

Tesis Doctoral

**La actividad
cromosférica de la
estrellas M de
CARMENES**

Autor: **Fernando Labarga Ávalos**
Director: Prof. David Montes Gutiérrez
Centro: Dpto. Física de la Tierra y Astrofísica
Facultad Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

CONTENIDO

- 1. El Programa CARMENES**
- 2. Las Estrellas Tipo M de CARMENES**
- 3. Algoritmos de Sustracción Espectral.
Características de iSTARMOD**
- 4. Proximos Pasos**

CARMENES



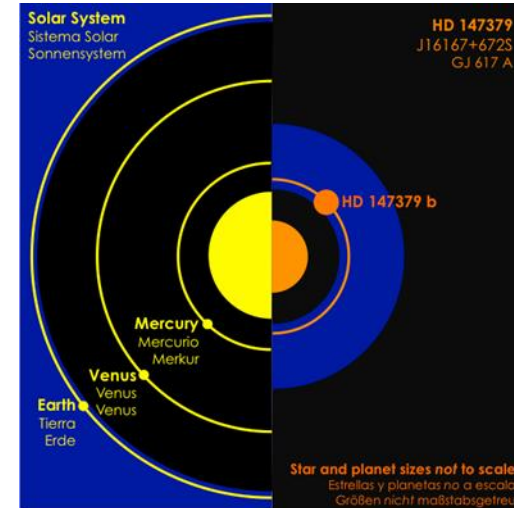
UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

CARMENES

CARMENES (Calar Alto high-Resolution search for M-dwarfs with Exo-earths with Near infra-red and optical Échelle Spectrographs) es un instrumento de última generación concebido para el descubrimiento.

Gracias a él se pretende descubrir exoplanetas de tamaño terrestre (exo-earths) en estrellas tipo M, del vecindario solar, y mediante el método de la velocidad radial

CARMENES es también el consorcio de 11 instituciones de España y Alemania que colaboran en este proyecto



HD 147379 b
CARMENES • Reiners et al. • 2017



CARMENES

Es el primer y único espectrógrafo ultraestable de alta resolución con dispersión cruzada y de gran cobertura en el rango visible (VIS) y en el infrarrojo cercano (NIR) en una sola exposición, disponible en la actualidad.

Su utilidad científica resulta de dos características básicas:

- Altísima resolución ($R > 80,000$)
- Su uso en observaciones de tiempo garantizado



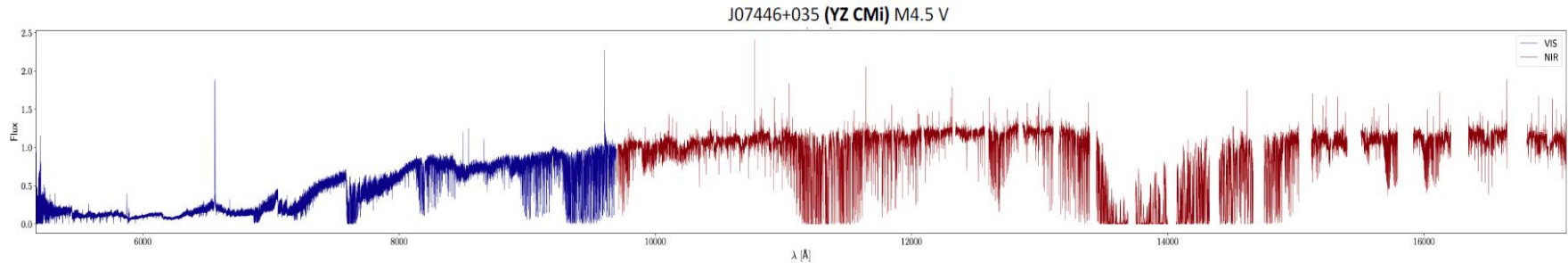
LAS ESTRELLAS TIPO M

de CARMENES



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

ESTRELLAS TIPO M



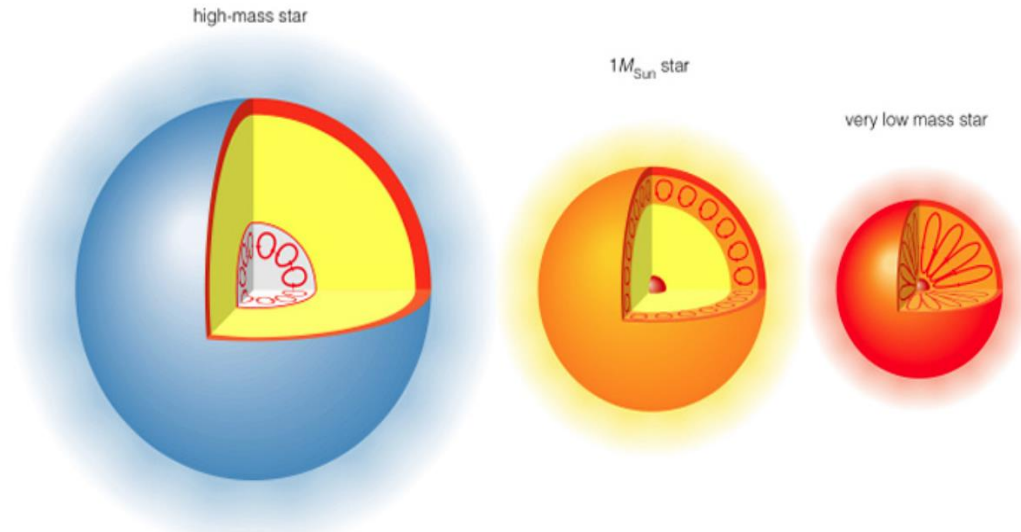
Las estrellas tipo M en las que se centra el catálogo de CARMENES son estrellas de muy baja masa ($M_* < 0,5 M_{\odot}$) y baja temperatura superficial ($M_* < 4000\text{K}$)

