

Discos de polvo en sistemas exoplanetarios múltiples

M. Hobson^{1,2} & M. Gómez^{2,3}

¹ Facultad de Matemática, Astronomía y Física, UNC, Argentina

² Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Contacto / mhobson@oac.unc.edu.ar

Resumen / Investigamos las distribuciones espectrales de energía de 486 estrellas que albergan sistemas planetarios múltiples en busca de posibles discos de polvo en estos sistemas. Estos discos serían remanentes de la formación planetaria, y podrían considerarse como análogos a los cinturones de asteroides y de Kuiper del Sistema Solar. Estimamos temperaturas y radios de los discos para los 79 sistemas con excesos en dos o más filtros. Encontramos que 77 % de los discos tendrían polvo tibio con temperatura en el rango $100 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$, en tanto que 22 % contendrían polvo frío con $T < 100 \text{ K}$. Sólo un sistema tiene un disco con polvo caliente con $T = 865 \text{ K}$. El 80 % de los discos se encuentran a menos de 10 ua de las estrellas, y un 35 % a distancias comparables a la del cinturón de asteroides; sin embargo, 96 % son externos a los planetas.

Abstract / We investigate the spectral energy distributions of 486 stars hosting multiple exoplanetary systems, seeking infrared excesses that could indicate the presence of debris disks. These disks would be leftovers of the planetary formation process, and could be considered as analogues of the Solar System's asteroid or Kuiper belts. We estimate disk temperatures and radii for 79 systems with excesses in two or more filters. We find that 77 % of the disks possess warm dust with a temperature in the range $100 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$, while 22 % have cold dust with $T < 100 \text{ K}$. Only one system has hot dust with $T = 865 \text{ K}$. 80 % of the disks are within 10 au of the stars, and 35 % at distances comparable to that of the asteroid belt; however, 96 % are external to the planets.

Keywords / planets and satellites: general, rings — stars: statistics

1. Introducción

En los últimos años ha habido un gran incremento de sistemas multiplanetarios conocidos, como se puede ver en *The Exoplanet Encyclopaedia*^{*}. Este incremento, debido en gran parte a los trabajos de Lissauer et al. (2014) y Rowe et al. (2014), los vuelve una muestra atractiva para realizar análisis estadísticos (Fig. 1). En una contribución anterior (Hobson & Gómez, 2015), analizamos la metalicidad de las estrellas huéspedes, la existencia de un orden preferencial en el tamaño de los planetas de cada sistema múltiple, y la relación entre la compactidad de los mismos y la variación de tamaños de los correspondientes planetas.

En este trabajo, investigamos las 486 estrellas que albergan estos sistemas multiplanetarios en busca de posibles discos de polvo. Estos discos serían remanentes de la formación planetaria, y podrían ser análogos al cinturón de asteroides y de Kuiper del Sistema Solar. Para detectar discos, buscamos excesos en infrarrojo en las distribuciones espectrales de energía (SEDs, por sus siglas en inglés).

2. Análisis

Utilizamos la base de datos VOSA^{**} (*VO SED Analyzer* del Observatorio Virtual Español; Bayo et al., 2008)

^{*}www.exoplanet.eu

^{**}en <http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa4/>

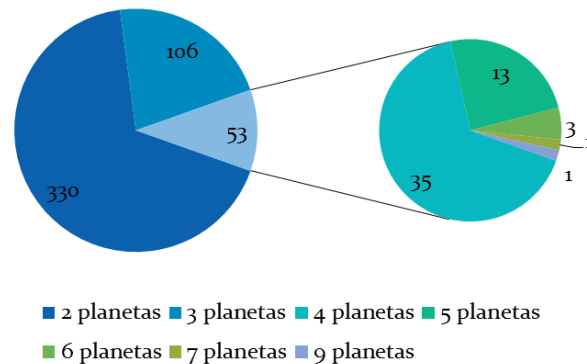


Figura 1: Sistemas multiplanetarios conocidos al 05/10/2015, según cantidad de planetas.

para obtener las SEDs de las 486 estrellas bajo consideración, y ajustarles modelos de cuerpo negro. Esta base permite extraer datos de 29 catálogos, entre los que se cuentan los de *IRAS* y *WISE*. En las Figs. 2 y 3 se muestran las SEDs obtenidas para HD 204313 y Kepler-186, respectivamente. Como puede observarse, HD 204313 no muestra excesos en el infrarrojo, mientras que Kepler-186 sí los presenta.

