

**Título:** LEGACIES OF THE DUST. A MULTIWAVELENGTH STUDY OF PROTOPLANETARY DISKS AND YOUNG EXOPLANETARY SYSTEMS

**Nombre:** Bustamante Bengoechea, Ignacio

**Universidad:** Universidad Autónoma de Madrid

**Departamento:** Física teórica

**Fecha de lectura:** 22/06/2017

**Programa de doctorado:** Programa de Doctorado en Astrofísica por la Universidad Autónoma de Madrid

**Dirección:**

> **Director:** BRUNO MERÍN MARTÍN

> **Director:** HERVÉ BOUY

**Tribunal:**

> **presidente:** EVA GLORIA VILLAVÉR SOBRINO

> **secretario:** Gwendolyn Meeus

> **vocal:** BENJAMÍN MONTESINOS COMINO

> **vocal:** MARÍA MORALES CALDERÓN

**Descriptores:**

> FISICA TEORICA

**El fichero de tesis** no ha sido incorporado al sistema.

**Resumen:** Abstract

The process of planet formation is intimately related with the birth of the host star. The new born star is surrounded by a disk of dust and gas, inevitable result of the conservation of angular momentum in these initial steps of mass collapse. This disk, in turn, will evolve with its host star, feeding it matter over time by accretion streams, and dissipating as the star matures. During this dissipation, dust grains will coalesce into larger bodies, and in some cases gain enough mass as to congregate into proto-planets, which eventually will establish a new planetary system.

This process of star and planet formation, though, is still not completely understood.

More data and observations are needed to set constraints to the models and theories. There is where this thesis comes into play. This work is an observational enterprise, which main goal is the identification of certain objects thought to be indications of key moments on the process of star and planet formation.

One such kind of objects are transitional disks. These objects are considered to be one of the evolutionary steps in the process of disk evolution. They present infrared excesses at long wavelengths but little to none in the near-infrared. This is interpreted as a lack of dust in the inner regions of the disk, assuming that wavelength

traces dust temperature, which is roughly proportional to the distance from the host star. This could have been caused by photoevaporation or dust clearance by a companion, possibly of planetary origin. In this work several transitional disks candidates were identified in the Lupus and Ophiucus star forming regions, using data from the Herschel Space Observatory. The identification of the transitional disks in these regions opens the door to future analysis. The objects identified in this work are perfect candidates for further follow-up.

The interactions between the star and the disk are also crucial to understand the process of the formation of planets. The young star accretes gas from its protoplanetary disk, a process that contributes to the emission of highly energetic photons, in the form of X-rays or UV. These emissions, in turn, interact with the disk, modifying its evolution. This creates a circular relation, between disk-star-X-ray-disk, which effects are crucial for the evolution of an early exoplanetary system: these X-ray photons play an essential role in the evolution of early planetary atmospheres.

Analyzing these interactions and the processes that rule them, then, is of the utmost importance on the study of early exoplanet atmospheres. This work analyzes the relation between the accretion rates and the X-ray emission from a sample of sources in the Orion Nebula Cluster. An anti-correlation is found between both features, similar to that present in the Taurus Molecular Clouds. This could play

2

a crucial role in the evolution of the potential planetary atmospheres: an orbiting exoplanet in a system that is showing ongoing accretion processes could be shielded, by the accreted stream, of the high energetic photons from the early processes of star formation, and thus, its atmosphere would evolve 'protected' from these X-ray emissions. Thus, it is key to find young exoplanet candidates in PMSs with observable accretion processes.

The last step on the analysis of young planet formation is to actually identify such young objects. Planetary systems evolve drastically over time, in such a way that to study the formation of exoplanets, one has to look at the earliest stages of this process. Thus, looking for these objects in young star forming-regions is critical. In this work, and under the frame of the Palomar Transient Factory in Orion project, 15 transiting exoplanet host candidates were identified in the region around the young 25-Ori association. Their planetary nature should be confirmed, but if they are assumed to be exoplanets, and not brown dwarf binary systems, or spots in the photosphere, their close-in orbits would suggest a Type II migration scenario. They would be Hot Jupiters, with large radii and close to their host stars, in some cases even in the process of evaporating. Given the age of the association, and the lack of infrared excess pointing to the presence of a circumstellar disk around the host stars, the most plausible scenario could be a disk-planet interaction during the age of the association which ended up pushing the candidates closer to their stellar hosts.

Several objects, key in the process of stellar and planetary formation have been identified in this thesis, more data to be taken into account to study the overall

picture. The next step would be to confirm their nature, so the constraints they pose to the theories, given their nature, age and distribution, were to be settled. Thus, the need of these kind of observational enterprises, which objective is the acquisition of more data, is demonstrated.

