

# **Actividad cromosférica y rotación de estrellas FGK de la vecindad solar: caracterización de estrellas progenitoras de posibles sistemas exoplanetarios.**

**(Chromospheric activity and rotation of FGK stars in the solar neighbourhood: characterizing possible exoplanetary system host stars)**

## **1. Introducción y objetivos**

El estudio de las estrellas de últimos tipos espectrales de la vecindad solar tiene una importancia fundamental para asegurar el éxito de las misiones cuyo objetivo es la búsqueda de exoplanetas, discos *debris* o, en general, sistemas exoplanetarios. Esto es debido a que estas estrellas son las que pasan períodos más largos de su vida en la Secuencia Principal y por tanto mantiene una zona de habitabilidad estable a su alrededor durante períodos de tiempo lo suficientemente largos como para permitir la formación y evolución de un sistema planetario y, en su caso, de vida en los planetas. Además, son estas las estrellas que tiene un número de líneas espectrales suficientes para poder aplicar la técnica de búsquedas de exoplanetas basada en la medida de la velocidad radial. Por otro lado, el hecho de que estas estrellas sean cercanas es imprescindible, puesto que tanto la instrumentación como las técnicas de detección de exoplanetas están limitadas al estudio de objetos relativamente cercanos.

En concreto, el estudio de la actividad cromosférica de este tipo de estrellas es fundamental, ya que la actividad estelar tiene un gran impacto en las técnicas de detección de exoplanetas. La actividad cromosférica estelar produce variaciones fotométricas y espectroscópicas variables en el tiempo que pueden ser confundidas con la presencia de un planeta orbitando en torno a la estrella. El caso de las variaciones fotométricas es muy intuitivo. Teniendo en cuenta que en el Sol, una estrella con actividad baja, la disminución de flujo producida por la presencia de manchas puede llegar a ser del 1%, en estrellas más activas que el Sol, en las que las manchas ocupan regiones del disco estelar mucho mayores, las disminuciones del flujo son mucho mayores. Puesto que las manchas rotan con la propia estrella, estas variaciones de flujo son periódicas, lo que puede mimetizar las variaciones producidas cuando un planeta transita por el disco estelar. De forma menos intuitiva pero igual de importante, la presencia de manchas en la estrella produce variaciones espectroscópicas que afectan a la detección de exoplanetas. La presencia de manchas produce asimetrías en el perfil de las líneas espectrales que influyen en la determinación del centroide de las mismas. Puesto que la técnica de detección de exoplanetas a partir de las medidas de la velocidad radial, se basa en la medida precisa (precisiones de  $\text{m s}^{-1}$ ) de las velocidades radiales y que ésta depende de la determinación del centroide de las líneas espectrales, la presencia de manchas supone una fuente especial de ruido que limita la detección de exoplanetas.

Por otro lado, las estrellas de últimos tipos espectrales son laboratorios que permiten estudiar los procesos de generación, amplificación y mantenimiento de los campos magnéticos estelares. Son estas estrellas las que poseen una envoltura convectiva, en la que la combinación de la rotación diferencial y movimiento convectivo del plasma producen la aparición de un campo magnético a través de un mecanismo de dinamo. A pesar de que el estudio de los campos magnéticos estelares no es un campo de estudio nuevo, existe gran cantidad de fenómenos y problemas que aún no se comprenden en su totalidad. En concreto, dos de las cuestiones que aún están sin resolver es, por un lado si todas las estrellas tienen el mismo tipo de dinamo magnética y si ésta es similar a la propuesta para el Sol y por otro, si una estrella mantiene el mismo tipo de dinamo a largo de su vida o si existe algún cambio con la edad de la estrella.

El estudio de la actividad cromosférica y de la rotación estelar es, por tanto, determinante tanto para asegurar el éxito de las misiones de búsqueda de exoplanetas como para indagar en la problemática relacionada con los tipos de dinamo magnética estelar.

Con esta tesis doctoral se pretende, por un lado, realizar un estudio sistemático de la actividad cromosférica y la rotación de las estrellas alrededor de las cuales presumiblemente se buscarán exoplanetas, con el objetivo de determinar la idoneidad de éstas a la hora de detectarlos. Por otro lado, se pretende analizar en detalle la relación existente entre los distintos indicadores de actividad magnética y en concreto determinar si el resultado obtenido hasta la fecha, según el cual esta relación es universal, es verdadero o no.

## 2. Datos empleados y análisis

El estudio que conforma esta tesis doctoral está basado en datos espectroscópicos. Durante los años 2005 y 2009 se han obtenido, reducido y analizado 1455 espectros *echelle* de alta resolución ( $R \approx 50000$ ) en el rango óptico. La obtención de estos espectros se hizo utilizando distintos instrumentos y telescopios, en concreto, se emplearon los espectrógrafos: FOCES en el telescopio de 2.2 metros (Observatorio de Calar Alto), SARG en el Telescopio Nazionale Galileo (Observatorio de La Palma), FIES en el Nordic Optical Telescope (Observatorio de La Palma) y FEROS en el en el telescopio de 2.2 metros (Observatorio de La Silla). El amplio rango espectral de los espectros obtenidos ha permitido realizar un análisis muy preciso encaminado a obtener las propiedades de las estrellas de la muestra. El hecho de que estos espectros estén formados por órdenes individuales asegura que la medida de las velocidades de rotación y radiales puedan realizarse en las regiones espectrales libres de líneas afectadas por la actividad magnética. De forma análoga, la técnica de sustracción espectral, empleada para medir la actividad magnética en los distintos indicadores ópticos ha podido aplicarse únicamente en aquellos órdenes en los que aparecían estas líneas.