Para identificar un potencial disco, se definió como criterio de selección excesos de al menos tres veces el flujo predicho por el modelo de cuerpo negro en un filtro infrarrojo, y al menos 1.5 veces el flujo esperado en

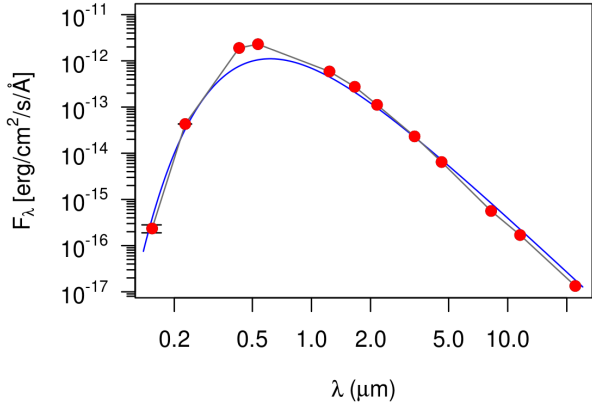


Figura 2: SED para HD 204313, obtenida con VOSA. Los puntos rojos indican los valores observados a los que se les ajustó un modelo de cuerpo negro (curva azul). No muestra excesos en IR.

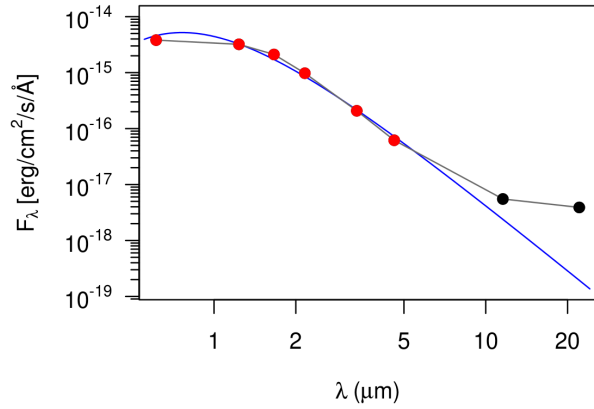


Figura 3: SED para Kepler-186, obtenida con VOSA. Los puntos rojos indican los valores observados a los que se les ajustó un modelo de cuerpo negro (curva azul); los puntos negros, excesos en las bandas W3 (12 μm) y W4 (22 μm) de WISE.

uno o más filtros adicionales. Se inspeccionó visualmente cada SED para verificar que el ajuste represente a los flujos observados, y se comprobó que la temperatura del cuerpo negro ajustado fuera similar a la temperatura estelar. En la Fig. 4 se muestran las cantidades de sistemas con discos (79 sistemas), con excesos en un solo filtro (268 sistemas, que también podrían tener discos bajo un criterio de selección menos restrictivo), sin excesos (87 sistemas), y sin datos en VOSA (45 sistemas).

3. Resultados: parámetros de los discos

Para los 79 sistemas con excesos en dos o más filtros (16 % de la muestra total), derivamos la temperatura y radio de los discos de polvo.

Para la temperatura, usamos la ley de Wien:

$$T \text{ [K]} = \frac{2900}{\lambda_{\text{disco,máx}} \text{ [\mu m]}}, \quad (1)$$

suponiendo que el máximo exceso observado corresponde al pico de la distribución de cuerpo negro. Las SEDs analizadas no incluyen flujos para $\lambda \gtrsim 100 \mu\text{m}$, por lo

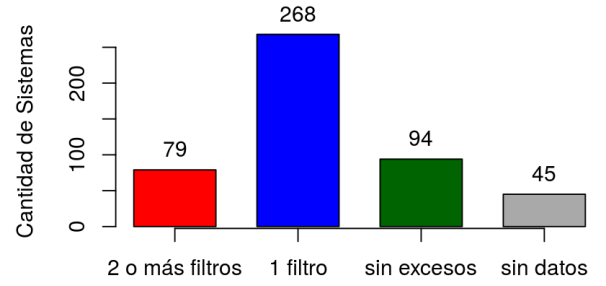


Figura 4: Sistemas multiplanetarios que presentan o no excesos en IR en sus SEDs.

cual podrían existir excesos en esta región espectral no incluidos en nuestro análisis. Estos excesos corresponderían a temperaturas menores; entonces, la Ec. (1) proporciona una estimación de la temperatura máxima del disco o del polvo más caliente.

