Modelando Estructuras circumestelares

# introducción

# Formación de una estrella

## Como ya muchos de acá sabrán, las estrellas nacen a partir de nubes de polvo, o nebulosas, que están esparcidas en la galaxia. Generalmente, las nebulosas se comportan como fluidos. Como el aire en nuestra atmosfera es un fluido, estas gitanísimas nubes de polvo interestelar también lo son. Como todo fluido lo suficientemente grande, las nebulosas poseen turbulencia dentro de ellas. Dado que las nebulosas son altamente compresibles, la turbulencia causa que algunas regiones sean mas densas que otras. Si la densidad es lo suficientemente alta, la fuerza de gravedad es capaz de superar la repulsión causada por la presión interna, causando que grandes cantidades de polvo colapsen gravitacionalmente. En el centro de este colapso, se empieza a formar un núcleo denso y caliente, al cual se le conoce como una protoestrella. Con el paso del tiempo, mayores cantidades de polvo se convierten parte de este núcleo, eventualmente causando que reacciones nucleares ocurran y formando una nueva estrella. Luego la estrella entra en la secuencia principal y sigue su evolución…

## Pero bueno, si bien la gran mayoría del polvo se convierte una estrella, una pequeña fracción eventualmente se convierte en todo lo demás que miramos en un sistema planetario como el nuestro. Todos estos componentes se forman a partir de estructuras circumestelares de polvo, principalmente de los discos protoplanetarios.

# Discos Protoplanetarios Y otras estructuras

## Quizás el tipo mas importante de estas estructuras son los discos protoplanetarios, los cuales son discos de polvo que generalmente rotan en el mismo sentido que lo hace la estrella. Aun hay mucho debate acerca de como estos discos se forman, pero la idea principal es que se crean, en términos astronómicos, inmediatamente después del colapso gravitacional, a partir del polvo que posee mas momento angular. Inicialmente, el disco posee una alta densidad y temperatura, lo cual causa que tenga una alta viscosidad. En consecuencia, parte del polvo en el disco pierde energía cinética y cae hacia la estrella, convirtiendo en un disco de acreción, o disco activo. Por supuesto, la cantidad de polvo en el disco se va reduciendo dramáticamente, hasta que la densidad y la temperatura del mismo caen a tal punto que la viscosidad deja de causar la acreción y convirtiendo al disco protoplanetario en un disco pasivo. Este disco pasivo eventualmente desaparece mientras los planetas y demás componentes del sistema planetario se van formando.

## Sin embargo, actualmente sabemos que los discos no son la única estructura circumenestlar que las estrellas jóvenes pueden poseer. Principalmente, se sabe que pueden existir flujos que crean “paredes” de polvo significativos, y voy a hablar mas de estos en un rato, pues son la parte en la que se centro mi tesis.

## Resumiendo brevemente, esta imagen nos muestra las distintas etapas entre la formación de la protoestrella y su disco protoplanetario…

# Objetos estelares jovenes

## Finalmente, podemos definir de manera sencilla que son los objetos estelares jóvenes.

## Los objetos estelares jóvenes son todas esas protoestrellas y estrellas jóvenes que poseen estas estructuras circumestelares. Es decir, son estrellas en las etapas mas tempranas de su evolución que poseen grandes cantidades de polvo detectable que podemos observar.

## Existen varias maneras de clasificar los objetos estelares jóvenes. Una de las mas importantes es la de clasificarlas por la etapa en que se encuentran, como la imagen que ya les mostré. En esta clasificación hay cuatro clases, siendo la clase 0 la protoestrella aun envuelta en una nube molecular densa y la clase III la estrella joven con un disco protoplanetario pasivo casi totalmente disipado.

## Sin embargo, otra clasificación existe basada en el tipo espectral de la estrella. Las estrellas jóvenes de menor masa y temperatura generalmente son clasificadas como objetos T-Tauri, mientras que las estrellas mas calientes y masivas de tipo espectral A o B se clasifican como estrellas Herbig Ae/Be.

