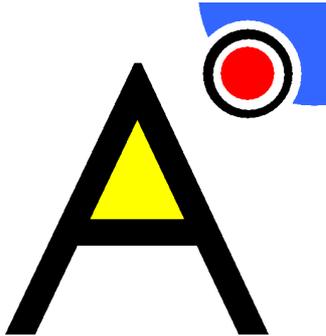




# carmenes

## ¿Qué es eso?

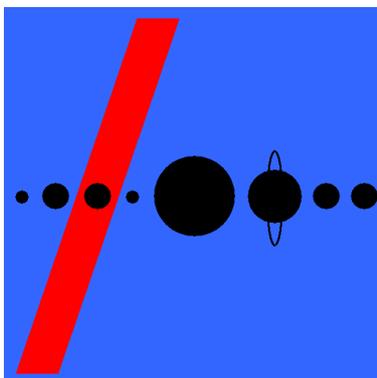
### Exoplanetas y exotierras



Nuestro Sistema Solar tiene ocho **planetas**. Los cuatro interiores son planetas “terrestres” o telúricos: Mercurio (y su superficie idéntica a la de la Luna), Venus (y su tremendo efecto invernadero), la Tierra (y sus seres vivos) y Marte (y sus volcanes y cañones), mientras que los cuatro exteriores son planetas “gigantes gaseosos” o jovianos: Júpiter (y su Gran Mancha Roja), Saturno (y sus anillos) y los gemelos helados Urano y Neptuno (y sus aburridas atmósferas).

Otros planetas (o, mejor, **exoplanetas**) también orbitan otros soles. Desde 1995, el año en que se descubrieron el primer exoplaneta alrededor de una estrella como nuestro Sol y las primeras enanas marrones, se han descubierto ya más de 500 exoplanetas (véase el catálogo más actualizado en la *Enciclopedia de los Planetas Extrasolares*). Sin embargo, la mayoría de ellos son planetas jovianos inhóspitos, tienen temperaturas tan altas como las de las estrellas más frías, u orbitan muy cerca de sus soles (por lo que sus “años” duran sólo unos pocos días).

Con el desarrollo de nuevas tecnologías para la detección de exoplanetas, especialmente con el uso de espectroscopia ultraestable para medir variaciones de velocidad radial en estrellas producidas por cuerpos que orbitan alrededor de ellas, la masa mínima de los exoplanetas descubiertos recientemente es cada vez más pequeña. Sin embargo, a pesar del esfuerzo de los astrónomos, aún no hemos podido detectar la primera exotierra: un exoplanetas con más o menos la misma masa que la Tierra ( $M \sim 0.5-2.0 M_{\text{tierra}}$ ).



Se entiende como planeta habitable aquel que puede albergar agua líquida (y, quizá, vida) en su superficie. Aún tendremos que esperar alrededor de una década para detectar una exotierra en la zona habitable de una estrella de tipo solar (quizá con la misión espacial *PLATO* de la Agencia Espacial Europea o con *ESPRESSO*, un futuro instrumento del telescopio VLT). Por el contrario, de acuerdo con la ecuación de equilibrio radiativo, las exotierras en las zonas habitables de estrellas muy frías y de baja masa deben orbitar mucho más cerca y producir una variación de velocidad radial en su estrella que podría ser medida con tecnología actual.

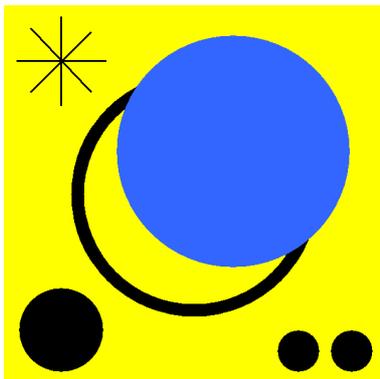
### Enanas M y espectrógrafos infrarrojos

Las estrellas de baja masa son las más abundantes del universo. Son relativamente frías (tienen temperaturas de entre  $\sim 4000$  y  $\sim 2200$  K) y débiles a las longitudes de onda

visibles, y tienen tipos espectrales M y masas de menos de  $0.6 M_{\text{sol}}$ . Las exotierras habitables en órbita de estrellas enanas M deberían producir una variación de velocidad radial de la misma amplitud que la provocada por exojúpiteres alrededor de estrellas más calientes de tipo solar, que son mucho más brillantes en la parte visible del espectro. A pesar de ello, los espectrógrafos visibles como HARPS o HIRES no están optimizados para observar estrellas de baja masa. Debido a sus bajas temperaturas efectivas, la luminosidad de las enanas M es baja, pero también tienen “colores rojos”: mientras que el Sol emite el máximo de su energía hacia el verde-amarillo, en 550 nm, las enanas M lo hacen en el infrarrojo cercano, a  $\lambda > 900$  nm. Por tanto, un espectrógrafo ultraestable que operara en el infrarrojo cercano sería una de las herramientas más adecuadas, si no la que más, para detectar la primera exotierra habitable.