El radio del disco puede estimarse por:

$$r \text{ [ua]} = \left(\frac{278.3}{T \text{ [K]}} \right)^2 (L_{\star} \text{ [L}_{\odot}])^{0.5}, \quad (2)$$

con L_{\star} la luminosidad de la estrella y T la temperatura del disco (Wyatt, 2008). Una vez estimada la temperatura máxima a partir de la Ec. (1), la Ec. (2) permite calcular el radio interno del disco asociado, es decir, la separación mínima del disco de la estrella.

La Fig. 5 muestra la distribución de temperatura de los discos de los sistemas analizados; 77 % de los mismos poseen $100 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$, en tanto que el 22 % tienen $T < 100 \text{ K}$. Sólo un disco, correspondiente a KELT-6, tiene $T = 865 \text{ K}$. Si bien no existe un consenso absoluto en la literatura, en general se acepta que discos con $T \lesssim 100 \text{ K}$ tienen polvo frío, mientras que los discos con $100 \text{ K} \lesssim T \lesssim 300 - 500 \text{ K}$ poseen polvo tibio, y discos con $T \gtrsim 100 \text{ K}$ tienen polvo caliente. Esta clasificación se corresponde con el rango espectral de mayor emisión: infrarrojo (IR) cercano para el polvo caliente, medio para el tibio y lejano para el frío (ver, por ejemplo, Lawler & Gladman, 2012; Su et al., 2013). La mayoría de los discos detectados poseen polvo tibio. La temperatura promedio, $\bar{T} = 152 \text{ K}$, es similar a la temperatura promedio de los 12 discos en estrellas Kepler estudiados por Ribas et al. (2012), $\bar{T} = 146 \text{ K}$, y se diferencia de la de los 8 discos en sistemas Kepler considerados por Lawler & Gladman (2012), $\bar{T} = 435 \text{ K}$.

Al comparar los radios internos de los discos con los semiejes de las órbitas planetarias, encontramos que en casi todos los casos, los discos se encuentran más alejados de la estrella que los planetas; las únicas excepciones son GJ 682 y NY Vir, cuyos discos son internos a los sistemas planetarios, y KELT-6, cuyo disco se encuentra entre los planetas (Fig. 6). Sin embargo, un 80 % se encuentran dentro de las 10 ua, si bien algunos están mucho más alejados, llegando a más de 200 ua (Fig. 7). A modo de comparación, los objetos del cinturón de asteroides se encuentran a distancias entre 2 y 3 ua del Sol; el 35 % de nuestros discos son internos a las 3 ua. El cinturón de Kuiper, mientras, se extiende entre 30 y 50 ua; 11 % de los discos tienen distancias entre 30 y 200 ua de su estrella.

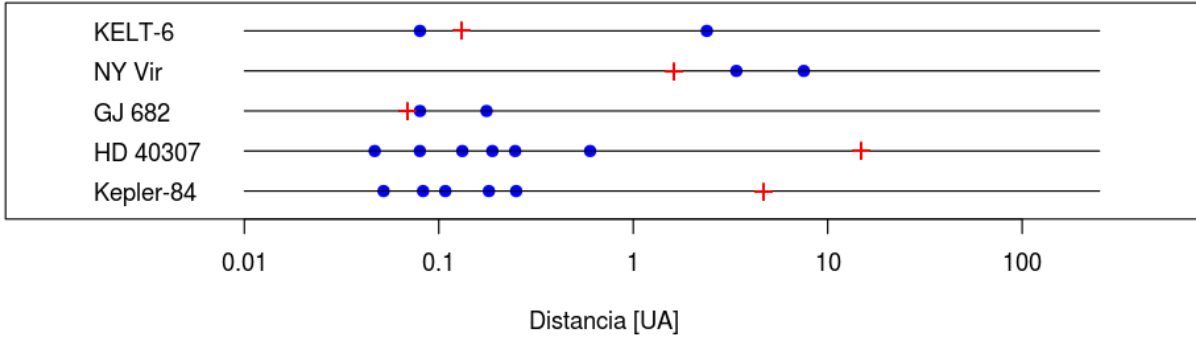


Figura 6: Representación esquemática de las posiciones de los planetas (círculos azules) y discos (cruces rojas) para cinco sistemas con discos: KELT-6, cuyo disco está entre los planetas; GJ 682 y NY Vir, cuyos discos son internos a los sistemas planetarios; HD 40307, el sistema con disco con mayor cantidad de planetas descubiertos por velocidad radial hasta el momento; Kepler-84, el sistema con disco con mayor cantidad de planetas descubiertos por tránsito a la fecha.

