41 ± 0.00 | 13.29 ± 0.02 | 12.30 ± 0.03 | 11.84 ± 0.02 | 12.30 ± 0.03 | 11.84 ± 0.02 | Clase II  |
| 515 | 19.52 ± 0.11    | 18.01 ± 0.06 | ...           | ...           | 14.89 ± 0.00 | 12.66 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | Clase II  |
| 517 | ...             | ...          | ...           | ...           | 14.66 ± 0.00 | 13.25 ± 0.02 | 12.62 ± 0.03 | 12.34 ± 0.02 | 12.62 ± 0.03 | 12.34 ± 0.02 | Clase III |
| 518 | ...             | 20.04 ± 0.32 | ...           | ...           | 16.08 ± 0.00 | 13.41 ± 0.02 | 12.45 ± 0.02 | 12.04 ± 0.02 | 12.45 ± 0.02 | 12.04 ± 0.02 | Clase III |
| 520 | ...             | ...          | ...           | ...           | 15.77 ± 0.00 | 12.73 ± 0.03 | 11.38 ± 0.02 | 10.83 ± 0.02 | 11.38 ± 0.02 | 10.83 ± 0.02 | TD        |
| 521 | 18.97 ± 0.07    | 17.03 ± 0.03 | ...           | ...           | 14.04 ± 0.00 | 11.94 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | 10.92 ± 0.02 | 10.56 ± 0.02 | Clase III |
| 522 | ...             | ...          | ...           | ...           | 13.52 ± 0.00 | 11.23 ± 0.02 | 10.13 ± 0.02 | 9.69 ± 0.02  | 10.13 ± 0.02 | 9.69 ± 0.02  | Clase III |
| 523 | 19.89 ± 0.14    | 18.53 ± 0.09 | ...           | ...           | 15.73 ± 0.00 | 14.16 ± 0.03 | 13.55 ± 0.03 | 13.36 ± 0.04 | 13.55 ± 0.03 | 13.36 ± 0.04 | Clase III |
| 524 | 21.67 ± 0.70    | ...          | ...           | ...           | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | ...          | Clase III |
| 526 | 20.36 ± 0.22    | 19.30 ± 0.18 | ...           | ...           | 16.59 ± 0.00 | 15.02 ± 0.04 | 14.45 ± 0.04 | 14.11 ± 0.05 | 14.45 ± 0.04 | 14.11 ± 0.05 | Clase III |
| 528 | ...             | ...          | ...           | ...           | 17.15 ± 0.00 | 13.98 ± 0.02 | 12.69 ± 0.02 | 12.19 ± 0.02 | 12.69 ± 0.02 | 12.19 ± 0.02 | Clase III |
| 530 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.81 ± 0.16 | 14.04 ± 0.04 | 12.41 ± 0.03 | 14.04 ± 0.04 | 12.41 ± 0.03 | Clase II  |
| 538 | ...             | ...          | 14.65 ± 4.00  | 13.47 ± 4.00  | 12.17 ± 0.00 | 11.32 ± 0.03 | 10.64 ± 0.03 | 10.54 ± 0.03 | 10.64 ± 0.03 | 10.54 ± 0.03 | Clase III |
| 539 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 12.83 ± 0.02 | 11.23 ± 0.03 | 10.44 ± 0.02 | 11.23 ± 0.03 | 10.44 ± 0.02 | Clase III |
| 541 | ...             | ...          | ...           | ...           | 14.51 ± 0.00 | 12.46 ± 0.02 | 11.40 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 11.40 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | Clase II  |
| 543 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.84 ± 0.03 | 14.18 ± 0.11 | 11.21 ± 0.05 | 14.18 ± 0.11 | 11.21 ± 0.05 | Clase III |
| 544 | 17.98 ± 0.02    | 18.88 ± 0.19 | ...           | ...           | 14.46 ± 0.00 | 11.84 ± 0.03 | 10.88 ± 0.07 | 10.45 ± 0.05 | 10.88 ± 0.07 | 10.45 ± 0.05 | Clase III |
| 546 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 18.52 ± 0.03 | 14.68 ± 0.03 | 12.40 ± 0.02 | 14.68 ± 0.03 | 12.40 ± 0.02 | Clase II  |
| 547 | 21.12 ± 0.42    | 19.39 ± 0.19 | ...           | ...           | 15.75 ± 0.00 | 13.72 ± 0.03 | 12.73 ± 0.02 | 12.41 ± 0.03 | 12.73 ± 0.02 | 12.41 ± 0.03 | Clase III |
| 548 | 15.34 ± 0.01    | 15.63 ± 0.01 | 14.06 ± 4.00  | 13.27 ± 4.00  | 12.45 ± 0.00 | 11.85 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 11.42 ± 0.02 | 11.48 ± 0.02 | 11.42 ± 0.02 | Clase III |
| 549 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.01 ± 0.10 | 13.74 ± 0.05 | 12.49 ± 0.03 | 13.74 ± 0.05 | 12.49 ± 0.03 | Clase III |
| 550 | ...             | ...          | ...           | ...           | 18.06 ± 0.00 | 13.69 ± 0.04 | 11.60 ± 0.04 | 10.10 ± 0.02 | 11.60 ± 0.04 | 10.10 ± 0.02 | Clase III |
| 551 | ...             | ...          | ...           | ...           | 13.85 ± 0.00 | 11.74 ± 0.03 | 10.40 ± 0.03 | 9.37 ± 0.02  | 10.40 ± 0.03 | 9.37 ± 0.02  | Clase II  |
| 552 | ...             | ...          | ...           | ...           | 16.57 ± 0.00 | 12.96 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02 | 10.64 ± 0.02 | 11.37 ± 0.02 | 10.64 ± 0.02 | Clase II  |
| 553 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.82 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | 10.70 ± 0.02 | 11.69 ± 0.02 | 10.70 ± 0.02 | Clase III |
| 556 | ...             | ...          | 16.10 ± 4.00  | 14.72 ± 4.00  | 12.85 ± 0.00 | 11.35 ± 0.02 | 10.57 ± 0.02 | 10.22 ± 0.02 | 10.57 ± 0.02 | 10.22 ± 0.02 | Clase II  |
| 557 | 18.43 ± 0.05    | 16.25 ± 0.02 | 17.44 ± 21.00 | 15.88 ± 21.00 | 12.82 ± 0.00 | 10.23 ± 0.02 | 9.02 ± 0.02  | 8.32 ± 0.02  | 9.02 ± 0.02  | 8.32 ± 0.02  | Clase II  |
| 558 | ...             | ...          | ...           | ...           | ...          | 9.76 ± 0.02  | 9.11 ± 0.02  | 8.80 ± 0.02  | 9.11 ± 0.02  | 8.80 ± 0.02  | Clase III |
| 559 | 13.49 ± 0.01    | 12.55 ± 0.01 | 11.00 ± 16.00 | 9.95 ± 16.00  | 8.67 ± 0.00  | 7.03 ± 0.01  | 6.58 ± 0.04  | 6.33 ± 0.01  | 6.58 ± 0.04  | 6.33 ± 0.01  | Clase III |

Tabla 4.4: – Continuación

| src | — Optical Monitor — |              |               | UCAC          |              | DENIS        |              | 2MASS        |              |           | Clase |
|-----|---------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
|     | B                   | V            | B             | V             | I            | J            | H            | K            |              |           |       |
| 561 | ...                 | 19.66 ± 0.28 | ...           | ...           | 15.76 ± 0.00 | 12.95 ± 0.02 | 11.65 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | 11.01 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 562 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.48 ± 0.00 | 13.45 ± 0.02 | 12.68 ± 0.02 | 12.22 ± 0.02 | 12.22 ± 0.02 | Clase III |       |
| 563 | ...                 | ...          | 17.27 ± 1.00  | 16.07 ± 1.00  | 13.48 ± 0.00 | 11.56 ± 0.02 | 10.80 ± 0.02 | 10.52 ± 0.03 | 10.52 ± 0.03 | Clase III |       |
| 565 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.89 ± 0.18 | 14.17 ± 0.04 | 12.03 ± 0.02 | 12.03 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 566 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.05 ± 0.08 | 13.72 ± 0.04 | 12.50 ± 0.03 | 12.50 ± 0.03 | Clase III |       |
| 567 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.86 ± 0.03 | 13.23 ± 0.02 | 12.29 ± 0.02 | 12.29 ± 0.02 | Clase III |       |
| 568 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 16.03 ± 0.03 | 13.92 ± 0.05 | 12.03 ± 0.03 | 12.03 ± 0.03 | Clase III |       |
| 569 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 13.13 ± 0.06 | 11.71 ± 0.07 | 10.98 ± 0.06 | 10.98 ± 0.06 | Clase II  |       |
| 571 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.47 ± 0.00 | 12.56 ± 0.02 | 11.64 ± 0.03 | 11.19 ± 0.02 | 11.19 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 572 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 16.99 ± 0.00 | 14.04 ± 0.03 | 12.71 ± 0.04 | 12.14 ± 0.03 | 12.14 ± 0.03 | Clase III |       |
| 573 | 18.72 ± 0.06        | 16.63 ± 0.02 | ...           | ...           | 13.35 ± 0.00 | 11.00 ± 0.02 | 9.84 ± 0.02  | 9.08 ± 0.02  | 9.08 ± 0.02  | Clase II  |       |
| 575 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 12.27 ± 0.02 | 11.08 ± 0.02 | 10.60 ± 0.02 | 10.60 ± 0.02 | Clase III |       |
| 576 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 14.54 ± 0.00 | 13.09 ± 0.02 | 12.49 ± 0.03 | 12.27 ± 0.02 | 12.27 ± 0.02 | Clase III |       |
| 577 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 14.03 ± 0.03 | 11.84 ± 0.02 | 10.54 ± 0.02 | 10.54 ± 0.02 | Clase III |       |
| 578 | 19.89 ± 0.14        | 18.68 ± 0.10 | ...           | ...           | 15.83 ± 0.00 | 14.39 ± 0.03 | 13.77 ± 0.03 | 13.50 ± 0.03 | 13.50 ± 0.03 | Clase III |       |
| 580 | ...                 | ...          | 18.14 ± 1.00  | 16.46 ± 1.00  | 13.92 ± 0.00 | 12.15 ± 0.02 | 11.25 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 581 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 12.02 ± 0.00 | 10.75 ± 0.06 | 9.80 ± 0.05  | 9.23 ± 0.05  | 9.23 ± 0.05  | Clase II  |       |
| 582 | ...                 | ...          | 15.49 ± 52.00 | 14.26 ± 52.00 | 11.84 ± 0.00 | 10.77 ± 0.02 | 9.84 ± 0.02  | 8.96 ± 0.02  | 8.96 ± 0.02  | Clase I   |       |
| 584 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 18.60 ± 0.03 | 15.62 ± 0.13 | 13.25 ± 0.03 | 13.25 ± 0.03 | Clase II  |       |
| 587 | 20.00 ± 0.18        | 18.71 ± 0.11 | ...           | ...           | 15.69 ± 0.00 | 13.27 ± 0.02 | 12.17 ± 0.02 | 11.65 ± 0.02 | 11.65 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 588 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 17.08 ± 0.00 | 13.82 ± 0.02 | 12.54 ± 0.02 | 11.95 ± 0.02 | 11.95 ± 0.02 | Clase II  |       |
| 590 | ...                 | ...          | 17.08 ± 10.00 | 15.64 ± 10.00 | 13.78 ± 0.00 | 12.64 ± 0.03 | 12.10 ± 0.04 | 11.83 ± 0.03 | 11.83 ± 0.03 | Clase III |       |
| 591 | ...                 | ...          | ...           | ...           | 15.03 ± 0.00 | 13.62 ± 0.02 | 13.02 ± 0.02 | 12.80 ± 0.03 | 12.80 ± 0.03 | Clase III |       |
| 592 | ...                 | 20.39 ± 0.47 | ...           | ...           | 15.85 ± 0.00 | 12.87 ± 0.02 | 11.71 ± 0.02 | 11.19 ± 0.02 | 11.19 ± 0.02 | Clase III |       |
| 594 | ...                 | ...          | ...           | ...           | ...          | 15.34 ± 0.06 | 11.94 ± 0.04 | 9.98 ± 0.03  | 9.98 ± 0.03  | Clase II  |       |
| 601 | ...                 | ...          | 15.72 ± 2.00  | 14.39 ± 2.00  | 12.78 ± 0.00 | 11.79 ± 0.02 | 11.08 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | 10.89 ± 0.02 | Clase III |       |

Tabla 4.5: Magnitudes del infrarrojo medio para las fuentes detectadas

| src | FW <sub>3,4</sub> | FS <sub>3,6</sub> | FS <sub>4,5</sub> | FW <sub>4,6</sub> | FS <sub>5,4</sub> | FS <sub>8,0</sub> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | FS <sub>24</sub> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| 7   | 9.92 ± 0.02       | ...               | ...               | 9.95 ± 0.02       | ...               | ...               | 9.84 ± 0.27      | 8.04 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 11  | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | 8.81 ± 0.05      | Clase III |
| 12  | 11.46 ± 0.03      | ...               | ...               | 11.19 ± 0.03      | ...               | ...               | 9.75 ± 0.54      | 7.21 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 13  | 10.75 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.73 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.84 ± 0.00     | 8.53 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 15  | 10.78 ± 0.03      | ...               | ...               | 10.75 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.11 ± 0.11     | 6.87 ± 0.12      | ...              | Clase III |
| 16  | 11.55 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.33 ± 0.03      | ...               | ...               | 10.53 ± 0.00     | 8.01 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 20  | 10.99 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.91 ± 0.02      | ...               | ...               | 9.11 ± 0.00      | 7.75 ± 0.36      | ...              | Clase III |
| 23  | 9.77 ± 0.02       | ...               | ...               | 9.79 ± 0.02       | ...               | ...               | 9.40 ± 0.05      | 8.17 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 25  | 11.52 ± 0.03      | ...               | ...               | 11.44 ± 0.03      | ...               | ...               | 9.04 ± 0.08      | 7.30 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 28  | 11.41 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.26 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.48 ± 0.00     | 8.91 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 30  | 12.54 ± 0.03      | ...               | ...               | 12.49 ± 0.04      | ...               | ...               | 9.40 ± 0.24      | 6.07 ± 0.22      | ...              | Clase III |
| 32  | 10.27 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.34 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.05 ± 0.48     | 8.11 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 33  | 10.84 ± 0.03      | ...               | ...               | 10.46 ± 0.02      | ...               | ...               | 8.30 ± 0.33      | 6.12 ± 0.28      | ...              | Clase III |
| 35  | 9.26 ± 0.02       | ...               | ...               | 9.21 ± 0.02       | ...               | ...               | 7.00 ± 0.02      | 5.01 ± 0.05      | ...              | Clase III |
| 38  | 10.96 ± 0.02      | 10.88 ± 0.00      | 10.83 ± 0.01      | 10.82 ± 0.02      | 10.74 ± 0.01      | 10.67 ± 0.00      | 10.64 ± 0.17     | 8.74 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 40  | 11.84 ± 0.03      | ...               | 11.71 ± 0.02      | 11.77 ± 0.03      | ...               | 11.62 ± 0.01      | 10.69 ± 0.00     | 6.54 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 43  | 10.66 ± 0.02      | 10.66 ± 0.00      | 10.64 ± 0.02      | 10.63 ± 0.02      | ...               | 10.47 ± 0.01      | 11.13 ± 0.00     | 7.93 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 44  | 11.48 ± 0.03      | ...               | 11.98 ± 0.02      | 11.39 ± 0.03      | ...               | ...               | 6.23 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase III |
| 52  | 11.63 ± 0.03      | 11.62 ± 0.00      | 11.58 ± 0.01      | 11.53 ± 0.02      | 11.54 ± 0.01      | 11.40 ± 0.01      | 11.28 ± 0.00     | 8.09 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 53  | 14.48 ± 0.22      | 14.94 ± 0.01      | 13.89 ± 0.02      | 13.69 ± 0.11      | ...               | ...               | 9.19 ± 0.16      | 6.96 ± 0.34      | ...              | Clase II  |
| 54  | 8.69 ± 0.03       | 9.30 ± 0.00       | 9.19 ± 0.00       | 8.47 ± 0.02       | 9.27 ± 0.00       | ...               | 7.37 ± 0.31      | 5.19 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 55  | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | 1.86 ± 0.00      | Clase III |
| 67  | 12.36 ± 0.18      | 12.46 ± 0.01      | 12.39 ± 0.03      | 12.04 ± 0.22      | 12.60 ± 0.03      | 12.49 ± 0.05      | 7.84 ± 0.00      | 5.73 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 68  | ...               | 11.96 ± 0.00      | 11.96 ± 0.01      | ...               | 11.95 ± 0.01      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 69  | 10.36 ± 0.09      | 10.35 ± 0.00      | 10.34 ± 0.00      | 10.30 ± 0.09      | 10.24 ± 0.00      | 10.14 ± 0.01      | 8.49 ± 0.44      | 4.89 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 70  | 11.54 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.30 ± 0.02      | 11.45 ± 0.01      | 11.45 ± 0.01      | 11.24 ± 0.00     | 8.56 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 71  | 11.18 ± 0.03      | 11.11 ± 0.00      | 11.12 ± 0.01      | 11.19 ± 0.03      | 10.99 ± 0.01      | ...               | 9.78 ± 0.00      | 6.84 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 73  | 9.25 ± 0.02       | ...               | 9.27 ± 0.00       | 9.29 ± 0.02       | 9.23 ± 0.00       | 9.17 ± 0.00       | 10.56 ± 0.00     | 8.37 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 74  | 11.72 ± 0.03      | 11.72 ± 0.00      | 11.71 ± 0.01      | 11.81 ± 0.03      | 11.72 ± 0.01      | 12.30 ± 0.02      | 11.66 ± 0.00     | 6.33 ± 0.20      | ...              | Clase III |
| 77  | 9.24 ± 0.03       | 9.43 ± 0.00       | 8.93 ± 0.00       | 8.61 ± 0.03       | 8.47 ± 0.00       | ...               | 6.73 ± 0.21      | 5.01 ± 0.13      | 4.34 ± 0.00      | Clase II  |
| 78  | 8.56 ± 0.02       | ...               | 8.61 ± 0.00       | 8.60 ± 0.02       | 8.55 ± 0.00       | 8.57 ± 0.00       | 12.33 ± 0.00     | 8.56 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 79  | ...               | ...               | 10.09 ± 0.00      | ...               | 9.82 ± 0.00       | 9.20 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 80  | 9.95 ± 0.02       | 9.94 ± 0.00       | 10.00 ± 0.00      | 10.02 ± 0.02      | 9.89 ± 0.00       | ...               | 10.33 ± 0.00     | 5.32 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 84  | ...               | 11.76 ± 0.00      | 11.64 ± 0.01      | ...               | 11.34 ± 0.01      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 85  | 9.43 ± 0.02       | ...               | 9.42 ± 0.00       | 9.38 ± 0.02       | 9.49 ± 0.00       | 10.20 ± 0.01      | 7.31 ± 0.10      | 5.16 ± 0.14      | ...              | Clase III |
| 86  | ...               | 14.99 ± 0.01      | 13.72 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 87  | 6.69 ± 0.07       | ...               | ...               | 6.73 ± 0.02       | ...               | ...               | 6.20 ± 0.03      | 4.46 ± 0.07      | ...              | Clase III |
| 88  | 11.32 ± 0.07      | ...               | 12.78 ± 0.02      | 11.21 ± 0.08      | ...               | ...               | 6.21 ± 0.10      | 6.07 ± 0.51      | ...              | Clase II  |
| 89  | 11.84 ± 0.06      | 11.67 ± 0.00      | 11.62 ± 0.01      | 11.65 ± 0.05      | 11.59 ± 0.01      | 11.40 ± 0.01      | 8.29 ± 0.00      | 5.76 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 90  | 11.47 ± 0.02      | 11.41 ± 0.00      | 11.17 ± 0.01      | 11.07 ± 0.02      | 10.93 ± 0.01      | 10.49 ± 0.01      | 7.96 ± 0.12      | 5.39 ± 0.20      | ...              | Clase III |
| 92  | 11.95 ± 0.04      | 11.91 ± 0.00      | 11.85 ± 0.01      | 12.03 ± 0.04      | 11.70 ± 0.01      | 11.49 ± 0.01      | 9.72 ± 0.00      | 7.00 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 93  | 10.11 ± 0.04      | ...               | ...               | 9.95 ± 0.04       | ...               | ...               | 4.80 ± 0.05      | ...              | ...              | Clase I   |
| 97  | ...               | 12.42 ± 0.00      | 12.36 ± 0.03      | ...               | 12.51 ± 0.03      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 99  | 10.71 ± 0.10      | 10.32 ± 0.00      | 10.02 ± 0.01      | 10.11 ± 0.05      | 10.01 ± 0.01      | 9.85 ± 0.01       | 7.70 ± 0.00      | 4.38 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 100 | 9.23 ± 0.03       | 9.39 ± 0.00       | 8.77 ± 0.00       | 8.50 ± 0.03       | 8.50 ± 0.00       | ...               | 5.38 ± 0.06      | ...              | ...              | Clase III |
| 101 | 10.69 ± 0.07      | 10.84 ± 0.00      | ...               | 10.49 ± 0.10      | ...               | ...               | 6.82 ± 0.00      | ...              | ...              | Clase III |

Tabla 4.5: – Continuación

| src | FW <sub>3,4</sub> | FS <sub>3,6</sub> | FS <sub>4,5</sub> | FW <sub>4,6</sub> | FS <sub>5,4</sub> | FS <sub>8,0</sub> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | FS <sub>24</sub> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| 102 | 10.62 ± 0.03      | 11.57 ± 0.00      | 11.52 ± 0.01      | 11.22 ± 0.02      | 11.41 ± 0.01      | 11.20 ± 0.01      | 8.67 ± 0.41      | 4.32 ± 0.10      | ...              | Clase III |
| 103 | 13.92 ± 0.10      | 12.18 ± 0.00      | 11.38 ± 0.00      | 12.79 ± 0.05      | 10.53 ± 0.00      | 9.55 ± 0.00       | 10.75 ± 0.27     | 7.38 ± 0.00      | ...              | Clase I   |
| 104 | 10.54 ± 0.03      | 10.77 ± 0.00      | 10.41 ± 0.00      | 10.31 ± 0.03      | 10.23 ± 0.00      | 10.87 ± 0.03      | 8.28 ± 0.00      | 4.72 ± 0.07      | ...              | Clase III |
| 106 | ...               | 15.30 ± 0.01      | 14.36 ± 0.03      | ...               | 13.66 ± 0.03      | 12.91 ± 0.02      | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 107 | 11.05 ± 0.09      | ...               | ...               | 10.68 ± 0.13      | ...               | 9.18 ± 0.00       | 6.76 ± 0.31      | ...              | ...              | Clase II  |
| 108 | 9.65 ± 0.03       | 9.75 ± 0.00       | 9.69 ± 0.00       | 9.67 ± 0.05       | 9.57 ± 0.00       | 9.42 ± 0.01       | 7.31 ± 0.35      | 4.54 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 109 | 6.20 ± 0.08       | ...               | ...               | 5.23 ± 0.07       | ...               | ...               | 3.57 ± 0.02      | ...              | 1.94 ± 0.00      | Clase II  |
| 110 | 10.33 ± 0.06      | 10.34 ± 0.00      | 9.92 ± 0.00       | 9.69 ± 0.05       | 9.38 ± 0.00       | 8.46 ± 0.00       | 6.81 ± 0.32      | 4.45 ± 0.00      | ...              | Clase II  |
| 111 | ...               | 12.27 ± 0.00      | 12.19 ± 0.01      | ...               | 12.06 ± 0.01      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 112 | 8.48 ± 0.02       | ...               | 7.88 ± 0.02       | 7.81 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.36 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase II  |
| 113 | ...               | 10.39 ± 0.00      | 10.12 ± 0.01      | ...               | 9.99 ± 0.01       | 9.29 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 114 | 6.63 ± 0.06       | ...               | ...               | 5.88 ± 0.03       | ...               | ...               | 4.62 ± 0.02      | ...              | 2.90 ± 0.00      | Clase II  |
| 115 | 10.62 ± 0.05      | 10.38 ± 0.00      | 9.73 ± 0.00       | 10.01 ± 0.05      | 9.38 ± 0.00       | 8.43 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 116 | 10.75 ± 0.10      | 11.36 ± 0.00      | 11.12 ± 0.02      | 10.13 ± 0.12      | ...               | ...               | 5.51 ± 0.17      | ...              | ...              | Clase III |
| 117 | 9.82 ± 0.02       | ...               | ...               | 9.99 ± 0.03       | ...               | ...               | 5.69 ± 0.13      | ...              | ...              | Clase II  |
| 118 | ...               | 10.58 ± 0.00      | 10.49 ± 0.00      | ...               | 10.53 ± 0.00      | 10.78 ± 0.02      | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 120 | ...               | 10.86 ± 0.00      | 10.65 ± 0.00      | ...               | 10.47 ± 0.00      | 9.80 ± 0.01       | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 121 | ...               | ...               | ...               | ...               | 9.06 ± 0.00       | 8.49 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 122 | ...               | 11.97 ± 0.00      | 12.01 ± 0.01      | ...               | 12.02 ± 0.01      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 124 | ...               | 10.11 ± 0.00      | 10.07 ± 0.01      | ...               | 10.25 ± 0.01      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 126 | ...               | 10.46 ± 0.00      | 10.43 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 127 | 13.26 ± 0.03      | 13.12 ± 0.00      | 13.13 ± 0.02      | 13.13 ± 0.04      | 12.91 ± 0.02      | 12.66 ± 0.05      | 11.60 ± 0.00     | 8.31 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 128 | ...               | 9.06 ± 0.00       | 8.49 ± 0.00       | ...               | 8.02 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 129 | 9.29 ± 0.02       | 11.18 ± 0.00      | 11.12 ± 0.02      | 9.42 ± 0.02       | ...               | ...               | 3.37 ± 0.10      | ...              | ...              | Clase III |
| 130 | 12.78 ± 0.03      | 12.74 ± 0.00      | 12.67 ± 0.01      | 12.38 ± 0.03      | 12.61 ± 0.01      | 13.05 ± 0.02      | 9.69 ± 0.54      | 6.86 ± 0.19      | ...              | Clase III |
| 131 | 8.29 ± 0.03       | 8.35 ± 0.00       | 8.06 ± 0.00       | 7.80 ± 0.03       | 7.47 ± 0.00       | ...               | 6.34 ± 0.28      | 4.65 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 132 | ...               | 8.49 ± 0.00       | 7.95 ± 0.00       | ...               | 7.37 ± 0.00       | 6.70 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 133 | ...               | ...               | ...               | ...               | 9.10 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 135 | 10.21 ± 0.02      | 10.37 ± 0.00      | ...               | 10.18 ± 0.02      | ...               | ...               | 9.92 ± 0.00      | 7.53 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 136 | ...               | ...               | 9.50 ± 0.02       | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 137 | 10.34 ± 0.03      | 10.46 ± 0.00      | 10.20 ± 0.02      | 9.94 ± 0.04       | ...               | 9.13 ± 0.00       | 7.13 ± 0.20      | 5.12 ± 0.00      | ...              | Clase II  |
| 138 | ...               | 9.26 ± 0.00       | 8.58 ± 0.00       | ...               | 8.07 ± 0.00       | 7.46 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase I   |
| 139 | 10.23 ± 0.02      | 10.28 ± 0.00      | 9.98 ± 0.02       | 9.73 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.71 ± 0.06      | ...              | ...              | Clase III |
| 140 | ...               | ...               | 12.43 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 141 | ...               | 12.05 ± 0.00      | 12.06 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 142 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 143 | 7.68 ± 0.06       | 8.05 ± 0.00       | 7.24 ± 0.00       | 6.74 ± 0.04       | 6.50 ± 0.00       | 5.69 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 144 | 6.17 ± 0.05       | ...               | ...               | 5.94 ± 0.03       | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 145 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 146 | 8.89 ± 0.03       | 8.93 ± 0.00       | 8.50 ± 0.00       | 8.31 ± 0.03       | 8.20 ± 0.00       | 7.80 ± 0.00       | 6.67 ± 0.00      | 5.06 ± 0.00      | ...              | Clase II  |
| 147 | ...               | 10.87 ± 0.00      | 10.56 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 148 | 8.92 ± 0.03       | 8.93 ± 0.00       | 8.50 ± 0.00       | 8.44 ± 0.03       | 8.26 ± 0.00       | ...               | 6.49 ± 0.23      | 4.57 ± 0.00      | ...              | Clase II  |
| 149 | 7.20 ± 0.04       | 7.72 ± 0.00       | ...               | 6.37 ± 0.04       | ...               | 7.14 ± 0.00       | 3.30 ± 0.35      | ...              | ...              | Clase II  |
| 150 | ...               | ...               | 8.70 ± 0.00       | ...               | 8.11 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 151 | 7.74 ± 0.05       | 8.25 ± 0.00       | 7.81 ± 0.00       | 7.50 ± 0.05       | 7.42 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 153 | 10.01 ± 0.04      | ...               | ...               | 10.17 ± 0.05      | ...               | ...               | 7.00 ± 0.19      | ...              | ...              | Clase II  |
| 154 | 10.77 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.60 ± 0.02      | ...               | ...               | 4.71 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase III |