# Observaciones

## Estudiar objetos estelares jóvenes puede ser, como muchas cosas dentro de la astronomía, un reto bastante grande. Muy recientemente, gracias al desarrollo de telescopios especializados que utilizan ópticas adaptivas junto a procesos de análisis avanzados, ha sido posible fotografiar directamente algunos discos y demás estructuras circumestelares alrededor de algunos objetos estelares jóvenes. De hecho, hace menos de un mes, se publicó una imagen que quizás muestra, por primera vez, la creación de satélites naturales alrededor de un planeta joven que a su vez se encuentra en un disco protoplanetario. Sin embargo, como ya dije, este tipo de fotografías son un desarrollo bastante reciente y aun toma muchísimo tiempo y trabajo el poder obtenerlas y analizarlas.

## Por lo tanto, la gran mayoría de estudios sobre las estructuras circumestelares se ha realizado a través del estudio de la distribución espectral de energía que observamos de estos objetos.

## Solo para asegurarnos de que todos sabemos que es una distribución espectral de energía, es simplemente un grafico que muestra la cantidad de energía que medimos del objeto en función de la longitud de onda. Es bastante parecido a un espectro electromagnético, pues ambos tienen longitudes de onda en el eje x, pero los espectros electromagnéticos muestran el flujo, es decir, la cantidad de luz que detectamos en función de la longitud de onda. De nuevo, en la distribución espectral de energía medimos la cantidad de energía por longitud de onda, y esta generalmente se calcula multiplicando el flujo que se mide de cierta longitud de onda con la longitud de onda en si.

## La razón por la cual se pueden usar estas distribuciones para aprender acerca del entorno circumestelar es que, al estudiarlas, podemos ver que los objetos estelares jóvenes presentan estos bultos, o como se les conocen formalmente, excesos en el infrarrojo cercano, que no se observan en estrellas que carecen de estructuras circumestelares. Esto también tiene una explicación, y es que, las estrellas, como muchísimos objetos en la naturaleza, irradian calor como un cuerpo negro. Lo genial de los cuerpos negros es que, gracias a la termodinámica, existe una expresión que nos proporciona la distribución espectral de energía exacta que mediríamos de un cuerpo negro.

## Sin embargo, como ya dije, los objetos estelares jóvenes presentan excesos en el infrarrojo cercano que son causados por la interacción entre el polvo alrededor de la estrella y la luz proveniente de la misma. Lo que pasa es que la luz de la estrella, al pasar por el polvo puede interactuar de dos maneras:

### La primera es la reflexión. En este caso, el polvo funciona como una especie de espejo que le da una nueva dirección al rayo de luz.

### Y la segunda, que explica los excesos, es que la luz es absorbida por granos de polvo. Cuando el fotón es absorbido, el grano de polvo gana energía que se manifiesta en forma de energía interna, es decir, calor, y de energía cinética. Gracias a la segunda ley de termodinámica que implica que sistemas con alta energía tienden a perderla para aumentar la entropía global del sistema, el grano de arena re-emite un rayo de luz para regresar a un nivel energético mas bajo. Sin embargo, dado que el grano de arena ya “uso” parte de la energía del fotón, el rayo de luz que se emite tiene una longitud de onda mas larga (es decir, el rayo de luz es menos energético) comparada a la longitud de onda del fotón que fue absorbido. Cuando esto pasa con una porción grande de la luz proveniente de la estrella, se produce un exceso de flujo en las longitudes de ondas mas largas que nosotros detectamos. En el caso de los objetos estelares jóvenes, este exceso es en longitudes de onda cerca del infrarrojo.

# Como se han modelado

## ¿Bueno, y de qué nos sirve todo eso? Realmente, tener una idea del proceso físico que causa estos excesos en el infrarrojo cercano nos permite empezar a crear modelos sobre las estructuras circumestelares que rodean a los objetos estelares jóvenes.

## Modelos geométricos: Inicialmente, todos los modelos se centraban en un solo componente: los discos protoplanetarios. Debido a esto, se creo un modelo muy bueno conocido como el modelo de los discos alfa. Utilizando discos alfa, varios astrónomos han logrado modelar una gran cantidad de discos circumestelares con distintos parámetros físicos, pues este modelo, por si solo, es capaz de reproducir las observaciones de discos pasivos y activos, que tienen distintos tamaños y distintas geometrías. En especifico, para modelar la contribución en la distribución espectral de energía observada, el modelo asume que el disco se puede separar en anillos infinitesimales, con la estrella al centro de estos. Cada anillo tiene una temperatura constante. Si además se asume que cada anillo emite radiación como un cuerpo negro, entonces basta con saber la temperatura de cada anillo y después sumar las contribuciones de cada uno de estos para obtener el efecto del disco en su totalidad. No voy a entrar en detalle, pero existe una derivación para la siguiente formula que nos deja calcular la temperatura de cada anillo. Este parámetro alfa puede tener distintos valores que corresponden a distintas geometrías, desde discos que son totalmente planos, hasta discos que se vuelven mas gruesos conformen se van alejando de la estrella.

## Como ya dije, usando discos alfa permitió crear muchísimos modelos excepcionales de objetos estelares jóvenes, ayudando a entender, sobre todo, la geometría de la estructura alrededor de algunas estrellas. Sin embargo, hubo muchos casos donde los discos alfa no lograban a crear un modelo satisfactorio, por lo que los astrofísicos pensaron en añadir más componentes. Principalmente, se dieron cuenta que una gran cantidad de las estrellas presentaban un “bulto” alrededor de los tres micrómetros que no se podía modelar bien con los discos alfa por si solos. Sin embargo, casi que a pura prueba y error, descubrieron que este bulto se podía explicar si además de los discos protoplanetarios se añadía una sección cónica, o la superficie lateral de un cono, cerca del radio interior del disco alfa. Posteriormente, también se dieron cuenta que algunos de otros objetos que también eran excepciones se podían explicar mejor si añadían aún más estructuras como halos o múltiples discos. Y con esto, todo genial, se crearon aún más modelos que funcionaban casi a la perfección. Pero había un problema: hasta este momento el modelaje había sido puramente geométrico, lo cual nos daba una excelente idea de como se miraba el entorno circumestelar de los objetos estelares jóvenes, pero no nos explicaba los procesos que causaban estas estructuras. ¿Y porque nos importa saber esto? Bueno, como ya dije al principio de la presentación, la principal motivación es ayudarnos a comprender mas el entorno y los fenómenos físicos que gobiernan las etapas jóvenes de una estrella, las mismas etapas en la que planetas como el nuestro pueden formarse, lo cual a la larga nos ayuda a entender un poco mas de como es que llegamos hasta acá. Tomando todo esto en cuenta, se empezaron a buscar explicaciones robustas para los distintos componentes en estos modelos.

## Las explicaciones detrás de los discos alfa fueron relativamente fácil de justificar, pues como ya mencioné, representa básicamente el disco protoplanetario que se forma como consecuencia de la formación de una nueva estrella. Sin embargo, estos conos fueron un poco más difíciles de explicar.

## Una de las primeras explicaciones completas detrás de estos conos fue propuesta por la Dra. Alissa Bans, quien fue mi consejera para mi tesis de honor. Cuando ella era una estudiante de doctorado, ella publico una serie de papers donde detallaba como flujos de polvo (similares a los vistos en agujeros negros súper masivos) podían explicar de muy buena manera las estructuras en forma de cono. Simplificando la idea, ella argumenta que estos flujos son causados por la interacción entre las partículas cargadas del disco con el campo magnético de la estrella. Un poco mas especifico, lo que pasa es que por la perdida de calor que las partículas en el disco experimentan, una gran cantidad de iones gaseosos que residen en disco pierden energía, lo cual causa que tengan un movimiento radial hacia la estrella. Como estas partículas están cargadas y se están moviendo dentro de un campo magnético, el torque causado a las mismas provoca que empiecen a moverse con un componente vertical, siguiendo las líneas del campo magnético estelar. A este fenómeno se le conoce como un flujo soportado magnéticamente. Finalmente, las partículas gaseosas en este flujo pueden colisionar con granos de polvo en el disco protoplanetario, empujándolos en la misma dirección que el flujo y creando estas “paredes” o estructuras cónicas de las que hemos hablado.

## Para probar estas ideas, la Dra. Bans utilizo simulaciones para modelar tanto el flujo soportado magnéticamente, la pared de polvo resultante, y la interacción entre la luz proveniente de la estrella y el polvo circumestelar, que voy a detallar más cuando ya hablé de mi tesis. Los resultados concretos que la Dra. Bans obtuvo demostraron que este modelo era capaz de reproducir la distribución de energía espectral de la mayoría de estrellas T-Tauri que tenían ese bulto en los tres micrómetros, finalmente proveyendo una explicación satisfactoria a un modelo del entorno circumestelar con múltiples componentes. Y con todo esto, finalmente llegamos a mi tesis.

# Mi tesis

## El titulo

# Traducir presentacion, quitando partes que no son necesarias