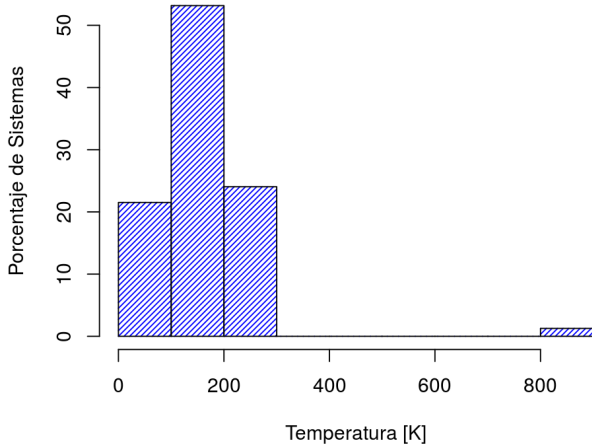


Figura 5: Histograma de temperaturas de los discos para los 79 sistemas con excesos en dos o más filtros. La temperatura promedio es $\bar{T} = 152$ K.

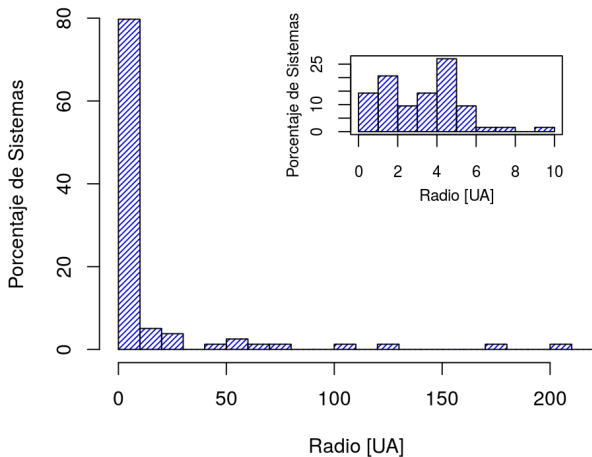


Figura 7: Histograma de radios de los discos. El recuadro muestra los discos de radio menor a 10 ua (primer intervalo del histograma principal).

4. Conclusiones

En esta contribución presentamos el análisis de las SEDs de 486 estrellas que albergan sistemas planetarios múltiples; 79 de ellas (16 % de la muestra) poseen en sus SEDs excesos infrarrojos en al menos dos filtros, que podrían corresponder a discos de polvo. Otros 268 sistemas (59 % de la muestra) con excesos en un filtro infrarrojo podrían también tener discos, bajo un criterio de selección menos restrictivo. Derivamos radios y temperaturas de los discos para los 79 sistemas analizados. Los valores obtenidos indican que 77 % de los mismos tienen polvo tibio con $100 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$, en tanto que el 22 % poseen polvo frío, con $T < 100 \text{ K}$. Sólo un sistema (KELT-6) tiene un disco con polvo caliente, con $T = 865 \text{ K}$. El 96 % de los discos son externos a los planetas, si bien el 80 % se encuentran a menos de 10 ua de las estrellas, y un 35 % de los mismos se encuentran a distancias comparables a la del cinturón de asteroides. Finalmente, destacamos el hecho de que no se disponen de observaciones para $\lambda \gtrsim 100 \mu\text{m}$ para la mayoría de los sistemas analizados, las cuales permitirían estimar tanto la masa como el radio externo de los discos o anillos circunestelares. Esto posibilitaría una comparación cabal con estructuras similares (cinturón de asteroides y de Kuiper) del Sistema Solar.

Agradecimientos: Los gráficos y análisis estadísticos fueron realizados con R. This publication makes use of VOSA, developed under the Spanish Virtual Observatory project supported from the Spanish MICINN through grant AyA2011-24052.

Referencias

Bayo A., et al., 2008, A&A, 492, 277
 Hobson M., Gómez M., 2015, BAAA, 57, 260
 Lawler S. M., Gladman B., 2012, ApJ, 752, 53
 Lissauer J. J., et al., 2014, ApJ, 784, 44
 Ribas Á., et al., 2012, A&A, 541, A38
 Rowe J. F., et al., 2014, ApJ, 784, 45
 Su K. Y. L., et al., 2013, ApJ, 763, 118
 Wyatt M. C., 2008, ARA&A, 46, 339