Son estrellas muy numerosas y con (se supone) alta probabilidad de albergar planetas de masa terrestre y en la *zona habitable*

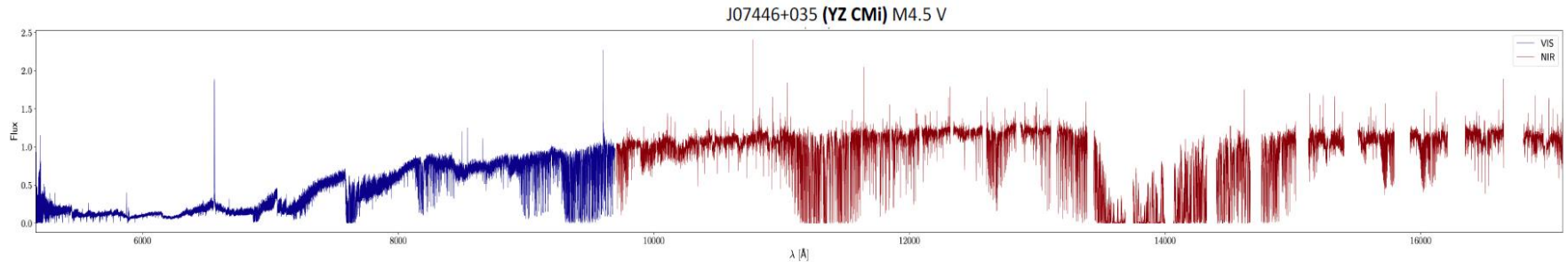
ESTRELLAS TIPO M

Este tipo de estrellas se considera que son *completamente convectivas*

Debido a dicha convección se espera se den fenómenos de dinamo magnética que originan actividad en estrellas con alta velocidad de rotación, en etapas tempranas de su vida



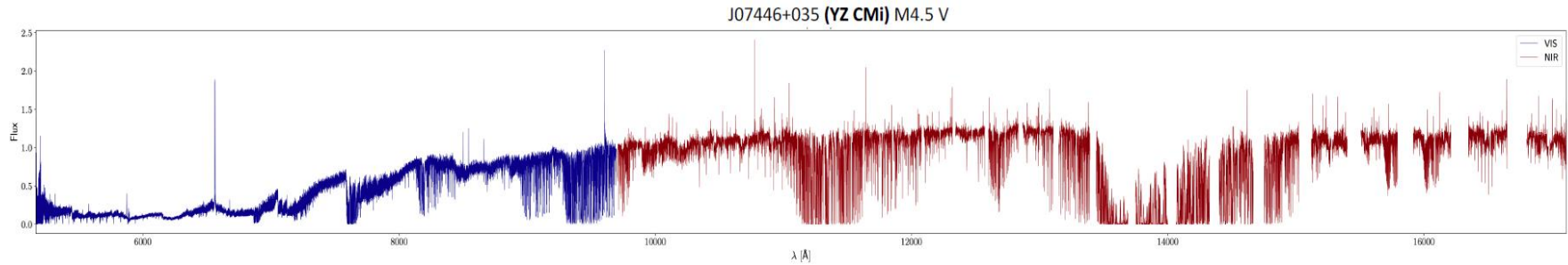
ESTRELLAS TIPO M



Los paquetes de trabajo WP2020 y W3030 de CARMENES se centran en estas estrellas que presentan actividad

Sus espectros, como podemos ver, son análogos a los de cualquier estrella inactiva, con la excepción de una serie de líneas, que se presentan en emisión. Estos son básicamente los **indicadores de actividad cromosférica**

ESTRELLAS TIPO M

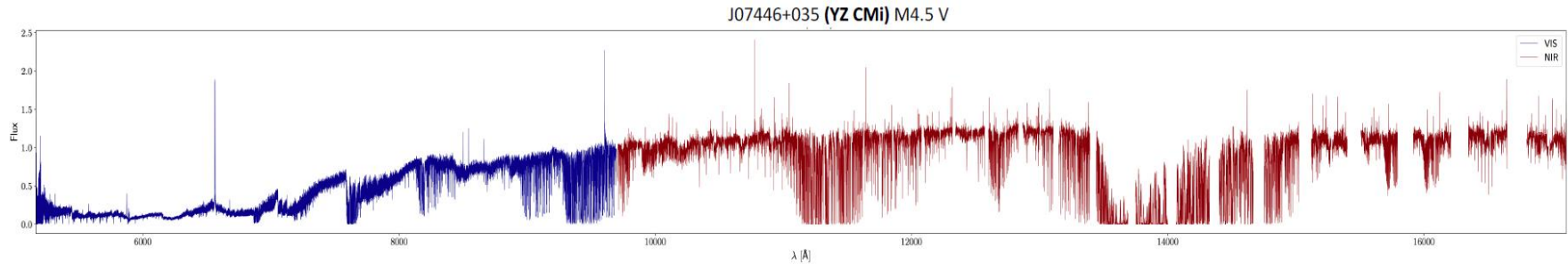


Indicadores de Actividad Cromosférica:

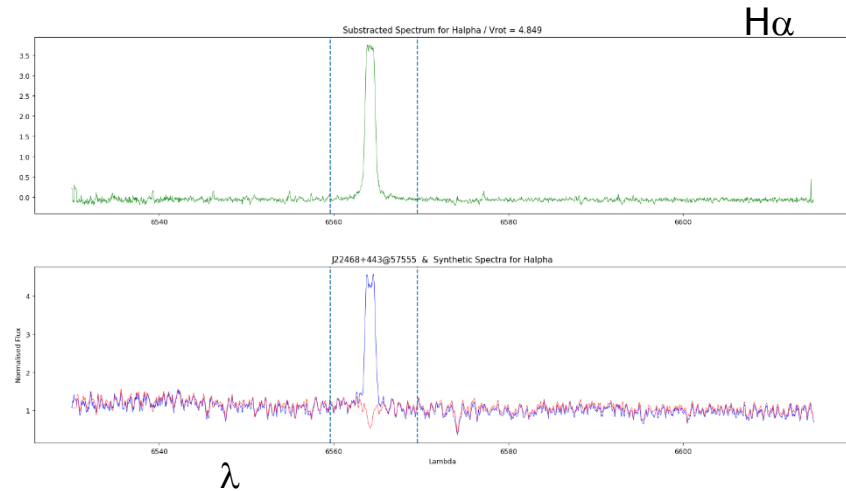
VIS: Líneas Na I D₁, D₂, He I D₃, H α y Ca II IRT

NIR: Líneas He I 10830 Å, y las del hidrógeno de las serie de Paschen: P γ 10938 Å y P β 12818 Å

ESTRELLAS TIPO M



Es, pues, necesario cuantificar y caracterizar los fenómenos de actividad cromosférica que, en el marco de la investigación de esta Tesis doctoral, se realizará mediante el **Algoritmo de Sustracción Espectral**



Algoritmos de Sustracción Espectral

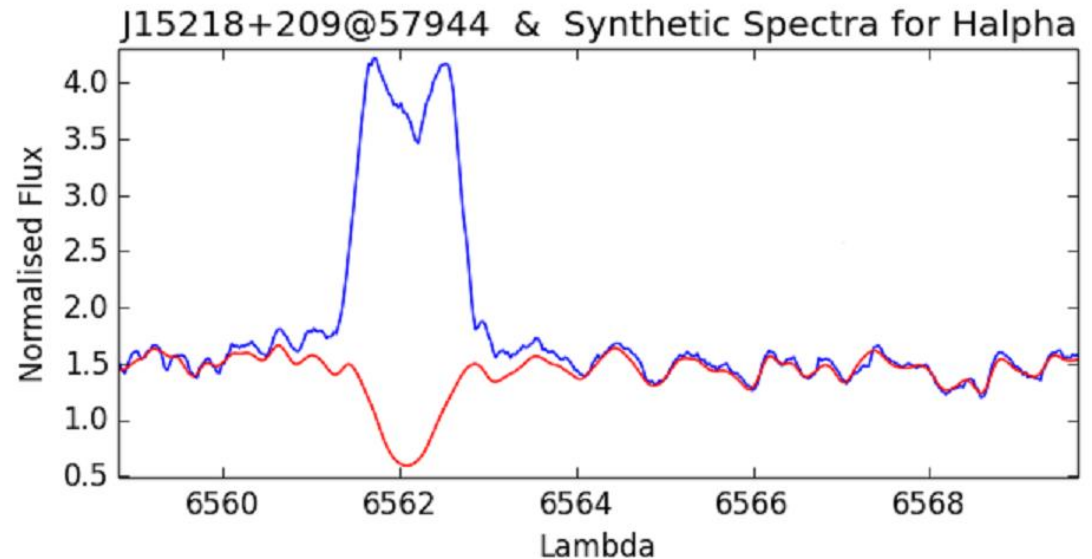
ISTARMOD



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

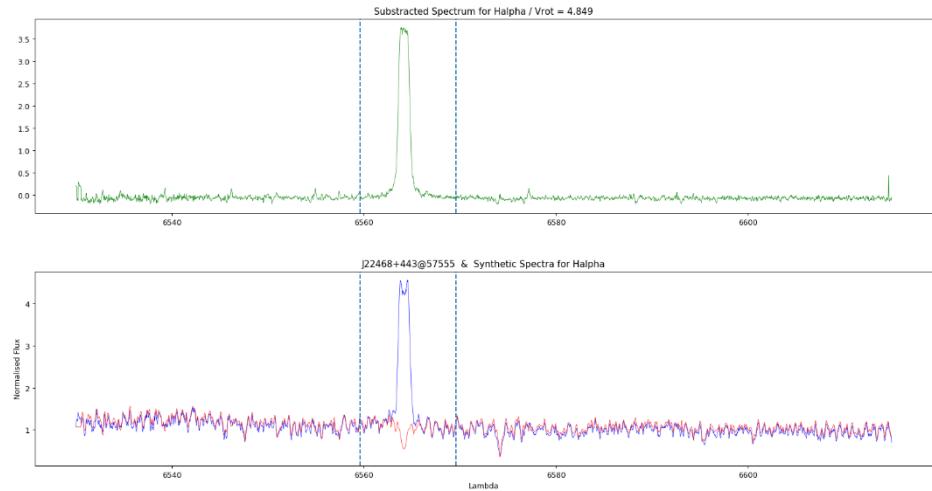
Algoritmos de Sustracción Espectral

La contribución cromosférica en esas líneas se ha determinado usando la técnica de sustracción espectral (Montes et al. 1995). Se parte de un espectro estelar sintético construido mediante el espectro normalizado de una estrella inactiva, del mismo tipo spectral y clase de luminosidad



