

Construcción de un catálogo de estrellas jóvenes con disco en regiones de formación estelar de la vecindad solar

TÉCNICAS OBSERVACIONALES MAESTRÍA EN CIENCIAS - ASTRONOMÍA TALLER 3

Resumen

En esta actividad los estudiantes utilizan imágenes de cinco regiones de formación estelar con edades distintas y obtenidas con las cámaras infrarojas IRAC (InfRared ARray Camera) y MIPS (Multiband Imaging Photometer Spitzer) en el telescopio espacial SPTIZER e imágenes de la misión WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer). El primer objetivo es el de identificar la proporción de objetos ClaseII en cada región. Adicionalmente y a partir de las magnitudes medidas en las bandas [3.6],[4.5],[5.8],[8.0],[W3_12], [W4_22], [24], [70*] y [160*] μm , se construye la distribución espectral de energía o SED para cada estrella en cada región de formación estelar. La pendiente del SED calculada entre [3.6] y [8.0] se utiliza para clasificar el tipo de disco. El resultado final será un catálogo de estrellas con discos caracterizados con la pendiente del SED.

Objetivo

Aplicar los conceptos de fotometría y el código *phot.py* con el fin de obtener las magnitudes de todos los objetos en las imágenes en los filtros [3.6],[4.5],[5.8],[8.0],[W3_12], [W4_22], [24], [70] y [160*] μm . Posteriormente determinar la pendiente del SED para cada estrellas con medidas simultáneas en todos los filtros con el objetivo de obtener un catálogo confiable de estrellas jóvenes con disco, candidatas a albergar exoplanetas.

Objetivos de aprendizaje

- Afianzar los conceptos de magnitud aparente, magnitud absoluta y diagrama color-magnitud corregido por extinción (i.e. desenrojecido).
- Demostrar la importancia del uso de imágenes de archivo, catálogos astronómicos y herramientas computacionales con el fin de caracterizar de manera completa una muestra observacional de interés.

1.- Introducción

Las estrellas jóvenes con disco o estrellas del tipo T Tauri son estrellas de baja masa $<1.5 M_{\odot}$, las cuales se encuentran en su etapa de contracción hacia la secuencia principal y están rodeadas por un disco de gas y polvo. Presentan líneas de emisión prominentes en la serie de Balmer principalmente. Estas

estrellas además exhiben excesos de emisión en el infrarrojo medio y lejano en comparación a estrellas más evolucionadas sin disco, lo cual se explica que la emisión infrarroja está asociada a presencia de disco. Además presentan exceso de emisión el UV (alrededor de 400 nm) producto del impacto o choque de las columnas de acreción que conectan la estrella al disco de acreción. Finalmente, estas estrellas tienen cromósferas activas como el Sol pero mucho más potentes con luminosidades en rayos X arriba alrededor de 10^{30} erg/s.

Todas estas características observacionales, han conducido durante las últimas décadas a la construcción del paradigma llamado "acreción magnetosférica" el cual se indica en la Figura 1 de Hartmann et al. 2016 (An Rev Astron Astrophys 2016, 54). La emisión en la serie de Balmer en este modelo proviene del gas (Hidrógeno) que cae libremente a través de las columnas de acreción formadas por unas líneas de campo magnético congeadas. Las velocidades cercanas de este "hidrógeno en movimiento" son cercanas a 300 km/s, lo que causa ensanchamiento Doppler pero además emisión pues ocurre en un medio ópticamente delgado distinto a una atmósfera estelar.