Tabla 4.5: – Continuación

| src | FW <sub>3,4</sub> | FS <sub>3,6</sub> | FS <sub>4,5</sub> | FW <sub>4,6</sub> | FS <sub>5,4</sub> | FS <sub>8,0</sub> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | FS <sub>24</sub> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| 203 | 10.52 ± 0.02      | 10.54 ± 0.00      | 10.54 ± 0.00      | 10.54 ± 0.02      | 10.52 ± 0.00      | 10.45 ± 0.00      | 9.37 ± 0.00      | 7.20 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 204 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 205 | ...               | 10.62 ± 0.00      | 10.16 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 206 | 10.86 ± 0.08      | ...               | 11.35 ± 0.01      | 10.88 ± 0.09      | 11.14 ± 0.01      | 10.97 ± 0.03      | 6.05 ± 0.24      | ...              | ...              | Clase III |
| 207 | ...               | 11.46 ± 0.00      | 11.02 ± 0.00      | ...               | 10.51 ± 0.00      | 9.71 ± 0.01       | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 208 | ...               | ...               | 8.07 ± 0.00       | ...               | 7.86 ± 0.00       | 7.48 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 209 | 8.22 ± 0.02       | 8.39 ± 0.00       | ...               | 8.19 ± 0.02       | 8.21 ± 0.00       | 8.18 ± 0.00       | 8.71 ± 0.11      | 8.25 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 210 | 10.81 ± 0.12      | ...               | ...               | 10.20 ± 0.12      | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 211 | 9.09 ± 0.02       | 9.09 ± 0.00       | 8.60 ± 0.00       | 8.48 ± 0.02       | 8.24 ± 0.00       | ...               | 5.27 ± 0.03      | ...              | ...              | Clase II  |
| 212 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 213 | 8.76 ± 0.02       | ...               | 8.40 ± 0.00       | 8.31 ± 0.02       | 8.20 ± 0.00       | 7.66 ± 0.00       | 7.52 ± 0.02      | 5.19 ± 0.12      | 6.11 ± 0.01      | Clase II  |
| 214 | 8.90 ± 0.02       | 9.33 ± 0.00       | 8.82 ± 0.00       | 8.80 ± 0.02       | 8.72 ± 0.00       | 8.59 ± 0.00       | 8.59 ± 0.04      | 8.10 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 215 | ...               | 10.44 ± 0.00      | 10.31 ± 0.02      | ...               | 7.82 ± 0.00       | 6.94 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 216 | 8.85 ± 0.02       | 8.76 ± 0.00       | 8.18 ± 0.00       | 8.23 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.81 ± 0.15      | ...              | ...              | Clase II  |
| 217 | 8.35 ± 0.04       | 8.77 ± 0.00       | 8.11 ± 0.02       | 7.23 ± 0.04       | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 218 | 10.72 ± 0.05      | ...               | 10.92 ± 0.00      | 11.09 ± 0.10      | 10.58 ± 0.00      | 9.64 ± 0.01       | 7.30 ± 0.00      | 5.17 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 219 | 9.56 ± 0.02       | ...               | 9.92 ± 0.02       | 9.55 ± 0.02       | ...               | 9.92 ± 0.01       | 5.66 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase III |
| 220 | 10.76 ± 0.02      | 10.98 ± 0.00      | 10.90 ± 0.00      | 10.80 ± 0.02      | 10.86 ± 0.00      | 11.48 ± 0.02      | 7.27 ± 0.17      | ...              | ...              | Clase III |
| 221 | ...               | 12.23 ± 0.00      | 11.64 ± 0.01      | ...               | 11.26 ± 0.01      | 11.17 ± 0.00      | ...              | ...              | ...              | Clase II  |
| 222 | ...               | 13.25 ± 0.00      | 13.28 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 223 | 10.32 ± 0.02      | 9.96 ± 0.00       | 9.50 ± 0.00       | 9.61 ± 0.02       | 9.01 ± 0.00       | 8.04 ± 0.00       | 6.86 ± 0.05      | 4.21 ± 0.05      | 4.44 ± 0.00      | Clase II  |
| 224 | ...               | 10.90 ± 0.00      | 10.74 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 225 | 10.90 ± 0.06      | 10.80 ± 0.00      | 10.74 ± 0.01      | 10.48 ± 0.07      | 10.83 ± 0.01      | ...               | 7.30 ± 0.00      | 4.10 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 226 | 9.30 ± 0.04       | ...               | 11.54 ± 0.02      | 9.70 ± 0.03       | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 228 | 10.33 ± 0.04      | 10.50 ± 0.00      | 10.36 ± 0.00      | 13.06 ± 0.00      | 10.19 ± 0.00      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 229 | 11.51 ± 0.13      | 11.40 ± 0.00      | ...               | 12.23 ± 0.23      | ...               | ...               | 6.54 ± 0.00      | ...              | ...              | Clase III |
| 230 | 10.72 ± 0.08      | ...               | 10.20 ± 0.02      | 10.19 ± 0.09      | ...               | 8.32 ± 0.00       | 7.05 ± 0.48      | ...              | ...              | Clase II  |
| 231 | 9.52 ± 0.02       | 9.77 ± 0.00       | 9.39 ± 0.02       | 8.86 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.18 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase III |
| 232 | 10.59 ± 0.04      | 10.42 ± 0.00      | 10.34 ± 0.01      | 10.80 ± 0.10      | 10.18 ± 0.01      | 9.34 ± 0.01       | 9.52 ± 0.00      | ...              | ...              | TD        |
| 234 | 9.74 ± 0.02       | 9.69 ± 0.00       | 9.75 ± 0.02       | 9.74 ± 0.02       | ...               | 9.54 ± 0.00       | 8.46 ± 0.07      | 6.25 ± 0.11      | ...              | Clase III |
| 235 | 10.08 ± 0.03      | 10.34 ± 0.00      | 10.25 ± 0.02      | 10.04 ± 0.03      | ...               | 10.59 ± 0.00      | 7.07 ± 0.29      | 4.23 ± 0.08      | ...              | Clase III |
| 236 | 10.86 ± 0.02      | 10.88 ± 0.00      | 10.90 ± 0.00      | 10.89 ± 0.02      | 10.87 ± 0.00      | 10.79 ± 0.01      | 11.02 ± 0.00     | 8.36 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 237 | 11.08 ± 0.04      | 12.27 ± 0.00      | 12.24 ± 0.01      | 11.87 ± 0.06      | 11.99 ± 0.01      | 10.72 ± 0.01      | 6.91 ± 0.13      | ...              | ...              | TD        |
| 238 | 9.90 ± 0.02       | 9.94 ± 0.00       | 9.93 ± 0.00       | 9.91 ± 0.02       | 9.85 ± 0.00       | 9.83 ± 0.00       | 11.07 ± 0.00     | 7.20 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 239 | 10.76 ± 0.02      | 10.64 ± 0.00      | 10.63 ± 0.00      | 10.64 ± 0.02      | 10.55 ± 0.00      | 10.50 ± 0.01      | 9.69 ± 0.17      | 7.74 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 240 | 9.22 ± 0.02       | ...               | 8.97 ± 0.00       | 8.94 ± 0.02       | 8.66 ± 0.00       | ...               | 6.67 ± 0.02      | ...              | 5.54 ± 0.01      | Clase III |
| 241 | 11.22 ± 0.02      | 11.50 ± 0.00      | 11.51 ± 0.01      | 11.40 ± 0.03      | 11.46 ± 0.01      | 11.46 ± 0.01      | 9.04 ± 0.20      | 7.44 ± 0.00      | ...              | Clase II  |
| 242 | 10.24 ± 0.02      | 10.22 ± 0.00      | 10.25 ± 0.00      | 10.25 ± 0.02      | 10.22 ± 0.00      | 10.07 ± 0.00      | 9.37 ± 0.07      | 8.17 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 243 | ...               | 11.65 ± 0.00      | 11.54 ± 0.01      | ...               | 11.65 ± 0.01      | 11.21 ± 0.01      | ...              | ...              | ...              | TD        |
| 245 | 11.72 ± 0.02      | 11.66 ± 0.00      | 11.61 ± 0.01      | 11.63 ± 0.02      | 11.59 ± 0.01      | 11.63 ± 0.01      | 10.20 ± 0.11     | 6.88 ± 0.12      | ...              | Clase III |
| 247 | 12.74 ± 0.03      | 12.61 ± 0.00      | 12.54 ± 0.01      | 12.46 ± 0.03      | 12.50 ± 0.01      | 12.49 ± 0.02      | 10.34 ± 0.24     | 7.22 ± 0.13      | ...              | Clase III |
| 248 | 8.26 ± 0.02       | ...               | 8.31 ± 0.00       | 8.24 ± 0.02       | 8.16 ± 0.00       | 8.13 ± 0.00       | 8.09 ± 0.06      | 7.19 ± 0.23      | 8.14 ± 0.04      | Clase III |
| 249 | 10.50 ± 0.02      | 10.11 ± 0.00      | 9.93 ± 0.00       | 10.02 ± 0.02      | 9.43 ± 0.00       | 8.65 ± 0.00       | 7.63 ± 0.32      | 4.56 ± 0.00      | 5.56 ± 0.00      | Clase II  |
| 250 | 11.37 ± 0.03      | 11.23 ± 0.00      | 11.20 ± 0.00      | 11.24 ± 0.00      | 11.13 ± 0.00      | 11.09 ± 0.01      | 10.51 ± 0.15     | 8.20 ± 0.26      | ...              | Clase III |
| 251 | 12.32 ± 0.03      | 12.25 ± 0.00      | 12.18 ± 0.01      | 12.20 ± 0.03      | 12.11 ± 0.01      | 12.41 ± 0.03      | 10.25 ± 0.00     | 7.65 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 252 | 11.37 ± 0.03      | 11.37 ± 0.00      | 11.31 ± 0.00      | 11.24 ± 0.04      | 11.16 ± 0.00      | 10.92 ± 0.01      | 11.26 ± 0.00     | 8.75 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 253 | 11.55 ± 0.02      | 11.39 ± 0.00      | 11.27 ± 0.00      | 11.31 ± 0.02      | 11.20 ± 0.00      | 11.16 ± 0.01      | 11.22 ± 0.00     | 8.02 ± 0.00      | ...              | Clase III |

Tabla 4.5: – Continuación

| src | FW <sub>3,4</sub> | FS <sub>3,6</sub> | FS <sub>4,5</sub> | FW <sub>4,6</sub> | FS <sub>5,4</sub> | FS <sub>8,0</sub> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | FS <sub>24</sub> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| 255 | 13.78 ± 0.15      | 10.18 ± 0.00      | 10.18 ± 0.00      | 13.09 ± 0.13      | 10.09 ± 0.00      | 10.06 ± 0.00      | 10.22 ± 0.00     | 8.15 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 257 | 11.62 ± 0.02      | 11.59 ± 0.00      | 11.55 ± 0.01      | 11.52 ± 0.02      | 11.44 ± 0.01      | 11.37 ± 0.01      | 9.59 ± 0.07      | 6.91 ± 0.38      | ...              | Clase III |
| 260 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 265 | 11.48 ± 0.02      | 11.31 ± 0.00      | 11.12 ± 0.00      | 11.12 ± 0.02      | 10.96 ± 0.00      | 10.69 ± 0.00      | 10.78 ± 0.10     | 8.44 ± 0.00      | 9.54 ± 0.16      | Clase III |
| 268 | 10.05 ± 0.02      | ...               | ...               | 10.04 ± 0.02      | ...               | ...               | 9.90 ± 0.06      | 8.21 ± 0.34      | ...              | Clase III |
| 271 | 12.31 ± 0.02      | 12.19 ± 0.00      | 12.08 ± 0.01      | 12.03 ± 0.02      | 12.00 ± 0.01      | 11.94 ± 0.01      | 11.65 ± 0.28     | 8.93 ± 0.52      | 8.82 ± 0.07      | Clase III |
| 273 | 11.89 ± 0.02      | 11.90 ± 0.00      | 11.86 ± 0.01      | 11.86 ± 0.02      | 11.78 ± 0.01      | 11.73 ± 0.01      | 11.32 ± 0.18     | 8.79 ± 0.51      | ...              | Clase III |
| 275 | 12.80 ± 0.03      | 12.64 ± 0.00      | 12.60 ± 0.01      | 12.57 ± 0.03      | 12.48 ± 0.01      | 12.38 ± 0.03      | 12.35 ± 0.38     | 9.09 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 280 | 9.20 ± 0.02       | 9.55 ± 0.00       | 9.30 ± 0.00       | 9.22 ± 0.02       | 9.20 ± 0.00       | 9.09 ± 0.00       | 9.21 ± 0.03      | 8.27 ± 0.00      | 9.11 ± 0.15      | Clase III |
| 283 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 284 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 286 | 8.01 ± 0.02       | 8.27 ± 0.00       | 8.10 ± 0.00       | 8.04 ± 0.02       | 8.10 ± 0.00       | 8.22 ± 0.00       | 8.11 ± 0.02      | 8.44 ± 0.34      | 8.01 ± 0.06      | Clase III |
| 287 | 10.89 ± 0.02      | 10.86 ± 0.00      | 10.84 ± 0.00      | 10.88 ± 0.02      | 10.78 ± 0.00      | 10.76 ± 0.01      | 10.96 ± 0.16     | 8.76 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 294 | 12.14 ± 0.02      | 12.10 ± 0.00      | 12.09 ± 0.01      | 12.10 ± 0.02      | 12.03 ± 0.01      | 11.99 ± 0.01      | 12.27 ± 0.51     | 8.87 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 298 | 10.58 ± 0.02      | 10.66 ± 0.00      | 10.45 ± 0.00      | 10.46 ± 0.02      | 10.37 ± 0.00      | 10.40 ± 0.00      | 10.38 ± 0.09     | 8.77 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 300 | 11.35 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.12 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.10 ± 0.25     | 8.15 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 301 | 11.63 ± 0.02      | 11.65 ± 0.00      | 11.68 ± 0.00      | 11.67 ± 0.02      | 11.60 ± 0.00      | 11.60 ± 0.01      | 12.23 ± 0.38     | 8.74 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 302 | 11.21 ± 0.02      | 11.21 ± 0.00      | 11.15 ± 0.00      | 11.19 ± 0.02      | 11.11 ± 0.00      | 10.97 ± 0.01      | 11.10 ± 0.17     | 8.18 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 313 | 11.39 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.27 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.36 ± 0.21     | 9.03 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 316 | 12.57 ± 0.03      | ...               | ...               | 12.43 ± 0.03      | ...               | ...               | 12.26 ± 0.00     | 8.80 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 317 | 12.15 ± 0.02      | ...               | ...               | 12.16 ± 0.02      | ...               | ...               | 12.24 ± 0.00     | 8.75 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 319 | 14.29 ± 0.03      | ...               | ...               | 13.37 ± 0.03      | ...               | ...               | 10.64 ± 0.09     | 8.04 ± 0.25      | ...              | Clase II  |
| 322 | 11.80 ± 0.02      | 11.68 ± 0.00      | 11.62 ± 0.01      | 11.62 ± 0.02      | 11.52 ± 0.01      | 11.43 ± 0.01      | 11.37 ± 0.21     | 8.45 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 324 | 15.31 ± 0.04      | 14.86 ± 0.01      | 13.82 ± 0.02      | 13.81 ± 0.04      | 12.85 ± 0.02      | 11.74 ± 0.01      | 10.88 ± 0.12     | 7.94 ± 0.19      | ...              | Clase I   |
| 325 | 12.88 ± 0.02      | 12.89 ± 0.00      | 12.89 ± 0.01      | 12.88 ± 0.03      | 12.85 ± 0.01      | 12.84 ± 0.02      | 12.21 ± 0.00     | 8.73 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 327 | 9.79 ± 0.02       | 9.80 ± 0.00       | 9.79 ± 0.00       | 9.81 ± 0.02       | 9.77 ± 0.00       | 9.73 ± 0.00       | 9.69 ± 0.05      | 8.17 ± 0.27      | ...              | Clase III |
| 329 | 10.19 ± 0.02      | 10.25 ± 0.00      | 10.26 ± 0.00      | 10.22 ± 0.02      | 10.22 ± 0.00      | 10.24 ± 0.00      | 10.03 ± 0.06     | 8.54 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 335 | 11.39 ± 0.02      | 11.35 ± 0.00      | 11.28 ± 0.00      | 11.31 ± 0.02      | 11.25 ± 0.00      | 11.16 ± 0.01      | 11.13 ± 0.14     | 8.99 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 336 | 13.71 ± 0.03      | 13.55 ± 0.00      | 13.59 ± 0.02      | 13.59 ± 0.04      | 13.47 ± 0.02      | 13.72 ± 0.07      | 12.62 ± 0.00     | 9.05 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 339 | 11.86 ± 0.02      | 11.90 ± 0.00      | ...               | 11.90 ± 0.02      | 11.85 ± 0.01      | 11.82 ± 0.01      | 11.59 ± 0.22     | 8.91 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 340 | 12.82 ± 0.03      | 12.61 ± 0.00      | 12.52 ± 0.01      | 12.53 ± 0.03      | 12.38 ± 0.01      | 12.39 ± 0.02      | 11.29 ± 0.21     | 8.45 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 341 | 11.65 ± 0.02      | 11.60 ± 0.00      | 11.52 ± 0.00      | 11.47 ± 0.02      | 11.50 ± 0.00      | 11.42 ± 0.01      | 10.98 ± 0.14     | 8.72 ± 0.48      | ...              | Clase III |
| 342 | 10.93 ± 0.02      | 10.82 ± 0.00      | 10.85 ± 0.00      | 10.92 ± 0.02      | 10.71 ± 0.00      | 10.57 ± 0.00      | 10.03 ± 0.07     | 6.42 ± 0.06      | 6.40 ± 0.01      | Clase III |
| 347 | 11.77 ± 0.02      | 11.60 ± 0.00      | 11.57 ± 0.01      | 11.57 ± 0.02      | 11.51 ± 0.01      | 11.45 ± 0.01      | 11.83 ± 0.31     | 9.03 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 349 | 12.52 ± 0.02      | 12.35 ± 0.00      | 12.23 ± 0.01      | 12.22 ± 0.02      | 12.19 ± 0.01      | 12.04 ± 0.01      | 11.97 ± 0.00     | 9.06 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 355 | 11.42 ± 0.02      | 11.36 ± 0.00      | 11.32 ± 0.00      | 11.19 ± 0.02      | 11.22 ± 0.00      | 11.00 ± 0.01      | 10.22 ± 0.07     | 6.66 ± 0.09      | 6.39 ± 0.01      | Clase III |
| 358 | 10.36 ± 0.02      | 10.13 ± 0.00      | 9.89 ± 0.00       | 9.90 ± 0.02       | 9.62 ± 0.00       | 9.14 ± 0.00       | 8.27 ± 0.03      | 5.25 ± 0.04      | 5.32 ± 0.00      | Clase II  |
| 359 | 12.68 ± 0.02      | 12.54 ± 0.00      | 12.42 ± 0.01      | 12.32 ± 0.02      | 12.32 ± 0.01      | 12.27 ± 0.01      | 12.29 ± 0.00     | 8.85 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 360 | 12.60 ± 0.03      | 12.42 ± 0.00      | 12.15 ± 0.01      | 12.06 ± 0.02      | 11.80 ± 0.01      | 10.91 ± 0.00      | 10.28 ± 0.08     | 7.85 ± 0.24      | ...              | Clase II  |
| 363 | 10.57 ± 0.02      | 10.43 ± 0.00      | 10.10 ± 0.00      | 10.10 ± 0.02      | 9.68 ± 0.00       | 8.89 ± 0.00       | 8.18 ± 0.03      | 6.08 ± 0.06      | 5.66 ± 0.00      | Clase II  |
| 364 | 9.18 ± 0.02       | 9.20 ± 0.00       | 9.01 ± 0.00       | 8.92 ± 0.02       | 8.86 ± 0.00       | 8.85 ± 0.00       | 8.76 ± 0.04      | 7.27 ± 0.14      | ...              | Clase III |
| 366 | 11.32 ± 0.02      | ...               | 11.33 ± 0.00      | 11.27 ± 0.02      | 11.21 ± 0.00      | 11.22 ± 0.01      | 12.19 ± 0.00     | 8.68 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 368 | 11.89 ± 0.02      | 11.82 ± 0.00      | 11.73 ± 0.01      | 11.72 ± 0.03      | 11.72 ± 0.01      | 11.86 ± 0.01      | 11.02 ± 0.00     | 8.55 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 369 | 11.00 ± 0.02      | 11.07 ± 0.00      | 10.75 ± 0.00      | 10.48 ± 0.02      | 10.40 ± 0.00      | 9.80 ± 0.00       | 10.69 ± 0.16     | 8.69 ± 0.00      | 6.62 ± 0.00      | Clase II  |
| 370 | 8.55 ± 0.02       | 8.24 ± 0.00       | ...               | 7.93 ± 0.02       | 7.50 ± 0.00       | ...               | 5.92 ± 0.02      | 4.05 ± 0.04      | 3.75 ± 0.00      | Clase II  |
| 372 | 10.56 ± 0.02      | 10.50 ± 0.00      | 10.45 ± 0.00      | 10.44 ± 0.02      | 10.38 ± 0.00      | 10.36 ± 0.00      | 8.35 ± 0.13      | 6.34 ± 0.30      | ...              | Clase III |
| 375 | 11.36 ± 0.02      | ...               | ...               | 9.25 ± 0.02       | ...               | ...               | 8.15 ± 0.04      | ...              | ...              | Clase II  |

Tabla 4.5: – Continuación

| src | FW <sub>3,4</sub> | FS <sub>3,6</sub> | FS <sub>4,5</sub> | FW <sub>4,6</sub> | FS <sub>5,4</sub> | FS <sub>8,0</sub> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | FS <sub>24</sub> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| 376 | ...               | 12.64 ± 0.00      | 11.52 ± 0.00      | ...               | 10.78 ± 0.00      | 9.72 ± 0.00       | ...              | ...              | ...              | Clase I   |
| 377 | 8.17 ± 0.02       | 7.70 ± 0.00       | 7.71 ± 0.00       | 7.87 ± 0.02       | 7.74 ± 0.00       | 7.28 ± 0.00       | 6.99 ± 0.02      | 5.20 ± 0.03      | 5.04 ± 0.00      | TD        |
| 378 | 10.71 ± 0.03      | 10.60 ± 0.00      | 10.53 ± 0.00      | 10.56 ± 0.02      | 10.45 ± 0.00      | 10.43 ± 0.00      | 11.10 ± 0.00     | 6.89 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 379 | ...               | 13.81 ± 0.00      | 13.72 ± 0.02      | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 381 | 9.32 ± 0.05       | 9.92 ± 0.00       | 8.67 ± 0.00       | 7.52 ± 0.04       | 7.75 ± 0.00       | 6.63 ± 0.00       | 4.45 ± 0.02      | ...              | 1.28 ± 0.00      | Clase I   |
| 382 | 8.40 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.49 ± 0.03       | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 383 | 8.90 ± 0.02       | ...               | ...               | 8.25 ± 0.02       | ...               | ...               | 4.13 ± 0.01      | ...              | ...              | Clase II  |
| 384 | 11.46 ± 0.02      | 11.08 ± 0.00      | 10.82 ± 0.00      | 10.76 ± 0.02      | 10.62 ± 0.00      | 10.61 ± 0.00      | 10.30 ± 0.09     | 8.58 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 385 | 11.12 ± 0.02      | 10.94 ± 0.00      | 10.61 ± 0.00      | 10.72 ± 0.02      | 10.30 ± 0.00      | 9.49 ± 0.00       | 7.44 ± 0.02      | 5.19 ± 0.04      | 6.40 ± 0.00      | Clase II  |
| 386 | 12.99 ± 0.03      | 12.49 ± 0.00      | 11.92 ± 0.00      | 11.73 ± 0.02      | 11.54 ± 0.00      | 11.49 ± 0.01      | 10.49 ± 0.15     | 7.30 ± 0.12      | ...              | Clase II  |
| 388 | 12.18 ± 0.02      | 12.07 ± 0.00      | ...               | 12.00 ± 0.02      | 11.93 ± 0.00      | 11.88 ± 0.01      | 11.56 ± 0.22     | 9.02 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 389 | 8.90 ± 0.02       | 9.00 ± 0.00       | ...               | 8.51 ± 0.02       | ...               | 8.52 ± 0.00       | 4.66 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase III |
| 390 | 10.26 ± 0.02      | 10.17 ± 0.00      | 9.68 ± 0.00       | 9.36 ± 0.02       | 9.15 ± 0.00       | 8.31 ± 0.00       | 6.96 ± 0.02      | 4.07 ± 0.03      | ...              | Clase II  |
| 391 | 12.70 ± 0.03      | 12.70 ± 0.00      | 12.28 ± 0.01      | 12.07 ± 0.03      | 11.88 ± 0.01      | 10.99 ± 0.00      | 9.06 ± 0.05      | 6.83 ± 0.22      | ...              | Clase II  |
| 392 | 6.27 ± 0.09       | 5.60 ± 0.00       | 5.15 ± 0.00       | 4.90 ± 0.08       | 4.02 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase I   |
| 394 | 12.02 ± 0.02      | ...               | ...               | 11.86 ± 0.02      | ...               | ...               | 12.43 ± 0.00     | 8.93 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 396 | 10.47 ± 0.03      | 10.45 ± 0.00      | 10.28 ± 0.00      | 10.10 ± 0.02      | 10.00 ± 0.00      | 9.53 ± 0.00       | 7.49 ± 0.04      | 4.85 ± 0.09      | ...              | Clase III |
| 398 | 8.82 ± 0.03       | 9.93 ± 0.00       | 9.71 ± 0.02       | 8.18 ± 0.02       | ...               | ...               | 3.37 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase III |
| 400 | 9.55 ± 0.03       | 9.57 ± 0.00       | 9.08 ± 0.00       | 8.95 ± 0.03       | 8.58 ± 0.00       | 7.64 ± 0.00       | 6.44 ± 0.03      | 4.62 ± 0.05      | 4.91 ± 0.00      | Clase II  |
| 401 | 9.21 ± 0.02       | 9.14 ± 0.00       | 8.62 ± 0.00       | 8.61 ± 0.02       | 8.18 ± 0.00       | 7.55 ± 0.00       | 6.92 ± 0.02      | 4.88 ± 0.03      | ...              | Clase II  |
| 402 | 6.63 ± 0.07       | 6.29 ± 0.00       | 6.02 ± 0.02       | 5.73 ± 0.05       | ...               | ...               | 4.00 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase II  |
| 404 | 8.25 ± 0.02       | 7.95 ± 0.00       | 7.44 ± 0.00       | 7.68 ± 0.02       | 7.13 ± 0.00       | 6.08 ± 0.00       | 5.25 ± 0.02      | ...              | 2.95 ± 0.00      | Clase II  |
| 407 | 12.00 ± 0.02      | 11.71 ± 0.00      | 11.51 ± 0.00      | 11.55 ± 0.02      | 11.41 ± 0.00      | 11.35 ± 0.00      | 11.53 ± 0.22     | 8.63 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 409 | 14.06 ± 0.03      | 13.90 ± 0.00      | ...               | 13.89 ± 0.04      | 13.78 ± 0.02      | 13.79 ± 0.03      | 11.62 ± 0.00     | 8.63 ± 0.53      | ...              | Clase III |
| 411 | 9.73 ± 0.02       | 9.56 ± 0.00       | 9.43 ± 0.00       | 9.47 ± 0.02       | 9.16 ± 0.00       | 8.46 ± 0.00       | 7.29 ± 0.02      | 4.87 ± 0.03      | 4.75 ± 0.00      | TD        |
| 415 | 11.96 ± 0.03      | 11.79 ± 0.00      | 11.71 ± 0.01      | 11.90 ± 0.08      | 11.62 ± 0.01      | 11.77 ± 0.01      | 9.19 ± 0.00      | 6.32 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 419 | 9.71 ± 0.02       | 9.89 ± 0.00       | 9.43 ± 0.00       | 9.07 ± 0.02       | 9.01 ± 0.00       | 8.28 ± 0.00       | 6.95 ± 0.06      | 4.41 ± 0.05      | 5.45 ± 0.00      | Clase II  |
| 421 | 9.20 ± 0.02       | ...               | ...               | 8.21 ± 0.02       | ...               | ...               | 6.39 ± 0.01      | 4.11 ± 0.02      | 4.07 ± 0.00      | Clase II  |
| 423 | 11.14 ± 0.03      | 11.01 ± 0.00      | 10.48 ± 0.00      | 10.26 ± 0.03      | 10.00 ± 0.00      | 9.27 ± 0.00       | 7.86 ± 0.20      | 5.17 ± 0.07      | 6.60 ± 0.00      | Clase II  |
| 427 | 12.84 ± 0.03      | 12.73 ± 0.00      | 12.69 ± 0.01      | 12.65 ± 0.03      | 12.53 ± 0.01      | 12.53 ± 0.02      | 11.72 ± 0.00     | 8.80 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 434 | 9.03 ± 0.02       | 9.13 ± 0.00       | ...               | 8.31 ± 0.02       | ...               | ...               | 6.18 ± 0.02      | 4.28 ± 0.03      | 4.16 ± 0.00      | Clase II  |
| 435 | 9.76 ± 0.02       | 9.58 ± 0.00       | 8.90 ± 0.00       | 8.77 ± 0.02       | 8.18 ± 0.00       | 7.40 ± 0.00       | 6.44 ± 0.02      | 4.46 ± 0.04      | 4.80 ± 0.00      | Clase II  |
| 436 | 10.82 ± 0.02      | 10.75 ± 0.00      | 10.70 ± 0.00      | 10.68 ± 0.02      | 10.59 ± 0.00      | 10.55 ± 0.00      | 10.50 ± 0.09     | 8.60 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 439 | 8.75 ± 0.02       | ...               | ...               | 7.93 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.78 ± 0.01      | ...              | 3.50 ± 0.00      | Clase II  |
| 440 | 10.38 ± 0.03      | ...               | 9.84 ± 0.00       | 9.84 ± 0.02       | 9.52 ± 0.00       | 8.82 ± 0.00       | 8.41 ± 0.31      | 5.89 ± 0.41      | ...              | Clase II  |
| 444 | 12.42 ± 0.02      | 12.32 ± 0.00      | 12.26 ± 0.01      | 12.23 ± 0.02      | 12.08 ± 0.01      | 12.04 ± 0.01      | 10.39 ± 0.16     | 8.32 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 445 | 8.69 ± 0.02       | 8.99 ± 0.00       | 8.40 ± 0.00       | 8.15 ± 0.02       | 7.95 ± 0.00       | 7.25 ± 0.00       | 6.65 ± 0.04      | 5.22 ± 0.08      | ...              | Clase II  |
| 447 | 11.32 ± 0.06      | ...               | ...               | 11.02 ± 0.06      | 11.11 ± 0.00      | ...               | 8.37 ± 0.39      | 5.66 ± 0.25      | ...              | Clase III |
| 451 | 8.95 ± 0.02       | 8.97 ± 0.00       | 8.28 ± 0.00       | 8.32 ± 0.02       | 7.91 ± 0.00       | 7.31 ± 0.00       | 6.35 ± 0.03      | ...              | 5.06 ± 0.00      | Clase II  |
| 454 | ...               | 10.78 ± 0.00      | 10.45 ± 0.00      | ...               | 10.23 ± 0.00      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 456 | 8.26 ± 0.03       | 8.45 ± 0.00       | 8.12 ± 0.00       | 7.49 ± 0.03       | 7.46 ± 0.00       | ...               | 4.91 ± 0.02      | ...              | 2.45 ± 0.00      | Clase II  |
| 457 | 8.43 ± 0.03       | ...               | 8.09 ± 0.02       | 7.90 ± 0.02       | ...               | ...               | 4.85 ± 0.01      | ...              | 3.15 ± 0.00      | Clase II  |
| 462 | 9.64 ± 0.02       | 9.88 ± 0.00       | 9.31 ± 0.02       | 9.31 ± 0.02       | ...               | 7.88 ± 0.00       | 7.44 ± 0.04      | ...              | ...              | Clase II  |
| 463 | 11.40 ± 0.02      | 11.13 ± 0.00      | 10.84 ± 0.00      | 10.90 ± 0.02      | 10.51 ± 0.00      | 9.84 ± 0.00       | 9.47 ± 0.10      | 8.28 ± 0.41      | 7.71 ± 0.01      | Clase II  |
| 466 | 6.91 ± 0.06       | 6.96 ± 0.00       | 7.11 ± 0.00       | 6.99 ± 0.02       | 6.88 ± 0.00       | ...               | 6.91 ± 0.02      | 6.74 ± 0.09      | 6.80 ± 0.01      | Clase III |
| 470 | 12.39 ± 0.02      | 12.28 ± 0.00      | 11.84 ± 0.00      | 11.76 ± 0.02      | 11.36 ± 0.00      | 11.12 ± 0.00      | 7.96 ± 0.03      | 4.80 ± 0.03      | ...              | Clase II  |
| 471 | ...               | 11.07 ± 0.00      | 10.99 ± 0.00      | ...               | 10.93 ± 0.00      | 10.52 ± 0.00      | ...              | ...              | ...              | TD        |