iSTARMOD

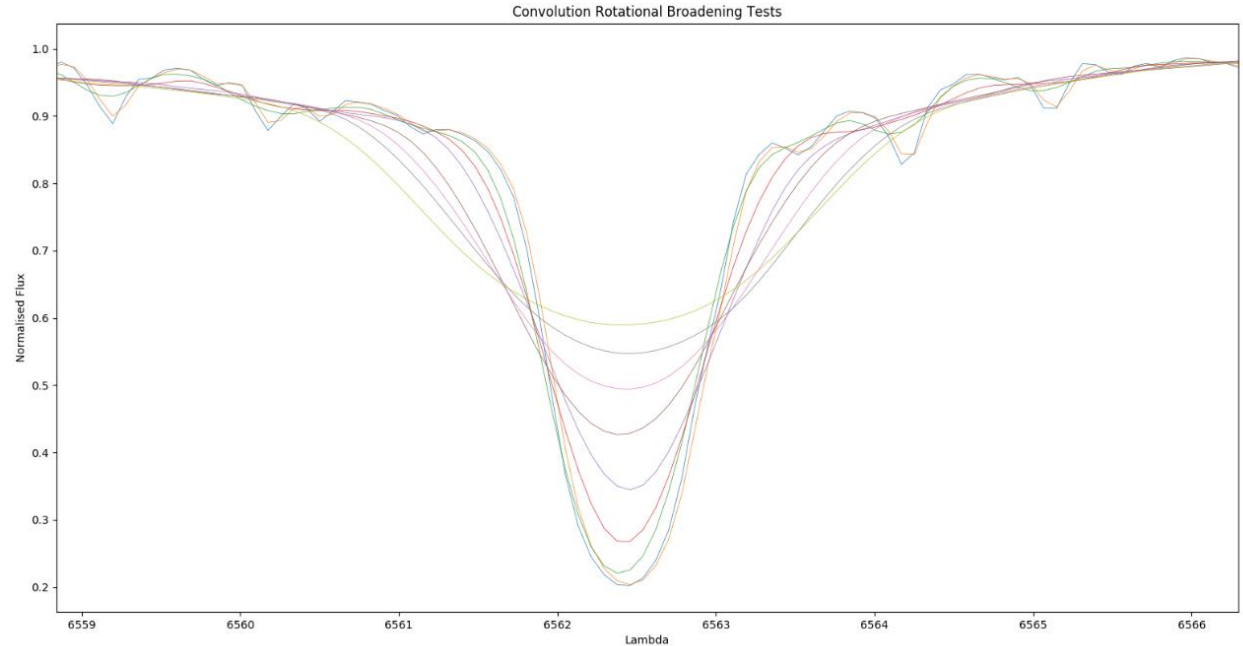
iSTARMOD es una versión modificada del código **STARMOD** desarrollado en la Universidad Penn State (Barden, 1985) ¡en **FORTRAN77**! Posteriormente fué modificado por Montes et al. (2000) y Lopez-Santiago et al. (2010). Uno de los puntos más importantes de esta tesis es su migración a **Python** y su adaptación al trabajo con los espectros de **CARMENES**



Dado que **CARMENES** genera una cantidad ingente de datos es obligatorio adaptarlo para que gran cantidad de las tareas que hemos estado comentado se puedan ejecutar de forma completamente automatizada

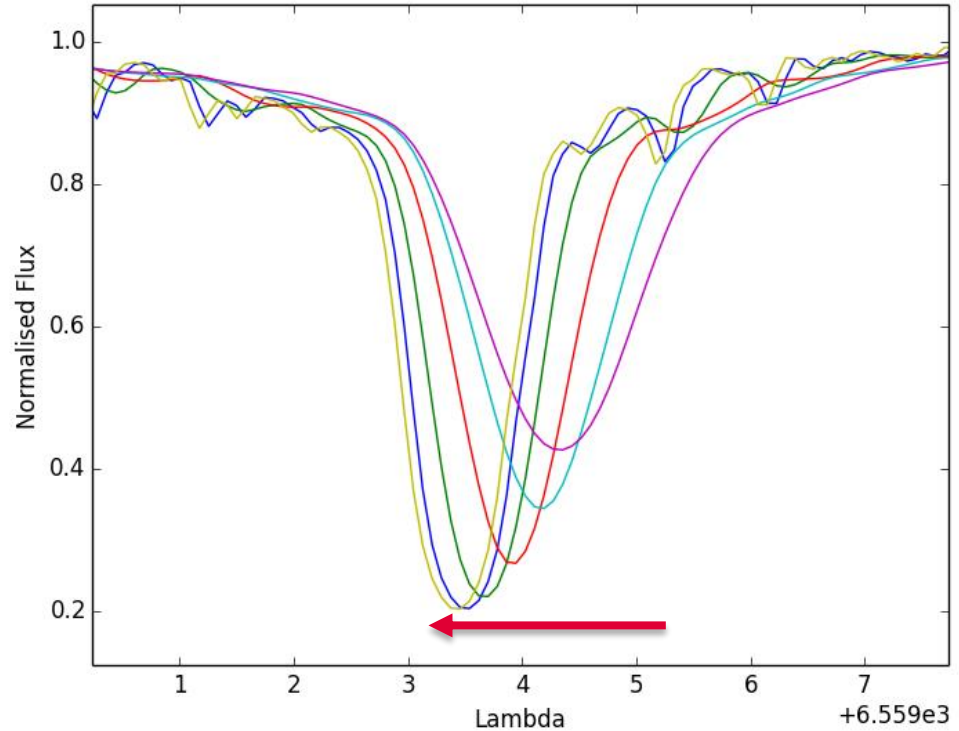
Algoritmos de Sustracción Espectral

En el proceso de **sintetización**, se somete al espectro original a un **ensanchamiento rotacional**