Empelando estos 1455 espectros de alta resolución se ha efectuado una caracterización espectroscópica de 565 estrellas cercanas de tipos espectrales F, G, K y M. En concreto, se han medido distintos parámetros espectroscópicos: velocidades radiales, velocidades de rotación y abundancias de litio. Además se ha medido la actividad cromosférica en todos los indicadores en la región óptica del espectro electromagnético.

## 3. Resultados obtenidos

A modo de resumen, podría decirse que en este trabajo se ha investigado la actividad cromosférica y al rotación de estrellas cercanas que potencialmente pueden albergar sistemas exoplanetarios. Los resultados de este trabajo pueden agruparse en cuatro grandes categorías:

- Se han analizado espectroscópicamente 565 estrellas cercanas de tipos espectrales F-M. Para ello se han obtenido, reducido y analizado un total de 1455 espectros *echelle* de alta resolución.
- Se ha estudiado la idoneidad de las estrellas para la búsqueda de exoplanetas en su entorno. En concreto se han calculado las variaciones de velocidad radial inducidas por la actividad magnética (*RV jitter*) haciendo uso de las medidas de actividad magnética realizadas. La combinación de las medidas realizadas de velocidad de rotación, actividad cromosférica y *jitter* conforman un catálogo en el que puede evaluarse cuáles son las candidatas más apropiadas para la búsqueda de exoplanetas.
- Se han analizado en profundidad las relaciones existentes entre los distintos indicadores de actividad estelar (relaciones flujo-flujo). La muestra empleada no tienen precedentes puesto que no tiene sesgos y es estadísticamente significativa para todo tipo de objetos. Se ha obtenido una correlación clara al comparar la mayoría de los indicadores de actividad cromosférica, sin embargo, se ha mostrado por primera vez de forma clara, la existencia de una población de estrellas que se desvía de algunas de las relaciones flujo-flujo. Es decir, por primera vez se ha demostrado que no todas las relaciones flujo-flujo son universales. El estudio de las estrellas con emisión peculiar en algunas líneas han sido identificadas como estrellas que presentan saturación en la emisión en rayos X y

que son jóvenes y/o estrellas con fulguraciones. Estos hechos parecen sugerir que el motivo por que la emisión de estas estrellas es distinta a la de las demás es porque podrían tener una estructura magnética diferente.

#### 4. Conclusiones

Las conclusiones que pueden extraerse de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Se ha observado una muestra de 565 estrellas cercanas de tipos espectrales tardíos (de F a M) empleando espectrógrafos ópticos de alta resolución. Estos espectros han sido analizados de forma homogénea y se han derivado los parámetros y propiedades estelares más importantes. En particular, se han medido las velocidades radiales y velocidades de rotación, las abundancias de litio y la actividad cromosférica en los principales indicadores ópticos. Como resultado se ha obtenido un catálogo de estrellas frías de la vecindad solar que constituye una contribución notable, con aplicaciones en diversos campos de la Astronomía .
- Se ha determinado la idoneidad de las estrellas para la búsqueda de exoplanetas a su alrededor. Para ello se han medido velocidades de rotación y niveles de actividad magnética en los distintos indicadores ópticos. Haciendo uso de estos resultados, se ha podido calcular el *jitter* en la velocidad radial. De esta forma se ha elaborado un catálogo de estrellas que permite determinar cuáles de ellas presentan ventajas a la hora de buscar planetas a su alrededor.
- Empleando esta muestra de estrellas, que es estadísticamente significativa para todo tipo de objetos, se ha analizado en detalle las relaciones flujo-flujo. Por primera vez, se ha mostrado, que no todas las relaciones son universales, sino que si se compara el índice  $H\alpha$  con un indicador del calcio, existe una población de estrellas que se desvía claramente de las relaciones flujo-flujo clásicas. El análisis realizado permite afirmar, además, que las estrellas que se desvían no son sólo estrellas de tipo M con líneas de emisión (dMe). De hecho, se ha comprobado, que estas estrellas presentan un régimen de emisión en rayos X en la región de saturación y que son estrellas jóvenes y/o con fulguraciones. Todos estos factores parecen indicar que el hecho de que estas estrellas presenten una emisión peculiar en la línea  $H\alpha$  es consecuencia de que podrían tener una dinamo magnética distinta.
- Por último, se ha presentado una caracterización espectroscópica de las estrellas de la muestra DUNES. Para estas estrellas se han medido las velocidades de rotación, se han estimado las edades empleando la técnica de datación basada en el litio y se ha medido la actividad cromosférica en todos los indicadores ópticos. La compilación de parámetros y propiedades de estas estrellas es fundamental para asegurar el éxito de esta misión, la búsqueda de disco *debris* en torno a estrellas cercanas de tipo solar.