La *ExoPlanet Task Force* recomendó el desarrollo de espectrógrafos infrarrojos para investigar las características de los planetas en zonas habitables alrededor de estrellas M brillantes y cercanas antes de 2013: “Los espectrógrafos infrarrojos son potencialmente la mejor manera de encontrar planetas de masas terrestres en las zonas habitables de estrellas de secuencia principal más tardía que M [...]; la espectroscopia óptica ya es competitiva para tipos espectrales más tempranos. Para ello, es necesario el desarrollo de espectrógrafos infrarrojos con una precisión de 1 m/s para búsquedas de velocidad radial de enanas M tardías”.

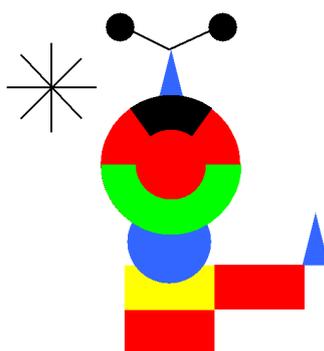
## El observatorio de Calar Alto y el telescopio de 3.5 m



El observatorio astronómico hispano-alemán de Calar Alto (2168 m) está situado en la Sierra de Los Filabres, al norte de Almería. El centro está operado conjuntamente por el Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA-MPG) de Heidelberg, Alemania, y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) de Granada. Calar Alto ofrece tres telescopios reflectores con aberturas de 1.23 m, 2.2 m y 3.5 m a la comunidad astronómica internacional.

El telescopio de 3.5 m (1984) es aún el telescopio más grande de Europa Occidental (a excepción de las Islas Canarias). Se pueden usar seis instrumentos diferentes, desde cámaras de gran campo en el visible y en el infrarrojo, a espectrógrafos de resolución intermedia, pasando por una unidad de campo integral llamada PMAS.

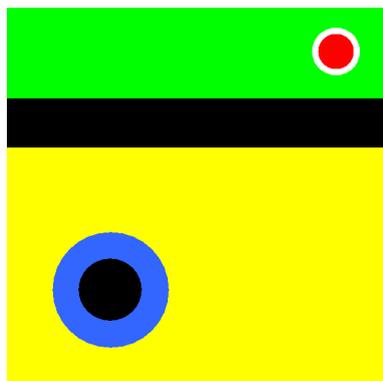
## CARMENES: el consorcio



En 2008 hubo una competición tras un llamamiento, por el Centro Astronómico Hispano-Alemán, para construir un instrumento de próxima generación en el telescopio 3.5 m de Calar Alto. CARMENES fue uno de los dos instrumentos seleccionados para un estudio de diseño conceptual (Fase A) financiado por la Max-Planck-Gesellschaft alemana y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. El otro era un espectrógrafo de gran “multiplexado” que no siguió desarrollándose.

El Consorcio CARMENES fue creado oficialmente a principios de 2009 con el objetivo de diseñar, construir, integrar y operar el instrumento del mismo nombre. El Consorcio está formado en la actualidad por diez centros de investigación y universidades en España y Alemania, en colaboración con el observatorio astronómico de Calar Alto. A día de hoy, somos más de 80 científicos e ingenieros en el Consorcio.

## CARMENES: el instrumento



CARMENES estará optimizado para la búsqueda de planetas alrededor de estrellas de muy baja masa. Con una estabilidad del orden de **1 m/s** en el infrarrojo cercano y monitorización simultánea de indicadores de actividad en el visible, se podrán detectar exotierras en las zonas habitables de las estrellas M investigadas, algunos de los cuales podrán también ser transitantes. El instrumento estará bien preparado para ser operado en Calar Alto en modo “gran experimento”. Además, se podrán realizar pequeñas campañas astrosismológicas para refinar los parámetros astrofísicos de las estrellas con exoplanetas.

Las velocidades radiales de las estrellas se monitorizarán con un espectrógrafo échelle de dos canales alimentado por fibras que proporcionará casi toda la cobertura en sus intervalos de longitud de onda en una sola exposición (véase la tabla debajo). El canal infrarrojo cubrirá las bandas *Y*, *J* y *H* desde 950 hasta 1700 nm (con especial énfasis en el rango 950-1350 nm) y tendrá una resolución  $R \sim 85,000$ . Con una eficiencia total  $> 5\%$ , esperamos llegar a cocientes de señal-ruido de 150 en 950 s de exposición en estrellas de  $J = 9$  mag. El canal visible, que cubrirá el rango espectral entre 530 y 1050 nm, monitorizará simultáneamente los indicadores de actividad (p.e.,  $H\alpha$ ,  $Ca II$ ). Los dos canales del espectrógrafos tienen diseños de “pupila blanca” montados sobre bancos ópticos ultraestables.

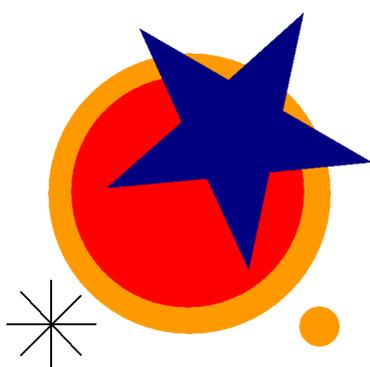
	<b>VIS</b>	<b>NIR</b>
$\Delta\lambda$	530-1050 nm	950-1700 nm
$R=\lambda/\Delta\lambda$	80,000	85,000
<b>Tamaño de fibra</b>	1.50 arcsec	1.65 arcsec
<b>Red de difracción</b>	2 x R4 (31.6 mm <sup>-1</sup> )	2 x R4 (31.6 mm <sup>-1</sup> )
<b>Dispersor cruzado</b>	grisma	grisma
<b>Detector</b>	e2v 42-82 (4k x 2k)	2 x Hawaii-2RG (4k x 2k)

Otros componentes principales de CARMENES son su nueva plataforma de entrada (“front-end”) en el foco Cassegrain compatible con el instrumento PMAS, actualmente en operación, su alimentación por fibras con batidor de imagen (“image scrambler”), su unidad de calibración capaz de inyectar luz de lámparas halógenas y de emisión (ThAr) o de dispositivos de ondas (“wavemeters”) de Fabry-Pérot, su sistema de enfriamiento estabilizado y tanques de vacío para los dos canales del espectrógrafo ( $\Delta T \approx 0.01$  K), y su avanzado sistema de control computerizado del instrumento.

Existen varios espectrógrafos comparables, tanto en operación como en desarrollo. Sin embargo, CARMENES tiene una serie de ventajas que le hacen un instrumento único:

- Observaciones simultáneas en el infrarrojo cercano y en el visible (para discriminar entre exoplanetas y actividad estelar).
- Alta resolución y ancha cobertura espectrales a la vez.
- Dedicación exclusiva a la búsqueda de exoplanetas alrededor de enanas M mediante velocidad radial de alta precisión.
- Tiempo garantizado extenso para la terminación del proyecto (>600 noches útiles durante cinco años).
- Elusión de problemas con criogenia (énfasis en las bandas del óptico rojo e YJ).
- Primera luz temprana (finales de 2013-principios de 2014).

## Nombre y logo



CARMENES es el acrónimo de **Calar Alto high-Resolution search for M dwarfs with Exo-ea[r]hts with Near-infrared and optical Échelle Spectrographs**. Cármenes (con tilde en la a) es también el plural de Carmen, que es un nombre de mujer típico en España que también se usa en Alemania. Un carmen es, además, una casa ajardinada con huerto, típica de la ciudad de Granada, y Carmen es el nombre de un asteroide descubierto desde Heidelberg por M. F. Wolf (558 Carmen, 1905 QB) y el de una óperas francesa de Georges Bizet basada en una novela de Prosper Mérimée con el mismo título. Cármenes, en plural, es una pequeña localidad (397 habitantes) en la provincia de León.

El nombre CARMENES fue elegido democráticamente por los miembros del consorcio. Otros nombres que consideramos fueron, por ejemplo, HRS (High-Resolution Spectrograph), ICARVS (International Calar Alto Radial Velocity Spectrograph), CAIROS (Calar Alto Infra-Red and Optical Spectrograph) o CAPERUSITA.

El logo de CARMENES (al principio de este documento) es una versión minimalista del famoso logo "Turismo español" de Joan Miró con la palabra *carmenes* escrita en fuente Bauhaus (Herbert Bayer 1925). Con un poco de imaginación, el logo puede representar un pequeño planeta negro alrededor de una estrella roja. El resto de figuras que ilustran este documento son versiones minimalistas al estilo Bauhaus de pinturas famosas de Miró.

José A. Caballero y el  
Consortio CARMENES  
carmenes.caha.es