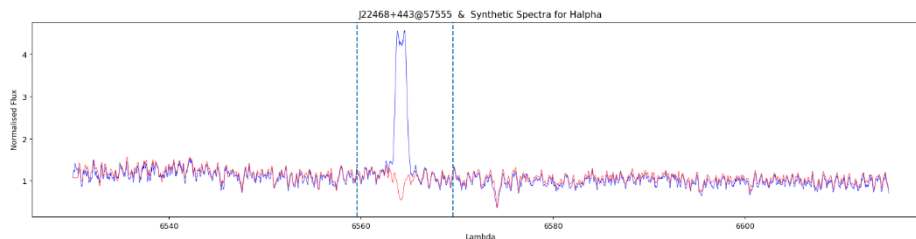
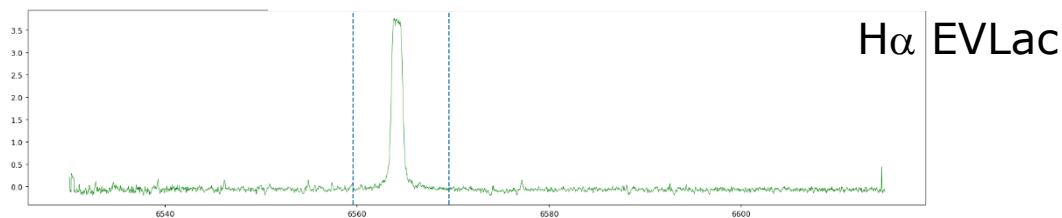
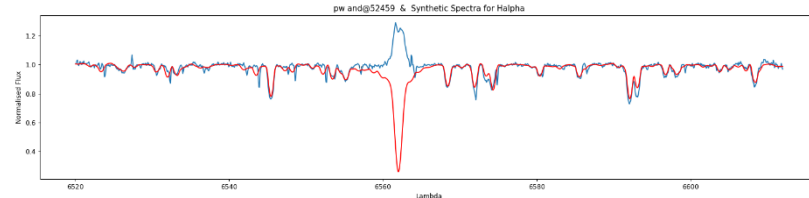
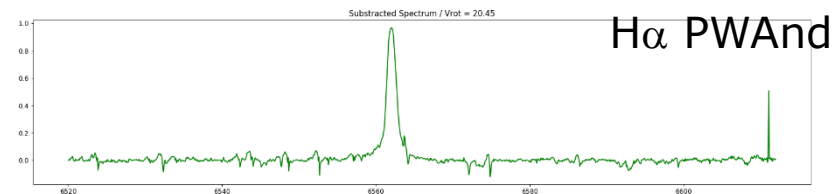
Algoritmos de Sustracción Espectral

Igualmente en el proceso de **sinetización**, se somete al espectro original a un **desplazamiento en l.d.o** por diferencias en Velocidad Radial

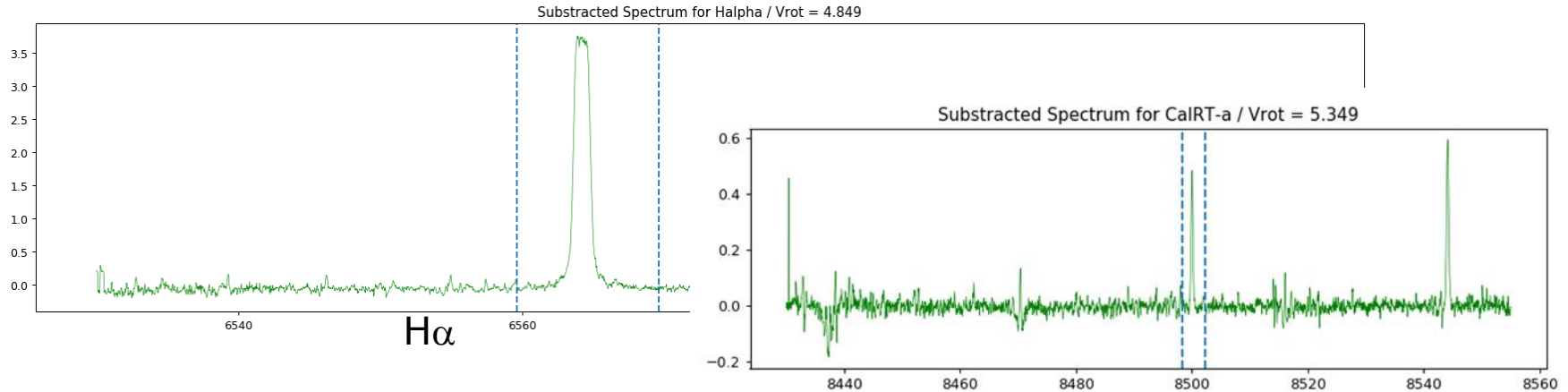


Algoritmos de Sustracción Espectral

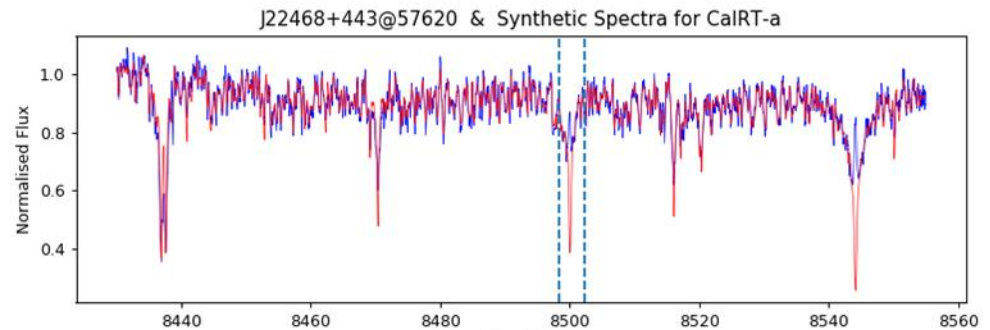
Una vez que se ha determinado cual es el mejor ajuste en desplazamiento de l.d.o (Velocidad Radial) y Velocidad de Rotación ($v \sin i$) se resta el espectro sintético del espectro problema. Como la profundidad de la línea depende del tipo espectral, con este algoritmo podemos estar seguros de que hemos tenido en cuenta la totalidad de la contribución de la emisión