Tabla 4.5: – Continuación

| src | FW <sub>3,4</sub> | FS <sub>3,6</sub> | FS <sub>4,5</sub> | FW <sub>4,6</sub> | FS <sub>5,4</sub> | FS <sub>8,0</sub> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | FS <sub>24</sub> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| 474 | 10.01 ± 0.02      | 9.97 ± 0.00       | 9.90 ± 0.00       | 9.90 ± 0.02       | 9.82 ± 0.00       | 9.76 ± 0.00       | 10.31 ± 0.10     | 8.84 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 476 | 10.33 ± 0.02      | 10.35 ± 0.00      | 10.37 ± 0.00      | 10.37 ± 0.02      | 10.32 ± 0.00      | 10.36 ± 0.00      | 10.08 ± 0.29     | 8.15 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 480 | 6.92 ± 0.05       | ...               | ...               | 4.96 ± 0.07       | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 482 | 8.11 ± 0.02       | 8.35 ± 0.00       | 8.22 ± 0.00       | 8.13 ± 0.02       | 8.06 ± 0.00       | 8.05 ± 0.00       | 7.25 ± 0.00      | ...              | ...              | Clase III |
| 483 | 8.60 ± 0.03       | 8.90 ± 0.00       | 8.64 ± 0.02       | 8.51 ± 0.04       | ...               | ...               | 6.41 ± 0.35      | ...              | ...              | Clase III |
| 485 | 9.54 ± 0.02       | 9.67 ± 0.00       | 9.34 ± 0.00       | 9.08 ± 0.02       | 8.71 ± 0.00       | 8.02 ± 0.00       | 7.55 ± 0.02      | 6.63 ± 0.17      | 5.86 ± 0.00      | Clase II  |
| 490 | 13.72 ± 0.03      | 13.63 ± 0.00      | 13.52 ± 0.02      | 13.51 ± 0.04      | 13.32 ± 0.02      | 13.42 ± 0.04      | 11.64 ± 0.00     | 8.60 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 491 | ...               | 10.56 ± 0.00      | ...               | ...               | 10.11 ± 0.00      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 492 | 8.38 ± 0.04       | 8.72 ± 0.00       | 8.51 ± 0.00       | 8.06 ± 0.04       | 8.46 ± 0.00       | ...               | 4.73 ± 0.08      | ...              | ...              | Clase III |
| 493 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 496 | 8.74 ± 0.02       | ...               | ...               | 8.27 ± 0.02       | 8.18 ± 0.00       | 7.82 ± 0.00       | 6.51 ± 0.02      | 4.20 ± 0.04      | 4.44 ± 0.00      | Clase III |
| 500 | 9.21 ± 0.02       | 9.61 ± 0.00       | 9.13 ± 0.02       | 8.81 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.44 ± 0.02      | ...              | ...              | Clase II  |
| 502 | ...               | 15.33 ± 0.01      | 14.38 ± 0.03      | ...               | 13.64 ± 0.03      | 12.48 ± 0.02      | ...              | ...              | 8.70 ± 0.01      | Clase I   |
| 503 | 13.39 ± 0.03      | 13.26 ± 0.00      | 13.24 ± 0.01      | 13.20 ± 0.03      | 13.23 ± 0.01      | 13.12 ± 0.02      | 11.94 ± 0.30     | 8.77 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 504 | 8.76 ± 0.02       | 8.89 ± 0.00       | 8.21 ± 0.00       | 8.09 ± 0.02       | 7.85 ± 0.00       | 7.03 ± 0.00       | 6.61 ± 0.20      | ...              | ...              | Clase II  |
| 505 | 10.28 ± 0.02      | 10.20 ± 0.00      | 9.73 ± 0.00       | 9.66 ± 0.02       | 9.29 ± 0.00       | 8.70 ± 0.00       | 8.19 ± 0.04      | 6.66 ± 0.09      | 6.59 ± 0.01      | Clase II  |
| 506 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 510 | 11.15 ± 0.02      | 10.98 ± 0.00      | 10.88 ± 0.00      | 10.91 ± 0.02      | 10.78 ± 0.00      | 10.78 ± 0.01      | 10.40 ± 0.00     | 8.75 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 512 | 12.22 ± 0.03      | 12.07 ± 0.00      | 11.99 ± 0.01      | 12.02 ± 0.03      | 11.96 ± 0.01      | 11.41 ± 0.01      | 9.39 ± 0.00      | 7.37 ± 0.00      | ...              | TD        |
| 514 | 10.99 ± 0.03      | 11.20 ± 0.00      | 10.94 ± 0.01      | 10.63 ± 0.02      | 10.68 ± 0.01      | 9.64 ± 0.00       | 6.91 ± 0.06      | 4.65 ± 0.10      | ...              | Clase II  |
| 515 | 10.03 ± 0.02      | 9.70 ± 0.00       | 9.32 ± 0.00       | 9.49 ± 0.02       | 8.95 ± 0.00       | 8.06 ± 0.00       | 7.19 ± 0.03      | ...              | ...              | Clase II  |
| 517 | 12.28 ± 0.02      | 12.16 ± 0.00      | ...               | 12.13 ± 0.02      | 12.07 ± 0.00      | 11.97 ± 0.01      | 12.23 ± 0.38     | 8.90 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 518 | 11.81 ± 0.02      | 11.56 ± 0.00      | 11.28 ± 0.00      | 11.51 ± 0.02      | 11.11 ± 0.00      | 10.43 ± 0.00      | 11.40 ± 0.00     | 8.67 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 520 | 10.08 ± 0.02      | 10.41 ± 0.00      | 10.35 ± 0.00      | 9.79 ± 0.02       | 10.16 ± 0.00      | 9.58 ± 0.00       | 5.48 ± 0.03      | ...              | ...              | TD        |
| 521 | 10.31 ± 0.02      | 10.33 ± 0.00      | 10.30 ± 0.00      | 10.18 ± 0.02      | 10.15 ± 0.00      | 9.88 ± 0.00       | 6.84 ± 0.03      | 4.79 ± 0.06      | ...              | Clase III |
| 522 | 9.31 ± 0.02       | 9.39 ± 0.00       | 9.20 ± 0.00       | 9.06 ± 0.02       | 8.95 ± 0.00       | 8.46 ± 0.00       | 5.73 ± 0.02      | ...              | 5.11 ± 0.00      | Clase III |
| 523 | 13.23 ± 0.03      | 13.12 ± 0.00      | 13.00 ± 0.01      | 13.08 ± 0.03      | 12.93 ± 0.01      | 13.07 ± 0.03      | 11.92 ± 0.00     | 8.80 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 524 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 526 | 13.81 ± 0.03      | 13.78 ± 0.01      | 13.64 ± 0.02      | 13.40 ± 0.03      | ...               | ...               | 10.10 ± 0.15     | 6.18 ± 0.20      | ...              | Clase III |
| 528 | 11.32 ± 0.03      | 11.85 ± 0.00      | 11.70 ± 0.01      | 11.46 ± 0.03      | 11.77 ± 0.01      | ...               | 6.84 ± 0.04      | 7.01 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 530 | 11.13 ± 0.02      | 10.83 ± 0.00      | 10.12 ± 0.00      | 10.13 ± 0.02      | 9.86 ± 0.00       | 9.39 ± 0.00       | 9.16 ± 0.06      | 7.68 ± 0.23      | 6.78 ± 0.00      | Clase II  |
| 538 | 10.35 ± 0.02      | 10.41 ± 0.00      | 10.43 ± 0.00      | 10.37 ± 0.02      | 10.34 ± 0.00      | 10.33 ± 0.00      | 10.49 ± 0.09     | 8.79 ± 0.00      | ...              | Clase II  |
| 539 | ...               | 9.82 ± 0.00       | 9.56 ± 0.00       | ...               | 9.20 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 541 | 10.40 ± 0.02      | 10.04 ± 0.00      | 9.64 ± 0.00       | 9.64 ± 0.02       | 9.24 ± 0.00       | 8.32 ± 0.00       | 7.28 ± 0.02      | 5.36 ± 0.04      | 5.24 ± 0.00      | Clase II  |
| 543 | 8.18 ± 0.02       | ...               | ...               | 4.12 ± 0.03       | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 544 | 9.32 ± 0.02       | ...               | 9.95 ± 0.00       | 8.89 ± 0.02       | 9.76 ± 0.00       | ...               | 7.24 ± 0.11      | ...              | ...              | Clase III |
| 546 | 11.09 ± 0.03      | ...               | ...               | 10.07 ± 0.03      | ...               | ...               | 8.44 ± 0.07      | ...              | ...              | Clase II  |
| 547 | 12.20 ± 0.02      | 12.02 ± 0.00      | 12.03 ± 0.01      | 12.05 ± 0.02      | 11.90 ± 0.01      | 11.89 ± 0.01      | 11.60 ± 0.00     | 7.92 ± 0.00      | ...              | Clase III |
| 548 | ...               | 11.36 ± 0.00      | 11.42 ± 0.01      | ...               | 11.36 ± 0.01      | 11.31 ± 0.01      | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 549 | ...               | 11.44 ± 0.00      | 11.11 ± 0.01      | ...               | 10.92 ± 0.01      | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 550 | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |
| 551 | 7.99 ± 0.02       | ...               | ...               | 7.34 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.41 ± 0.01      | ...              | 3.34 ± 0.00      | Clase II  |
| 552 | 9.80 ± 0.03       | ...               | 9.24 ± 0.00       | 9.23 ± 0.02       | 8.71 ± 0.00       | ...               | 6.93 ± 0.13      | 6.41 ± 0.43      | ...              | Clase II  |
| 553 | 10.26 ± 0.02      | 10.01 ± 0.00      | 9.96 ± 0.00       | 9.94 ± 0.02       | 9.79 ± 0.00       | 9.71 ± 0.00       | 9.37 ± 0.12      | 7.43 ± 0.26      | ...              | Clase III |
| 556 | 9.95 ± 0.02       | 9.80 ± 0.00       | 9.58 ± 0.00       | 9.66 ± 0.02       | 9.20 ± 0.00       | 8.13 ± 0.00       | 7.04 ± 0.02      | 4.95 ± 0.04      | 4.89 ± 0.00      | Clase II  |
| 557 | 7.55 ± 0.03       | ...               | ...               | 6.88 ± 0.02       | ...               | ...               | 5.35 ± 0.07      | ...              | ...              | Clase II  |
| 558 | ...               | ...               | ...               | ...               | 8.50 ± 0.00       | ...               | ...              | ...              | ...              | Clase III |

Tabla 4.5: – Continuación

| src | FW <sub>3,4</sub> | F <sub>3,6</sub> <sup>S</sup> | F <sub>4,5</sub> <sup>S</sup> | FW <sub>4,6</sub> | F <sub>5,4</sub> <sup>S</sup> | F <sub>8,0</sub> <sup>S</sup> | FW <sub>12</sub> | FW <sub>22</sub> | F <sub>24</sub> <sup>S</sup> | Clase     |
|-----|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|-----------|
| 559 | ...               | ...                           | ...                           | ...               | ...                           | ...                           | ...              | ...              | ...                          | Clase III |
| 561 | 10.22 ± 0.02      | 10.45 ± 0.00                  | 10.14 ± 0.00                  | 9.91 ± 0.02       | 9.63 ± 0.00                   | 8.69 ± 0.00                   | 9.48 ± 0.00      | 4.96 ± 0.00      | ...                          | Clase II  |
| 562 | 11.97 ± 0.02      | 11.76 ± 0.00                  | 11.64 ± 0.01                  | 11.63 ± 0.02      | 11.54 ± 0.01                  | 11.48 ± 0.01                  | 12.02 ± 0.00     | 8.83 ± 0.00      | ...                          | Clase III |
| 563 | 10.39 ± 0.02      | 10.28 ± 0.00                  | 10.19 ± 0.00                  | 10.20 ± 0.02      | 10.10 ± 0.00                  | 10.03 ± 0.00                  | 9.78 ± 0.13      | 7.58 ± 0.00      | ...                          | Clase III |
| 565 | 11.05 ± 0.02      | 10.68 ± 0.00                  | 10.26 ± 0.00                  | 10.33 ± 0.02      | 9.91 ± 0.00                   | 9.72 ± 0.00                   | 8.65 ± 0.11      | 4.21 ± 0.08      | ...                          | Clase II  |
| 566 | 11.25 ± 0.03      | 11.58 ± 0.00                  | 11.31 ± 0.01                  | 11.07 ± 0.04      | 10.95 ± 0.01                  | ...                           | 8.64 ± 0.27      | 7.35 ± 0.00      | ...                          | Clase III |
| 567 | ...               | 11.66 ± 0.00                  | ...                           | ...               | ...                           | ...                           | ...              | ...              | ...                          | Clase III |
| 568 | ...               | 10.63 ± 0.00                  | 10.01 ± 0.02                  | ...               | ...                           | ...                           | ...              | ...              | ...                          | Clase III |
| 569 | 9.31 ± 0.02       | ...                           | 9.37 ± 0.00                   | 8.53 ± 0.02       | 8.74 ± 0.00                   | ...                           | 6.93 ± 0.03      | ...              | ...                          | Clase II  |
| 571 | 10.69 ± 0.03      | 10.42 ± 0.00                  | 10.02 ± 0.00                  | 10.27 ± 0.03      | 9.61 ± 0.00                   | 9.00 ± 0.00                   | 8.63 ± 0.04      | 6.89 ± 0.14      | 6.67 ± 0.01                  | Clase II  |
| 572 | ...               | ...                           | ...                           | ...               | ...                           | ...                           | ...              | ...              | ...                          | Clase III |
| 573 | 8.24 ± 0.02       | ...                           | ...                           | 7.72 ± 0.02       | ...                           | ...                           | 5.60 ± 0.04      | ...              | ...                          | Clase II  |
| 575 | 9.98 ± 0.04       | 10.23 ± 0.00                  | 10.08 ± 0.00                  | 9.35 ± 0.03       | 10.09 ± 0.00                  | ...                           | 7.64 ± 0.00      | ...              | ...                          | Clase III |
| 576 | 12.17 ± 0.02      | 12.05 ± 0.00                  | 11.98 ± 0.01                  | 12.02 ± 0.02      | 11.92 ± 0.01                  | 11.85 ± 0.01                  | 11.47 ± 0.18     | 8.44 ± 0.00      | ...                          | Clase III |
| 577 | 9.45 ± 0.02       | 9.54 ± 0.00                   | 8.89 ± 0.00                   | 8.74 ± 0.02       | 8.69 ± 0.00                   | ...                           | 6.78 ± 0.04      | 4.14 ± 0.05      | ...                          | Clase III |
| 578 | 13.32 ± 0.03      | 13.23 ± 0.00                  | 13.14 ± 0.02                  | 13.15 ± 0.03      | 13.18 ± 0.02                  | 13.27 ± 0.04                  | 11.64 ± 0.00     | 8.30 ± 0.00      | ...                          | Clase III |
| 580 | 10.28 ± 0.02      | ...                           | ...                           | 9.80 ± 0.02       | ...                           | ...                           | 8.20 ± 0.03      | 6.39 ± 0.08      | ...                          | Clase II  |
| 581 | 8.30 ± 0.03       | ...                           | ...                           | 7.62 ± 0.03       | ...                           | ...                           | 5.89 ± 0.02      | 4.30 ± 0.05      | ...                          | Clase II  |
| 582 | 6.78 ± 0.06       | 6.72 ± 0.00                   | 6.03 ± 0.00                   | 5.55 ± 0.05       | 5.11 ± 0.00                   | ...                           | 3.24 ± 0.01      | ...              | ...                          | Clase I   |
| 584 | 12.32 ± 0.03      | 11.92 ± 0.00                  | 11.45 ± 0.01                  | 11.37 ± 0.03      | 11.24 ± 0.01                  | 11.40 ± 0.01                  | 8.37 ± 0.07      | 5.61 ± 0.08      | ...                          | Clase II  |
| 587 | 10.83 ± 0.03      | 10.75 ± 0.00                  | 10.38 ± 0.00                  | 10.20 ± 0.03      | 9.84 ± 0.00                   | 8.78 ± 0.00                   | 6.19 ± 0.03      | 4.51 ± 0.09      | ...                          | Clase II  |
| 588 | 11.02 ± 0.02      | 11.11 ± 0.00                  | 10.69 ± 0.00                  | 10.59 ± 0.02      | 10.22 ± 0.00                  | 9.67 ± 0.01                   | 7.13 ± 0.03      | ...              | ...                          | Clase II  |
| 590 | 11.60 ± 0.03      | ...                           | 11.65 ± 0.01                  | 11.51 ± 0.02      | 11.57 ± 0.01                  | 11.53 ± 0.01                  | 11.26 ± 0.22     | 8.95 ± 0.00      | ...                          | Clase III |
| 591 | 12.66 ± 0.02      | 12.54 ± 0.00                  | 12.49 ± 0.01                  | 12.50 ± 0.02      | 12.43 ± 0.01                  | 12.33 ± 0.02                  | 10.96 ± 0.18     | 8.96 ± 0.52      | ...                          | Clase III |
| 592 | 10.71 ± 0.02      | 10.67 ± 0.00                  | 10.33 ± 0.00                  | 10.28 ± 0.02      | 10.05 ± 0.00                  | 9.73 ± 0.01                   | 8.37 ± 0.04      | 5.13 ± 0.06      | ...                          | Clase III |
| 594 | 8.62 ± 0.02       | ...                           | ...                           | 7.34 ± 0.02       | ...                           | ...                           | 5.40 ± 0.01      | ...              | 3.74 ± 0.00                  | Clase II  |
| 601 | 10.84 ± 0.02      | 10.83 ± 0.00                  | 10.82 ± 0.00                  | 10.84 ± 0.02      | 10.73 ± 0.00                  | 10.74 ± 0.00                  | 11.16 ± 0.19     | 8.94 ± 0.00      | ...                          | Clase III |

Tabla 4.6: Ajuste de los modelos plasma en rayos X para las fuentes encontradas

| src | Obs ID     | rate PN<br>(seg <sup>-1</sup> ) | rate M1<br>(seg <sup>-1</sup> ) | rate M2<br>(seg <sup>-1</sup> ) | Nh<br>(cm <sup>-2</sup> ) | kT1<br>(keV) | kT2<br>(keV) | kT3<br>(keV) | em1<br>(cm <sup>-5</sup> ) | em2<br>(cm <sup>-5</sup> ) | fit (dof)<br>(erg s <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> ) | flux  | Clase     |
|-----|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|----------------------------|--|-------|-----------|
| 15  | 0112530104 | 597                             | ...                             | 151                             | 0.033                     | 0.245        | 1.462        | ...          | 4.36e-05                   | 6.58e-05                   | 0.719(43)  | 0.885 | Clase III |
| 23  | 0112530104 | 2570                            | 924                             | 934                             | ...                       | 0.829        | 2.445        | ...          | 9.32e-05                   | 2.24e-04                   | 1.262(247)   | 3.836 | Clase III |
| 52  | 0112530104 | 728                             | 322                             | 258                             | ...                       | 0.948        | 2.602        | ...          | 3.18e-05                   | 4.19e-05                   | 1.519(78)  | 0.567 | Clase II  |
| 54  | 0112530104 | 4561                            | 1536                            | 1395                            | ...                       | 0.238        | 0.999        | 2.685        | 1.11e-04                   | 2.13e-04                   | 1.115(380)   | 5.409 | Clase III |
| 69  | 0112530104 | 978                             | 412                             | 350                             | 0.017                     | 0.797        | 2.160        | ...          | 4.34e-05                   | 1.10e-04                   | 1.167(104)   | 2.088 | Clase III |
| 71  | 0112530104 | 1565                            | ...                             | ...                             | 0.004                     | 0.806        | 3.000        | ...          | 1.93e-05                   | 9.36e-05                   | 1.126(89)  | 1.417 | Clase III |
| 73  | 0112530104 | 7735                            | 2941                            | 2617                            | 0.021                     | 0.974        | 3.152        | ...          | 1.98e-04                   | 3.15e-05                   | 1.037(626)   | 8.910 | Clase III |
| 77  | 0112530104 | 1069                            | 537                             | 632                             | 1.059                     | 0.977        | 2.412        | ...          | 2.59e-04                   | 3.73e-04                   | 1.105(138)   | 2.380 | Clase II  |
| 85  | 0112530104 | 2860                            | ...                             | ...                             | 0.009                     | 0.932        | 2.160        | ...          | 3.44e-02                   | 1.62e-01                   | 1.122(147)   | 1.766 | Clase III |
| 87  | 0112640200 | 488                             | 180                             | ...                             | 0.346                     | 1.284        | ...          | ...          | 8.68e-05                   | 2.67e-04                   | 1.566(37)  | 3.648 | Clase III |
| 108 | 0112530104 | 748                             | 246                             | 281                             | 0.051                     | 0.235        | 0.987        | ...          | 5.84e-05                   | 5.64e-05                   | 1.094(75)  | 0.837 | Clase II  |
| 109 | 0112640200 | 512                             | 271                             | 465                             | 0.386                     | 3.698        | 3.697        | ...          | 8.91e-04                   | ...                        | 1.021(78)  | 8.013 | Clase II  |
| 131 | 0112640104 | 2030                            | ...                             | 965                             | 1.660                     | 0.375        | 2.344        | ...          | 3.34e-03                   | 2.11e-03                   | 0.918(180)   | 7.263 | Clase III |
| 151 | 0112640104 | ...                             | 1107                            | 1058                            | 1.250                     | 3.000        | ...          | ...          | 1.72e-03                   | ...                        | 0.814(67)  | 8.072 | Clase III |
| 155 | 0112530104 | ...                             | 772                             | 868                             | 1.760                     | 2.057        | ...          | ...          | 2.19e-03                   | ...                        | 1.101(101)   | 7.546 | Clase III |
| 162 | 0112530104 | ...                             | 485                             | 505                             | 2.240                     | 2.915        | ...          | ...          | 1.33e-03                   | ...                        | 0.695(62)  | 6.017 | Clase II  |
| 180 | 0112640200 | 312                             | 135                             | ...                             | 0.036                     | 2.028        | ...          | ...          | 1.82e-04                   | ...                        | 1.381(36)  | 2.000 | Clase III |
| 181 | 0112640104 | 1136                            | 409                             | 496                             | 3.820                     | 2.940        | 1.232        | ...          | 1.08e-04                   | 1.62e-04                   | 1.356(119)   | 2.186 | Clase III |
| 190 | 0112640104 | 1256                            | ...                             | 724                             | ...                       | 2.940        | ...          | ...          | 2.03e-03                   | ...                        | 0.769(124)   | 7.455 | Clase III |
| 191 | 0112640104 | 1488                            | 834                             | 876                             | 2.680                     | 4.045        | ...          | ...          | 1.47e+00                   | ...                        | 1.009(201)   | 8.311 | Clase III |
| 199 | 0112640200 | 1621                            | 1221                            | 1191                            | 0.790                     | 0.179        | 1.249        | ...          | 2.96e-02                   | 2.38e-03                   | 1.151(236)   | 9.450 | Clase II  |
| 214 | 0112640104 | 752                             | 366                             | 451                             | 0.460                     | 2.798        | ...          | ...          | 4.73e-04                   | ...                        | 1.026(98)  | 3.427 | Clase III |
| 301 | 0149800304 | 716                             | 198                             | 231                             | 0.001                     | 0.891        | 2.198        | ...          | 2.82e-05                   | 5.95e-05                   | 0.976(68)  | 1.027 | Clase III |
| 335 | 0301600096 | 1017                            | ...                             | 512                             | 0.180                     | 1.021        | 4.722        | ...          | 2.12e-05                   | 4.51e-05                   | 1.662(92)  | 0.665 | Clase III |
| 342 | 0301600096 | 969                             | 347                             | ...                             | 0.520                     | 0.194        | 1.128        | ...          | 5.02e-04                   | 7.95e-05                   | 1.138(79)  | 0.276 | Clase III |
| 358 | 0301600096 | 3978                            | 1575                            | 1473                            | 0.190                     | 0.983        | 3.307        | ...          | 1.34e-04                   | 3.78e-04                   | 1.084(385)   | 4.626 | Clase II  |
| 377 | 0301600096 | 4144                            | ...                             | 1665                            | 0.270                     | 1.014        | 2.991        | ...          | 8.64e-05                   | 2.15e-04                   | 1.186(308)   | 2.330 | Clase II  |
| 379 | 0301600096 | 1095                            | 425                             | 347                             | ...                       | 0.941        | 2.942        | ...          | 9.43e-06                   | 2.08e-05                   | 1.237(112)   | 0.379 | Clase III |
| 389 | 0301600096 | 885                             | ...                             | 373                             | 2.020                     | 0.444        | 2.187        | ...          | 9.50e-04                   | 2.94e-04                   | 1.294(76)  | 1.197 | Clase III |
| 392 | 0301600096 | 1001                            | 362                             | 414                             | 4.630                     | 6.260        | ...          | ...          | 1.96e-04                   | ...                        | 0.942(113)   | 1.206 | Clase I   |
| 401 | 0301600096 | 2780                            | 1289                            | ...                             | 0.940                     | 0.225        | 1.253        | ...          | 2.28e-03                   | 3.31e-04                   | 1.271(224)   | 1.177 | Clase II  |
| 404 | 0164560208 | 873                             | 630                             | 672                             | 1.140                     | 0.342        | 6.803        | ...          | 5.80e-04                   | 3.82e-04                   | 1.280(136)   | 3.786 | Clase II  |
| 411 | 0301600096 | 624                             | 437                             | ...                             | 0.280                     | 0.945        | 3.140        | ...          | 2.61e-05                   | 1.82e-05                   | 1.272(62)  | 0.309 | Clase II  |
| 439 | 0201530096 | 2057                            | 872                             | 859                             | 0.610                     | 3.537        | ...          | ...          | 7.23e-04                   | ...                        | 0.968(229)   | 5.726 | Clase II  |
| 483 | 0301600096 | 2227                            | ...                             | 760                             | 0.650                     | 1.137        | 2.600        | ...          | 1.61e-04                   | 5.30e-04                   | 1.066(175)   | 3.857 | Clase III |
| 538 | 0301600096 | 1317                            | 391                             | 395                             | 0.002                     | 0.329        | 1.183        | ...          | 2.76e-05                   | 5.31e-05                   | 1.172(123)   | 0.820 | Clase III |
| 544 | 0201530096 | 686                             | 262                             | 282                             | 0.680                     | 1.106        | 2.725        | ...          | 7.25e-05                   | 1.05e-04                   | 0.967(74)  | 0.910 | Clase III |
| 546 | 0201530096 | 988                             | 393                             | 413                             | 2.010                     | 3.434        | ...          | ...          | 4.37e-04                   | ...                        | 0.922(114)   | 2.402 | Clase II  |
| 553 | 0201530096 | 818                             | 274                             | 364                             | 1.530                     | 2.212        | ...          | ...          | 4.14e-04                   | ...                        | 0.756(91)  | 1.639 | Clase III |
| 557 | 0201530096 | 2163                            | 805                             | 866                             | 1.200                     | 1.084        | 4.847        | ...          | 2.51e-04                   | 4.52e-04                   | 1.004(235)   | 4.154 | Clase II  |
| 558 | 0201530096 | 2866                            | 1098                            | 1172                            | 0.580                     | 1.236        | 3.129        | ...          | 2.13e-04                   | 5.70e-04                   | 1.065(297)   | 5.028 | Clase III |
| 559 | 0201530096 | 1239                            | 435                             | 484                             | 0.590                     | 0.809        | 1.901        | ...          | 1.02e-04                   | 2.93e-04                   | 1.044(128)   | 1.775 | Clase III |
| 581 | 0301600096 | 2843                            | ...                             | ...                             | 0.190                     | 1.041        | 3.140        | ...          | 1.07e-04                   | 4.38e-04                   | 0.955(153)   | 0.488 | Clase II  |
| 594 | 0201530096 | 621                             | 241                             | 228                             | 3.520                     | 0.321        | 3.280        | ...          | 1.07e-02                   | 3.35e-04                   | 10.450(67)   | 1.636 | Clase II  |