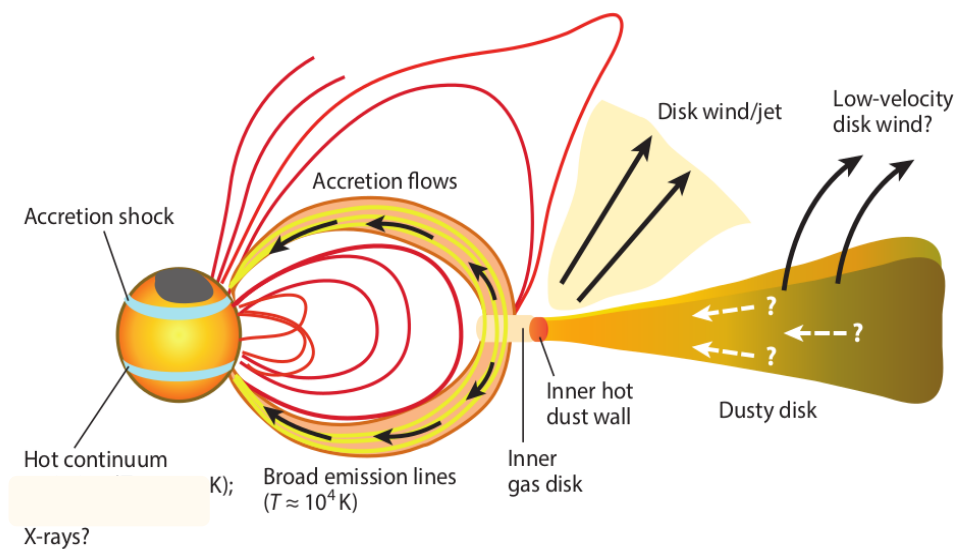


Figura 1. Acreción magnetosférica en una estrella joven que acreta o absorbe gas del disco circunestelar a través de su magnetósfera. El campo magnético de la estrella trunca el disco a cierta distancia y frena la pared interna del disco a la velocidad de la estrella. Desde allí el gas cae balísticamente y se canaliza a través de las columnas de acreción y el impacto sobre la superficie estelar produce un continuo que se asocia con el exceso de UV observado. En este escenario también ocurren eventos de pérdida de masa del sistema a través de vientos que se originan en el disco y en la estrella.

1.2.- Excesos en infrarrojo

La utilidad de la radiación infrarroja para penetrar las grandes nubes moleculares de polvo en donde nacen las estrellas es evidente de la curva de extinción. Un fotón en el infrarrojo cercano i.e. 2.2 microns tiene una extinción 0.1 veces menor en comparación a un fotón en el visible en 0.55

micrones. La extinción interestelar decae con el aumento de la longitud de onda. El infrarrojo cercano hasta 10000Å, el medio entre 10000 y 20000Å y el lejano más allá de 20000Å hasta el submilimétrico e radio. En toda esta región del espectro electromagnético, estudiamos discos pero la clasificación de discos según su cantidad de polvo, se realiza en las bandas IRAC definiendo las clases I (discos gruesos con mucho polvo), II (discos protoplanetarios) y III (estrellas con discos incipientes o sin disco). El tiempo aumenta en la dirección vertical.

La clasificación depende entonces de la emisión infraroja. Se define $\alpha = d \log(\lambda F_\lambda) / d \log \lambda$ en donde F_λ es el flujo y λ la longitud de onda que va entre 2.2 y 10 microns por definición. Si $\alpha > 0$ se dice que la estrella es Clase I, Si $-1.5 < \alpha < 0$ es de Clase II y si $\alpha < -1.5$ es clase III.

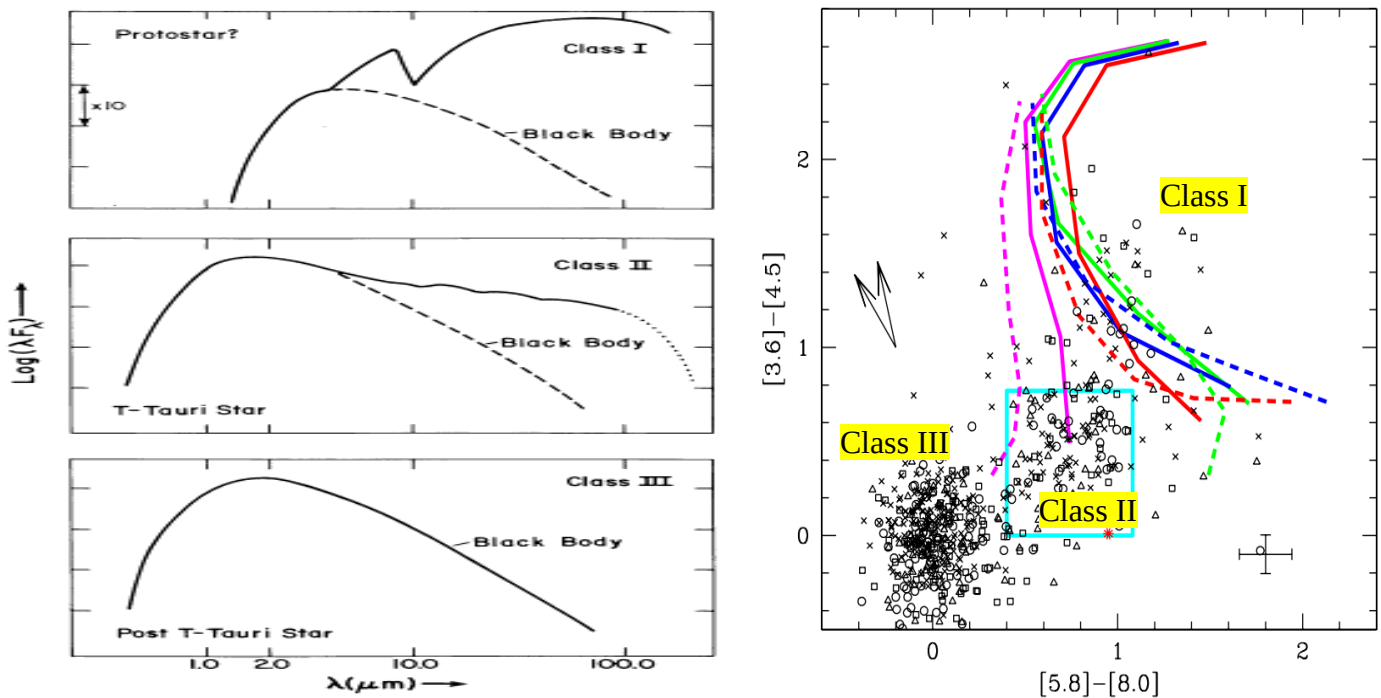


Figura 2. (Izquierda) Clasificación propuesta por Lada et al. (1987) para explicar los SEDs de los objetos estelares jóvenes. (Derecha) Ubicación de objetos de Clase I, II y II en el diagrama color-color IRAC Spitzer.

La cámaras IRAC y MIPS del telescopio espacial SPITZER son los principales instrumentos de SPITZER. IRAC es en una cámara con 4 canales los cuales proporcionan imágenes simultáneas en 3.6, 4.5, 5.8 y $8\mu\text{m}$. IRAC observa simultáneamente dos campos separados $6.5'$. Un campo se obtiene en 3.6 y $5.8\mu\text{m}$ en tanto que el otro se obtiene en 4.5 y $8.0\mu\text{m}$. La base de datos de las imágenes obtenidas con esta cámara proporciona información en diferentes estadios de procesamiento. Basic Calibrated Data o BCD consiste en imágenes calibradas. Datos "Post BCD level 2" consisten en mosaicos obtenidos a través del agrupamiento de imágenes individuales. Para descargar las imágenes

obtenidas con las cámaras IRAC y MIPS utilice este enlace:
<https://irsa.ipac.caltech.edu/applications/Spitzer/SHA/>
 Para descargar las imágenes WISE (Atlas level 3) en los filtros W1, W2, W3 y W4
 3.4, 4.6, 12 y 22 microns respectivamente, use este enlace:
https://irsa.ipac.caltech.edu/applications/wise/_action=layout.showDropDown&