Algoritmos de Sustracción Espectral

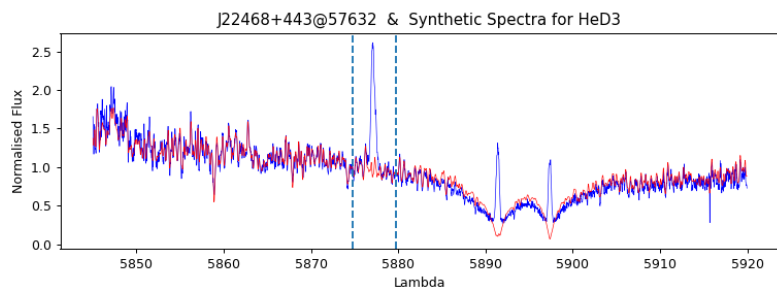
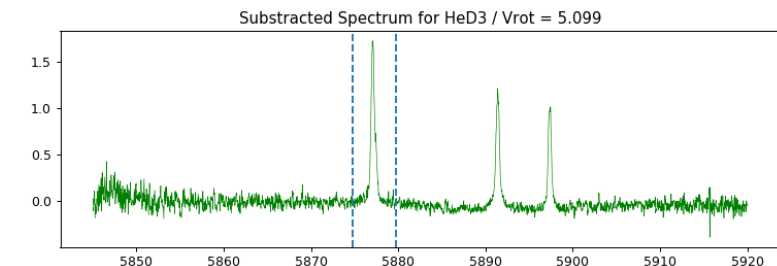


Obtenido el espectro sustraído, calculamos la EW sobre este espectro, con lo que obtenemos una medida de la actividad en la línea que estamos estudiando.



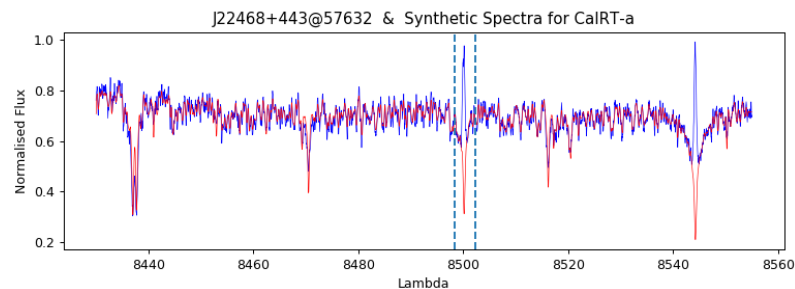
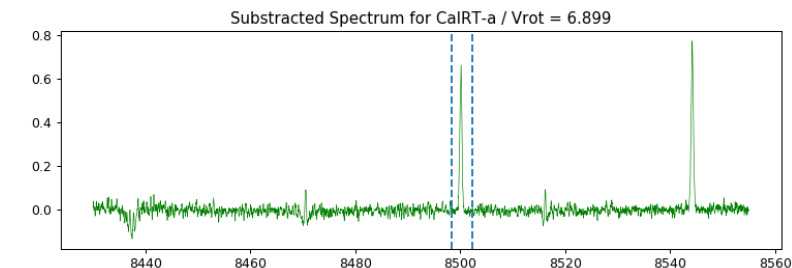
Algoritmos de Sustracción Espectral

Y repetimos el proceso para todo el conjunto de líneas /
indicadoras de actividad cromosférica



HeD3

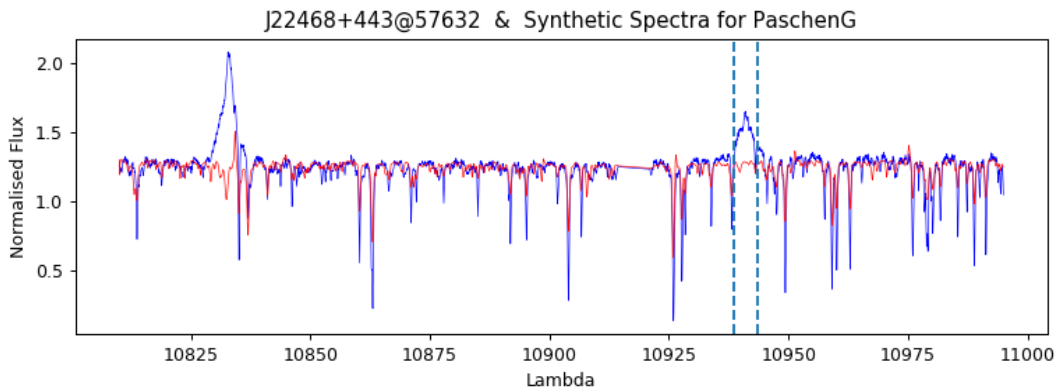
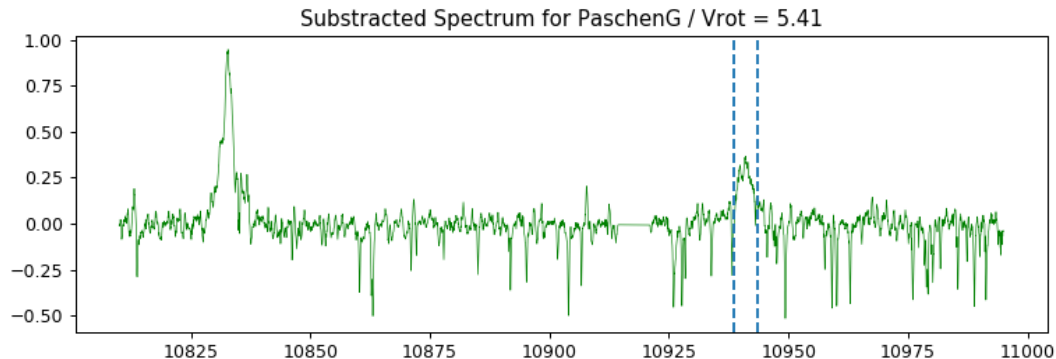
NaD1+NaD2