Tabla 4.7: Características en rayos X de las fuentes detectadas

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>(seg <sup>-1</sup> ) | rate M1<br>(seg <sup>-1</sup> ) | rate M2<br>(seg <sup>-1</sup> ) | HR1          | HR2          | flux<br>(erg s <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> ) | L <sub>X</sub> | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|---|----------------|-----------|
| 7   | 0112530101 | 84.98 | -1.94 | 14.14 ± 1.30                    | 3.64 ± 0.68                     | ...                             | -0.42 ± 0.08 | -0.83 ± 0.18 | 0.568   | 30.14          | Clase III |
| 11  | 0112530101 | 85.00 | -1.89 | 3.68 ± 0.79                     | ...                             | ...                             | 0.08 ± 0.21  | 0.76 ± 0.20  | 0.297   | 29.86          | Clase III |
| 12  | 0112530101 | 85.01 | -1.92 | 4.78 ± 0.77                     | ...                             | ...                             | -0.55 ± 0.15 | -0.76 ± 0.33 | 0.326   | 29.90          | Clase III |
| 13  | 0112530101 | 85.02 | -1.90 | 3.33 ± 0.67                     | 1.49 ± 0.40                     | ...                             | -0.05 ± 0.16 | -0.50 ± 0.23 | 0.288   | 29.84          | Clase III |
| 15  | 0112530101 | 85.02 | -2.06 | 45.89 ± 2.09                    | 14.08 ± 1.19                    | 10.24 ± 1.22                    | -0.48 ± 0.04 | -0.71 ± 0.08 | 1.392   | 30.53          | Clase III |
| 16  | 0112530101 | 85.03 | -1.93 | 5.05 ± 0.69                     | 1.73 ± 0.38                     | 1.16 ± 0.32                     | -0.60 ± 0.10 | -1.00 ± 0.18 | 0.333   | 29.91          | Clase III |
| 20  | 0112530101 | 85.06 | -2.07 | 17.67 ± 1.27                    | 4.96 ± 0.70                     | 3.69 ± 0.60                     | -0.65 ± 0.05 | -0.66 ± 0.16 | 0.660   | 30.20          | Clase III |
| 23  | 0112530101 | 85.07 | -1.83 | 173.55 ± 3.40                   | 54.25 ± 1.96                    | 50.83 ± 1.85                    | -0.39 ± 0.02 | -0.51 ± 0.03 | 4.703   | 31.06          | Clase III |
| 25  | 0112530101 | 85.07 | -2.04 | 6.75 ± 0.78                     | 1.66 ± 0.38                     | 1.69 ± 0.45                     | -0.73 ± 0.07 | -0.77 ± 0.28 | 0.377   | 29.96          | Clase III |
| 28  | 0112530101 | 85.09 | -1.86 | 7.71 ± 0.74                     | 2.05 ± 0.53                     | 2.60 ± 0.54                     | -0.66 ± 0.08 | -0.76 ± 0.20 | 0.402   | 29.99          | Clase III |
| 30  | 0112530101 | 85.09 | -1.91 | 4.81 ± 0.57                     | 1.49 ± 0.31                     | 1.37 ± 0.30                     | -0.47 ± 0.10 | -0.62 ± 0.21 | 0.326   | 29.90          | Clase III |
| 32  | 0112530101 | 85.10 | -1.80 | 0.34 ± 0.11                     | ...                             | ...                             | -0.83 ± 0.28 | -1.00 ± 0.36 | 0.211   | 29.71          | Clase III |
| 33  | 0112530101 | 85.10 | -1.88 | 14.77 ± 0.92                    | ...                             | ...                             | 0.09 ± 0.07  | -0.38 ± 0.09 | 0.585   | 30.15          | Clase III |
| 35  | 0112530101 | 85.11 | -1.78 | 0.56 ± 0.12                     | 15.98 ± 1.35                    | ...                             | -0.39 ± 0.22 | -0.84 ± 0.48 | 0.216   | 29.72          | Clase III |
| 38  | 0112530101 | 85.12 | -2.16 | 49.52 ± 2.49                    | 1.31 ± 0.33                     | 0.50 ± 0.21                     | -0.60 ± 0.04 | -0.67 ± 0.09 | 1.486   | 30.56          | Clase III |
| 40  | 0112530101 | 85.13 | -2.06 | 2.39 ± 0.50                     | 29.99 ± 2.31                    | 25.87 ± 1.61                    | -0.76 ± 0.11 | -0.33 ± 0.41 | 0.264   | 29.81          | Clase III |
| 43  | 0112530101 | 85.14 | -1.71 | ...                             | ...                             | ...                             | -0.36 ± 0.04 | -0.70 ± 0.07 | 2.626   | 30.80          | Clase III |
| 44  | 0112530101 | 85.14 | -1.94 | 0.77 ± 0.19                     | ...                             | ...                             | 1.00 ± 0.29  | -0.13 ± 0.24 | 0.222   | 29.73          | Clase III |
| 52  | 0112530101 | 85.17 | -2.09 | 43.12 ± 1.74                    | 14.56 ± 0.95                    | 13.17 ± 0.94                    | -0.44 ± 0.03 | -0.57 ± 0.06 | 1.320   | 30.51          | Clase III |
| 53  | 0112530101 | 85.17 | -2.00 | 5.93 ± 0.59                     | ...                             | ...                             | 0.77 ± 0.12  | -0.00 ± 0.11 | 0.355   | 29.94          | Clase II  |
| 54  | 0112530101 | 85.18 | -1.79 | 275.81 ± 4.00                   | 78.04 ± 2.15                    | 80.50 ± 2.45                    | -0.41 ± 0.01 | -0.59 ± 0.02 | 7.355   | 31.25          | Clase III |
| 55  | 0112530101 | 85.19 | -1.94 | 5989.99 ± 9.57                  | 1618.74 ± 7.12                  | ...                             | -0.78 ± 0.00 | -0.93 ± 0.00 | 155.558   | 32.58          | Clase III |
| 67  | 0112530101 | 85.21 | -1.77 | 2.07 ± 0.51                     | ...                             | ...                             | -0.62 ± 0.17 | -1.00 ± 0.59 | 0.255   | 29.79          | Clase III |
| 68  | 0112640101 | 85.21 | -1.96 | 2.40 ± 0.58                     | ...                             | ...                             | -1.00 ± 0.07 | NaN ± NaN    | 0.264   | 29.81          | Clase III |
| 69  | 0112530101 | 85.21 | -2.16 | 97.63 ± 3.24                    | 31.31 ± 1.82                    | 29.52 ± 1.81                    | -0.39 ± 0.03 | -0.61 ± 0.05 | 2.734   | 30.82          | Clase III |
| 70  | 0112530101 | 85.22 | -1.71 | ...                             | 5.25 ± 0.82                     | 4.55 ± 0.74                     | 0.81 ± 0.09  | -0.10 ± 0.12 | 0.785   | 30.28          | Clase III |
| 71  | 0112530101 | 85.22 | -2.01 | 60.35 ± 1.62                    | ...                             | ...                             | -0.34 ± 0.03 | -0.30 ± 0.05 | 1.767   | 30.63          | Clase III |
| 73  | 0112530101 | 85.23 | -2.05 | 386.87 ± 4.32                   | 118.74 ± 2.46                   | 131.54 ± 3.00                   | -0.27 ± 0.01 | -0.46 ± 0.01 | 10.236  | 31.39          | Clase III |
| 74  | 0112640201 | 85.23 | -2.32 | 7.76 ± 1.40                     | 7.76 ± 1.40                     | 10.48 ± 1.61                    | -0.58 ± 0.12 | -0.53 ± 0.31 | 0.403   | 29.99          | Clase III |
| 77  | 0112530101 | 85.23 | -1.79 | 70.47 ± 2.29                    | 26.10 ± 1.25                    | 26.83 ± 1.21                    | 0.56 ± 0.02  | -0.28 ± 0.03 | 2.030   | 30.69          | Clase II  |
| 78  | 0112530101 | 85.24 | -2.15 | 16.13 ± 1.46                    | 5.15 ± 0.72                     | 6.64 ± 0.84                     | -0.81 ± 0.05 | -1.00 ± 0.25 | 0.620   | 30.18          | Clase III |
| 79  | 0112530101 | 85.24 | -1.84 | ...                             | 0.86 ± 0.25                     | 0.55 ± 0.18                     | 0.73 ± 0.26  | 0.02 ± 0.20  | 0.458   | 30.05          | Clase II  |
| 80  | 0112530101 | 85.24 | -2.00 | 12.70 ± 0.94                    | ...                             | ...                             | -0.68 ± 0.06 | -0.56 ± 0.17 | 0.531   | 30.11          | Clase III |
| 84  | 0112530101 | 85.25 | -1.94 | 4.04 ± 0.47                     | ...                             | ...                             | -0.75 ± 0.11 | -0.55 ± 0.47 | 0.307   | 29.87          | Clase III |
| 85  | 0112530101 | 85.26 | -1.98 | 114.31 ± 2.14                   | ...                             | ...                             | -0.24 ± 0.02 | -0.46 ± 0.03 | 3.167   | 30.89          | Clase III |
| 86  | 0112530101 | 85.26 | -1.96 | 6.06 ± 0.59                     | ...                             | ...                             | 0.95 ± 0.10  | 0.36 ± 0.10  | 0.359   | 29.94          | Clase III |
| 87  | 0112640201 | 85.26 | -2.31 | 309.77 ± 7.97                   | ...                             | 87.33 ± 3.82                    | -0.52 ± 0.03 | -0.66 ± 0.06 | 8.236   | 31.30          | Clase III |
| 88  | 0112530101 | 85.26 | -1.92 | 5.29 ± 0.53                     | ...                             | ...                             | -0.58 ± 0.10 | -1.00 ± 0.17 | 0.339   | 29.91          | Clase II  |
| 89  | 0112640201 | 85.27 | -2.36 | 12.49 ± 2.00                    | ...                             | 5.73 ± 1.08                     | -0.56 ± 0.20 | -0.21 ± 0.50 | 0.526   | 30.11          | Clase III |
| 90  | 0112530101 | 85.27 | -2.11 | 0.77 ± 0.16                     | ...                             | ...                             | -0.55 ± 0.20 | -0.56 ± 0.56 | 0.222   | 29.73          | Clase III |
| 92  | 0112640201 | 85.28 | -2.40 | 12.95 ± 2.02                    | 5.34 ± 1.48                     | 4.38 ± 0.95                     | -0.58 ± 0.15 | -1.00 ± 0.19 | 0.538   | 30.11          | Clase III |
| 93  | 0112530101 | 85.28 | -1.86 | 0.30 ± 0.08                     | ...                             | ...                             | -0.83 ± 0.24 | -0.83 ± 0.22 | 0.209   | 29.71          | Clase I   |
| 97  | 0112530101 | 85.31 | -1.89 | 8.07 ± 1.59                     | 2.28 ± 0.36                     | 2.72 ± 0.39                     | -0.61 ± 0.08 | -0.53 ± 0.22 | 0.411   | 30.00          | Clase III |
| 99  | 0112640101 | 85.33 | -1.82 | 1.94 ± 0.72                     | ...                             | ...                             | 0.93 ± 0.30  | 0.31 ± 0.23  | 0.252   | 29.79          | Clase III |
| 100 | 0112530101 | 85.33 | -1.83 | ...                             | ...                             | 0.90 ± 0.28                     | 0.99 ± 0.15  | 0.22 ± 0.19  | 0.431   | 30.02          | Clase III |
| 101 | 0112530101 | 85.33 | -1.87 | 1.54 ± 0.43                     | 1.57 ± 0.34                     | ...                             | 0.26 ± 0.16  | -0.52 ± 0.20 | 0.242   | 29.77          | Clase III |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1          | HR2          | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | $L_X$ | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--|-------|-----------|
| 102 | 0112530101 | 85.34 | -1.98 | 17.64 ± 1.07                     | 4.77 ± 0.52                      | 5.43 ± 0.58                      | -0.42 ± 0.05 | -0.62 ± 0.10 | 0.659  | 30.20 | Clase III |
| 103 | 0112640201 | 85.34 | -2.19 | 7.68 ± 1.46                      | ...                              | ...                              | 0.65 ± 0.25  | 0.41 ± 0.19  | 0.401  | 29.99 | Clase I   |
| 104 | 0112640101 | 85.34 | -1.76 | 4.74 ± 1.24                      | 2.87 ± 0.71                      | ...                              | 0.83 ± 0.15  | -0.02 ± 0.18 | 0.325  | 29.90 | Clase III |
| 106 | 0112530101 | 85.35 | -2.06 | 13.61 ± 1.18                     | 6.68 ± 0.75                      | 8.03 ± 0.87                      | 0.28 ± 0.06  | 0.28 ± 0.06  | 0.555  | 30.13 | Clase II  |
| 107 | 0112530101 | 85.35 | -1.79 | 0.78 ± 0.24                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.25  | -0.63 ± 0.31 | 0.222  | 29.73 | Clase II  |
| 108 | 0112530101 | 85.35 | -1.83 | 46.69 ± 1.87                     | 13.48 ± 1.00                     | 14.73 ± 1.03                     | -0.63 ± 0.03 | -0.88 ± 0.07 | 1.413  | 30.53 | Clase III |
| 109 | 0112640201 | 85.35 | -2.38 | 203.28 ± 5.69                    | 79.43 ± 4.27                     | 76.55 ± 3.06                     | 0.45 ± 0.03  | -0.36 ± 0.03 | 5.474  | 31.12 | Clase II  |
| 110 | 0112530101 | 85.36 | -1.80 | 0.87 ± 0.25                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.22  | -0.50 ± 0.30 | 0.224  | 29.73 | Clase II  |
| 111 | 0112530101 | 85.36 | -2.02 | 0.98 ± 0.18                      | 4.09 ± 0.85                      | ...                              | -0.72 ± 0.16 | -1.00 ± 0.48 | 0.227  | 29.74 | Clase III |
| 112 | 0112530101 | 85.36 | -2.00 | 12.30 ± 1.03                     | 4.71 ± 0.62                      | 5.15 ± 0.65                      | 0.71 ± 0.06  | -0.18 ± 0.07 | 0.521  | 30.10 | Clase II  |
| 113 | 0112530101 | 85.36 | -1.91 | 4.59 ± 0.67                      | ...                              | 1.43 ± 0.36                      | -0.39 ± 0.14 | -0.84 ± 0.26 | 0.321  | 29.89 | Clase III |
| 114 | 0112640101 | 85.36 | -1.71 | 49.89 ± 4.22                     | 18.13 ± 1.86                     | 19.52 ± 1.97                     | 0.63 ± 0.05  | -0.37 ± 0.06 | 1.496  | 30.56 | Clase II  |
| 115 | 0112530101 | 85.36 | -1.90 | 0.65 ± 0.16                      | ...                              | ...                              | NaN ± NaN    | 1.00 ± 0.09  | 0.219  | 29.72 | Clase II  |
| 116 | 0112530101 | 85.36 | -1.87 | ...                              | ...                              | 1.32 ± 0.35                      | 0.55 ± 0.13  | -0.24 ± 0.17 | 0.462  | 30.05 | Clase III |
| 117 | 0112640201 | 85.37 | -2.23 | 3.98 ± 0.88                      | ...                              | ...                              | -0.19 ± 0.25 | -0.68 ± 0.37 | 0.305  | 29.87 | Clase II  |
| 118 | 0112530101 | 85.37 | -1.83 | 13.02 ± 1.18                     | 5.84 ± 0.73                      | ...                              | 0.71 ± 0.06  | -0.33 ± 0.09 | 0.540  | 30.12 | Clase III |
| 120 | 0112640101 | 85.37 | -1.86 | 0.77 ± 0.17                      | ...                              | ...                              | 0.88 ± 0.19  | 0.13 ± 0.22  | 0.222  | 29.73 | Clase III |
| 121 | 0112530101 | 85.37 | -1.91 | 7.35 ± 0.83                      | 1.73 ± 0.43                      | 2.30 ± 0.46                      | 0.22 ± 0.10  | -0.80 ± 0.14 | 0.392  | 29.98 | Clase III |
| 122 | 0112640101 | 85.37 | -1.70 | 33.73 ± 3.19                     | 6.15 ± 1.26                      | 8.74 ± 1.45                      | -0.37 ± 0.07 | -0.86 ± 0.14 | 1.077  | 30.42 | Clase III |
| 124 | 0112530101 | 85.38 | -1.90 | 10.60 ± 0.62                     | 5.18 ± 0.71                      | 6.18 ± 0.74                      | 0.66 ± 0.08  | -0.30 ± 0.10 | 0.477  | 30.06 | Clase III |
| 126 | 0112530101 | 85.38 | -1.92 | ...                              | 1.65 ± 0.45                      | 1.85 ± 0.47                      | 0.78 ± 0.20  | 0.16 ± 0.18  | 0.518  | 30.10 | Clase III |
| 127 | 0112640201 | 85.38 | -2.17 | 4.65 ± 1.07                      | 1.42 ± 0.52                      | 1.42 ± 0.52                      | -0.64 ± 0.25 | -0.63 ± 0.62 | 0.322  | 29.89 | Clase III |
| 128 | 0112530101 | 85.38 | -1.92 | 13.00 ± 0.56                     | ...                              | 2.09 ± 0.50                      | 0.57 ± 0.18  | -0.03 ± 0.18 | 0.539  | 30.12 | Clase III |
| 129 | 0112530101 | 85.39 | -1.97 | 7.84 ± 0.43                      | 6.62 ± 0.71                      | 8.92 ± 0.91                      | -0.52 ± 0.06 | -0.80 ± 0.13 | 0.405  | 29.99 | Clase III |
| 130 | 0112640101 | 85.39 | -2.05 | 7.84 ± 0.43                      | ...                              | ...                              | -0.66 ± 0.21 | -1.00 ± 0.51 | 0.405  | 29.99 | Clase III |
| 131 | 0112640101 | 85.39 | -1.80 | 245.93 ± 5.52                    | 98.55 ± 4.07                     | 97.80 ± 4.28                     | 0.76 ± 0.01  | -0.15 ± 0.02 | 6.580  | 31.20 | Clase III |
| 132 | 0112530101 | 85.39 | -1.89 | ...                              | 65.91 ± 2.32                     | 75.14 ± 2.50                     | 0.83 ± 0.02  | 0.15 ± 0.02  | 5.298  | 31.11 | Clase II  |
| 133 | 0112640101 | 85.39 | -1.90 | ...                              | ...                              | 1.10 ± 0.37                      | 1.00 ± 0.14  | -0.43 ± 0.22 | 0.446  | 30.03 | Clase III |
| 135 | 0112530101 | 85.39 | -2.03 | 26.27 ± 0.87                     | 18.24 ± 1.25                     | ...                              | -0.57 ± 0.06 | -0.48 ± 0.15 | 0.883  | 30.33 | Clase III |
| 136 | 0112530101 | 85.39 | -1.91 | 6.58 ± 0.38                      | 14.73 ± 1.16                     | 14.93 ± 1.15                     | 0.65 ± 0.05  | -0.20 ± 0.06 | 0.372  | 29.96 | Clase III |
| 137 | 0112640101 | 85.39 | -1.71 | 112640106496.00 ± 1.04           | ...                              | ...                              | -0.30 ± 0.36 | 0.25 ± 0.46  | 2921422846.066                                 | 39.85 | Clase II  |
| 138 | 0112640101 | 85.39 | -1.93 | 1.83 ± 0.60                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.39  | 0.59 ± 0.17  | 0.249  | 29.78 | Clase I   |
| 139 | 0112640201 | 85.39 | -2.29 | 17.26 ± 1.79                     | 10.62 ± 1.02                     | 8.81 ± 0.98                      | -0.05 ± 0.07 | -0.60 ± 0.08 | 0.649  | 30.20 | Clase III |
| 140 | 0112530101 | 85.40 | -1.94 | 1.59 ± 0.20                      | 1.38 ± 0.44                      | 1.69 ± 0.60                      | -1.00 ± 0.21 | 1.00 ± 0.15  | 0.243  | 29.77 | Clase III |
| 141 | 0112640101 | 85.40 | -1.77 | 0.92 ± 0.24                      | ...                              | ...                              | 0.42 ± 0.23  | -0.52 ± 0.30 | 0.226  | 29.74 | Clase III |
| 142 | 0112530101 | 85.40 | -1.95 | 4.45 ± 0.32                      | 3.89 ± 0.64                      | 3.22 ± 0.62                      | 1.00 ± 0.05  | 0.23 ± 0.11  | 0.317  | 29.89 | Clase III |
| 143 | 0112640101 | 85.40 | -1.91 | 10.12 ± 1.43                     | 8.34 ± 0.90                      | 7.90 ± 0.88                      | 0.84 ± 0.04  | -0.09 ± 0.05 | 0.464  | 30.05 | Clase II  |
| 144 | 0112640201 | 85.40 | -2.28 | 1.07 ± 0.39                      | 1.07 ± 0.39                      | 1.20 ± 0.40                      | 0.55 ± 0.24  | -0.63 ± 0.25 | 0.229  | 29.75 | Clase III |
| 145 | 0112530101 | 85.40 | -1.93 | 0.78 ± 0.16                      | 2.42 ± 0.64                      | 2.24 ± 0.55                      | 0.77 ± 0.15  | -0.48 ± 0.23 | 0.222  | 29.73 | Clase III |
| 146 | 0112640101 | 85.40 | -1.79 | 3.99 ± 0.99                      | 1.19 ± 0.46                      | ...                              | 0.03 ± 0.21  | -0.90 ± 0.21 | 0.305  | 29.87 | Clase II  |
| 147 | 0112530101 | 85.40 | -1.88 | 5.40 ± 0.38                      | 4.62 ± 0.88                      | 5.35 ± 0.89                      | 0.78 ± 0.08  | -0.38 ± 0.11 | 0.342  | 29.92 | Clase III |
| 148 | 0112640101 | 85.40 | -1.78 | 17.76 ± 2.05                     | 5.09 ± 0.82                      | 7.01 ± 1.01                      | 0.23 ± 0.08  | -0.51 ± 0.10 | 0.662  | 30.21 | Clase II  |
| 149 | 0112640101 | 85.41 | -1.83 | 10.64 ± 1.22                     | 3.22 ± 0.58                      | 4.79 ± 0.67                      | 0.64 ± 0.07  | -0.44 ± 0.08 | 0.478  | 30.06 | Clase II  |
| 150 | 0112640101 | 85.41 | -1.80 | 16.02 ± 1.73                     | 5.31 ± 0.80                      | 5.27 ± 0.95                      | 0.56 ± 0.07  | -0.52 ± 0.08 | 0.617  | 30.17 | Clase II  |
| 151 | 0112530101 | 85.41 | -1.90 | 52.62 ± 1.12                     | 11.44 ± 1.80                     | 110.00 ± 4.27                    | 0.83 ± 0.02  | -0.00 ± 0.03 | 1.566  | 30.58 | Clase III |
| 153 | 0112640101 | 85.41 | -1.77 | 8.63 ± 1.84                      | 4.01 ± 0.80                      | 4.05 ± 0.82                      | 0.40 ± 0.11  | -0.32 ± 0.12 | 0.425  | 30.01 | Clase II  |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1          | HR2          | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | Lx    | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--|-------|-----------|
| 154 | 0112530101 | 85.41 | -1.97 | 1.10 ± 0.18                      | 5.07 ± 0.87                      | 4.85 ± 0.74                      | 0.84 ± 0.08  | -0.36 ± 0.11 | 0.230  | 29.75 | Clase III |
| 155 | 0112530101 | 85.41 | -1.89 | 49.90 ± 1.01                     | 43.97 ± 2.32                     | 49.87 ± 2.27                     | 0.86 ± 0.02  | -0.13 ± 0.03 | 1.496  | 30.56 | Clase III |
| 156 | 0112530101 | 85.41 | -1.93 | 1.45 ± 0.21                      | ...                              | ...                              | 0.49 ± 0.21  | -0.36 ± 0.28 | 0.239  | 29.76 | Clase III |
| 157 | 0112640101 | 85.41 | -1.84 | 4.38 ± 0.87                      | 2.36 ± 0.49                      | 2.15 ± 0.51                      | 0.76 ± 0.10  | -0.21 ± 0.13 | 0.315  | 29.88 | Clase III |
| 158 | 0112640101 | 85.41 | -1.96 | 3.03 ± 0.68                      | ...                              | ...                              | 0.69 ± 0.16  | -0.40 ± 0.20 | 0.280  | 29.83 | Clase III |
| 159 | 0112640101 | 85.41 | -1.93 | 3.75 ± 0.77                      | 1.27 ± 0.37                      | 1.54 ± 0.41                      | 0.87 ± 0.10  | -0.28 ± 0.14 | 0.299  | 29.86 | Clase III |
| 160 | 0112530101 | 85.41 | -1.99 | 15.25 ± 0.58                     | 44.75 ± 2.75                     | 42.27 ± 2.04                     | 0.36 ± 0.04  | -0.24 ± 0.04 | 0.597  | 30.16 | Clase III |
| 161 | 0112530101 | 85.41 | -1.94 | 1.74 ± 0.21                      | 6.35 ± 1.13                      | 4.07 ± 0.88                      | 0.90 ± 0.16  | 0.56 ± 0.11  | 0.247  | 29.78 | Clase III |
| 162 | 0112530101 | 85.41 | -1.87 | 47.84 ± 1.04                     | 36.08 ± 2.03                     | 38.09 ± 1.99                     | 0.94 ± 0.02  | 0.16 ± 0.04  | 1.442  | 30.54 | Clase II  |
| 163 | 0112530101 | 85.41 | -1.90 | 14.47 ± 0.60                     | 13.63 ± 1.46                     | 15.83 ± 1.42                     | 0.89 ± 0.05  | 0.34 ± 0.05  | 0.577  | 30.15 | Clase II  |
| 164 | 0112640101 | 85.41 | -1.77 | 10.83 ± 1.56                     | 4.42 ± 0.82                      | 4.40 ± 0.93                      | 0.59 ± 0.09  | -0.39 ± 0.11 | 0.483  | 30.07 | Clase III |
| 165 | 0112640101 | 85.42 | -2.04 | 10.16 ± 1.32                     | 3.33 ± 0.80                      | 3.45 ± 0.61                      | 0.36 ± 0.10  | -0.48 ± 0.11 | 0.465  | 30.05 | Clase II  |
| 166 | 0112640101 | 85.42 | -1.85 | 3.45 ± 0.90                      | 2.12 ± 0.47                      | 2.18 ± 0.48                      | 0.95 ± 0.07  | -0.26 ± 0.13 | 0.291  | 29.85 | Clase III |
| 167 | 0112640101 | 85.42 | -2.02 | 1.81 ± 0.63                      | ...                              | ...                              | 0.23 ± 0.23  | -0.34 ± 0.26 | 0.249  | 29.78 | Clase III |
| 168 | 0112640201 | 85.42 | -2.27 | ...                              | 0.83 ± 0.25                      | ...                              | 0.57 ± 0.26  | -0.88 ± 0.24 | 0.456  | 30.04 | Clase II  |
| 169 | 0112530101 | 85.42 | -1.90 | 6.06 ± 0.74                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.07  | 0.62 ± 0.10  | 0.359  | 29.94 | Clase III |
| 171 | 0112640101 | 85.42 | -1.73 | 57.21 ± 3.48                     | 21.00 ± 1.89                     | 17.78 ± 1.78                     | 0.46 ± 0.05  | -0.41 ± 0.06 | 1.686  | 30.61 | Clase II  |
| 172 | 0112640101 | 85.42 | -1.89 | 42.62 ± 2.75                     | 22.49 ± 1.33                     | 21.82 ± 1.30                     | 0.96 ± 0.02  | 0.53 ± 0.03  | 1.307  | 30.50 | Clase III |
| 173 | 0112640101 | 85.42 | -1.91 | 20.96 ± 0.67                     | 26.49 ± 1.65                     | 30.41 ± 2.05                     | 0.96 ± 0.02  | 0.29 ± 0.03  | 0.745  | 30.26 | Clase III |
| 174 | 0112530101 | 85.42 | -1.92 | 14.55 ± 0.93                     | 14.68 ± 1.39                     | 16.32 ± 1.55                     | 0.93 ± 0.04  | 0.30 ± 0.06  | 0.579  | 30.15 | Clase III |
| 175 | 0112530101 | 85.42 | -1.97 | 1.02 ± 0.18                      | 2.73 ± 0.68                      | 2.72 ± 0.74                      | 1.00 ± 0.09  | 0.41 ± 0.17  | 0.228  | 29.74 | Clase III |
| 176 | 0112640101 | 85.43 | -1.92 | ...                              | 6.32 ± 0.84                      | 7.93 ± 0.89                      | 1.00 ± 0.02  | 0.43 ± 0.04  | 0.865  | 30.32 | Clase III |
| 177 | 0112640101 | 85.43 | -1.80 | 15.78 ± 1.57                     | 6.66 ± 0.90                      | 8.17 ± 1.04                      | 0.64 ± 0.06  | -0.28 ± 0.08 | 0.611  | 30.17 | Clase II  |
| 178 | 0112640201 | 85.43 | -2.29 | ...                              | 1.28 ± 0.30                      | ...                              | -0.46 ± 0.28 | 0.18 ± 0.38  | 0.490  | 30.07 | Clase III |
| 179 | 0112640101 | 85.43 | -1.91 | 7.02 ± 1.47                      | 7.99 ± 0.95                      | 3.04 ± 0.74                      | 0.92 ± 0.03  | -0.02 ± 0.05 | 0.384  | 29.97 | Clase III |
| 180 | 0112640201 | 85.43 | -2.17 | 100.40 ± 3.90                    | 26.26 ± 2.08                     | 26.58 ± 1.87                     | -0.38 ± 0.05 | -0.57 ± 0.07 | 2.806  | 30.83 | Clase III |
| 181 | 0112640101 | 85.43 | -2.06 | 155.01 ± 4.76                    | 45.32 ± 2.47                     | 46.81 ± 2.33                     | -0.55 ± 0.02 | -0.68 ± 0.04 | 4.222  | 31.01 | Clase III |
| 182 | 0112640101 | 85.43 | -1.95 | 18.25 ± 1.44                     | 6.32 ± 0.73                      | 7.82 ± 0.75                      | 0.97 ± 0.03  | 0.14 ± 0.05  | 0.675  | 30.21 | Clase III |
| 183 | 0112640101 | 85.43 | -1.78 | 19.68 ± 1.82                     | 4.34 ± 0.79                      | 4.10 ± 0.80                      | -0.42 ± 0.08 | -0.73 ± 0.15 | 0.712  | 30.24 | Clase II  |
| 184 | 0112640101 | 85.43 | -1.89 | 30.58 ± 2.36                     | 23.66 ± 1.52                     | 17.45 ± 1.18                     | 0.96 ± 0.02  | 0.47 ± 0.03  | 0.995  | 30.38 | Clase III |
| 185 | 0112640201 | 85.43 | -2.27 | 2.82 ± 0.82                      | 1.36 ± 0.33                      | 2.82 ± 0.82                      | 0.68 ± 0.26  | -0.12 ± 0.25 | 0.275  | 29.82 | Clase III |
| 186 | 0112640101 | 85.44 | -1.92 | 10.23 ± 1.20                     | 4.33 ± 0.64                      | 4.56 ± 0.60                      | 0.96 ± 0.04  | 0.07 ± 0.07  | 0.467  | 30.05 | Clase III |
| 187 | 0112640101 | 85.44 | -1.96 | 3.86 ± 0.30                      | 4.54 ± 0.63                      | 3.60 ± 0.54                      | 0.73 ± 0.06  | -0.26 ± 0.08 | 0.302  | 29.86 | Clase III |
| 188 | 0112640101 | 85.44 | -1.76 | 20.87 ± 2.03                     | 8.04 ± 1.12                      | 6.33 ± 1.03                      | 0.38 ± 0.07  | -0.34 ± 0.09 | 0.743  | 30.26 | TD        |
| 189 | 0112640101 | 85.44 | -1.95 | 3.60 ± 0.75                      | 1.49 ± 0.40                      | 2.25 ± 0.44                      | -0.50 ± 0.11 | -0.43 ± 0.26 | 0.295  | 29.85 | Clase III |
| 190 | 0112640101 | 85.44 | -1.90 | 317.87 ± 7.77                    | 51.45 ± 2.21                     | 51.19 ± 2.16                     | 0.97 ± 0.01  | 0.47 ± 0.02  | 8.446  | 31.31 | Clase III |
| 191 | 0112640101 | 85.44 | -1.87 | 130.17 ± 3.64                    | 54.94 ± 2.21                     | 63.86 ± 2.43                     | 0.93 ± 0.01  | 0.34 ± 0.02  | 3.578  | 30.94 | Clase III |
| 192 | 0112640201 | 85.44 | -2.41 | 14.03 ± 1.73                     | 6.06 ± 0.98                      | 5.43 ± 1.02                      | 0.77 ± 0.13  | -0.22 ± 0.16 | 0.566  | 30.14 | Clase III |
| 193 | 0112640101 | 85.44 | -1.94 | 10.15 ± 1.16                     | 3.47 ± 0.60                      | 3.04 ± 0.51                      | 0.45 ± 0.32  | 0.86 ± 0.05  | 0.465  | 30.05 | Clase III |
| 194 | 0112640101 | 85.44 | -1.95 | 0.79 ± 0.17                      | ...                              | 0.96 ± 0.30                      | 1.00 ± 0.64  | 0.80 ± 0.17  | 0.222  | 29.73 | Clase I   |
| 195 | 0112640101 | 85.44 | -1.93 | 9.09 ± 1.13                      | 2.89 ± 0.54                      | 2.61 ± 0.49                      | 1.00 ± 0.07  | 0.84 ± 0.05  | 0.437  | 30.03 | Clase III |
| 196 | 0112640101 | 85.44 | -1.91 | 14.48 ± 1.47                     | 8.35 ± 0.88                      | 8.09 ± 0.79                      | 0.93 ± 0.05  | 0.57 ± 0.04  | 0.577  | 30.15 | Clase III |
| 197 | 0112640101 | 85.45 | -1.83 | 9.21 ± 1.18                      | 4.12 ± 0.63                      | 4.55 ± 0.84                      | 0.34 ± 0.09  | -0.58 ± 0.10 | 0.441  | 30.03 | Clase III |
| 198 | 0112640101 | 85.45 | -1.82 | 10.30 ± 1.27                     | 3.23 ± 0.60                      | 4.97 ± 0.72                      | 0.59 ± 0.08  | -0.67 ± 0.08 | 0.469  | 30.06 | Clase II  |
| 199 | 0112640201 | 85.45 | -2.28 | 476.85 ± 7.08                    | 166.04 ± 3.90                    | 159.48 ± 3.83                    | 0.04 ± 0.02  | -0.63 ± 0.02 | 12.569   | 31.48 | Clase II  |
| 200 | 0112640101 | 85.45 | -1.84 | 4.80 ± 0.95                      | ...                              | ...                              | 0.76 ± 0.15  | -0.40 ± 0.18 | 0.326  | 29.90 | Clase II  |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1              | HR2              | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | $L_X$ | Class     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|--|-------|-----------|
| 201 | 0112640101 | 85.45 | -1.97 | $2.25 \pm 0.59$                  | ...                              | $1.21 \pm 0.38$                  | $1.00 \pm 0.64$  | $0.86 \pm 0.11$  | 0.260  | 29.80 | Clase III |
| 202 | 0112640101 | 85.45 | -1.93 | $47.71 \pm 2.21$                 | $19.14 \pm 1.22$                 | $16.09 \pm 1.04$                 | $0.94 \pm 0.03$  | $0.56 \pm 0.03$  | 1.439  | 30.54 | Clase III |
| 203 | 0112640201 | 85.45 | -2.18 | $7.16 \pm 1.20$                  | $2.06 \pm 0.55$                  | $7.16 \pm 1.20$                  | $-1.00 \pm 0.12$ | $1.00 \pm 1.85$  | 0.387  | 29.97 | Clase III |
| 204 | 0112640101 | 85.45 | -1.90 | $5.62 \pm 1.31$                  | $4.03 \pm 0.62$                  | $4.61 \pm 0.81$                  | $0.94 \pm 0.06$  | $0.05 \pm 0.09$  | 0.347  | 29.93 | Clase III |
| 205 | 0112640101 | 85.46 | -1.89 | $5.36 \pm 1.39$                  | $1.90 \pm 0.47$                  | ...                              | $1.00 \pm 0.07$  | $0.54 \pm 0.13$  | 0.341  | 29.92 | Clase III |
| 206 | 0112640101 | 85.46 | -1.77 | $3.83 \pm 0.61$                  | $2.53 \pm 0.81$                  | $2.31 \pm 0.66$                  | $0.43 \pm 0.16$  | $-0.52 \pm 0.17$ | 0.301  | 29.86 | Clase III |
| 207 | 0112640101 | 85.46 | -1.71 | $4.81 \pm 1.47$                  | $3.18 \pm 0.87$                  | ...                              | $0.56 \pm 0.16$  | $-0.24 \pm 0.17$ | 0.326  | 29.90 | Clase II  |
| 208 | 0112640101 | 85.46 | -1.89 | ...                              | $7.54 \pm 0.85$                  | $7.31 \pm 0.78$                  | $0.72 \pm 0.05$  | $-0.35 \pm 0.07$ | 0.955  | 30.36 | Clase III |
| 209 | 0112640201 | 85.46 | -2.50 | $15.40 \pm 2.10$                 | $15.40 \pm 2.10$                 | $9.91 \pm 1.56$                  | $-0.06 \pm 0.13$ | $-0.68 \pm 0.15$ | 0.601  | 30.16 | Clase III |
| 210 | 0112640101 | 85.46 | -1.87 | $1.50 \pm 0.31$                  | ...                              | ...                              | $0.53 \pm 0.23$  | $-0.31 \pm 0.22$ | 0.241  | 29.77 | Clase III |
| 211 | 0112640101 | 85.47 | -1.96 | ...                              | $0.94 \pm 0.35$                  | ...                              | $0.92 \pm 0.14$  | $-0.73 \pm 0.27$ | 0.465  | 30.05 | Clase II  |
| 212 | 0112640101 | 85.47 | -1.92 | $3.61 \pm 0.80$                  | $1.49 \pm 0.42$                  | $1.06 \pm 0.33$                  | $0.01 \pm 0.17$  | $-0.20 \pm 0.21$ | 0.295  | 29.85 | Clase III |
| 213 | 0112640101 | 85.47 | -2.02 | $4.87 \pm 1.00$                  | $3.48 \pm 0.66$                  | ...                              | $0.60 \pm 0.12$  | $-0.31 \pm 0.14$ | 0.328  | 29.90 | Clase II  |
| 214 | 0112640101 | 85.47 | -2.06 | $115.50 \pm 4.39$                | $41.03 \pm 2.38$                 | $41.33 \pm 2.19$                 | $0.44 \pm 0.03$  | $-0.34 \pm 0.03$ | 3.197  | 30.89 | Clase III |
| 215 | 0112640101 | 85.47 | -1.94 | $8.70 \pm 1.07$                  | $2.58 \pm 0.50$                  | $4.29 \pm 0.59$                  | $0.81 \pm 0.07$  | $-0.20 \pm 0.09$ | 0.427  | 30.02 | Clase III |
| 216 | 0112640101 | 85.47 | -1.96 | $0.90 \pm 0.18$                  | $1.52 \pm 0.40$                  | ...                              | $0.93 \pm 0.22$  | $0.46 \pm 0.18$  | 0.225  | 29.74 | Clase II  |
| 217 | 0112640101 | 85.47 | -1.92 | $4.64 \pm 0.97$                  | ...                              | $2.21 \pm 0.45$                  | $0.80 \pm 0.14$  | $-0.10 \pm 0.13$ | 0.322  | 29.89 | Clase III |
| 218 | 0112640101 | 85.48 | -1.80 | $3.83 \pm 0.92$                  | ...                              | ...                              | $-0.28 \pm 0.23$ | $0.01 \pm 0.30$  | 0.301  | 29.86 | Clase III |
| 219 | 0112640101 | 85.48 | -1.72 | $45.43 \pm 3.38$                 | $11.26 \pm 1.52$                 | $11.93 \pm 1.54$                 | $-0.12 \pm 0.06$ | $-0.61 \pm 0.08$ | 1.380  | 30.52 | Clase III |
| 220 | 0112640101 | 85.48 | -1.96 | $3.59 \pm 0.78$                  | ...                              | ...                              | $0.17 \pm 0.18$  | $-0.55 \pm 0.25$ | 0.295  | 29.85 | Clase III |
| 221 | 0112640101 | 85.48 | -2.01 | $25.79 \pm 1.87$                 | ...                              | $11.26 \pm 1.00$                 | $0.83 \pm 0.07$  | $0.54 \pm 0.05$  | 0.871  | 30.32 | Clase II  |
| 222 | 0112640101 | 85.48 | -1.81 | $2.62 \pm 0.48$                  | ...                              | ...                              | $-0.50 \pm 0.17$ | $-0.62 \pm 0.31$ | 0.270  | 29.82 | Clase III |
| 223 | 0112640201 | 85.48 | -2.39 | $13.60 \pm 1.73$                 | $2.68 \pm 0.78$                  | ...                              | $0.49 \pm 0.14$  | $-0.61 \pm 0.16$ | 0.554  | 30.13 | Clase II  |