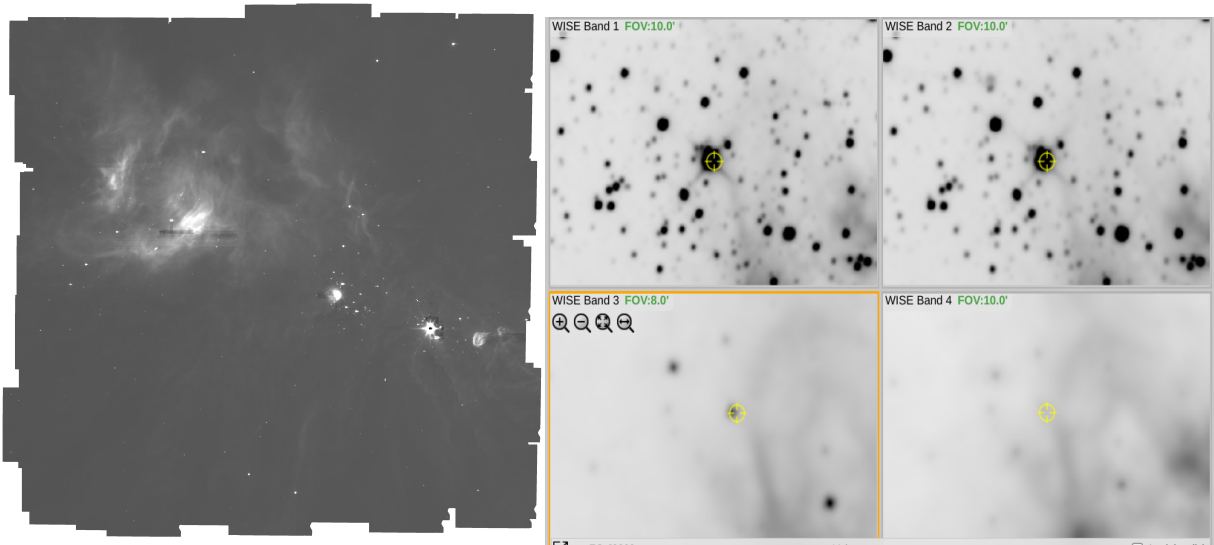


Figura 3. (Izquierda) Mosaico (Post BCD level 2) de la región de formación estelar NGC 2264 en la banda de 8.0 mm. (Derecha) Imágenes WISE de un sector de NGC2264 en las 4 bandas. Usaremos [W3_12], [W4_22] micrones de WISE para complementar aquellas obtenidas con IRAC y MIPS.

Nota sobre el campo de visión de la imagen.- En las bases de datos IRAC, MIPS y WISE hay una opción para visualizar la **cobertura espacial**. Es muy importante que una fracción significativa de objetos aparezcan en las fotos en todos los filtros [3.6],[4.5],[5.8],[8.0],[W3_12], [W4_22], [24], [70*] y [160*] μ m, este último en general es difícil debido al ruido a longitudes de onda largas.

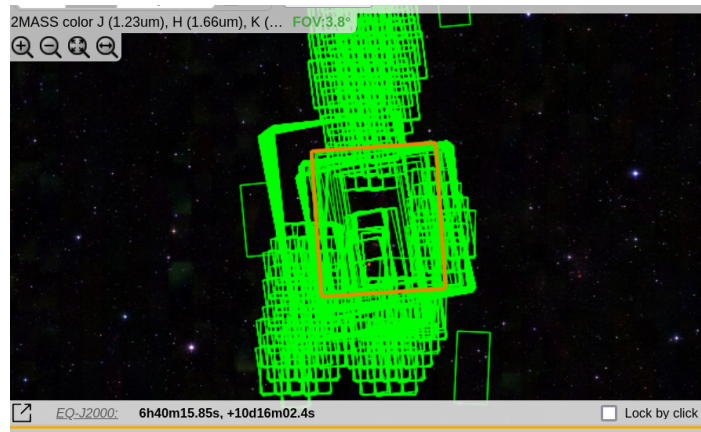


Figura 4. El campo de visión en cada filtro debe permitir intersección en todos los filtros con el fin de trazar los SEDs debidamente.

Descripción del Taller.-

Paso 1 : Seleccionar la región de formación estelar de interés

Los estudiantes han seleccionado una región de formación estelar entre las siguientes: NGC2264, IC348, Lambda Orionis, Barnard 30 y Barnard 35. Cada estrella debería aparecer en las imágenes correspondientes a todos los canales. Para esto es importante haber realizado la búsqueda en las bases de archivos usando la herramienta "cobertura" (ver sección anterior). Todas estas regiones son muy jóvenes con edades $<5\text{Ma}$.

NGC2264 ó cúmulo del árbol navideño es una región de formación estelar en Monoceros, que contiene miles de estrellas con edad similar y con movimientos propios y velocidades radiales también parecidas. La edad media de este cúmulo es $3\text{ Myr} \pm 5\text{Myr}$ (Dahm et al. 2008) y se encuentra a 760 pc (Park et al. 2000). En su interior ocurre formación estelar activa muy bien caracterizada. En particular el reciente estudio de Flaccomio et al. 2023 (A&A, 670, A37) sugiere que la formación estelar inició primero alrededor de la estrella masiva S Mon (Tipo espectral O) hace 4 Ma y se extendió progresivamente hacia el sur hacia la Nebulosa del Cono cuya población estelar es más joven. Esto debido en parte a que la fracción de estrellas con disco es baja alrededor de S Mon y se incrementa hacia el Sur. Sería muy bueno verificar este resultado.



Figura 5. Imágen en el visible obtenida con el tel 0.9m Kitt Peak y un arreglo de cámaras CCDs. Abajo la nebulosa "del cono" y arriba a la derecha la nebulosa "piel de zorro".

IC348 es una región de formación estelar en Perseo, localizada a 315 pc de distancia en la nube molecular de Perseo. Contiene estrellas ópticamente visible y un sinnúmero de estrellas aún embebidas en la nube que no se ven sino en infrarojo con extinción A_V del orden de 5mag. Stelzer et al.(2012) realizan un completo estudio de este cúmulo utilizando rayos X del telescopio espacial CHANDRA. Los autores detectan cerca de 290 fuentes de rayos X en esta región de formación estelar.

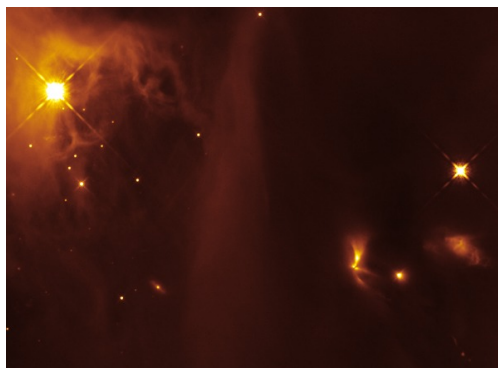


Figura 6. Imágen de IC348 en el visible obtenida con el tel espacial Hubble. Cerca de la mitad de las estrellas en esta región posee discos con acreción activa.

LDN1588 es una región de formación estelar en el complejo molecular de Orión, que se encuentra sobre el anillo de polvo centrado en la estrella lambda orionis. Previos estudios han sugerido que este anillo es consecuencia de una SN que explotó hace 1Ma, solo que no se encuentra el objeto compacto en el centro que debería estar. (Kounkel 2020). Otra región similar sobre el anillo es Barnard 30 que se encuentra al nororiente de LDN1588. Los puntos negros indican una población estelar obtenida usando el catálogo GAIA EDR3. La región Barnard 35 (B35) no se encuentra en el anillo.

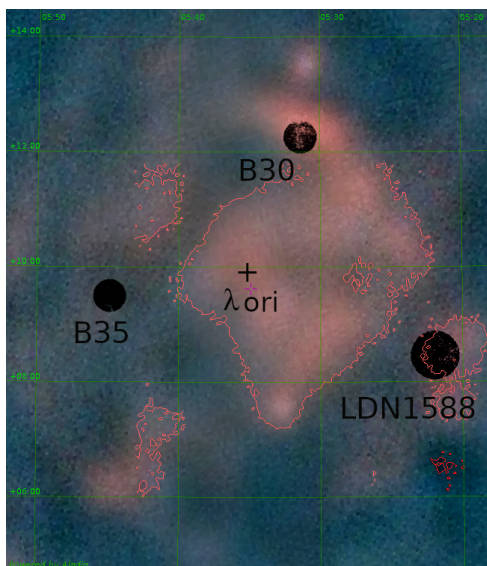


Figura 7. Anillo de polvo alrededor de la estrella Lambda Orionis. LDN1588 se encuentra justo sobre el anillo que parece es producto de una explosión de SN hace 1Ma.

Paso 2 : Identificar las fuentes GAIA EDR3 en cada imagen en cada filtro fotométrico.

Abrir la imagen en cada canal usando SAO Image DS9 con el fin de realizar un "match" con el catálogo GAIA EDR3. Tener presente de realizar la búsqueda con un radio que quede inscrito en la foto y no por fuera, esto con el fin de evitar inconvenientes con el Paso 3.

Paso 3 : Realizar la fotometría de las imágenes IRAC / MIPS / WISE

Para cada canal realizar la fotometría utilizando el programa `phot.py`

****configure las librerías photutils y astropy como se indica en el código**

Una vez obtenida la fotometría en un filtro IRAC determinado, se genera un archivo con extensión .csv para cada filtro o canal [3.6],[4.5],[5.8],[8.0],[W3_12],[W4_22],[24],[70*] y [160*] μm con la siguiente estructura.

```
OBJECT_ID,RA,DEC,1_mag_0,1_mag_err_0,DATE-OBS_1_mag_0
3326686748983465344,100.2833949118478,9.5112004286488,16.07882,0.034644319,2008-
11-01T22:34:49.428
3326689635200018176,100.24084292365,9.51375177803,15.24327,0.022960374,2008-11-0
1T22:34:49.428
3326689630905613952,100.2364882916978,9.5042241004864,14.57016,0.016656275,2008-
11-01T22:34:49.428
3326689630905623424,100.2406996611728,9.5139966866811,15.237805,0.022899944,2008
-11-01T22:34:49.428
3326689635200025984,100.23678743744,9.50400035724,14.569041,0.016647466,2008-11-
01T22:34:49.428
3326689738280706432,100.2451452716938,9.5157705269727,13.701968,0.011087146,2008
-11-01T22:34:49.428
```

Paso 4 : Construcción de diagramas color-color

Elaborar los diagramas color color desenrojecidos **[3.6-4.5] vs [5.8-8.0]** ; **G-3.6 vs [4.5-24]** y/o **G-3.6 vs [4.5-W4_22]**. Para obtener las magnitudes absolutas utilice las distancias GAIA EDR3 y su propia determinación para la extinción del medio interestelar. Identifique los objetos de Clase II en [3.6-4.5] vs [5.8-8.0] y compare su posición en el diagrama color-color G-3.6 vs [4.5-24]. Ver Figura 2.

Paso 5 : Obtención de SEDs y elaboración del catálogo de estrellas jóvenes

Realice el gráfico $\log \lambda F(\lambda)$ vs $\log \lambda$ (μm) entre 3.6 y 24 μm para el mayor número posible de objetos en la región de formación estelar seleccionada. Elabore el catálogo final en el cual cada objeto aparece con sus coordenadas y con el valor de las magnitudes en todos los canales considerados. Además el valor de α determinado usando la cámara IRAC.

Paso 6 : En su reporte a manera de artículo científico trate que la introducción y las conclusiones estén relacionadas en la medida de lo posible. Tenga presente que el objetivo es identificar objetos de Clase II candidatos a tener discos protoplanetarios con posible formación y evolución planetaria.