3

### Resumen

El proceso de formación de planetas está íntimamente relacionado con el nacimiento de la estrella anfitriona. La estrella recién nacida está rodeada por un disco de polvo y gas, resultado inevitable de la conservación del momento angular en estos primeros pasos de colapso de material. Este disco, a su vez, evolucionará con su estrella anfitriona, alimentándolo con el tiempo a través de la acreción, y disipándose a medida que la estrella madure. Durante esta disipación, los granos de polvo se unirán en cuerpos más grandes y, en algunos casos, ganarán masa suficiente como para congregarse en proto-planetas, estableciendo finalmente un nuevo sistema planetario. Sin embargo, este proceso de formación estelar y planetaria todavía no se entiende completamente. Se necesitan más datos y observaciones para establecer restricciones a los modelos y teorías. Aquí es donde esta tesis entra en juego. Este trabajo es una iniciativa observacional, cuyo objetivo principal es la identificación de ciertos objetos que se consideran como los indicios clave en el proceso de formación de estrellas y planetas.

Uno de estos tipos de objetos son los discos de transición. Estos objetos son considerados como uno de los pasos evolutivos en el proceso de evolución del disco. Presentan excesos infrarrojos a largas longitudes de onda pero poco a ninguno en el infrarrojo cercano. Esto se interpreta como una falta de polvo en las regiones internas del disco, suponiendo que la longitud de onda traza la temperatura del polvo, que es aproximadamente proporcional a la distancia desde la estrella anfitriona. Esto podría haber sido causado por la fotoevaporación o la eliminación de polvo por una compañera, posiblemente de origen planetario. En este trabajo se identificaron varios candidatos de discos de transición en las regiones de formación estelar de Lupus y Ophiucus, utilizando datos del Observatorio Espacial Herschel. La identificación de los discos de transición en estas regiones abre la puerta a futuros análisis. Los objetos identificados en este trabajo son candidatos perfectos para futuras observaciones. Las interacciones entre la estrella y el disco son también cruciales para entender el proceso de la formación de los planetas. La joven estrella acumula gas a partir de su disco protoplanetario, un proceso que contribuye a la emisión de fotones altamente energéticos, en forma de rayos X ó UV. Estas emisiones, a su vez, interactúan con el disco, modificando su evolución. Esto crea una relación circular entre discoestrella-rayos-x-disco, cuyos efectos son cruciales en la evolución de un joven sistema exoplanetario: estos fotones de rayos X desempeñan un papel esencial en la evolución de las primeras atmósferas planetarias. Analizar estas interacciones y los procesos

4

que las gobiernan, entonces, es de suma importancia en el estudio de las primeras atmósferas exoplanetas. Este trabajo analiza la relación entre las tasas de acreción

y la emisión de rayos X de una muestra de objetos en el Orion Nebula Cluster. Se encuentra una anti-correlación entre ambas características, similar a la presente en las Taurus Molecular Clouds. Esto podría jugar un papel crucial en la evolución de potenciales atmósferas planetarias: un exoplaneta en órbita en un sistema que está mostrando procesos de acreción en curso podría estar siendo protegido por el material acretado de los fotones de alta energía. Por lo tanto, su atmósfera evolucionaría "protegida" de estas emisiones de rayos X. Esto es clave en la búsqueda de exoplanetas candidatos jóvenes.

El último paso en el análisis de la formación de planetas jóvenes es identificar observacionalmente estos objetos. Los sistemas planetarios evolucionan drásticamente con el tiempo, de tal manera que para estudiar la formación de exoplanetas, uno tiene que mirar hacia las primeras etapas de este proceso. Por lo tanto, la búsqueda de estos objetos en regiones de formación estelar es fundamental. En este trabajo, y bajo el marco del proyecto Palomar Transient Factory in Orion, se identificaron 15 candidatos a exoplanetas en la región alrededor de la joven asociación 25-Ori. Su naturaleza planetaria debe aún ser confirmada, pero si se asume que son exoplanetas, y no enanos marrones en sistemas binarios, o manchas en la fotosfera, sus órbitas cercanas sugerirían un escenario de migración Tipo II. Serían Júpiter Calientes, con radios grandes y cercanos a sus estrellas anfitrionas, en algunos casos incluso en proceso de evaporación. Dada la edad de la asociación y la ausencia de emisión infrarroja que indicara la presencia de un disco circumestelar alrededor de las estrellas del huésped, el escenario más plausible para su posición orbital podría ser una interacción disco-planeta que terminó empujando a los candidatos más cerca de sus anfitriones estelares, estos planetas han debido emigrado a su posición actual en algún momento previo a la disipación del disco. De confirmarse su naturaleza, se podría establecer límites a las edades de formación y migración planetaria.

Varios objetos, clave en el proceso de formación estelar y planetaria han sido identificados en esta tesis, lo que supone más datos a tener en cuenta para estudiar el marco global. El siguiente paso sería confirmar su naturaleza, imponiendo límites a las teorías planteadas, dada su naturaleza, edad y distribución. Así, se demuestra la necesidad de este tipo de iniciativas observacionales, cuyo objetivo es la adquisición de más datos.