| 224 | 0112640101 | 85.48 | -1.92 | $73.23 \pm 4.85$                 | $27.30 \pm 1.50$                 | $26.26 \pm 1.38$                 | $0.33 \pm 0.03$  | $-0.21 \pm 0.03$ | 2.101  | 30.71 | Clase III |
| 225 | 0112640101 | 85.49 | -1.77 | $2.33 \pm 0.52$                  | ...                              | ...                              | $-0.23 \pm 0.24$ | $-0.05 \pm 0.32$ | 0.262  | 29.80 | Clase III |
| 226 | 0112640101 | 85.49 | -1.93 | $17.29 \pm 2.82$                 | $8.06 \pm 0.86$                  | $10.20 \pm 0.89$                 | $0.33 \pm 0.05$  | $-0.49 \pm 0.06$ | 0.650  | 30.20 | Clase III |
| 228 | 0112640101 | 85.49 | -1.90 | $19.79 \pm 1.61$                 | $10.07 \pm 0.94$                 | $8.74 \pm 0.83$                  | $0.87 \pm 0.04$  | $0.04 \pm 0.05$  | 0.715  | 30.24 | Clase III |
| 229 | 0112640101 | 85.49 | -1.86 | $1.93 \pm 0.35$                  | ...                              | ...                              | $-0.22 \pm 0.18$ | $-0.57 \pm 0.29$ | 0.252  | 29.79 | Clase III |
| 230 | 0112640101 | 85.50 | -1.79 | $3.74 \pm 1.01$                  | ...                              | ...                              | $0.23 \pm 0.27$  | $-0.19 \pm 0.30$ | 0.299  | 29.86 | Clase II  |
| 231 | 0112640101 | 85.51 | -1.94 | $4.78 \pm 0.88$                  | $3.33 \pm 0.58$                  | $3.61 \pm 0.56$                  | $0.62 \pm 0.09$  | $-0.39 \pm 0.10$ | 0.326  | 29.90 | Clase III |
| 232 | 0112640101 | 85.52 | -1.88 | $5.87 \pm 1.04$                  | $2.40 \pm 0.54$                  | $2.83 \pm 0.57$                  | $-0.10 \pm 0.11$ | $-0.47 \pm 0.15$ | 0.354  | 29.93 | TD        |
| 234 | 0112640201 | 85.54 | -2.14 | $62.12 \pm 6.02$                 | $16.13 \pm 1.84$                 | $19.82 \pm 1.99$                 | $0.12 \pm 0.08$  | $-0.75 \pm 0.08$ | 1.813  | 30.64 | Clase III |
| 235 | 0112640101 | 85.54 | -1.97 | $24.10 \pm 2.41$                 | $6.03 \pm 0.89$                  | $7.45 \pm 0.89$                  | $0.32 \pm 0.07$  | $-0.53 \pm 0.07$ | 0.827  | 30.30 | Clase III |
| 236 | 0112640201 | 85.54 | -2.17 | $7.30 \pm 1.46$                  | $3.94 \pm 1.01$                  | $7.30 \pm 1.46$                  | $-0.78 \pm 0.18$ | $-1.00 \pm 0.53$ | 0.391  | 29.98 | Clase III |
| 237 | 0112640101 | 85.55 | -1.77 | $7.08 \pm 1.44$                  | $2.37 \pm 0.74$                  | ...                              | $-0.57 \pm 0.13$ | $-0.90 \pm 0.30$ | 0.385  | 29.97 | TD        |
| 238 | 0112640101 | 85.55 | -2.00 | $140.24 \pm 7.43$                | $26.57 \pm 1.88$                 | ...                              | $-0.54 \pm 0.04$ | $-0.78 \pm 0.06$ | 3.839  | 30.97 | Clase III |
| 239 | 0112640101 | 85.55 | -2.09 | $78.39 \pm 5.41$                 | $55.93 \pm 5.28$                 | $517.08 \pm 12.95$               | $-0.36 \pm 0.06$ | $-0.50 \pm 0.11$ | 2.235  | 30.73 | Clase III |
| 240 | 0112640101 | 85.56 | -1.98 | $71.70 \pm 3.38$                 | $22.84 \pm 1.76$                 | $21.78 \pm 1.58$                 | $0.57 \pm 0.03$  | $-0.32 \pm 0.04$ | 2.061  | 30.70 | Clase II  |
| 241 | 0112640101 | 85.56 | -1.70 | $35.72 \pm 3.82$                 | ...                              | ...                              | $-0.80 \pm 0.07$ | $-1.00 \pm 0.20$ | 1.128  | 30.44 | Clase III |
| 242 | 0112640201 | 85.57 | -2.11 | $71.74 \pm 5.29$                 | $27.23 \pm 2.75$                 | $18.50 \pm 2.39$                 | $-0.65 \pm 0.07$ | $-0.60 \pm 0.19$ | 2.062  | 30.70 | Clase III |
| 243 | 0112640101 | 85.57 | -1.94 | $6.87 \pm 1.21$                  | ...                              | ...                              | $-0.29 \pm 0.14$ | $-0.68 \pm 0.21$ | 0.380  | 29.96 | TD        |
| 245 | 0112640201 | 85.58 | -2.33 | $4.42 \pm 1.18$                  | ...                              | ...                              | $-0.96 \pm 0.15$ | $-1.00 \pm 0.25$ | 0.316  | 29.88 | Clase III |
| 247 | 0112640201 | 85.58 | -2.19 | $8.78 \pm 1.74$                  | $2.96 \pm 0.88$                  | $8.78 \pm 1.74$                  | $-0.59 \pm 0.25$ | $-1.00 \pm 0.34$ | 0.429  | 30.02 | Clase III |
| 248 | 0112640201 | 85.59 | -2.26 | $95.51 \pm 4.47$                 | $34.22 \pm 2.55$                 | $34.04 \pm 2.37$                 | $0.05 \pm 0.05$  | $-0.62 \pm 0.06$ | 2.679  | 30.81 | Clase III |
| 249 | 0112640101 | 85.59 | -1.99 | $6.34 \pm 1.29$                  | ...                              | $2.11 \pm 0.71$                  | $-0.48 \pm 0.14$ | $-0.40 \pm 0.30$ | 0.366  | 29.95 | Clase II  |
| 250 | 0112640201 | 85.59 | -2.13 | $49.78 \pm 4.13$                 | $19.85 \pm 2.95$                 | $18.60 \pm 2.30$                 | $-0.24 \pm 0.09$ | $-0.73 \pm 0.12$ | 1.493  | 30.56 | Clase III |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1          | HR2          | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | L <sub>X</sub> | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--|----------------|-----------|
| 251 | 0112640101 | 85.64 | -1.92 | 5.55 ± 1.37                      | ...                              | ...                              | -0.75 ± 0.20 | -1.00 ± 0.48 | 0.346  | 29.92          | Clase III |
| 252 | 0112640101 | 85.64 | -1.89 | 40.71 ± 3.30                     | 12.69 ± 1.89                     | 19.98 ± 2.08                     | -0.33 ± 0.06 | -0.78 ± 0.11 | 1.258  | 30.48          | Clase III |
| 253 | 0112640201 | 85.64 | -2.16 | 8.78 ± 2.15                      | 6.75 ± 2.24                      | 8.78 ± 2.15                      | -1.00 ± 0.27 | 1.00 ± 2.93  | 0.429  | 30.02          | Clase III |
| 255 | 0112640201 | 85.65 | -2.34 | 96.37 ± 5.63                     | 25.49 ± 2.84                     | 34.68 ± 3.14                     | 0.05 ± 0.08  | -0.25 ± 0.10 | 2.701  | 30.82          | Clase III |
| 257 | 0112640101 | 85.66 | -2.03 | 18.45 ± 2.77                     | ...                              | ...                              | -0.38 ± 0.15 | -0.62 ± 0.31 | 0.680  | 30.22          | Clase III |
| 260 | 0149890301 | 85.74 | -1.12 | 7.38 ± 1.89                      | ...                              | ...                              | -0.83 ± 0.16 | -0.29 ± 0.88 | 0.393  | 29.98          | Clase III |
| 265 | 0149890301 | 85.82 | -1.21 | 2.93 ± 0.81                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.18  | -0.38 ± 0.28 | 0.278  | 29.83          | Clase III |
| 268 | 0149890301 | 85.85 | -0.90 | 8.80 ± 1.58                      | 4.40 ± 1840.93                   | ...                              | -0.63 ± 0.13 | 0.02 ± 0.28  | 0.430  | 30.02          | Clase III |
| 271 | 0149890301 | 85.88 | -1.22 | 5.81 ± 1.78                      | ...                              | ...                              | 0.28 ± 0.23  | -0.10 ± 0.25 | 0.353  | 29.93          | Clase III |
| 273 | 0149890301 | 85.89 | -1.06 | 5.08 ± 0.87                      | ...                              | ...                              | -0.09 ± 0.17 | 0.11 ± 0.18  | 0.333  | 29.91          | Clase III |
| 275 | 0149890301 | 85.90 | -1.17 | 4.35 ± 1.01                      | ...                              | ...                              | -0.72 ± 0.17 | -0.43 ± 0.63 | 0.315  | 29.88          | Clase III |
| 280 | 0149890301 | 85.91 | -1.05 | 0.52 ± 0.15                      | ...                              | ...                              | -0.76 ± 0.25 | -1.00 ± 1.98 | 0.215  | 29.72          | Clase III |
| 283 | 0149890301 | 85.92 | -1.14 | 1.36 ± 0.59                      | ...                              | ...                              | -0.08 ± 0.73 | 0.42 ± 0.56  | 0.237  | 29.76          | Clase III |
| 284 | 0149890301 | 85.93 | -1.14 | 2.85 ± 0.56                      | ...                              | ...                              | 0.10 ± 0.20  | -0.89 ± 0.16 | 0.276  | 29.82          | Clase III |
| 286 | 0149890301 | 85.93 | -0.94 | 16.59 ± 2.17                     | 6.18 ± 1228.28                   | 4.72 ± 0.78                      | -0.62 ± 0.08 | -0.55 ± 0.18 | 0.632  | 30.19          | Clase III |
| 287 | 0149890301 | 85.94 | -1.15 | 77.26 ± 7.52                     | 18.36 ± 1046.90                  | 18.23 ± 2.46                     | -0.76 ± 0.04 | -1.00 ± 0.11 | 2.205  | 30.73          | Clase III |
| 294 | 0149890301 | 85.98 | -1.06 | 0.56 ± 0.13                      | ...                              | ...                              | -0.77 ± 0.19 | -1.00 ± 0.41 | 0.216  | 29.72          | Clase III |
| 298 | 0149890301 | 86.00 | -1.15 | 0.36 ± 0.12                      | ...                              | ...                              | -1.00 ± 0.28 | NaN ± NaN    | 0.211  | 29.71          | Clase III |
| 300 | 0149890301 | 86.02 | -1.25 | 28.16 ± 4.20                     | 4.87 ± 1794.41                   | 5.74 ± 1.34                      | 0.24 ± 0.11  | -0.60 ± 0.13 | 0.932  | 30.35          | Clase III |
| 301 | 0149890301 | 86.02 | -1.03 | 65.38 ± 2.51                     | 16.20 ± 507.00                   | 19.12 ± 1.36                     | -0.42 ± 0.03 | -0.59 ± 0.05 | 1.897  | 30.66          | Clase III |
| 302 | 0149890301 | 86.03 | -1.07 | 9.98 ± 1.08                      | 4.51 ± 958.62                    | 3.07 ± 0.58                      | 0.34 ± 0.08  | -0.69 ± 0.08 | 0.461  | 30.05          | Clase III |
| 313 | 0149890301 | 86.12 | -1.09 | 9.08 ± 1.31                      | 3.08 ± 1262.36                   | 3.77 ± 0.85                      | 0.26 ± 0.12  | -0.49 ± 0.14 | 0.437  | 30.03          | Clase III |
| 316 | 0149890301 | 86.14 | -0.94 | 10.03 ± 1.56                     | ...                              | ...                              | -0.74 ± 0.11 | -0.27 ± 0.40 | 0.462  | 30.05          | Clase III |
| 317 | 0149890301 | 86.20 | -1.06 | 2.52 ± 0.94                      | ...                              | ...                              | -0.45 ± 0.36 | -0.17 ± 0.68 | 0.267  | 29.81          | Clase III |
| 319 | 0153150101 | 86.30 | -0.20 | 8.61 ± 2.00                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.27  | 0.63 ± 0.13  | 0.425  | 30.01          | Clase II  |
| 322 | 0301600101 | 86.34 | -0.01 | 0.87 ± 0.19                      | ...                              | ...                              | -0.63 ± 0.19 | -1.00 ± 0.98 | 0.224  | 29.73          | Clase III |
| 324 | 0301600101 | 86.36 | -0.09 | 7.47 ± 0.80                      | 3.79 ± 0.43                      | 4.31 ± 0.82                      | 0.48 ± 0.11  | 0.01 ± 0.10  | 0.395  | 29.98          | Clase I   |
| 325 | 0153150101 | 86.36 | -0.30 | 9.39 ± 1.70                      | ...                              | ...                              | -0.81 ± 0.11 | 0.17 ± 0.42  | 0.445  | 30.03          | Clase III |
| 327 | 0301600101 | 86.37 | -0.25 | 6.74 ± 1.32                      | 1.45 ± 0.32                      | 3.22 ± 0.59                      | -0.85 ± 0.11 | -1.00 ± 0.61 | 0.376  | 29.96          | Clase III |
| 329 | 0301600101 | 86.38 | -0.21 | 4.47 ± 0.56                      | 4.79 ± 1.03                      | 1.19 ± 0.27                      | -0.93 ± 0.07 | 0.24 ± 0.68  | 0.318  | 29.89          | Clase III |
| 335 | 0301600101 | 86.41 | -0.14 | 24.69 ± 0.95                     | 7.78 ± 0.66                      | 10.42 ± 0.57                     | -0.04 ± 0.03 | -0.35 ± 0.04 | 0.842  | 30.31          | Clase III |
| 336 | 0301600101 | 86.41 | -0.00 | 3.88 ± 0.50                      | 1.24 ± 0.26                      | 1.77 ± 0.30                      | -0.41 ± 0.09 | -0.54 ± 0.24 | 0.302  | 29.86          | Clase III |
| 339 | 0601960201 | 86.42 | -0.30 | 1.28 ± 0.52                      | 1.28 ± 0.52                      | ...                              | -0.50 ± 0.27 | -0.58 ± 0.74 | 0.235  | 29.76          | Clase III |
| 340 | 0164560201 | 86.42 | -0.08 | 3.62 ± 0.80                      | ...                              | ...                              | -0.39 ± NaN  | -0.92 ± 0.26 | 0.296  | 29.86          | Clase III |
| 342 | 0301600101 | 86.42 | -0.20 | 27.89 ± 1.05                     | 8.53 ± 0.57                      | 8.04 ± 0.51                      | -0.34 ± 0.03 | -0.83 ± 0.04 | 0.411  | 30.00          | Clase III |
| 347 | 0301600101 | 86.44 | 0.08  | 2.29 ± 0.52                      | ...                              | ...                              | -0.91 ± 0.13 | -1.00 ± 4.56 | 0.261  | 29.80          | Clase III |
| 349 | 0301600101 | 86.45 | -0.16 | 1.48 ± 0.50                      | 1.61 ± 0.14                      | 0.39 ± 0.13                      | -0.38 ± 0.24 | -0.16 ± 0.41 | 0.240  | 29.76          | Clase III |
| 355 | 0301600101 | 86.47 | -0.22 | 5.18 ± 0.48                      | 57.26 ± 1.69                     | 61.88 ± 1.88                     | 0.12 ± 0.09  | -0.45 ± 0.11 | 0.336  | 29.91          | Clase III |
| 358 | 0301600101 | 86.48 | 0.12  | 213.19 ± 3.67                    | 5.34 ± 0.58                      | 13.20 ± 1.16                     | -0.03 ± 0.01 | -0.44 ± 0.02 | 5.731  | 31.14          | Clase II  |
| 359 | 0301600101 | 86.49 | -0.13 | 5.10 ± 0.56                      | ...                              | ...                              | 0.29 ± 0.23  | -1.00 ± 0.22 | 0.334  | 29.91          | Clase III |
| 363 | 0301600101 | 86.50 | 0.12  | 1.46 ± 0.34                      | 3.14 ± 0.37                      | 2.29 ± 0.35                      | -0.42 ± 0.32 | 0.34 ± 0.36  | 0.240  | 29.76          | Clase II  |
| 364 | 0301600101 | 86.50 | -0.14 | 7.38 ± 0.63                      | 1.87 ± 0.22                      | 2.64 ± 0.25                      | -0.31 ± 0.07 | -0.48 ± 0.13 | 0.393  | 29.98          | Clase II  |
| 366 | 0301600101 | 86.51 | -0.00 | 8.73 ± 0.50                      | ...                              | ...                              | 0.58 ± 0.04  | -0.35 ± 0.05 | 0.428  | 30.02          | Clase III |
| 368 | 0301600101 | 86.52 | 0.05  | 0.28 ± 0.06                      | 4.24 ± 0.91                      | 1.58 ± 0.49                      | -0.32 ± 0.24 | -0.07 ± 0.38 | 0.209  | 29.70          | Clase III |
|     |            |       |       | 3.28 ± 0.57                      | ...                              | ...                              | -0.34 ± 0.12 | -0.86 ± 0.21 | 0.287  | 29.84          | Clase III |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1                   | HR2              | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | $L_X$ | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------|--|-------|-----------|
| 369 | 0301600101 | 86.52 | 0.01  | ...                              | ...                              | $0.54 \pm 0.16$                  | $0.12 \pm 0.16$       | $-0.15 \pm 0.18$ | 0.405  | 29.99 | Clase II  |
| 370 | 0301600101 | 86.52 | 0.08  | $27.71 \pm 2.60$                 | $10.30 \pm 0.69$                 | $12.14 \pm 0.84$                 | $0.36 \pm 0.05$       | $-0.13 \pm 0.05$ | 0.920  | 30.35 | Clase II  |
| 372 | 0301600101 | 86.52 | -0.04 | $3.30 \pm 0.34$                  | $3.36 \pm 0.69$                  | $0.98 \pm 0.17$                  | $0.22 \pm 0.08$       | $-0.62 \pm 0.10$ | 0.287  | 29.84 | Clase III |
| 375 | 0301600101 | 86.53 | -0.22 | ...                              | ...                              | $0.41 \pm 0.13$                  | $0.42 \pm 0.38$       | $0.41 \pm 0.21$  | 0.396  | 29.98 | Clase II  |
| 376 | 0601960201 | 86.53 | -0.16 | $2.49 \pm 0.51$                  | $0.32 \pm 0.06$                  | $2.49 \pm 0.51$                  | $1.00 \pm 0.12$       | $-0.04 \pm 0.18$ | 0.266  | 29.81 | Clase I   |
| 377 | 0301600101 | 86.53 | -0.20 | $99.28 \pm 1.60$                 | $82.23 \pm 2.70$                 | $32.08 \pm 0.87$                 | $0.06 \pm 0.02$       | $-0.49 \pm 0.02$ | 2.777  | 30.83 | TD        |
| 378 | 0301600101 | 86.53 | 0.08  | $11.51 \pm 0.83$                 | $2.73 \pm 0.37$                  | $3.43 \pm 0.45$                  | $0.22 \pm 0.06$       | $-0.34 \pm 0.09$ | 0.500  | 30.08 | Clase III |
| 379 | 0301600101 | 86.53 | -0.03 | $24.71 \pm 0.82$                 | $7.11 \pm 0.40$                  | $5.96 \pm 0.37$                  | $-0.39 \pm 0.03$      | $-0.58 \pm 0.05$ | 0.842  | 30.31 | Clase III |
| 381 | 0301600101 | 86.53 | -0.17 | $2.68 \pm 0.33$                  | $6.07 \pm 0.80$                  | $0.91 \pm 0.16$                  | $0.60 \pm 0.47$       | $0.90 \pm 0.06$  | 0.271  | 29.82 | Clase I   |
| 382 | 0601960201 | 86.54 | -0.17 | $6.37 \pm 0.74$                  | $1.91 \pm 0.38$                  | $1.68 \pm 0.34$                  | $0.51 \pm 0.44$       | $0.85 \pm 0.07$  | 0.367  | 29.95 | Clase III |
| 383 | 0301600101 | 86.54 | -0.04 | $0.90 \pm 0.25$                  | ...                              | ...                              | $0.93 \pm 0.12$       | $-0.60 \pm 0.17$ | 0.225  | 29.74 | Clase II  |
| 384 | 0301600101 | 86.54 | -0.12 | $1.04 \pm 0.21$                  | $0.28 \pm 0.10$                  | $0.53 \pm 0.12$                  | $0.63 \pm 0.13$       | $-0.75 \pm 0.19$ | 0.229  | 29.74 | Clase III |
| 385 | 0301600101 | 86.54 | -0.06 | $1.08 \pm 0.25$                  | $0.49 \pm 0.13$                  | $0.70 \pm 0.15$                  | $0.97 \pm 0.09$       | $-0.25 \pm 0.14$ | 0.230  | 29.75 | Clase II  |
| 386 | 0301600101 | 86.54 | -0.10 | $3.37 \pm 0.33$                  | $1.51 \pm 0.27$                  | $1.05 \pm 0.17$                  | $1.00 \pm 0.08$       | $0.22 \pm 0.07$  | 0.289  | 29.85 | Clase II  |
| 388 | 0301600101 | 86.55 | -0.29 | $2.27 \pm 0.47$                  | $5.85 \pm 1.22$                  | ...                              | $-0.22 \pm 0.23$      | $-1.00 \pm 0.55$ | 0.260  | 29.80 | Clase III |
| 389 | 0301600101 | 86.55 | -0.04 | $29.77 \pm 1.27$                 | $11.12 \pm 0.48$                 | $11.45 \pm 0.82$                 | $0.77 \pm 0.02$       | $-0.23 \pm 0.03$ | 0.974  | 30.37 | Clase III |
| 390 | 0301600101 | 86.55 | -0.11 | $8.77 \pm 0.48$                  | $3.15 \pm 0.26$                  | $3.63 \pm 0.33$                  | $0.45 \pm 0.04$       | $-0.35 \pm 0.05$ | 0.429  | 30.02 | Clase II  |
| 391 | 0301600101 | 86.55 | -0.14 | $1.66 \pm 0.25$                  | $0.55 \pm 0.13$                  | $0.37 \pm 0.11$                  | $-0.32 \pm 0.12$      | $-0.61 \pm 0.25$ | 0.245  | 29.77 | Clase II  |
| 392 | 0301600101 | 86.55 | -0.10 | $17.31 \pm 0.65$                 | $6.19 \pm 0.42$                  | $5.50 \pm 0.33$                  | $0.91 \pm 0.04$       | $0.68 \pm 0.02$  | 0.651  | 30.20 | Clase I   |
| 394 | 0201530101 | 86.56 | 0.27  | ...                              | $6.42 \pm 1.383.03$              | ...                              | $-0.48 \pm 0.13$      | $-0.96 \pm 0.25$ | 0.872  | 30.33 | Clase III |
| 396 | 0301600101 | 86.57 | 0.12  | $7.87 \pm 0.90$                  | $2.66 \pm 0.42$                  | $2.18 \pm 0.43$                  | $0.52 \pm 0.08$       | $-0.63 \pm 0.11$ | 0.406  | 29.99 | Clase III |
| 398 | 0301600101 | 86.57 | -0.00 | $3.71 \pm 0.41$                  | $0.98 \pm 0.19$                  | $1.27 \pm 0.30$                  | $0.61 \pm 0.09$       | $-0.54 \pm 0.11$ | 0.298  | 29.86 | Clase III |
| 400 | 0301600101 | 86.58 | 0.12  | $3.48 \pm 0.73$                  | ...                              | ...                              | $0.63 \pm 0.17$       | $-0.52 \pm 0.25$ | 0.292  | 29.85 | Clase II  |
| 401 | 0301600101 | 86.58 | -0.09 | $70.55 \pm 1.44$                 | $22.94 \pm 0.67$                 | $22.90 \pm 0.74$                 | $0.10 \pm 0.02$       | $-0.55 \pm 0.02$ | 2.032  | 30.69 | Clase II  |
| 402 | 0301600101 | 86.58 | 0.06  | $24.60 \pm 1.10$                 | $8.49 \pm 0.59$                  | $7.90 \pm 0.59$                  | $0.61 \pm 0.03$       | $-0.05 \pm 0.04$ | 0.840  | 30.31 | Clase II  |
| 404 | 0164560201 | 86.58 | -0.09 | $88.85 \pm 3.13$                 | $30.91 \pm 1.31$                 | $35.85 \pm 1.58$                 | $0.65 \pm \text{NaN}$ | $0.03 \pm 0.02$  | 2.506  | 30.78 | Clase II  |
| 407 | 0301600101 | 86.58 | -0.17 | $2.39 \pm 0.22$                  | $6.41 \pm 0.88$                  | $3.08 \pm 0.47$                  | $0.72 \pm 0.11$       | $-0.59 \pm 0.12$ | 0.264  | 29.81 | Clase III |
| 409 | 0153150101 | 86.59 | -0.37 | $0.96 \pm 0.21$                  | ...                              | ...                              | $-0.66 \pm 0.25$      | $-0.19 \pm 0.82$ | 0.227  | 29.74 | Clase III |
| 411 | 0301600101 | 86.59 | -0.15 | $20.76 \pm 0.74$                 | $16.88 \pm 1.26$                 | $6.46 \pm 0.37$                  | $-0.06 \pm 0.03$      | $-0.62 \pm 0.04$ | 0.740  | 30.25 | TD        |
| 415 | 0301600101 | 86.60 | 0.06  | $8.29 \pm 0.66$                  | $1.95 \pm 0.35$                  | $1.95 \pm 0.34$                  | $0.47 \pm 0.09$       | $-0.19 \pm 0.10$ | 0.417  | 30.00 | Clase III |
| 419 | 0301600101 | 86.60 | 0.10  | $5.28 \pm 1.01$                  | ...                              | ...                              | $0.68 \pm 0.09$       | $0.00 \pm 0.09$  | 0.339  | 29.91 | Clase II  |
| 421 | 0201530101 | 86.61 | 0.40  | $1.41 \pm 0.51$                  | ...                              | ...                              | $1.00 \pm 0.17$       | $0.11 \pm 0.27$  | 0.238  | 29.76 | Clase II  |
| 423 | 0301600101 | 86.61 | 0.12  | $12.79 \pm 0.91$                 | $33.72 \pm 5.10$                 | $13.27 \pm 1.52$                 | $0.31 \pm 0.23$       | $-0.06 \pm 0.25$ | 0.533  | 30.11 | Clase II  |
| 427 | 0201530101 | 86.61 | 0.26  | $2.05 \pm 0.63$                  | ...                              | ...                              | $-0.74 \pm 0.24$      | $-1.00 \pm 1.33$ | 0.255  | 29.79 | Clase III |
| 434 | 0201530101 | 86.62 | 0.22  | $19.55 \pm 1.56$                 | $8.03 \pm 726.45$                | $7.74 \pm 0.98$                  | $0.54 \pm 0.06$       | $-0.41 \pm 0.07$ | 0.709  | 30.23 | Clase II  |
| 435 | 0301600101 | 86.62 | 0.05  | $40.52 \pm 2.19$                 | $80.17 \pm 2.29$                 | $110.72 \pm 5.21$                | $-0.75 \pm 0.49$      | $0.94 \pm 0.12$  | 1.253  | 30.48 | Clase II  |
| 436 | 0201530101 | 86.62 | 0.49  | $41.47 \pm 2.16$                 | $13.67 \pm 563.27$               | $14.10 \pm 1.33$                 | $-0.00 \pm 0.05$      | $-0.40 \pm 0.06$ | 1.277  | 30.49 | Clase III |
| 439 | 0201530101 | 86.63 | 0.43  | $156.09 \pm 3.51$                | $56.26 \pm 270.17$               | $64.02 \pm 2.41$                 | $0.50 \pm 0.02$       | $-0.18 \pm 0.02$ | 4.250  | 31.01 | Clase II  |
| 440 | 0301600101 | 86.63 | 0.11  | $6.41 \pm 0.95$                  | $2.50 \pm 0.46$                  | $2.14 \pm 0.46$                  | $0.56 \pm 0.10$       | $-0.04 \pm 0.10$ | 0.368  | 29.95 | Clase II  |
| 444 | 0201530101 | 86.64 | 0.31  | $2.48 \pm 0.59$                  | $1.40 \pm 1686.49$               | ...                              | $0.47 \pm 0.17$       | $-0.53 \pm 0.21$ | 0.266  | 29.81 | Clase III |
| 445 | 0301600101 | 86.64 | 0.05  | $4.78 \pm 0.86$                  | $10.19 \pm 1.48$                 | $5.22 \pm 0.84$                  | $1.00 \pm 0.14$       | $0.04 \pm 0.13$  | 0.326  | 29.90 | Clase II  |
| 447 | 0301600101 | 86.64 | 0.11  | $2.04 \pm 0.61$                  | ...                              | ...                              | $0.75 \pm 0.17$       | $-0.45 \pm 0.19$ | 0.255  | 29.79 | Clase III |
| 451 | 0301600101 | 86.64 | 0.11  | $27.45 \pm 1.82$                 | $21.66 \pm 2.83$                 | $7.63 \pm 1.22$                  | $0.60 \pm 0.04$       | $-0.16 \pm 0.05$ | 0.914  | 30.35 | Clase II  |
| 454 | 0301600101 | 86.65 | 0.03  | $5.35 \pm 0.61$                  | $7.30 \pm 1.26$                  | $4.46 \pm 0.76$                  | $0.06 \pm 0.09$       | $-0.60 \pm 0.12$ | 0.341  | 29.92 | Clase III |
| 456 | 0301600101 | 86.65 | 0.11  | $18.57 \pm 2.11$                 | $5.23 \pm 0.65$                  | $8.48 \pm 0.84$                  | $0.77 \pm 0.05$       | $-0.00 \pm 0.06$ | 0.683  | 30.22 | Clase II  |
| 457 | 0301600101 | 86.65 | 0.02  | $15.74 \pm 0.91$                 | $7.68 \pm 0.77$                  | $5.53 \pm 0.51$                  | $0.30 \pm 0.05$       | $-0.42 \pm 0.06$ | 0.610  | 30.17 | Clase II  |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1          | HR2          | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | Lx    | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--|-------|-----------|
| 462 | 0601960201 | 86.66 | 0.10  | 11.96 ± 2.13                     | 15.51 ± 1.95                     | 3.73 ± 0.96                      | 0.69 ± 0.13  | 0.14 ± 0.13  | 0.512  | 30.09 | Clase II  |
| 463 | 0201530101 | 86.66 | 0.37  | 1.92 ± 0.47                      | ...                              | ...                              | 0.46 ± 0.48  | 0.48 ± 0.24  | 0.252  | 29.79 | Clase II  |
| 466 | 0301600101 | 86.66 | -0.25 | 1.80 ± 0.40                      | ...                              | ...                              | -0.08 ± 0.17 | -1.00 ± 0.15 | 0.248  | 29.78 | Clase III |
| 470 | 0201530101 | 86.67 | 0.18  | 0.79 ± 0.23                      | ...                              | ...                              | 0.80 ± 0.39  | 0.42 ± 0.26  | 0.222  | 29.73 | Clase II  |
| 471 | 0164560201 | 86.67 | 0.08  | 38.52 ± 3.28                     | 18.45 ± 3.75                     | 19.93 ± 2.10                     | -0.09 ± NaN  | -0.61 ± 0.09 | 1.201  | 30.46 | TD        |
| 474 | 0201530101 | 86.67 | 0.33  | 23.92 ± 1.24                     | ...                              | 6.13 ± 0.79                      | 0.16 ± 0.05  | -0.66 ± 0.05 | 0.822  | 30.30 | Clase III |
| 476 | 0201530101 | 86.68 | 0.20  | 6.72 ± 0.93                      | ...                              | ...                              | -0.87 ± 0.09 | -0.18 ± 0.71 | 0.376  | 29.96 | Clase III |
| 480 | 0301600101 | 86.68 | 0.01  | 6.20 ± 0.67                      | 2.16 ± 0.36                      | 2.22 ± 0.39                      | 1.00 ± 0.24  | 0.83 ± 0.05  | 0.362  | 29.94 | Clase III |
| 482 | 0301600101 | 86.68 | 0.08  | 38.90 ± 1.75                     | ...                              | 13.20 ± 0.95                     | 0.11 ± 0.04  | -0.46 ± 0.05 | 1.211  | 30.47 | Clase III |
| 483 | 0301600101 | 86.68 | 0.09  | 139.34 ± 3.28                    | 93.41 ± 3.49                     | 122.35 ± 6.02                    | 0.36 ± 0.02  | -0.40 ± 0.02 | 3.816  | 30.97 | Clase III |
| 485 | 0201530101 | 86.68 | 0.30  | 28.88 ± 1.36                     | 10.48 ± 532.34                   | 10.85 ± 0.81                     | 0.04 ± 0.04  | -0.45 ± 0.05 | 0.951  | 30.36 | Clase II  |
| 490 | 0201530101 | 86.69 | 0.41  | 1.34 ± 0.38                      | ...                              | ...                              | -0.86 ± 0.21 | -1.00 ± 1.71 | 0.237  | 29.76 | Clase III |
| 491 | 0301600101 | 86.69 | 0.06  | 1.93 ± 0.34                      | ...                              | ...                              | 0.08 ± 0.16  | -0.77 ± 0.27 | 0.252  | 29.79 | Clase III |
| 492 | 0301600101 | 86.69 | 0.04  | 2.30 ± 0.52                      | ...                              | ...                              | 0.71 ± 0.20  | -0.14 ± 0.20 | 0.261  | 29.80 | Clase III |
| 493 | 0164560201 | 86.69 | 0.09  | 24.62 ± 7.56                     | ...                              | ...                              | 0.23 ± NaN   | 0.10 ± 0.35  | 0.840  | 30.31 | Clase III |
| 496 | 0201530101 | 86.69 | 0.28  | 3.31 ± 0.57                      | 1.71 ± 1649.99                   | ...                              | 0.40 ± 0.13  | -0.16 ± 0.14 | 0.288  | 29.84 | Clase III |
| 500 | 0201530101 | 86.70 | 0.15  | ...                              | ...                              | 2.25 ± 0.59                      | 0.12 ± 0.23  | -1.00 ± 0.40 | 0.529  | 30.11 | Clase I   |
| 502 | 0201530101 | 86.70 | 0.50  | 0.86 ± 0.19                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.22  | 0.41 ± 0.20  | 0.224  | 29.73 | Clase I   |
| 503 | 0301600101 | 86.70 | -0.13 | 5.99 ± 0.55                      | 2.06 ± 0.31                      | 2.09 ± 0.31                      | -0.54 ± 0.07 | -0.54 ± 0.17 | 0.357  | 29.94 | Clase III |
| 504 | 0301600101 | 86.70 | 0.07  | 11.48 ± 1.14                     | 3.59 ± 0.61                      | 2.85 ± 0.53                      | 0.66 ± 0.08  | -0.06 ± 0.09 | 0.499  | 30.08 | Clase II  |
| 505 | 0201530101 | 86.70 | 0.22  | 6.79 ± 0.89                      | ...                              | 2.25 ± 0.48                      | 0.17 ± 0.12  | -0.50 ± 0.16 | 0.378  | 29.96 | Clase II  |
| 506 | 0301600101 | 86.70 | 0.06  | 7.62 ± 0.91                      | 4.94 ± 0.85                      | 2.60 ± 0.44                      | -0.01 ± 0.09 | -0.86 ± 0.14 | 0.399  | 29.99 | Clase III |
| 510 | 0201530101 | 86.70 | 0.20  | 9.56 ± 1.07                      | ...                              | 2.35 ± 0.51                      | 0.19 ± 0.11  | -0.53 ± 0.13 | 0.450  | 30.04 | Clase III |
| 512 | 0201530101 | 86.71 | 0.30  | 0.34 ± 0.09                      | ...                              | ...                              | -0.47 ± 0.28 | -0.15 ± 0.56 | 0.211  | 29.71 | TD        |
| 514 | 0201530101 | 86.71 | 0.32  | 27.88 ± 1.36                     | 7.74 ± 512.61                    | 8.78 ± 0.70                      | 0.06 ± 0.04  | -0.55 ± 0.05 | 0.925  | 30.35 | Clase II  |
| 515 | 0201530101 | 86.72 | 0.33  | ...                              | 1.40 ± 1639.74                   | 1.26 ± 0.31                      | -0.21 ± 0.13 | -0.44 ± 0.20 | 0.499  | 30.08 | Clase II  |
| 517 | 0301600101 | 86.72 | -0.27 | 3.11 ± 0.49                      | 4.63 ± 0.93                      | 4.00 ± 0.57                      | -0.40 ± 0.05 | -0.47 ± 0.11 | 0.282  | 29.84 | Clase III |
| 518 | 0201530101 | 86.72 | 0.44  | ...                              | ...                              | 0.91 ± 0.34                      | 0.04 ± 0.23  | -0.73 ± 0.33 | 0.432  | 30.02 | Clase III |
| 520 | 0301600101 | 86.74 | 0.09  | 10.01 ± 1.06                     | 29.17 ± 2.94                     | 29.17 ± 2.94                     | 0.34 ± 0.11  | -0.41 ± 0.11 | 0.461  | 30.05 | TD        |
| 521 | 0201530101 | 86.74 | 0.35  | 16.51 ± 0.96                     | 5.43 ± 676.22                    | 6.81 ± 0.60                      | 0.39 ± 0.04  | -0.44 ± 0.05 | 0.630  | 30.18 | Clase III |
| 522 | 0601960201 | 86.74 | 0.09  | 20.25 ± 2.61                     | 20.25 ± 2.61                     | 20.25 ± 2.61                     | 0.17 ± 0.13  | -0.51 ± 0.15 | 0.727  | 30.25 | Clase III |
| 523 | 0201530101 | 86.74 | 0.47  | 3.93 ± 0.60                      | ...                              | ...                              | -0.74 ± 0.11 | -0.85 ± 0.43 | 0.304  | 29.87 | Clase III |
| 524 | 0201530101 | 86.74 | 0.39  | 0.32 ± 0.09                      | ...                              | ...                              | NaN ± NaN    | 1.00 ± 0.08  | 0.210  | 29.71 | Clase III |
| 526 | 0201530101 | 86.74 | 0.38  | 0.55 ± 0.13                      | ...                              | ...                              | -0.48 ± 0.24 | -0.28 ± 0.53 | 0.216  | 29.72 | Clase III |
| 528 | 0201530101 | 86.74 | 0.34  | 3.16 ± 0.48                      | 0.86 ± 1434.77                   | 1.45 ± 0.32                      | 0.32 ± 0.12  | -0.51 ± 0.13 | 0.284  | 29.84 | Clase III |
| 530 | 0201530101 | 86.75 | 0.42  | 2.77 ± 0.49                      | 1.14 ± 1294.40                   | 1.06 ± 0.27                      | 0.58 ± 0.29  | 0.67 ± 0.11  | 0.273  | 29.82 | Clase II  |
| 538 | 0301600101 | 86.76 | -0.16 | 64.36 ± 1.98                     | 16.66 ± 0.99                     | 16.59 ± 1.04                     | -0.63 ± 0.02 | -0.70 ± 0.07 | 1.871  | 30.66 | Clase III |
| 539 | 0201530101 | 86.76 | 0.39  | 94.11 ± 4.29                     | 33.97 ± 294.59                   | 39.53 ± 3.18                     | 0.71 ± 0.02  | -0.25 ± 0.02 | 2.643  | 30.81 | Clase III |
| 541 | 0201530101 | 86.77 | 0.19  | 2.79 ± 0.72                      | ...                              | ...                              | 0.42 ± 0.20  | -0.57 ± 0.27 | 0.274  | 29.82 | Clase II  |
| 543 | 0201530101 | 86.77 | 0.36  | 13.40 ± 0.88                     | 5.91 ± 671.06                    | 3.36 ± 0.43                      | 1.00 ± 0.05  | 0.72 ± 0.04  | 0.549  | 30.12 | Clase III |
| 544 | 0201530101 | 86.77 | 0.31  | 29.17 ± 1.32                     | 10.83 ± 418.81                   | 10.34 ± 0.76                     | 0.36 ± 0.04  | -0.48 ± 0.04 | 0.958  | 30.37 | Clase III |
| 546 | 0201530101 | 86.77 | 0.38  | 45.09 ± 1.60                     | 15.30 ± 417.67                   | 15.58 ± 0.91                     | 0.93 ± 0.02  | 0.23 ± 0.03  | 1.371  | 30.52 | Clase II  |
| 547 | 0201530101 | 86.77 | 0.48  | 1.21 ± 0.18                      | ...                              | ...                              | -0.32 ± 0.14 | -1.00 ± 0.13 | 0.233  | 29.75 | Clase III |
| 548 | 0201530101 | 86.77 | 0.51  | ...                              | 1.18 ± 1862.92                   | 1.50 ± 0.45                      | -0.66 ± 0.14 | -0.77 ± 0.41 | 0.483  | 30.07 | Clase III |
| 549 | 0201530101 | 86.77 | 0.35  | 0.45 ± 0.10                      | ...                              | ...                              | 0.73 ± 0.24  | -0.23 ± 0.24 | 0.213  | 29.71 | Clase III |
| 550 | 0201530101 | 86.77 | 0.37  | 3.56 ± 0.58                      | ...                              | 0.80 ± 0.25                      | 0.78 ± 0.12  | 0.02 ± 0.13  | 0.294  | 29.85 | Clase III |

Tabla 4.7: – Continuación

| src | Obs ID     | ra    | dec   | rate PN<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M1<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | rate M2<br>( $\text{seg}^{-1}$ ) | HR1          | HR2          | flux<br>( $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ) | L <sub>X</sub> | Clase     |
|-----|------------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--|----------------|-----------|
| 551 | 0201530101 | 86.78 | 0.54  | 9.87 ± 2.14                      | 16.79 ± 636.06                   | 26.11 ± 2.14                     | 0.38 ± 0.04  | -0.32 ± 0.05 | 0.458  | 30.04          | Clase II  |
| 552 | 0201530101 | 86.78 | 0.34  | 0.37 ± 0.10                      | ...                              | ...                              | 0.42 ± 0.24  | -0.60 ± 0.34 | 0.211  | 29.71          | Clase II  |
| 553 | 0201530101 | 86.78 | 0.41  | 40.02 ± 1.53                     | 12.66 ± 476.15                   | 15.98 ± 0.94                     | 0.83 ± 0.02  | -0.13 ± 0.03 | 1.240  | 30.48          | Clase III |
| 556 | 0301600101 | 86.78 | 0.01  | 41.26 ± 3.72                     | 41.26 ± 3.72                     | 22.33 ± 2.71                     | 0.06 ± 0.07  | -0.55 ± 0.08 | 1.272  | 30.49          | Clase II  |
| 557 | 0201530101 | 86.78 | 0.33  | 99.80 ± 2.26                     | 33.68 ± 263.02                   | 33.10 ± 1.28                     | 0.69 ± 0.02  | -0.06 ± 0.02 | 2.790  | 30.83          | Clase II  |
| 558 | 0201530101 | 86.78 | 0.29  | 230.70 ± 3.53                    | 69.27 ± 228.38                   | 68.96 ± 1.90                     | 0.38 ± 0.01  | -0.36 ± 0.02 | 6.185  | 31.18          | Clase III |
| 559 | 0201530101 | 86.78 | 0.30  | 42.70 ± 2.00                     | 17.69 ± 418.66                   | 18.94 ± 1.14                     | 0.00 ± 0.05  | -0.67 ± 0.05 | 1.309  | 30.50          | Clase III |
| 561 | 0201530101 | 86.78 | 0.34  | 1.98 ± 0.47                      | ...                              | ...                              | 0.61 ± 0.23  | -0.52 ± 0.20 | 0.253  | 29.79          | Clase II  |
| 562 | 0201530101 | 86.79 | 0.54  | 6.58 ± 1.09                      | ...                              | 1.23 ± 0.49                      | 0.12 ± 0.14  | -0.37 ± 0.29 | 0.372  | 29.96          | Clase III |
| 563 | 0301600101 | 86.79 | 0.00  | 49.43 ± 3.76                     | 49.43 ± 3.76                     | 38.88 ± 3.30                     | -0.48 ± 0.04 | -0.78 ± 0.08 | 1.484  | 30.56          | Clase III |
| 565 | 0201530101 | 86.79 | 0.38  | 8.81 ± 0.81                      | 3.27 ± 735.47                    | 4.20 ± 0.49                      | 0.93 ± 0.04  | 0.08 ± 0.06  | 0.430  | 30.02          | Clase II  |
| 566 | 0201530101 | 86.79 | 0.34  | 2.05 ± 0.44                      | ...                              | ...                              | 1.00 ± 0.10  | 0.08 ± 0.24  | 0.255  | 29.79          | Clase III |
| 567 | 0201530101 | 86.79 | 0.30  | 3.06 ± 0.69                      | 1.14 ± 1987.32                   | ...                              | 0.27 ± 0.19  | 0.27 ± 0.14  | 0.281  | 29.83          | Clase III |
| 568 | 0201530101 | 86.79 | 0.29  | 4.15 ± 0.84                      | ...                              | 1.39 ± 0.34                      | 1.00 ± 0.05  | -0.12 ± 0.14 | 0.309  | 29.87          | Clase III |
| 569 | 0201530101 | 86.79 | 0.31  | 2.01 ± 0.51                      | ...                              | ...                              | 0.84 ± 0.15  | -0.32 ± 0.19 | 0.254  | 29.79          | Clase II  |
| 571 | 0201530101 | 86.79 | 0.54  | 2.58 ± 0.70                      | ...                              | ...                              | -0.50 ± 0.22 | -0.10 ± 0.43 | 0.269  | 29.81          | Clase II  |
| 572 | 0201530101 | 86.80 | 0.36  | 0.31 ± 0.08                      | ...                              | ...                              | 0.18 ± 0.26  | -1.00 ± 0.16 | 0.210  | 29.71          | Clase III |
| 573 | 0201530101 | 86.80 | 0.32  | 6.92 ± 0.86                      | 2.56 ± 920.87                    | 2.17 ± 0.38                      | 0.62 ± 0.08  | -0.48 ± 0.09 | 0.381  | 29.97          | Clase II  |
| 575 | 0201530101 | 86.80 | 0.30  | 27.59 ± 2.15                     | 10.68 ± 559.97                   | 15.23 ± 1.06                     | 0.39 ± 0.04  | -0.42 ± 0.05 | 0.917  | 30.35          | Clase III |
| 576 | 0301600101 | 86.80 | -0.11 | 26.87 ± 1.50                     | 5.39 ± 0.41                      | 50.25 ± 3.35                     | -0.71 ± 0.06 | -0.68 ± 0.27 | 0.899  | 30.34          | Clase III |
| 577 | 0201530101 | 86.80 | 0.37  | ...                              | 4.38 ± 674.85                    | 4.01 ± 0.48                      | 0.81 ± 0.06  | -0.41 ± 0.08 | 0.721  | 30.24          | Clase III |
| 578 | 0201530101 | 86.80 | 0.48  | 12.70 ± 1.09                     | 3.09 ± 1927.64                   | 3.10 ± 0.54                      | -0.50 ± 0.07 | -0.84 ± 0.15 | 0.531  | 30.11          | Clase III |
| 580 | 0201530101 | 86.81 | 0.18  | 12.52 ± 1.30                     | ...                              | 4.15 ± 0.68                      | -0.19 ± 0.09 | -0.80 ± 0.14 | 0.526  | 30.11          | Clase III |
| 581 | 0301600101 | 86.81 | 0.00  | 202.38 ± 3.99                    | 117.00 ± 5.64                    | ...                              | -0.16 ± 0.02 | -0.58 ± 0.03 | 5.451  | 31.12          | Clase II  |
| 582 | 0201530101 | 86.81 | 0.15  | ...                              | ...                              | 11.15 ± 1.41                     | 0.27 ± 0.13  | -0.28 ± 0.14 | 1.168  | 30.45          | Clase I   |
| 584 | 0201530101 | 86.82 | 0.39  | ...                              | 1.60 ± 1383.78                   | 1.62 ± 0.33                      | 0.92 ± 0.12  | 0.48 ± 0.09  | 0.513  | 30.09          | Clase II  |
| 588 | 0201530101 | 86.83 | 0.27  | 2.80 ± 0.52                      | 1.25 ± 1430.66                   | ...                              | 0.12 ± 0.13  | -0.89 ± 0.18 | 0.274  | 29.82          | Clase II  |
| 590 | 0201530101 | 86.85 | 0.52  | 0.48 ± 0.12                      | ...                              | ...                              | 0.26 ± 0.26  | -0.22 ± 0.29 | 0.214  | 29.72          | Clase II  |
| 592 | 0201530101 | 86.85 | 0.57  | 28.05 ± 1.84                     | 7.75 ± 778.36                    | 7.10 ± 0.97                      | -0.65 ± 0.04 | -0.67 ± 0.14 | 0.929  | 30.35          | Clase III |
| 591 | 0201530101 | 86.85 | 0.31  | 4.18 ± 1.03                      | ...                              | ...                              | -0.77 ± 0.15 | -1.00 ± 0.48 | 0.310  | 29.88          | Clase III |
| 594 | 0201530101 | 86.87 | 0.34  | 2.40 ± 0.54                      | ...                              | ...                              | 0.15 ± 0.24  | -0.49 ± 0.33 | 0.264  | 29.81          | Clase III |
| 601 | 0201530101 | 86.94 | 0.55  | 32.99 ± 1.53                     | 11.99 ± 564.95                   | 12.45 ± 0.92                     | 0.90 ± 0.02  | 0.03 ± 0.04  | 1.057  | 30.41          | Clase II  |
|     |            |       |       | 31.97 ± 2.89                     | ...                              | ...                              | -0.78 ± 0.07 | -0.80 ± 0.22 | 1.031  | 30.40          | Clase III |

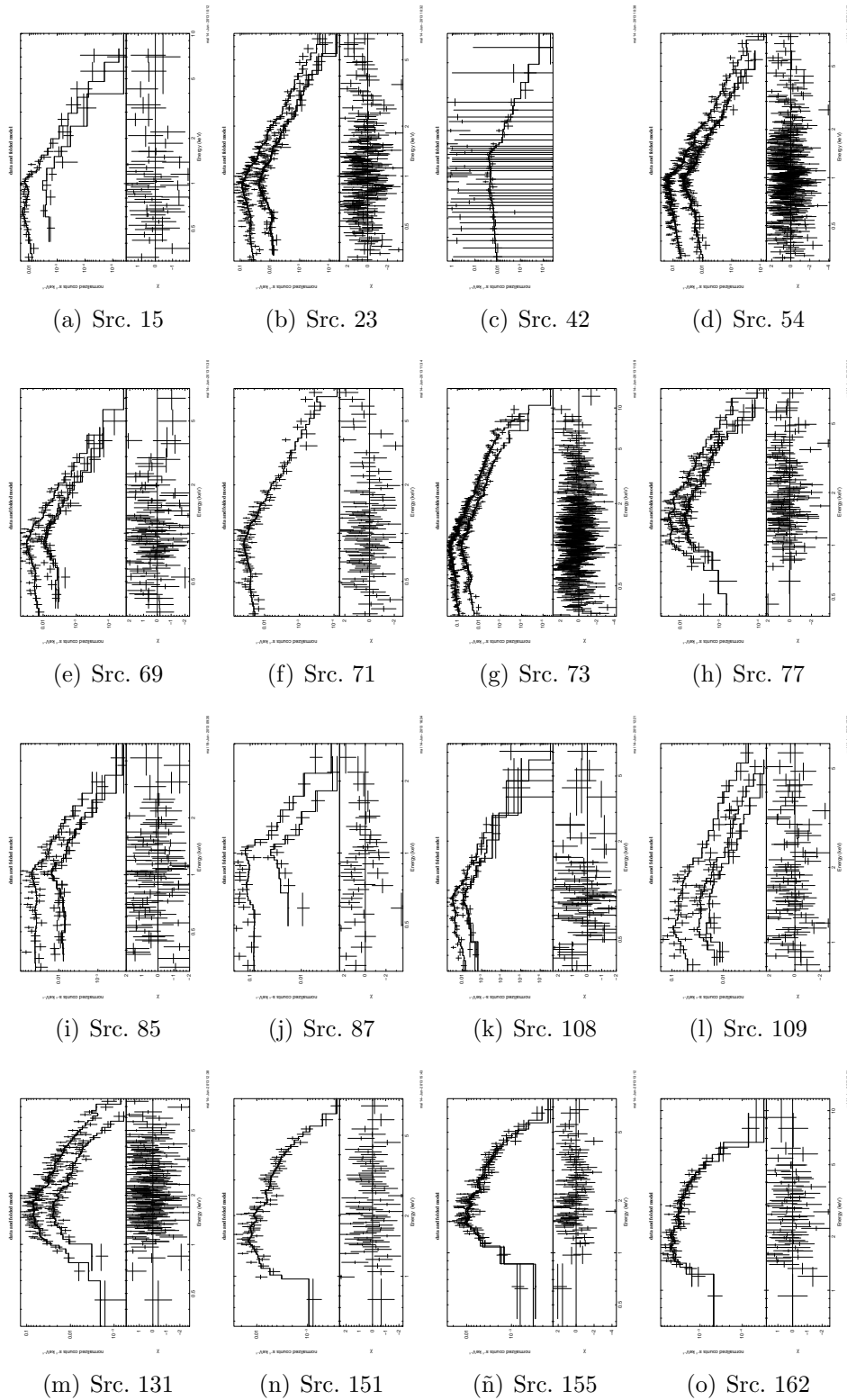


Figura 4.8: Espectros para las fuentes ajustas con XSPEC.

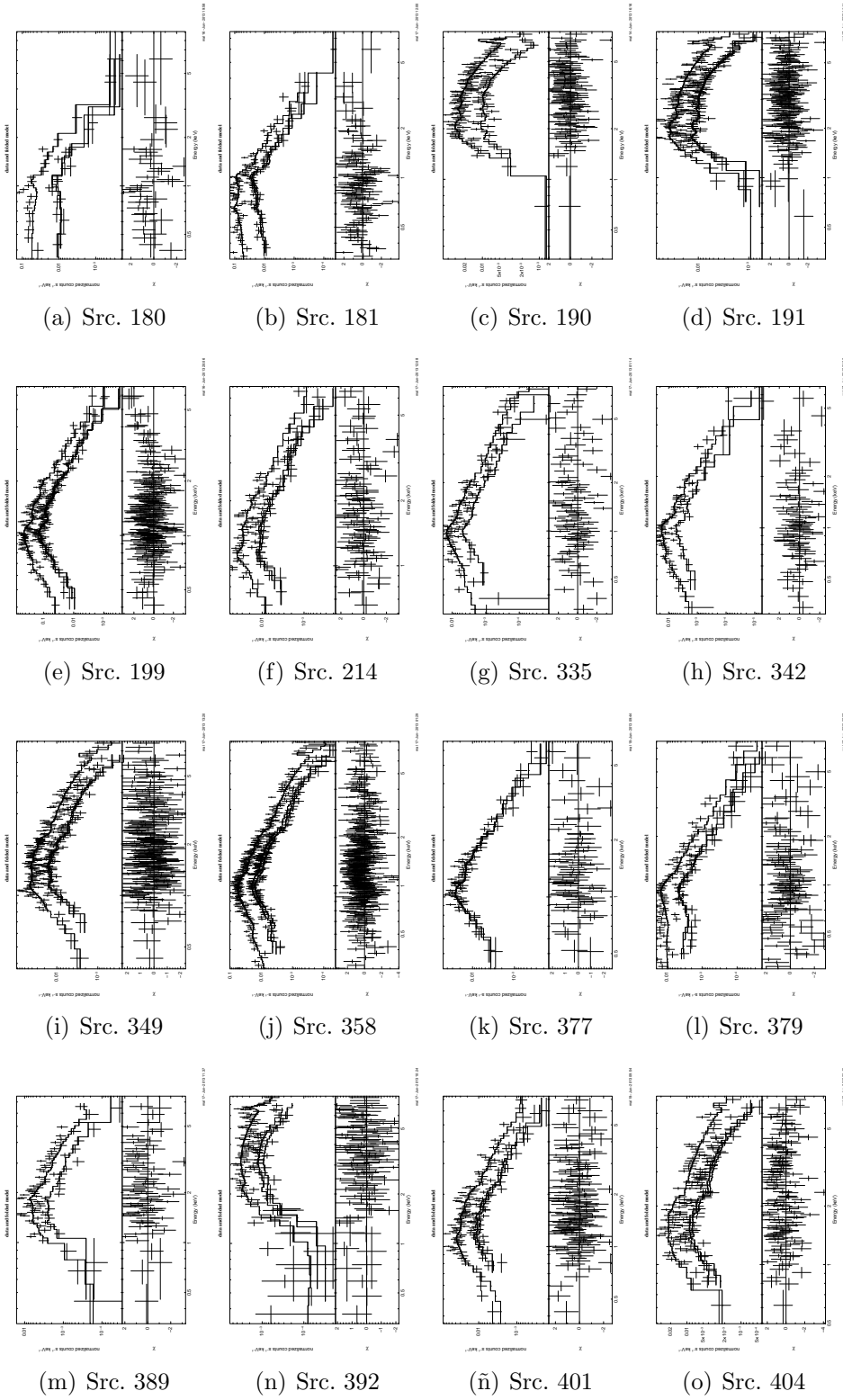


Figura 4.9: Continuación de la Fig. 4.8.

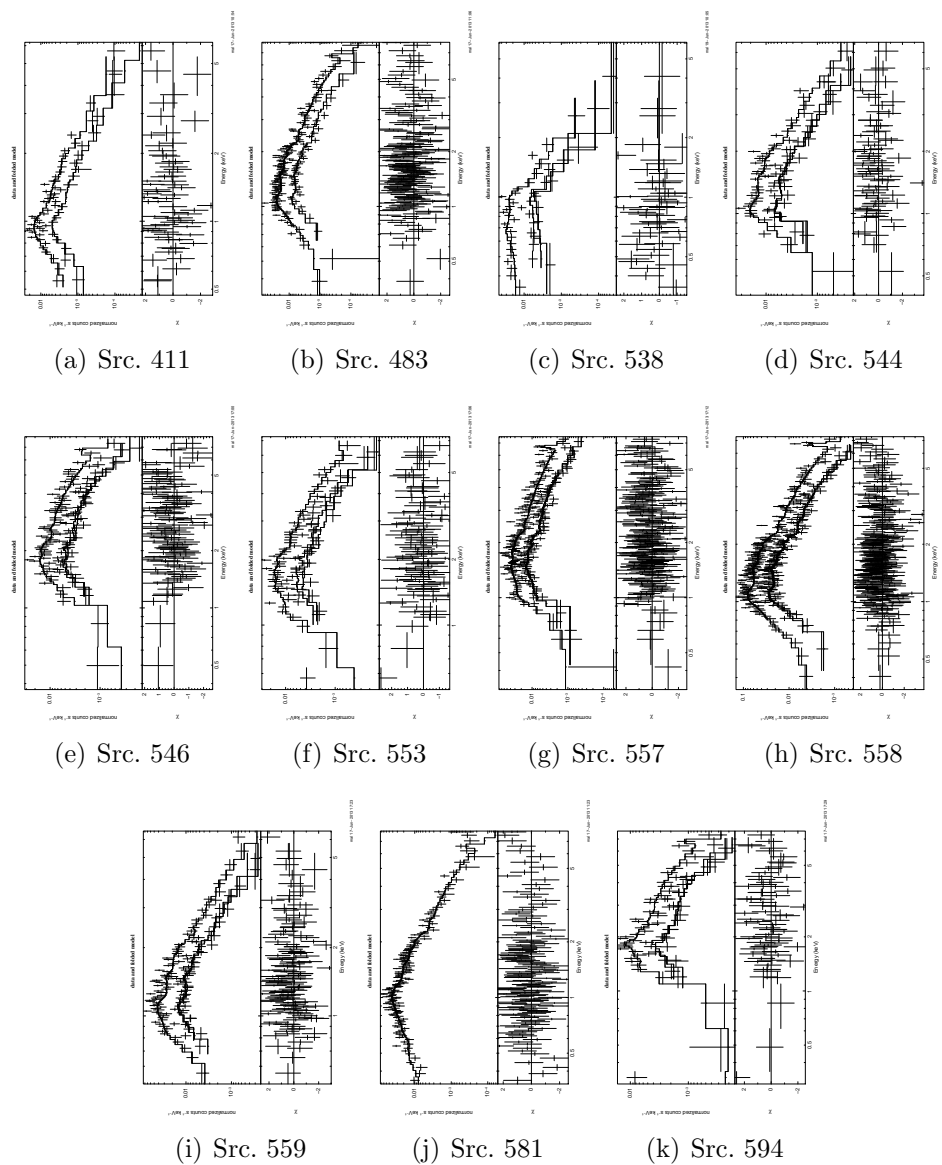


Figura 4.10: Continuación de la Fig. 4.8.



---

## Capítulo 5

# Resumen y Conclusiones

El estudio de la Nebulosa Molecular de Orión se ha dividido en dos partes: el análisis de la Nebulosa de reflexión de NGC 2023 y el del complejo Molecular de Orión B en su conjunto.

Para el primer objetivo, NGC 2023, se ha llevado a cabo, por primera vez, un análisis exhaustivo de la emisión en rayos X y de la naturaleza de 36 objetos estelares jóvenes en la región de formación estelar NGC 2023 y sus alrededores. La distribución espectral de energía (SED) del 90 % de esta muestra (32 de 36 fuentes) se ha analizado utilizando los modelos estrella más disco de [Robitaille et al. \(2007\)](#).

Se han identificado sólo dos candidatos AGN entre las 36 fuentes de rayos X. Se ha llevado a cabo una clasificación en diferentes clases infrarrojas de acuerdo con la posición de las estrellas en los diagramas color-color infrarrojos y en base a su SED. El estudio de las SED nos ha permitido determinar varios parámetros estelares como masas, radios y luminosidades, y otros parámetros físicos tales como extinciones y la distancias.

Las propiedades de rayos X de NGC 2023 se han comparado con los de otras regiones de formación estelar con diferentes características en términos de población estelar. Aunque los valores de la temperatura y la densidad de la columna determinada para nuestra muestra de estrellas jóvenes son similares a los observados en estrellas del ONC y Tauro, la función de distribución acumulada de luminosidades en rayos X de los miembros de NGC 2023 es más similar a la del complejo molecular Taurus.

Para el estudio de Orión B, se han presentado los resultados de las observaciones en rayos X combinada con fotometría óptica e infrarroja. Este trabajo se centra en

la clasificación y caracterización de objetos estelares jóvenes y las diferencias dentro de la nube y el resto del complejo de Orión. En las nueve observaciones de *XMM-Newton* se detectaron 604 fuentes, 355 de ellos con al menos una contrapartida de infrarrojo u óptico. A través de diagramas color-magnitud se han identificado 90 fuentes de fondo. Una clasificación en las diferentes clases infrarrojas se ha realizado mediante diagramas de color-color y color-magnitud e índices espectrales. Se han clasificado 243 fuentes de Clases III, 102 fuentes de Clases II, 9 de ellas TD y 10 Clase I. 159 objetos no presentaron contrapartida en ninguno de los catálogos utilizados por lo que se consideraron fuentes espúreas o extragalácticas.

En Orión B, la diversidad de frentes de ionización entre el norte y el sur de la nebulosa, ha creado diferentes condiciones ambientales para la formación estelar, por lo que se ha tratado de buscar estas diferencias en la tasa de formación estelar. La parte norte de Orión B ha interactuado recientemente con el frente de ionización del bucle Barnard. De un total de 147 fuentes en esta región, 84 están clasificadas como objetos de Clase III (35% del total de Clase III de Orión B), 59 como Clases II (58%) y 6 como Clases I objetos (60%). Eso significa que una relación entre Clase III / Clase II de 1.42. Por otro lado, la parte sur de Orión B, se encuentra bajo la influencia del frente de ionización producido por  $\sigma$  Orionis. De un total de 189 fuentes en esta parte de la nube, se clasificaron 142 Clases III (58%), 43 clases II (42%) y 4 Clases I (40%). Contamos con una relación de 3.30. Al comparar la relación entre norte y el sur se llega a la conclusión de que la región sur está mucho más evolucionada que la región norte. Además la relación total entre las Clases III y las Clases II es de 2.33 un dato muy similar al presentado en Orión A de 2.39 (Pillitteri et al., 2013) revelando la similitud entre ambas regiones.

Los objetos de Clase I y Clase II aparecen agrupados en cinco grupos, siendo estos lugares NGC 2023, NGC 2024, NGC 2068, NGC 2071 y los alrededores de V1647 Ori todas estas las regiones coinciden con agrupaciones de polvo de la imagen 857 GHz (Fig 4.1).

A través del análisis de rayos X y mediante modelos de plasma caliente absorbido con 1T, 2T y 3T, se ha estimado la densidad de columna de hidrógeno  $N_H$ , y las temperaturas del plasma para las fuentes con más de 100 cuentas netas. Y a través de un factor de conversión de la tasa de cuentas se pudo obtener el flujo, en el rango de 0.3 a 8.0 keV, para todas las fuentes. No se encontraron diferencias significativas

en temperatura entre la Clase III y Clase III (al contrario del resultado obtenido por Getman et al., 2008b), pero si se confirma un gradiente de  $N_H$  en el orden Clase I - Clase II - Clase III.

Se han comparado la muestra completa de Orión B con la distribución de COUP, mostrando que las poblaciones de ambas regiones son muy similares. También comparamos Orión B con el trabajo previos u otras regiones de formación como Orión A.



---

# Bibliografía

- A. N. Aarnio, K. G. Stassun, & S. P. Matt. A Search for Star-Disk Interaction among the Strongest X-ray Flaring Stars in the Orion Nebula Cluster. *ApJ*, 717:93–106, 2010.
- T. Abbey, J. Carpenter, A. Read, A. Wells, Xmm Science Centre, & Swift Mission Operations Center. Micrometeroid Damage to CCDs in XMM-Newton and Swift and its Significance for Future X-ray Missions. En A. Wilson, ed., *The X-ray Universe 2005*, tomo 604 de *ESA Special Publication*, pág. 943. 2006.
- F. C. Adams, C. J. Lada, & F. H. Shu. Spectral evolution of young stellar objects. *ApJ*, 312:788–806, 1987.
- J. F. Albacete-Colombo, E. Flaccomio, J. J. Drake, N. J. Wright, M. Guarcello, & V. Kashyap. The statistical uncertainties on X-ray flux and spectral parameters from Chandra ACIS-I observations of faint sources: Application to the Cygnus OB2 Association. *ArXiv e-prints*, 2016.
- J. F. Albacete Colombo, E. Flaccomio, G. Micela, S. Sciortino, & F. Damiani. Unveiling the Cygnus OB2 stellar population with Chandra. *A&A*, 464:211–227, 2007.
- J. M. Alcalá, E. Covino, G. Torres, M. F. Sterzik, M. J. Pfeiffer, & R. Neuhauser. High-resolution spectroscopy of ROSAT low-mass pre-main sequence stars in Orion. *A&A*, 353:186–202, 2000.
- B. Ali, K. Sellgren, D. L. Depoy, J. S. Carr, I. Gatley, K. M. Merrill, & E. Lada. Near Infrared Spectroscopy of Young Stars in NGC 2024. En R. A. Donahue & J. A. Bookbinder, eds., *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun*, tomo 154 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pág. 1663. 1998.

- L. E. Allen, N. Calvet, P. D Alessio, B. Merin, L. Hartmann, S. T. Megeath, R. A. Gutermuth, J. Muzerolle, J. L. Pipher, P. C. Myers, & G. G. Fazio. IRAC Colors of Young Stellar Objects. *ArXiv Astrophysics e-prints*, 2004.
- P. Andre & T. Montmerle. From T Tauri stars to protostars: Circumstellar material and young stellar objects in the rho Ophiuchi cloud. *ApJ*, 420:837–862, 1994.
- P.é@, D. Ward-Thompson, & M. Barsony. Submillimeter continuum observations of Rho Ophiuchi A - The candidate protostar VLA 1623 and prestellar clumps. *ApJ*, 406:122–141, 1993.
- G. Anglada & L. F. Rodríguez. VLA Detection of the Exciting Sources of the Molecular Outflows Associated with L1448 IRS2, IRAS 05327+3404, L43, IRAS 22142+5206, L1211, and IRAS 23545+6508. *Rev. Mexicana Astron. Astrofis.*, 38:13–21, 2002.
- B. J. Anthony-Twarog. The H-beta distance scale for B stars - The Orion association. *AJ*, 87:1213–1222, 1982.
- C. Argiroffi, A. Maggio, G. Peres, J. J. Drake, J.ópez-Santiago@, S. Sciortino, & B. Stelzer. X-ray optical depth diagnostics of T Tauri accretion shocks. *A&A*, 507:939–948, 2009.
- P. J. Armitage & C. J. Clarke. Magnetic braking of T Tauri stars. *MNRAS*, 280:458–468, 1996. doi:10.1093/mnras/280.2.458.
- K. Arnaud. XSPEC: Progress and Plans. En *AAS/High Energy Astrophysics Division #8*, tomo 36 de *Bulletin of the American Astronomical Society*, pág. 934. 2004.
- K. A. Arnaud. XSPEC: The First Ten Years. En G. H. Jacoby & J. Barnes, eds., *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, tomo 101 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pág. 17. 1996.
- M. J. Aschwanden & P. Charbonneau. Effects of Temperature Bias on Nanoflare Statistics. *ApJL*, 566:L59–L62, 2002.
- J. Bally. *Overview of the Orion Complex*, pág. 459. 2008.
- J. Bally & H. Zinnecker. The Birth of High-Mass Stars: Accretion and/or Mergers? *AJ*, 129:2281–2293, 2005.

- I. Baraffe, G. Chabrier, F. Allard, & P. H. Hauschildt. Evolutionary models for solar metallicity low-mass stars: mass-magnitude relationships and color-magnitude diagrams. *A&A*, 337:403–412, 1998.
- D. Barrado, B. Stelzer, M. Morales-Calderón, A. Bayo, N. Huélamo, J. R. Stauffer, S. Hodgkin, F. Galindo, & E. Verdugo. XMM-Newton investigations of the Lambda Orionis star-forming region (XILO). I. The young cluster Collinder 69. *A&A*, 526:A21, 2011.
- M. Barsony. Class 0 Protostars. En D. P. Clemens & R. Barvainis, eds., *Clouds, Cores, and Low Mass Stars*, tomo 65 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pág. 197. 1994.
- E. E. Becklin & G. Neugebauer. Observations of an Infrared Star in the Orion Nebula. *ApJ*, 147:799, 1967.
- R. A. Benjamin, E. Churchwell, B. L. Babler, T. M. Bania, D. P. Clemens, M. Cohen, J. M. Dickey, R. Indebetouw, J. M. Jackson, H. A. Kobulnicky, A. Lazarian, A. P. Marston, J. S. Mathis, M. R. Meade, S. Seager, S. R. Stolovy, C. Watson, B. A. Whitney, M. J. Wolff, & M. G. Wolfire. GLIMPSE. I. An SIRTf Legacy Project to Map the Inner Galaxy. *PASP*, 115:953–964, 2003.
- C. Bertout. T Tauri stars - Wild as dust. *ARAA*, 27:351–395, 1989.
- E. Bica, C. M. Dutra, J. Soares, & B. Barbuy. New infrared star clusters in the Northern and Equatorial Milky Way with 2MASS. *A&A*, 404:223–232, 2003.
- A. Blaauw. OB Associations and the Fossil Record of Star Formation. En C. J. Lada & N. D. Kylafis, eds., *NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C*, tomo 342 de *NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C*, pág. 125. 1991.
- R. D. Blandford & D. G. Payne. Hydromagnetic flows from accretion discs and the production of radio jets. *MNRAS*, 199:883–903, 1982.
- F. Bonnarel, P. Fernique, D. Egret, F. Genova, M. Louys, F. Ochsenbein, M. Wenger, & J. G. Bartlett. The ALADIN interactive sky atlas. A reference tool for identification of astronomical sources. *A&AS*, 143:33–40, 2000.

- I. A. Bonnell, M. R. Bate, C. J. Clarke, & J. E. Pringle. Accretion and the stellar mass spectrum in small clusters. *MNRAS*, 285:201–208, 1997.
- R. M. Bonnet. Future ESA Projects. En J. C. Vial, K. Bocchialini, & P. Boumier, eds., *Space Solar Physics: Theoretical and Observational Issues in the Context of the SOHO Mission*, tomo 507 de *Lecture Notes in Physics*, Berlin Springer Verlag, pág. 281. 1998.
- J. Bouvier, R. Wichmann, K. Grankin, S. Allain, E. Covino, M. Fernandez, E. L. Martin, L. Terranegra, S. Catalano, & E. Marilli. COYOTES IV: the rotational periods of low-mass Post-T Tauri stars in Taurus. *A&A*, 318:495–505, 1997.
- B. P. Bowler, W. H. Waller, S. T. Megeath, B. M. Patten, & M. Tamura. An Infrared Census of Star Formation in the Horsehead Nebula. *AJ*, 137:3685–3699, 2009.
- H. V. Bradt & R. L. Kelley. X-rays from the Orion Trapezium. *ApJL*, 228:L33–L36, 1979.
- C. Briceño. *The Dispersed Young Population in Orion*, pág. 838. 2008.
- C. Briceño, T. Preibisch, W. H. Sherry, E. A. Mamajek, R. D. Mathieu, F. M. Walter, & H. Zinnecker. The Low-Mass Populations in OB Associations. *Protostars and Planets V*, págs. 345–360, 2007.
- A. G. A. Brown, E. J. de Geus, & P. T. de Zeeuw. The Orion OB1 association. 1: Stellar content. *A&A*, 289:101–120, 1994.
- J. A. Caballero & E. Solano. Young stars and brown dwarfs surrounding Alnilam ( $\epsilon$  Orionis) and Mintaka ( $\delta$  Orionis). *A&A*, 485:931–949, 2008.
- N. Calvet & E. Gullbring. The Structure and Emission of the Accretion Shock in T Tauri Stars. *ApJ*, 509:802–818, 1998.
- M. Cameron, J. W. V. Storey, V. Rotaciuc, R. Genzel, L. Verstraete, S. Drapatz, R. Siebenmorgen, & T. J. Lee. Subarcsecond Mid-Infrared Imaging of Warm Dust in the Narrow-Line Region of NGC 1068. *ApJ*, 419:136, 1993. doi:10.1086/173467.
- M. Caramazza, E. Flaccomio, G. Micela, F. Reale, S. J. Wolk, & E. D. Feigelson. X-ray flares in Orion low-mass stars. *A&A*, 471:645–654, 2007.

- S. Casanova, T. Montmerle, E. D. Feigelson, & P. Andre. ROSAT X-ray sources embedded in the rho Ophiuchi cloud core. *ApJ*, 439:752–770, 1995.
- W. Cash. Parameter estimation in astronomy through application of the likelihood ratio. *ApJ*, 228:939–947, 1979.
- P. Charbonneau, M. Dikpati, & P. A. Gilman. Stability of the Solar Latitudinal Differential Rotation Inferred from Helioseismic Data. *ApJ*, 526:523–537, 1999.
- L. Cieza, D. L. Padgett, K. R. Stapelfeldt, J.-C. Augereau, P. Harvey, N. J. Evans, II, B. Merín, D. Koerner, A. Sargent, E. F. van Dishoeck, L. Allen, G. Blake, T. Brooke, N. Chapman, T. Huard, S.-P. Lai, L. Mundy, P. C. Myers, W. Spiesman, & Z. Wahhaj. The Spitzer c2d Survey of Weak-Line T Tauri Stars. II. New Constraints on the Timescale for Planet Building. *ApJ*, 667:308–328, 2007.
- N. B. Crosby, M. J. Aschwanden, & B. R. Dennis. Frequency distributions and correlations of solar X-ray flare parameters. *SoPh*, 143:275–299, 1993. doi: 10.1007/BF00646488.
- R. M. Cutri & et al. VizieR Online Data Catalog: WISE All-Sky Data Release (Cutri+2012). *VizieR Online Data Catalog*, 2311:0, 2012.
- R. Della Ceca, T. Maccacaro, A. Caccianiga, P. Severgnini, V. Braito, X. Barcons, F. J. Carrera, M. G. Watson, J. A. Tedds, H. Brunner, I. Lehmann, M. J. Page, G. Lamer, & A. Schwobe. Exploring the X-ray sky with the XMM-Newton bright serendipitous survey. *A&A*, 428:383–399, 2004.
- A. J. F. den Boggende, R. Mewe, E. H. B. M. Gronenschild, J. Heise, & J. E. Grindlay. ANS - X-rays from the direction of the Orion Nebula /M 42/. *A&A*, 62:1–7, 1978.
- J. W. den Herder, A. C. Brinkman, S. M. Kahn, G. Branduardi-Raymont, K. Thomsen, H. Aarts, M. Audard, J. V. Bixler, A. J. den Boggende, J. Cottam, T. Decker, L. Dubbeldam, C. Erd, H. Goulooze, M. Güdel, P. Guttridge, C. J. Hailey, K. A. Janabi, J. S. Kaastra, P. A. J. de Korte, B. J. van Leeuwen, C. Mauche, A. J. McCalden, R. Mewe, A. Naber, F. B. Paerels, J. R. Peterson, A. P. Rasmussen, K. Rees, I. Sakelliou, M. Sako, J. Spodek, M. Stern, T. Tamura, J. Tandy, C. P.

- de Vries, S. Welch, & A. Zehnder. The Reflection Grating Spectrometer on board XMM-Newton. *A&A*, 365:L7–L17, 2001.
- DENIS Consortium. VizieR Online Data Catalog: The DENIS database (DENIS Consortium, 2005). *VizieR Online Data Catalog*, 2263:0, 2005.
- D. Di Cicco & S. Walker. Nasa Imagen. *NAsa*.
- T. Droege, F., M. Richmond, W., & M. Sallman. VizieR Online Data Catalog: TASS Mark IV patches photometric catalog, version 2 (Droege+, 2007). *VizieR Online Data Catalog*, 2271:0, 2007.
- T. F. Droege, M. W. Richmond, & M. Sallman. VizieR Online Data Catalog: TASS Mark IV Photometric Survey of Northern Sky (Droege+, 2006). *VizieR Online Data Catalog*, 2271:0, 2006.
- C. M. Dutra, E. Bica, J. Soares, & B. Barbuy. New infrared star clusters in the southern Milky Way with 2MASS. *A&A*, 400:533–539, 2003.
- S. Edwards, S. E. Strom, P. Hartigan, K. M. Strom, L. A. Hillenbrand, W. Herbst, J. Attridge, K. M. Merrill, R. Probst, & I. Gatley. Angular momentum regulation in low-mass young stars surrounded by accretion disks. *AJ*, 106:372–382, 1993.
- J. A. Eisner & J. M. Carpenter. Distribution of Circumstellar Disk Masses in the Young Cluster NGC 2024. *ApJ*, 598:1341–1349, 2003.
- N. J. Evans, II, L. E. Allen, G. A. Blake, A. C. A. Boogert, T. Bourke, P. M. Harvey, J. E. Kessler, D. W. Koerner, C. W. Lee, L. G. Mundy, P. C. Myers, D. L. Padgett, K. Pontoppidan, A. I. Sargent, K. R. Stapelfeldt, E. F. van Dishoeck, C. H. Young, & K. E. Young. From Molecular Cores to Planet-forming Disks: An SIRTf Legacy Program. *PASP*, 115:965–980, 2003.
- M. Fang, J. S. Kim, R. van Boekel, A. Sicilia-Aguilar, T. Henning, & K. Flaherty. Young Stellar Objects in Lynds 1641: Disks, Accretion, and Star Formation History. *ApJS*, 207:5, 2013.
- F. Favata, E. Flaccomio, F. Reale, G. Micela, S. Sciortino, H. Shang, K. G. Stassun, & E. D. Feigelson. Bright X-Ray Flares in Orion Young Stars from COUP: Evidence for Star-Disk Magnetic Fields? *ApJS*, 160:469–502, 2005.

- F. Favata & G. Micela. Stellar Coronal Astronomy. *SSR*, 108:577–708, 2003.
- E. Feigelson, L. Townsley, M. Güdel, & K. Stassun. X-Ray Properties of Young Stars and Stellar Clusters. *Protostars and Planets V*, págs. 313–328, 2007.
- E. D. Feigelson, P. Broos, J. A. Gaffney, III, G. Garmire, L. A. Hillenbrand, S. H. Pravdo, L. Townsley, & Y. Tsuboi. X-Ray-emitting Young Stars in the Orion Nebula. *ApJ*, 2002.
- E. D. Feigelson, S. Casanova, T. Montmerle, & J. Guibert. ROSAT X-Ray Study of the Chamaeleon I Dark Cloud. I. The Stellar Population. *ApJ*, 416:623, 1993. doi:10.1086/173264.
- E. D. Feigelson & W. M. Decampli. Observations of X-ray emission from T Tauri stars. *ApJL*, 243:L89–L93, 1981.
- E. D. Feigelson, K. V. Getman, L. K. Townsley, P. S. Broos, M. S. Povich, G. P. Garmire, R. R. King, T. Montmerle, T. Preibisch, N. Smith, K. G. Stassun, J. Wang, S. Wolk, & H. Zinnecker. X-ray Star Clusters in the Carina Complex. *ApJs*, 194:9, 2011.
- E. D. Feigelson, J. M. Jackson, R. D. Mathieu, P. C. Myers, & F. M. Walter. An X-ray survey for pre-main-sequence stars in the Taurus-Auriga and Perseus molecular cloud complexes. *AJ*, 94:1251–1259, 1987.
- E. D. Feigelson & T. Montmerle. High-Energy Processes in Young Stellar Objects. *ARAA*, 37:363–408, 1999.
- E. M. Feigelson, B. A. Fomin, I. A. Gorchakova, E. V. Rozanov, Y. M. Timofeyev, A. N. Trotsenko, & M. D. Schwarzkopf. Calculation of longwave radiation fluxes in atmospheres. *JGR*, 96:8985–9001, 1991.
- J. Ferreira & G. Pelletier. Magnetized accretion-ejection structures. III. Stellar and extragalactic jets as weakly dissipative disk outflows. *A&A*, 295:807, 1995.
- G. B. Field & R. D. Rogers. Radiation from magnetized accretion disks in active galactic nuclei. *ApJ*, 403:94–109, 1993.

- E. Flaccomio, G. Micela, & S. Sciortino. Observational clues for a role of circumstellar accretion in PMS X-ray activity. *A&A*, 397:611–621, 2003.
- E. Flaccomio, G. Micela, S. Sciortino, E. D. Feigelson, W. Herbst, F. Favata, F. R. Harnden, Jr., & S. D. Vrtilik. Rotational Modulation of X-Ray Emission in Orion Nebula Young Stars. *ApJS*, 160:450–468, 2005.
- E. Flaccomio, B. Stelzer, S. Sciortino, G. Micela, I. Pillitteri, & L. Testi. Results from DROXO. II. [Ne II] and X-ray emission from  $\rho$  Ophiuchi young stellar objects. *A&A*, 505:695–706, 2009.
- K. M. Flaherty & J. Muzerolle. Evidence for Early Circumstellar Disk Evolution in NGC 2068/71. *AJ*, 135:966–983, 2008.
- K. M. Flaherty, J. L. Pipher, S. T. Megeath, E. M. Winston, R. A. Gutermuth, J. Muzerolle, L. E. Allen, & G. G. Fazio. Infrared Extinction toward Nearby Star-forming Regions. *ApJ*, 663:1069–1082, 2007.
- R. Genzel & J. Stutzki. The Orion Molecular Cloud and star-forming region. *ARAA*, 27:41–85, 1989.
- K. V. Getman, E. D. Feigelson, N. Grosso, M. J. McCaughrean, G. Micela, P. Broos, G. Garmire, & L. Townsley. Membership of the Orion Nebula Population from the Chandra Orion Ultradeep Project. *ApJs*, 160:353–378, 2005.
- K. V. Getman, E. D. Feigelson, W. A. Lawson, P. S. Broos, & G. P. Garmire. The Stellar Population and Origin of the Mysterious High-Latitude Star-forming Cloud CG 12. *ApJ*, 2008a.
- K. V. Getman, E. D. Feigelson, G. Micela, M. M. Jardine, S. G. Gregory, & G. P. Garmire. X-Ray Flares in Orion Young Stars. II. Flares, Magnetospheres, and Protoplanetary Disks. *ApJ*, 2008b.
- R. Giacconi, S. Murray, H. Gursky, E. Kellogg, E. Schreier, & H. Tananbaum. The Uhuru catalog of X-ray sources. *ApJ*, 178:281–308, 1972.
- G. Giardino, F. Favata, I. Pillitteri, E. Flaccomio, G. Micela, & S. Sciortino. Results from Droxo. I. The variability of fluorescent Fe 6.4 keV emission in the young star

- Elias 29. High-energy electrons in the star's accretion tubes? *A&A*, 475:891–900, 2007.
- A. G. Gibb. *Star Formation in NGC 2068, NGC 2071, and Northern L1630*, pág. 693. 2008.
- D. R. Gies. The kinematical and binary properties of association and field O stars. *ApJS*, 64:545–563, 1987.
- P. A. Gilman. Dynamos of the sun and stars, and associated convection zone dynamics. En J. O. Stenflo, ed., *Solar and Stellar Magnetic Fields: Origins and Coronal Effects*, tomo 102 de *IAU Symposium*, págs. 247–269. 1983.
- P. Gorenstein. Empirical relation between interstellar X-ray absorption and optical extinction. *A&A*, 198:95–101, 1975.
- T. P. Greene, B. A. Wilking, P. Andre, E. T. Young, & C. J. Lada. Further mid-infrared study of the rho Ophiuchi cloud young stellar population: Luminosities and masses of pre-main-sequence stars. *ApJ*, 434:614–626, 1994.
- N. Grosso. ROSAT-HRI detection of the Class I protostar YLW16A in the  $\rho$  Ophiuchi dark cloud. *A&A*, 370:L22–L25, 2001.
- N. Grosso, T. Montmerle, E. D. Feigelson, P. Andre, S. Casanova, & J. Gregorio-Hetem. An X-ray superflare are from an infrared protostar. *NAT*, 387:56–58, 1997.
- M . Güdel. X-ray astronomy of stellar coronae. *AARV*, 12:71–237, 2004.
- M . Güdel, M. Audard, V. L. Kashyap, J. J. Drake, & E. F. Guinan. Are Coronae of Magnetically Active Stars Heated by Flares? II. Extreme Ultraviolet and X-Ray Flare Statistics and the Differential Emission Measure Distribution. *ApJ*, 582:423–442, 2003.
- M . Güdel, D. L. Padgett, & C. Dougados. The Taurus Molecular Cloud: Multiwavelength Surveys with XMM-Newton, the Spitzer Space Telescope, and the Canada-France-Hawaii Telescope. *Protostars and Planets V*, págs. 329–344, 2007.
- M . Güdel & A. Telleschi. The X-ray soft excess in classical T Tauri stars. *A&A*, 474:L25–L28, 2007.

- P. Guillout, M. F. Sterzik, J. H. M. M. Schmitt, C. Motch, D. Egret, W. Voges, & R. Neuhaeuser. The large-scale distribution of X-ray active stars. *A&A*, 334:540–544, 1998a.
- P. Guillout, M. F. Sterzik, J. H. M. M. Schmitt, C. Motch, & R. Neuhaeuser. Discovery of a late-type stellar population associated with the Gould Belt. *A&A*, 1998b.
- H. M. Günther, J. H. M. M. Schmitt, J. Robrade, & C. Liefke. X-ray emission from classical T Tauri stars: accretion shocks and coronae? *A&A*, 466:1111–1121, 2007.
- R. A. Gutermuth, S. T. Megeath, J. L. Pipher, J. P. Williams, L. E. Allen, P. C. Myers, & S. N. Raines. The Initial Configuration of Young Stellar Clusters: A K-Band Number Counts Analysis of the Surface Density of Stars. *ApJ*, 632:397–420, 2005.
- R. A. Gutermuth, P. C. Myers, S. T. Megeath, L. E. Allen, J. L. Pipher, J. Muzerolle, A. Porras, E. Winston, & G. Fazio. Spitzer Observations of NGC 1333: A Study of Structure and Evolution in a Nearby Embedded Cluster. *ApJ*, 674:336–356, 2008.
- A. Hacar, M. Tafalla, J. Kauffmann, & A. Kovács. Cores, filaments, and bundles: hierarchical core formation in the L1495/B213 Taurus region. *A&A*, 554:A55, 2013.
- K. E. Haisch, Jr., E. A. Lada, & C. J. Lada. A Near-Infrared L-Band Survey of the Young Embedded Cluster NGC 2024. *AJ*, 120:1396–1409, 2000.
- C. Hayashi. Evolution of Protostars. *ARAA*, 4:171, 1966.
- M. R. Hayashi, K. Shibata, & R. Matsumoto. X-Ray Flares and Mass Outflows Driven by Magnetic Interaction between a Protostar and Its Surrounding Disk. *ApJL*, 468:L37, 1996.
- G. H. Herbig. Radial velocities and spectral types of T Tauri stars. *ApJ*, 214:747–758, 1977.
- G. H. Herbig & K. R. Bell. *Third Catalog of Emission-Line Stars of the Orion Population : 3 : 1988*. 1988.
- L. A. Hillenbrand. On the Stellar Population and Star-Forming History of the Orion Nebula Cluster. *AJ*, 113:1733–1768, 1997.

- L. A. Hillenbrand, P. Massey, S. E. Strom, & K. M. Merrill. NGC 6611: A cluster caught in the act. *AJ*, 106:1906–1946, 1993.
- W. S. Holland, E. I. Robson, W. K. Gear, C. R. Cunningham, J. F. Lightfoot, T. Jenness, R. J. Ivison, J. A. Stevens, P. A. R. Ade, M. J. Griffin, W. D. Duncan, J. A. Murphy, & D. A. Naylor. SCUBA: a common-user submillimetre camera operating on the James Clerk Maxwell Telescope. *MNRAS*, 303:659–672, 1999.
- H. S. Hudson. Solar flares, microflares, nanoflares, and coronal heating. *solphys*, 133:357–369, 1991.
- K. Imanishi, M. Tsujimoto, & K. Koyama. X-Ray Detection from Bona Fide and Candidate Brown Dwarfs in the  $\rho$  Ophiuchi Cloud with Chandra. *ApJ*, 2001.
- A. Isella. *Interferometric observation of pre-main sequence disks*. Tesis Doctoral, Università degli Studi di Milano, 2005.
- F. Jansen, D. Lumb, B. Altieri, J. Clavel, M. Ehle, C. Erd, C. Gabriel, M. Guainazzi, P. Gondoin, R. Much, R. Munoz, M. Santos, N. ScharTEL, D. Texier, & G. Vacanti. XMM-Newton observatory. I. The spacecraft and operations. *A&A*, 365:L1–L6, 2001.
- J. K. Jørgensen, P. M. Harvey, N. J. Evans, II, T. L. Huard, L. E. Allen, A. Porras, G. A. Blake, T. L. Bourke, N. Chapman, L. Cieza, D. W. Koerner, S.-P. Lai, L. G. Mundy, P. C. Myers, D. L. Padgett, L. Rebull, A. I. Sargent, W. Spiesman, K. R. Stapelfeldt, E. F. van Dishoeck, Z. Wahhaj, & K. E. Young. The Spitzer c2d Survey of Large, Nearby, Interstellar Clouds. III. Perseus Observed with IRAC. *ApJ*, 645:1246–1263, 2006.
- J. S. Kaastra. An X-Ray Spectral Code for Optically Thin Plasmas. 1992.
- F. D. Kahn. Cocoons around early-type stars. *A&A*, 37:149–162, 1974.
- Y. Kamata, K. Koyama, Y. Tsuboi, & S. Yamauchi. X-Ray Analysis of the rho Ophiuchi Dark Cloud with ASCA: Source Identification, X-Ray Spectra, and Temporal Variability. *PASJ*, 49, 1997.
- J. H. Kastner, M. Richmond, N. Grosso, D. A. Weintraub, T. Simon, A. Henden, K. Hamaguchi, A. Frank, & H. Ozawa. V1647 Orionis: The X-Ray Evolution of a Pre-Main-Sequence Accretion Burst. *ApJL*, 648:L43–L46, 2006.

- S. J. Kenyon & L. Hartmann. Pre-Main-Sequence Evolution in the Taurus-Auriga Molecular Cloud. *ApJS*, 101:117, 1995.
- A. Koenigl. Disk accretion onto magnetic T Tauri stars. *ApJL*, 370:L39–L43, 1991. doi:10.1086/185972.
- C. M. Koepferl, T. P. Robitaille, E. F. E. Morales, & K. G. Johnston. Main-sequence Stars Masquerading as Young Stellar Objects in the Central Molecular Zone. *ApJ*, 799:53, 2015.
- S. Kouzuma & H. Yamaoka. Properties of near-infrared-selected AGN candidates with 2MASS/ROSAT catalogues. *MNRAS*, 405:2062–2068, 2010.
- K. Koyama, K. Hamaguchi, S. Ueno, N. Kobayashi, & E. D. Feigelson. Discovery of Hard X-Rays from a Cluster of Protostars. *PASJ*, 48:L87–L92, 1996.
- S. Krucker & A. O. Benz. Energy Distribution of Heating Processes in the Quiet Solar Corona. *ApJL*, 501:L213–L216, 1998.
- W. H.-M. Ku & G. A. Chanan. Einstein observations of the Orion Nebula. *ApJL*, 234:L59–L63, 1979.
- T. Kudoh & K. Shibata. Magnetically Driven Jets from Accretion Disks. II. Nonsteady Solutions and Comparison with Steady Solutions. *ApJ*, 476:632–648, 1997.
- M. Kun, Z. Balog, N. Mizuno, A. Kawamura, A. Gáspár, S. J. Kenyon, & Y. Fukui. Lynds 1622: a nearby star-forming cloud projected on Orion B? *MNRAS*, 391:84–94, 2008.
- C. J. Lada. Star formation - From OB associations to protostars. 115:1–17, 1987.
- C. J. Lada & B. A. Wilking. The nature of the embedded population in the Rho Ophiuchi dark cloud - Mid-infrared observations. *ApJ*, 287:610–621, 1984.
- E. A. Lada, J. Bally, & A. A. Stark. An unbiased survey for dense cores in the LYNDs 1630 molecular cloud. *ApJ*, 1991a.
- E. A. Lada, D. L. Depoy, N. J. Evans, II, & I. Gatley. A 2.2 micron survey in the L1630 molecular cloud. *ApJ*, 1991b.

- S. A. Lamzin, G. S. Bisnovaty-Kogan, L. Errico, F. Giovannelli, N. A. Katysheva, C. Rossi, & A. A. Vittone. Multifrequency monitoring of RU Lupi. II. The model. *A&A*, 306:877, 1996.
- R. Launhardt, P. G. Mezger, C. G. T. Haslam, E. Kreysa, R. Lemke, A. Sievers, & R. Zylka. Dust emission from star-forming regions. IV. Dense cores in the Orion B molecular cloud. *A&A*, 312:569–584, 1996.
- E. H. Levy & S. Araki. Magnetic reconnection flares in the protoplanetary nebula and the possible origin of meteorite chondrules. *ICARUS*, 81:74–91, 1989.
- Z.-Y. Li & F. H. Shu. Interaction of Wide-Angle MHD Winds with Flared Disks. *ApJ*, 468:261, 1996.
- D. A. Liedahl, A. L. Osterheld, & W. H. Goldstein. New calculations of Fe L-shell X-ray spectra in high-temperature plasmas. *ApJL*, 438:L115–L118, 1995.
- R. P. Lin, R. A. Schwartz, S. R. Kane, R. M. Pelling, & K. C. Hurley. Solar hard X-ray microflares. *ApJ*, 283:421–425, 1984.
- M. A. López-García, J. López-Santiago, J. F. Albacete-Colombo, P. G. Pérez-González, & E. de Castro. A comprehensive study of NGC 2023 with XMM-Newton and Spitzer. *MNRAS*, 429:775–791, 2013.
- J. López-Santiago, J. F. Albacete Colombo, & M. A. López-García. Deep XMM-Newton observation of the  $\eta$  Chamaleontis cluster. *A&A*, 524:A97, 2010.
- J. López-Santiago & J. A. Caballero. New deep XMM-Newton observations to the west of the  $\sigma$  Orionis cluster. *A&A*, 491:961–977, 2008.
- J. López-Santiago, I. Crespo-Chacón, E. Flaccomio, S. Sciortino, G. Micela, & F. Reale. Star-disk interaction in classical T Tauri stars revealed using wavelet analysis. *A&A*, 590:A7, 2016. doi:10.1051/0004-6361/201527499.
- L. B. Lucy & R. L. White. X-ray emission from the winds of hot stars. *ApJ*, 241:300–305, 1980.
- B. T. Lynds. Catalogue of Dark Nebulae. *ApJS*, 7:1, 1962.

- J. Mackey, S. Mohamed, H. R. Neilson, N. Langer, & D. M.-A. Meyer. Double Bow Shocks around Young, Runaway Red Supergiants: Application to Betelgeuse. *ApJL*, 751:L10, 2012.
- J. Maiz-Apellaniz, N. R. Walborn, H. A. Galue, & L. H. Wei. VizieR Online Data Catalog: Galactic O star catalog (Maiz-apellaniz+, 2004). *VizieR Online Data Catalog*, 215:10103, 2004.
- D. F. Malin, K. Ogura, & J. R. Walsh. Herbig Haro objects in the vicinity of NGC 2023. *MNRAS*, 227:361–372, 1987.
- K. O. Mason, A. Breeveld, R. Much, M. Carter, F. A. Cordova, M. S. Cropper, J. Fordham, H. Huckle, C. Ho, H. Kawakami, J. Kennea, T. Kennedy, J. Mittaz, D. Pandel, W. C. Priedhorsky, T. Sasseen, R. Shirey, P. Smith, & J.-M. Vreux. The XMM-Newton optical/UV monitor telescope. *A&A*, 365:L36–L44, 2001.
- C. F. McKee & J. C. Tan. Massive star formation in 100,000 years from turbulent and pressurized molecular clouds. *Nature*, 416:59–61, 2002.
- S. T. Megeath, K. M. Flaherty, J. Hora, L. E. Allen, G. G. Fazio, L. Hartmann, P. C. Myers, J. Muzerolle, J. L. Pipher, N. Siegler, J. R. Stauffer, & E. Young. A Spitzer/IRAC survey of the Orion Molecular Clouds. En R. Cesaroni, M. Felli, E. Churchwell, & M. Walmsley, eds., *Massive Star Birth: A Crossroads of Astrophysics*, tomo 227 de *IAU Symposium*, págs. 383–388. 2005.
- S. T. Megeath, R. Gutermuth, J. Muzerolle, E. Kryukova, K. Flaherty, J. L. Hora, L. E. Allen, L. Hartmann, P. C. Myers, J. L. Pipher, J. Stauffer, E. T. Young, & G. G. Fazio. The Spitzer Space Telescope Survey of the Orion A and B Molecular Clouds. I. A Census of Dusty Young Stellar Objects and a Study of Their Mid-infrared Variability. *AJ*, 144:192, 2012.
- S. T. Megeath, R. Gutermuth, J. Muzerolle, E. Kryukova, J. L. Hora, L. E. Allen, K. Flaherty, L. Hartmann, P. C. Myers, J. L. Pipher, J. Stauffer, E. T. Young, & G. G. Fazio. The Spitzer Space Telescope Survey of the Orion A and B Molecular Clouds. II. The Spatial Distribution and Demographics of Dusty Young Stellar Objects. *AJ*, 151:5, 2016.

- R. Mewe, J. R. Lemen, G. Peres, J. Schrijver, & S. Serio. Solar X-ray spectrum simulations for flaring loop models with emphasis on transient ionization effects during the impulsive phase. *A&A*, 152:229–236, 1985.
- R. Mewe, J. R. Lemen, & G. H. J. van den Oord. Calculated X-radiation from optically thin plasmas. VI - Improved calculations for continuum emission and approximation formulae for nonrelativistic average Gaunt factors. *A&As*, 65:511–536, 1986.
- M. R. Meyer, K. Flaherty, J. L. Levine, E. A. Lada, B. P. Bowler, & R. Kandori. *Star Formation in NGC 2023, NGC 2024, and Southern L1630*, pág. 662. 2008.
- T. Montmerle. Massive Stars and Giant HII Regions: the High-Energy Picture (review). En K. A. van der Hucht & B. Hidayat, eds., *Wolf-Rayet Stars and Interrelations with Other Massive Stars in Galaxies*, tomo 143 de *IAU Symposium*, pág. 397. 1991.
- T. Montmerle, L. Koch-Miramond, E. Falgarone, & J. E. Grindlay. Einstein observations of the Rho Ophiuchi dark cloud - an X-ray Christmas tree. *ApJ*, 269:182–201, 1983. doi:10.1086/161029.
- B. Mookerjea, G. Sandell, T. H. Jarrett, & J. P. McMullin. Young stars and protostellar cores near NGC 2023. *A&A*, 507:1485–1502, 2009.
- R. Morrison & D. McCammon. Interstellar photoelectric absorption cross sections, 0.03-10 keV. *ApJ*, 270:119–122, 1983.
- R. Neuhaeuser & T. Preibisch. ROSAT detection of Class I protostars in the CrA Coronet. *A&A*, 1997.
- R. Neuhaeuser, M. F. Sterzik, J. H. M. M. Schmitt, R. Wichmann, & J. Krautter. ROSAT survey observation of T Tauri stars in Taurus. *AAP*, 297:391, 1995.
- R. Neuhaeuser, G. Torres, M. F. Sterzik, & S. Randich. Optical high-resolution spectroscopy of ROSAT detected late-type stars south of the Taurus molecular clouds. *A&A*, 1997.
- D. Nutter & D. Ward-Thompson. A SCUBA survey of Orion - the low-mass end of the core mass function. *MNRAS*, 374:1413–1420, 2007.

- S. Orlando, G. G. Sacco, C. Argiroffi, F. Reale, G. Peres, & A. Maggio. X-ray emitting MHD accretion shocks in classical T Tauri stars. Case for moderate to high plasma- $\beta$  values. *A&A*, 510:A71, 2010. doi:10.1051/0004-6361/200913565.
- S. P. Owocki, J. I. Castor, & G. B. Rybicki. Time-dependent models of radiatively driven stellar winds. I - Nonlinear evolution of instabilities for a pure absorption model. *ApJ*, 335:914–930, 1988.
- H. Ozawa, F. Nagase, Y. Ueda, T. Dotani, & M. Ishida. Detection of Hard X-Rays from a Class I Protostar in the HH 24-26 Region in the Orion Molecular Cloud. *ApJL*, 523:L81–L84, 1999.
- G. Paatz & M. Camenzind. Winds and accretion flows around T Tauri stars. *A&A*, 308:77–90, 1996.
- D. L. Padgett, W. Brandner, K. R. Stapelfeldt, S. E. Strom, S. Terebey, & D. Koerner. HUBBLE SPACE TELESCOPE/NICMOS Imaging of Disks and Envelopes around Very Young Stars. *AJ*, 117:1490–1504, 1999.
- C. E. Parnell & P. E. Jupp. Statistical Analysis of the Energy Distribution of Nanoflares in the Quiet Sun. *ApJ*, 529:554–569, 2000.
- P. G. Pérez-González, G. H. Rieke, V. Villar, G. Barro, M. Blaylock, E. Egami, J. Gallego, A. Gil de Paz, S. Pascual, J. Zamorano, & J. L. Donley. The Stellar Mass Assembly of Galaxies from  $z = 0$  to  $z = 4$ : Analysis of a Sample Selected in the Rest-Frame Near-Infrared with Spitzer. *ApJ*, 675:234–261, 2008.
- I. Pillitteri, S. Sciortino, E. Flaccomio, B. Stelzer, G. Micela, F. Damiani, L. Testi, T. Montmerle, N. Grosso, F. Favata, & G. Giardino. Results from DROXO. III. Observation, source list, and X-ray properties of sources detected in the “Deep Rho Ophiuchi XMM-Newton Observation”. *A&A*, 519:A34, 2010.
- I. Pillitteri, S. J. Wolk, & S. T. Megeath. A Star-forming Ring around  $\kappa$  Ori 250 pc from the Sun. *ApJL*, 820:L28, 2016.
- I. Pillitteri, S. J. Wolk, S. T. Megeath, L. Allen, J. Bally, M. Gagne, R. A. Gutermuth, L. Hartman, G. Micela, P. Myers, J. M. Oliveira, S. Sciortino, F. Walter, L. Rebull,

- & J. Stauffer. An X-Ray Survey of the Young Stellar Population of the Lynds 1641 and Iota Orionis Regions. *ApJ*, 768:99, 2013.
- P. Predehl & J. H. M. M. Schmitt. X-raying the interstellar medium: ROSAT observations of dust scattering halos. *A&A*, 293:889–905, 1995.
- T. Preibisch. Super-strong X-ray emission from a deeply embedded young stellar object in the Serpens cloud core. *A&A*, 338:L25–L28, 1998.
- T. Preibisch, Y.-C. Kim, F. Favata, E. D. Feigelson, E. Flaccomio, K. Getman, G. Micela, S. Sciortino, K. Stassun, B. Stelzer, & H. Zinnecker. The Origin of T Tauri X-Ray Emission: New Insights from the Chandra Orion Ultradeep Project. *ApJS*, 160:401–422, 2005.
- T. Preibisch, H. Zinnecker, & G. H. Herbig. ROSAT X-ray observations of the young cluster IC 348. *A&A*, 310:456–473, 1996.
- D. A. Principe, J. H. Kastner, N. Grosso, K. Hamaguchi, M. Richmond, W. K. Teets, & D. A. Weintraub. Star Formation in Orion’s L1630 Cloud: An Infrared and Multi-epoch X-Ray Study. *ApJS*, 213:4, 2014.
- B. Reipurth & J. Bally. Herbig-Haro Flows: Probes of Early Stellar Evolution. *ARAAS*, 39:403–455, 2001.
- B. Reipurth, L. F. Rodríguez, G. Anglada, & J. Bally. Radio Continuum Jets from Protostellar Objects. *AJ*, 127:1736–1746, 2004.
- G. H. Rieke & M. J. Lebofsky. The interstellar extinction law from 1 to 13 microns. *ApJ*, 288:618–621, 1985.
- M. Robberto, J. Song, G. Mora Carrillo, S. V. W. Beckwith, R. B. Makidon, & N. Panagia. Hubble Space Telescope WFPC2 Study of the Trapezium Cluster: The Influence of Circumstellar Disks on the Initial Mass Function. *ApJ*, 606:952–968, 2004.
- T. P. Robitaille. SED Modeling of Young Massive Stars. En H. Beuther, H. Linz, & T. Henning, eds., *Massive Star Formation: Observations Confront Theory*, tomo 387 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pág. 290. 2008.

- T. P. Robitaille, B. A. Whitney, R. Indebetouw, & K. Wood. Interpreting Spectral Energy Distributions from Young Stellar Objects. II. Fitting Observed SEDs Using a Large Grid of Precomputed Models. *ApJS*, 169:328–352, 2007.
- J. Robrade & J. H. M. M. Schmitt. A deep XMM-Newton X-ray observation of the Chamaeleon I dark cloud. *A&A*, 461:669–678, 2007.
- M. M. Romanova, G. V. Ustyugova, A. V. Koldoba, V. M. Chechetkin, & R. V. E. Lovelace. Dynamics of Magnetic Loops in the Coronae of Accretion Disks. *ApJ*, 500:703–713, 1998. doi:10.1086/305760.
- G. G. Sacco, C. Argiroffi, S. Orlando, A. Maggio, G. Peres, & F. Reale. X-ray emission from dense plasma in classical T Tauri stars: hydrodynamic modeling of the accretion shock. *A&A*, 491:L17–L20, 2008.
- P. N. Safier. A Critique of Current Magnetic-Accretion Models for Classical T Tauri Stars. *ApJ*, 494:336–341, 1998.
- E. E. Salpeter. The Luminosity Function and Stellar Evolution. *ApJ*, 121:161, 1955.
- G. Sandell, L. W. Avery, F. Baas, I. Coulson, W. R. F. Dent, P. Friberg, W. P. K. Gear, J. Greaves, W. Holland, T. Jenness, P. Jewell, J. Lightfoot, H. E. Matthews, G. Moriarty-Schieven, R. Prestage, E. I. Robson, J. Stevens, R. P. J. Tilanus, & G. D. Watt. A Jet-driven, Extreme High-Velocity Outflow Powered by a Cold, Low-Luminosity Protostar near NGC 2023. *ApJ*, 519:236–243, 1999.
- W. Schmitt, T. Henning, & R. Mucha. Dust evolution in protoplanetary accretion disks. *A&A*, 325:569–584, 1997.
- H. Shang, F. H. Shu, & A. E. Glassgold. Synthetic Images and Long-Slit Spectra of Protostellar Jets. *ApJL*, 493:L91–L94, 1998.
- F. Shu, J. Najita, E. Ostriker, F. Wilkin, S. Ruden, & S. Lizano. Magnetocentrifugally driven flows from young stars and disks. 1: A generalized model. *ApJ*, 429:781–796, 1994.
- A. Sicilia-Aguilar, L. Hartmann, N. Calvet, S. T. Megeath, J. Muzerolle, L. Allen, P. Álessio, B. Merín, J. Stauffer, E. Young, & C. Lada. Disk Evolution in Cep OB2: Results from the Spitzer Space Telescope. *ApJ*, 638:897–919, 2006.

- L. Siess, E. Dufour, & M. Forestini. An internet server for pre-main sequence tracks of low- and intermediate-mass stars. *A&A*, 358:593–599, 2000.
- L. Siess, M. Forestini, & C. Bertout. Physics of accretion onto young stars. III. Comparisons with observations. *A&A*, 342:480–491, 1999.
- S. Skinner, M. Gagné, & E. Belzer. A Deep Chandra X-Ray Observation of the Embedded Young Cluster in NGC 2024. *ApJ*, 598:375–391, 2003.
- S. L. Skinner, A. E. Simmons, M. Audard, & M. Güdel. Hard X-Rays and Fluorescent Iron Emission from the Embedded Infrared Cluster in NGC 2071. *ApJ*, 658:1144–1151, 2007.
- S. L. Skinner, K. R. Sokal, S. T. Megeath, M. Güdel, M. Audard, K. M. Flaherty, M. R. Meyer, & A. Damineli. Chandra and Spitzer Imaging of the Infrared Cluster in NGC 2071. *ApJ*, 701:710–724, 2009.
- S. L. Skinner & F. M. Walter. ASCA Observations of the T Tauri Star SU Aurigae and the Surrounding L1517 Dark Cloud. *ApJ*, 509:761–767, 1998.
- M. F. Skrutskie, R. M. Cutri, R. Stiening, M. D. Weinberg, S. Schneider, J. M. Carpenter, C. Beichman, R. Capps, T. Chester, J. Elias, J. Huchra, J. Liebert, C. Lonsdale, D. G. Monet, S. Price, P. Seitzer, T. Jarrett, J. D. Kirkpatrick, J. E. Gizis, E. Howard, T. Evans, J. Fowler, L. Fullmer, R. Hurt, R. Light, E. L. Kopan, K. A. Marsh, H. L. McCallon, R. Tam, S. Van Dyk, & S. Wheelock. The Two Micron All Sky Survey (2MASS). *AJ*, 131:1163–1183, 2006.
- R. K. Smith, N. S. Brickhouse, D. A. Liedahl, & J. C. Raymond. Collisional Plasma Models with APEC/APED: Emission-Line Diagnostics of Hydrogen-like and Helium-like Ions. *ApJL*, 2001a.
- R. K. Smith, N. S. Brickhouse, D. A. Liedahl, & J. C. Raymond. Standard Formats for Atomic Data: the APED. En *Spectroscopic Challenges of Photoionized Plasmas*. 2001b.
- H. C. Spruit, T. Foglizzo, & R. Stehle. Collimation of magnetically driven jets from accretion discs. *MNRAS*, 288:333–342, 1997.

- S. W. Stahler & F. Palla. *The Formation of Stars*. 2005.
- K. G. Stassun, D. R. Ardila, M. Barsony, G. Basri, & R. D. Mathieu. X-Ray Properties of Pre-Main-Sequence Stars in the Orion Nebula Cluster with Known Rotation Periods. *AJ*, 127:3537–3552, 2004a.
- K. G. Stassun, R. D. Mathieu, L. P. R. Vaz, N. Stroud, & F. J. Vrba. Dynamical Mass Constraints on Low-Mass Pre-Main-Sequence Stellar Evolutionary Tracks: An Eclipsing Binary in Orion with a 1.0  $M_{\text{solar}}$  Primary and a 0.7  $M_{\text{solar}}$  Secondary. *ApJS*, 151:357–385, 2004b.
- K. G. Stassun, M. van den Berg, E. Feigelson, & E. Flaccomio. A Simultaneous Optical and X-Ray Variability Study of the Orion Nebula Cluster. I. Incidence of Time-correlated X-Ray/Optical Variations. *ApJ*, 649:914–926, 2006.
- B. Stelzer, E. Flaccomio, K. Briggs, G. Micela, L. Scelsi, M. Audard, I. Pillitteri, & M. Güdel. A statistical analysis of X-ray variability in pre-main sequence objects of the Taurus molecular cloud. *AA*, 468:463–475, 2007.
- B. Stelzer, E. Flaccomio, T. Montmerle, G. Micela, S. Sciortino, F. Favata, T. Preibisch, & E. D. Feigelson. X-Ray Emission from Early-Type Stars in the Orion Nebula Cluster. *ApJS*, 160:557–581, 2005.
- B. Stelzer, T. Preibisch, F. Alexander, P. Mucciarelli, E. Flaccomio, G. Micela, & S. Sciortino. X-ray view of IC 348 in the light of an updated cluster census. *A&A*, 537:A135, 2012.
- B. Stelzer & J. H. M. M. Schmitt. X-ray emission from a metal depleted accretion shock onto the classical T Tauri star TW Hya. *A&A*, 418:687–697, 2004.
- D. Stern, P. Eisenhardt, V. Gorjian, C. S. Kochanek, N. Caldwell, D. Eisenstein, M. Brodwin, M. J. I. Brown, R. Cool, A. Dey, P. Green, B. T. Jannuzi, S. S. Murray, M. A. Pahre, & S. P. Willner. Mid-Infrared Selection of Active Galaxies. *ApJ*, 631:163–168, 2005.
- L. Strüder, B. Aschenbach, H. Bräuninger, G. Drolshagen, J. Englhauser, R. Hartmann, G. Hartner, P. Holl, J. Kemmer, N. Meidinger, M. Stübig, & J. Trümper.

- Evidence for micrometeoroid damage in the pn-CCD camera system aboard XMM-Newton. *A&A*, 375:L5–L8, 2001.
- W. K. Teets, D. A. Weintraub, N. Grosso, D. Principe, J. H. Kastner, K. Hamaguchi, & M. Richmond. X-Ray Production by V1647 Ori during Optical Outbursts. *ApJ*, 741:83, 2011.
- A. Telleschi, M. Güdel, K. R. Briggs, M. Audard, & F. Palla. X-ray emission from T Tauri stars and the role of accretion: inferences from the XMM-Newton extended survey of the Taurus molecular cloud. *A&A*, 2007.
- C. A. Tout & J. E. Pringle. Can a disc dynamo generate large-scale magnetic fields? *MNRAS*, 281:219–225, 1996.
- L. K. Townsley, E. D. Feigelson, T. Montmerle, P. S. Broos, Y.-H. Chu, & G. P. Garmire. 10 MK Gas in M17 and the Rosette Nebula: X-Ray Flows in Galactic H II Regions. *ApJ*, 593:874–905, 2003.
- M. Tsuboi, T. Handa, & N. Ukita. Dense Molecular Clouds in the Galactic Center Region. I. Observations and Data. *ApJS*, 120:1–39, 1999.
- K. D. Tucker, M. L. Kutner, & P. Thaddeus. A Large Carbon Monoxide Cloud in Orion. *ApJL*, 186:L13, 1973.
- M. J. L. Turner, A. Abbey, M. Arnaud, M. Balasini, M. Barbera, E. Belsole, P. J. Ben-  
nie, J. P. Bernard, G. F. Bignami, M. Boer, U. Briel, I. Butler, C. Cara, C. Chabaud,  
R. Cole, A. Collura, M. Conte, A. Cros, M. Denby, P. Dhez, G. Di Coco, J. Dowson,  
P. Ferrando, S. Ghizzardi, F. Gianotti, C. V. Goodall, L. Gretton, R. G. Griffiths,  
O. Hainaut, J. F. Hochedez, A. D. Holland, E. Jourdain, E. Kendziorra, A. Lagos-  
tina, R. Laine, N. La Palombara, M. Lortholary, D. Lumb, P. Marty, S. Molendi,  
C. Pigot, E. Poindron, K. A. Pounds, J. N. Reeves, C. Reppin, R. Rothenflug, P. Sal-  
vetat, J. L. Sauvageot, D. Schmitt, S. Sembay, A. D. T. Short, J. Spragg, J. Stephen,  
L. Strüder, A. Tiengo, M. Trifoglio, J. Trümper, S. Vercellone, L. Vigroux, G. Villa,  
M. J. Ward, S. Whitehead, & E. Zonca. The European Photon Imaging Camera on  
XMM-Newton: The MOS cameras : The MOS cameras. *A&A*, 365:L27–L35, 2001.  
doi:10.1051/0004-6361:20000087.

- Y. Uchida & K. Shibata. Magnetically buffered accretion to a young star and the formation of bipolar flows. *pasj*, 36:105–118, 1984.
- I. Valtchanov, M. Pierre, & R. Gastaud. Comparison of source detection procedures for *XMM-Newton* images. *A&A*, 370:689–706, 2001.
- F. M. Walter, J. M. Alcalá, R. Neuhauser, M. Sterzik, & S. J. Wolk. The Low-Mass Stellar Population of the Orion OB1 Association, and Implications for the Formation of Low-Mass Stars. *Protostars and Planets IV*, pág. 273, 2000.
- W. H. Warren & J. E. Hesser. A photometric study of the Orion OB 1 association. I - Observational data. *ApJS*, 34:115–206, 1977.
- W. H. Warren, Jr. & J. E. Hesser. A photometric study of the Orion OB 1 association. III - Subgroup analyses. *ApJS*, 36:497–572, 1978.
- W. H. Warren, Jr. & J. E. Hesser. VizieR Online Data Catalog: UBV and uvby-beta observations of Orion OB1 Association (Warren+ 1977). *VizieR Online Data Catalog*, 2036:0, 1995.
- M. G. Wolfire & J. P. Cassinelli. Conditions for the formation of massive stars. *ApJ*, 319:850–867, 1987.
- S. J. Wolk, F. R. Harnden, Jr., E. Flaccomio, G. Micela, F. Favata, H. Shang, & E. D. Feigelson. Stellar Activity on the Young Suns of Orion: COUP Observations of K5-7 Pre-Main-Sequence Stars. *ApJS*, 160:423–449, 2005.
- S. J. Wolk, T. S. Rice, & C. Aspin. Near-infrared Variability among Young Stellar Objects in the Star Formation Region Cygnus OB7. *ApJ*, 773:145, 2013.
- H. Wolter. Spiegelsysteme streifenden Einfalls als abbildende Optiken für Röntgenstrahlen. *Annalen der Physik*, 445:94–114, 1952.
- S. Yamauchi, R. Kamimura, & K. Koyama. ASCA X-Ray Observations of the NGC 2023 and NGC 2024 Regions. *PASJ*, 52:1087–, 2000.
- H. W. Yorke. Theory of Formation of Massive Stars via Accretion. En M. G. Burton, R. Jayawardhana, & T. L. Bourke, eds., *Star Formation at High Angular Resolution*, tomo 221 de *IAU Symposium*, pág. 141. 2004.

H. W. Yorke & E. Kruegel. The dynamical evolution of massive protostellar clouds. *A&A*, 54:183–194, 1977.

H. Zinnecker & H. W. Yorke. Toward Understanding Massive Star Formation. *ARA*, 45:481–563, 2007.