CaIRT-a + CaIRT-b

Algoritmos de Sustracción Espectral

Y también para las líneas del infrarrojo cercano

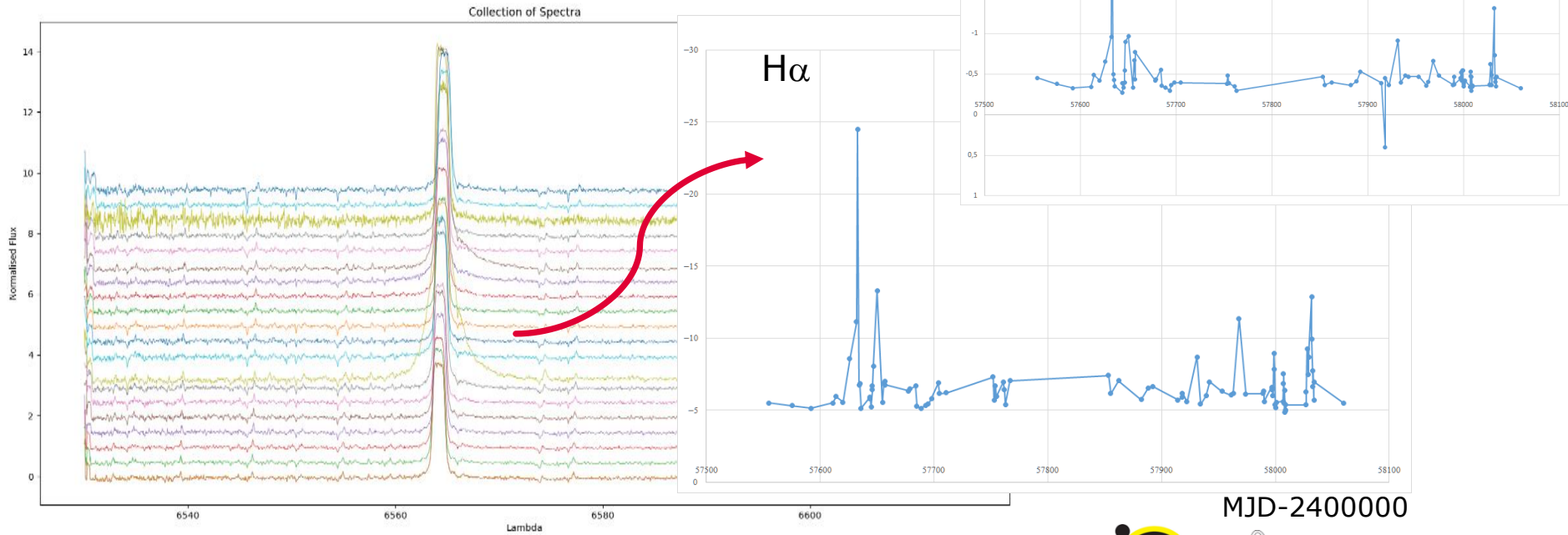


HeD3

Paschen β

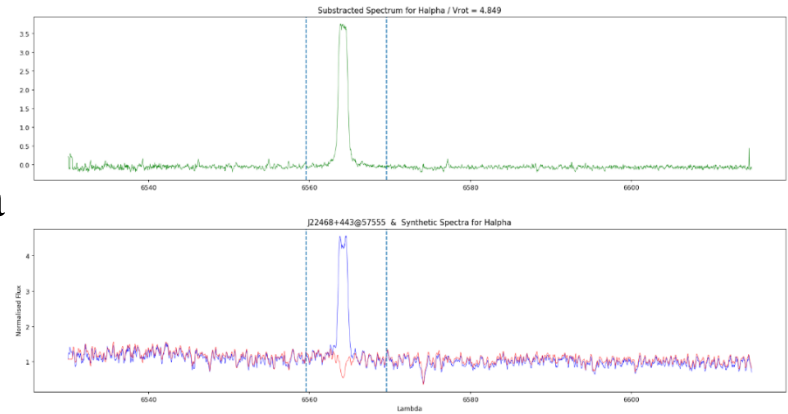
Algoritmos de Sustracción Espectral

Y gracias a iSTARMOD podemos estudiar series temporales de actividad



iSTARMOD

Gracias al desarrollo de **iSTARMOD** ya se ha se ha presentado un TFM:



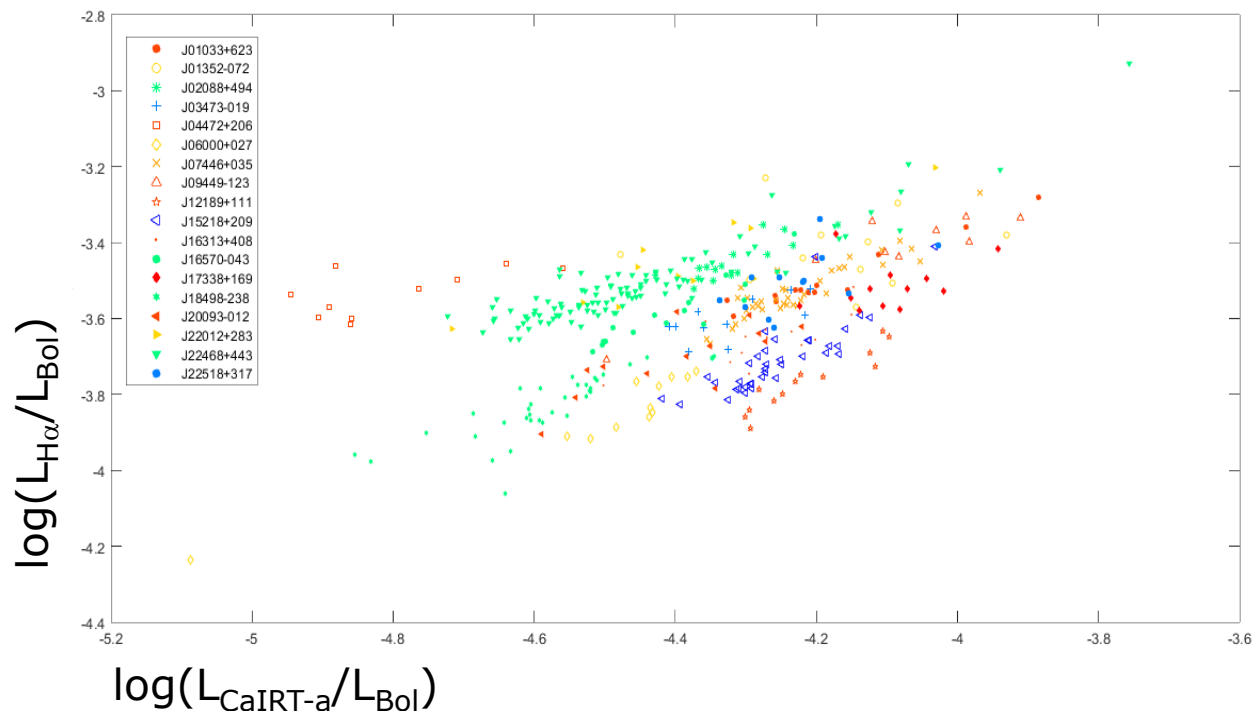
“Science exploitation of the CARMENES VIS and NIR spectra: rotation and chromospheric activity of M-dwarfs.”

José Cano (UCM) (2016-2017 – Feb 2018)

Donde se realizan una serie de medidas de actividad para una selección de estrellas especialmente activas del catalogo de CARMENES

¡STARMOD

En dicho TFM se realizaba un estudio de las relaciones flujo-flujo para distintas líneas indicadoras de actividad cromosférica



PROXIMOS PASOS

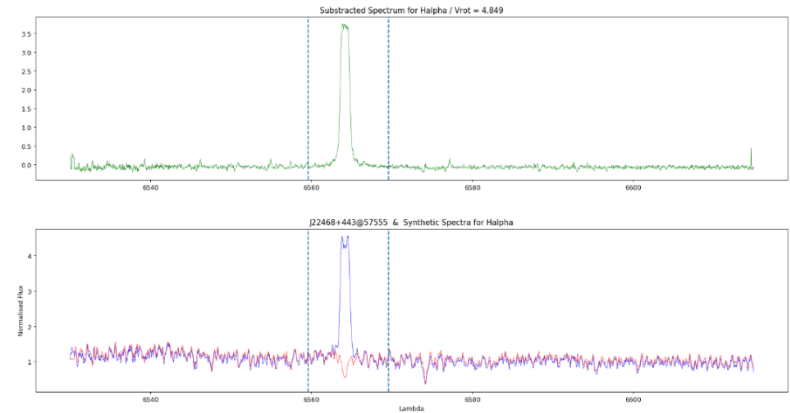


UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

iSTARMOD

iSTARMOD esta pensado para:

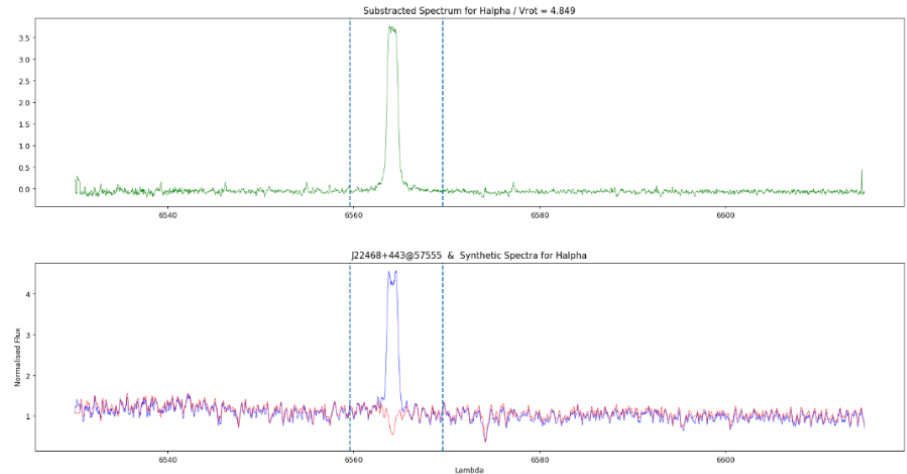
- Procesar mediante el algoritmo de sustracción espectral centenares de espectros para TODOS los indicadores de actividad cromosférica
- Permitir la lectura de los espectros procesados de CARMENES en todos los formatos generados
- Incorporar al algoritmo el cálculo de las anchuras equivalentes
- Permitir la evaluación de series temporales de estos índices de actividad



iSTARMOD

Con **iSTARMOD** se plantean los siguientes pasos para el futuro:

- Extender el estudio de los indicadores de actividad cromosférica a todos los correspondientes del infrarrojo
- Extender el estudio de las relaciones flujo-flujo para todas las estrellas de CARMENES
- Estudiar la dependencia de la actividad de las estrellas de CARMENES con parámetros estelares como la rotación y la edad





Gracias



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID