

Abundancias químicas de elementos de captura neutrónica en la Vía Láctea

Autor: Carlos Viscasillas Vázquez

Tesis doctoral dirigida por:

Gražina Tautvaišienė

Centro: Instituto de Física Teórica y Astronomía. Universidad de Vilnius

Fecha de lectura: 14 de septiembre de 2022

Derecha: Representaciones 3D de $[Ba/Al]$ en función de la edad y la distancia galactocéntrica para 62 cúmulos abiertos en tres regiones galactocéntricas (interna, solar, externa) y toda la muestra vistas desde tres perspectivas diferentes.

La comprensión de la formación, estructura y evolución de la Vía Láctea es uno de los principales interrogantes en la astronomía moderna. La Galaxia está compuesta de elementos químicos que van desde los originados en el Big Bang hasta los formados por nucleosíntesis estelar. Entre ellos, hay algunos que destacan por su especial nucleosíntesis, son los llamados elementos de captura neutrónica, y que en algunos casos son producidos en eventos astronómicos extremos, como colisiones entre estrellas de neutrones o supernovas. A pesar de que los elementos de captura neutrónica representan la mayoría de los elementos en la tabla periódica, solo constituyen una pequeña cantidad de la composición global del Universo. Sin embargo, es en este pequeño porcentaje donde se encuentran las claves para comprender la evolución química de la Galaxia.

La tesis comienza introduciendo las abundancias de elementos de captura neutrónica en su contexto astrofísico. Se clasifican estos elementos según diferentes criterios y se presentan los procesos de nucleosíntesis que los generan, dividiéndolos en lentos (-s) y rápidos (-r). Se revisan sus abundancias en el Sistema Solar y se presentan los posibles lugares astrofísicos donde se producen.

Se presenta después la metodología utilizada en la tesis aplicada a dos muestras, una de estrellas de campo y otra de cúmulos abiertos. La primera consiste en 506 estrellas en el vecindario solar observadas desde el Observatorio Astronómico de Molėtai (Lituania) utilizando el espectrógrafo VUES. Se proporciona información sobre la adquisición de datos, parámetros atmosféricos, análisis de abundancias, edades y órbitas. La segunda consta de 62 cúmulos abiertos del Gaia-ESO Survey idr6, observados con el espectrógrafo UVES instalado en el VLT en Paranal (Chile). Se proporcionan detalles sobre el análisis de espectros y selección de miembros.

La tesis continúa con el análisis de las abundancias químicas, abordando primero las relaciones $[E/Fe]$ en función de la metalicidad para diez elementos de captura neutrónica, según su clasificación: primer pico -s, segundo pico -s, elementos mixtos y elementos dominados por -r. Después se examina la relación $[hs/ls]$ (los llamados indicadores del proceso -s) para controlar la eficiencia del proceso y la confiabilidad de los modelos GCE, encontrando un comportamiento diferenciado para las dos componentes del disco galáctico. Termina esta parte con un estudio de las relaciones $[r/\alpha]$ versus $[Fe/H]$. Los resultados sugieren aquí que el proceso -r fue el único proceso de captura neutrónica activo al comienzo de la formación del disco grueso, y que existe una evolución química diferente en ambos componentes galácticos. También se proponen mejoras en los modelos teóricos.

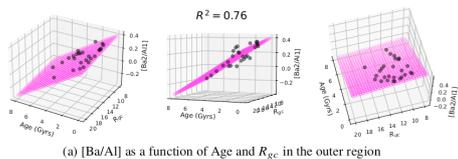
Más tarde se abordan los gradientes de abundancia de elementos de captura neutrónica en el disco galáctico. La distribución de las abundancias químicas en la Galaxia no es uniforme en edad y posición, lo que resulta en gradientes de abundancia. Los elementos de captura neutrónica son claves, porque su producción es "específica del sitio". Por ello, tanto los mecanismos de formación del disco como la nucleosíntesis estelar dejan su marca en estos gradientes. Dividimos el estudio en gradientes temporales y gradientes espaciales. Se comparan los gradientes en los discos delgado y grueso. Las conclusiones principales son que los gradientes de abundancia de los elementos de captura neutrónica en el disco galáctico varían según la edad y la ubicación espacial. En el disco delgado, los gradientes de edad son negativos para el Sr, Y y Ba y se vuelven positivos para los elementos dominados por el proceso-r. Además, los gradientes radiales de abundancia en el disco delgado son insignificantes para los elementos dominados por el proceso-s y se vuelven positivos para los elementos dominados por el proceso-r.

A continuación examinamos el uso de las abundancias de elementos de captura neutrónica como relojes químicos. Aplicamos las relaciones $[s/\alpha]$ a nuestras muestras, por separado para los discos delgado y grueso y OCs. Utilizamos regresiones multivariantes ponderadas en función de la edad, metalicidad y R_{gc} (figura) para describir las relaciones entre la edad de los OCs y sus características químicas. Investigamos las variaciones radiales de las relaciones $[s/\alpha]$ y el papel de la migración, comparando nuestros resultados con los de la literatura disponible. Más tarde explicamos las relaciones de abundancia $[Y/H]$ e $[Y/Mg]$ de cúmulos estelares en el disco interior de la Galaxia desde un punto de vista teórico con una nueva prescripción basada en la mezcla magnética en estrellas AGB, que causa una producción menos eficiente de Y a alta metalicidad. Concluimos que las diferencias en R_{mean} pueden producir variaciones en el y-intercepto para la relación $[Y/Mg]$ -edad. Encontramos una correlación casi despreciable de $[Y/Mg]$ con la edad en el disco grueso, reservando la propiedad de indicadores de edad para las estrellas en el disco delgado. En cuanto a los OCs, concluimos que no hay una relación de reloj químico de edad válida para todo el disco, sino que hay una fuerte dependencia con la posición galactocéntrica. Las relaciones que involucran Ba son las más sensibles a la edad.

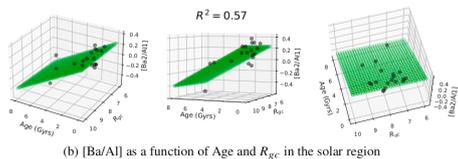
Para finalizar, proporcionamos una visión general de la tesis, enumerando las conclusiones, las limitaciones y las perspectivas futuras.

Tesis disponible en:

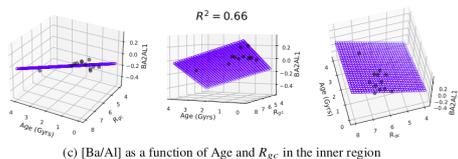
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022PhDT.....2V/abstract>



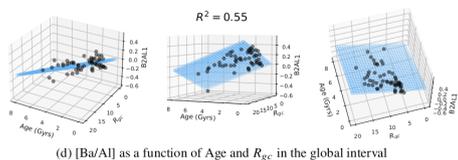
(a) [Ba/Al] as a function of Age and R_{gc} in the outer region



(b) [Ba/Al] as a function of Age and R_{gc} in the solar region



(c) [Ba/Al] as a function of Age and R_{gc} in the inner region



(d) [Ba/Al] as a function of Age and R_{gc} in the global interval

Sistemas estelares binarios de rayos X de alta masa vistos a través de XMM-Newton: vientos, flujos y acreción en 4U0114+65, Cen X-3 y XTE J1855-026

Autora: Graciela Sanjurjo Ferrín
(graciela.sanjurjo@ua.es)

Tesis doctoral dirigida por: José Miguel Torrejón Vázquez

Centro: Universidad de Alicante

Fecha de lectura: 30 de noviembre de 2022

Los sistemas estelares binarios de rayos X de alta masa se componen de un objeto compacto, que puede ser una estrella de neutrones, un agujero negro o una enana blanca, y de una estrella gigante, generalmente de tipo B o tipo O, llamada la compañera.

La producción de rayos X ocurre cuando el objeto compacto (que orbita suficientemente cerca de la compañera y, por lo tanto, está totalmente sumergido en el viento estelar) capta gravitatoriamente materia de la compañera y esta cae sobre el objeto compacto, convirtiendo en la energía potencial en energía radiactiva en forma de rayos X. Esta acreción puede ocurrir por captación del viento estelar o por formación de un disco alrededor del objeto compacto.

Con el análisis espectral podemos deducir propiedades generales del sistema, como la luminosidad, temperatura o campo magnético. Además, estos rayos X, a su vez, iluminan el viento estelar y este produce líneas de emisión, cuyas propiedades

(como la anchura e intensidad) nos dan una valiosísima información sobre las propiedades del viento y del sistema.

Por otro lado, el análisis temporal, como la evolución del *spin* del objeto compacto a lo largo de los años o la forma del pulso, también es una herramienta útil para tratar de descifrar la naturaleza de estos sistemas tan complejos.

Una característica de la astronomía de rayos X es que estos son absorbidos por la atmósfera, y, por lo tanto, es necesario realizar las observaciones desde telescopios en órbita. Esta tesis doctoral se fundamenta en el análisis de datos del observatorio XMM-Newton, que fue puesto en órbita por la ESA el 10 de diciembre de 1999, y se compone de tres telescopios de rayos X y de un monitor óptico. Hasta la fecha, es el mayor satélite científico construido en Europa.

La astronomía de rayos X, y consecuentemente el estudio en rayos X de sistemas binarios de alta masa, es un campo de estudio muy reciente en el que queda mucho por hacer.

En esta tesis doctoral estudiamos a fondo observaciones de tres sistemas binarios de alta masa de rayos X:

La fuente 4U0114+65 es uno de los púlsares más lentos conocidos hasta el momento. Está formado por una donante de alta masa de tipo espectral B1a y una NS que la orbita con un período de 11,6 d. La NS gira sobre su eje con un período de ~ 9350 s. Esta fuente podría ser un magnetar (NS con un campo magnético muy intenso, incluso para una NS). En este trabajo presentamos el análisis de una observación en período propietario realizada con el satélite XMM-Newton durante 49 ks, donde hemos estudiado el proceso de acreción, las propiedades del viento estelar, la naturaleza de los pulsos de rayos X y motivamos que su campo magnético esté en el rango del de un magnetar.

Cen X-3 es un sistema binario compacto de rayos X de alta masa. La acreción sobre el objeto compacto, una NS en este caso, tiene lugar mediante disco de acreción. En este trabajo hemos analizado dos observaciones llevadas a cabo con el telescopio XMM-Newton. Una de ellas tuvo lugar en el año 2001, durante las fases orbitales $ph = 0,0 - 0,37$. Esta observación fue tomada durante la salida del eclipse del objeto compacto, cuando la fuente se encontraba en un estado superorbital *hard-low*; *hard* porque la emisión de rayos X es muy energética y *low* porque la intensidad es baja. La segunda observación tuvo lugar en el año 2006, durante las fases orbitales $ph = 0,35 - 0,8$. En este caso la fuente se encontraba en un estado superorbital *soft-high*, es decir, la luz emitida no es tan energética como en la primera observación pero su intensidad es mayor. Por último, presentamos un análisis de la primera observación tomada con el observatorio XMM-Newton del sistema eclipsante HMXRB XTE J1855-026. La observación tuvo lugar totalmente durante el eclipse de la NS, cubriendo las fases orbitales $ph = 0,00 - 0,11$. Hemos comparado nuestro análisis de la fuente en eclipse con uno previo realizado con Suzaku en las fases orbitales previas al eclipse y hemos estudiado el viento estelar retroiluminado de la donante tipo B0I.

Gracias a estos análisis hemos podido calcular el *spin-up* de la fuente 4U 0114+65 y motivar su naturaleza como magnetar. Hemos observado estructuras emerger del eclipse en Cen X3 y analizado la complejidad de la interacción del campo magnético de la estrella de neutrones con la parte interior del disco de acreción, además de proponer posibles localizaciones de generación de la línea de hierro casi neutro. En XTE J1855-026 hemos observado plasma con dos grados de ionización diferentes procedentes de diferentes fases del viento estelar, hemos comparado nuestra observación con una producida antes del eclipse del objeto compacto y hemos investigado la naturaleza de los eclipses profundo en binarias de alta masa con compañeras de tipo I y II.

Tesis disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/133881>

Desde la Era de la Precisión hacia la Era de la Exactitud de la cosmología con DESI

Autor: Samuel Brieden

(samuel.brieden@ed.ac.uk)

Tesis doctoral dirigida por: Héctor Gil-Marín y Licia Verde

Centro: Universitat de Barcelona

Fecha de lectura: 14 de septiembre de 2022

A pesar de los recientes éxitos de la Cosmología al haber entrado en la "Era de la Precisión", todavía hay cuestiones abiertas. Los principales ingredientes del modelo estándar Λ CDM, la energía oscura (parametrizada a través de la constante cosmológica de Einstein, Λ) y la materia oscura fría (CDM) contribuyen al $\sim 95\%$ de la densidad de energía total del Universo. Pero su naturaleza subyacente sigue siendo completamente desconocida. Además, diferentes observaciones cosmológicas favorecen diferentes valores de los parámetros, con la discrepancia más famosa siendo la "tensión" de hasta 5σ entre las mediciones en tiempo temprano dependientes del modelo y sus mediciones directas en tiempo tardío de la constante de Hubble H_0 .

El cartografiado del Instrumento Espectroscópico de Energía Oscura (DESI) se puso en marcha para desentrañar el misterio de la energía oscura midiendo millones de espectros de galaxias y cuásares distantes para crear el mayor mapa tridimensional de la estructura a gran escala del Universo jamás obtenido. La historia de la expansión se obtiene mediante la técnica denominada regla estándar: las distancias (en función del corrimiento al rojo) se miden en unidades de una escala característica, la regla estándar, que es una huella de las ondas de gravedad-presión en el Universo primitivo que da lugar a las llamadas oscilaciones acústicas de bariones (BAO). La tasa de crecimiento de las estructuras se obtiene mediante la medición de la anisotropía de la agrupación de galaxias a lo largo y a través de la línea de visión, que es inducida por las velocidades peculiares de las galaxias que impactan en las mediciones de corrimiento al rojo de sus espectros. Como consecuencia, las distancias inferidas a partir de estos corrimientos al rojo están distorsionadas, por lo que este efecto se denomina distorsiones del espacio de corrimiento al rojo (RSD).

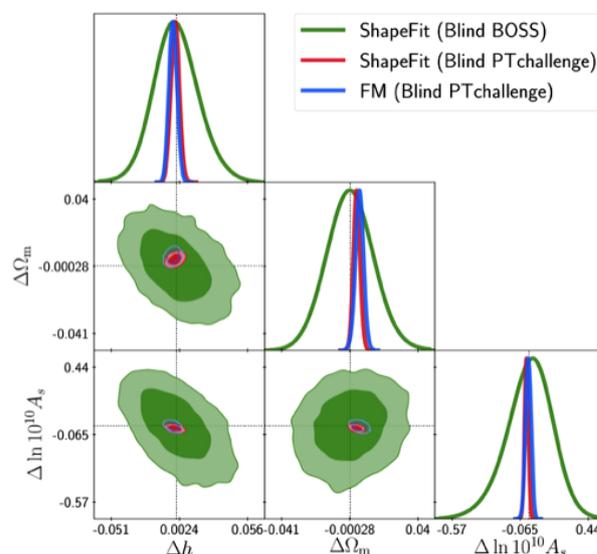
En la primera parte de esta tesis presentamos un método de cegado en los catálogos de galaxias que enmascara la señal real de BAO y RSD. Los futuros datos de DESI se beneficiarán de este cegado para eliminar el impacto del sesgo de confirmación en los resultados cosmológicos. Exploramos dos tipos de desplazamientos para este cegado a nivel de catálogo, perturbando las posiciones individuales de las galaxias a lo largo de la línea de visión. El primero es un desplazamiento puramente geométrico basado en una ley de expansión diferente. En el segundo, los corrimientos al rojo se desplazan en función del campo de densidad de las galaxias imitando una señal de RSD con una tasa de crecimiento modificada. Demostramos que ambos desplazamientos distorsionan las señales de forma coherente al realizar análisis de BAO y RSD en los catálogos originales y cegados.

En la segunda parte, mejoramos el estado del arte en que se realizan los análisis BAO y RSD incluyendo un nuevo observable, la forma de la señal de agrupamiento en función de las separaciones de las galaxias. Mientras que las señales de

BAO y el RSD incorporan la información horizontal y vertical respectivamente en la señal de agrupamiento, la forma capta la información "diagonal". Como demuestra la figura adjunta, encontramos que esta técnica llamada *ShapeFit* es suficiente para obtener mediciones cosmológicas tan precisas como los ajustes directos del modelo a las estadísticas de dos puntos de las galaxias, preservando al mismo tiempo las ventajas de la independencia del modelo de los análisis estándar BAO y RSD. Ambas partes de esta tesis subrayan la importancia del agnosticismo hacia el modelo en el contexto de los grandes sondeos y las tensiones cosmológicas. De tal manera, desempeñan un papel crucial para el análisis cosmológico del sondeo DESI, y proporcionan un camino para la transición entre la "Era de la Precisión" a la "Era de la Exactitud" de la cosmología.

Tesis disponible en:

<https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/191284>



Esta figura muestra la precisión de ShapeFit en la recuperación de los parámetros cosmológicos subyacentes (indicados con líneas punteadas) de las simulaciones de alta fidelidad construidas para el reto de teorías de perturbaciones a ciegas "Blind PTChallenge" (en rojo) en comparación con la técnica alternativa de modelado directo (FM; en azul) y en comparación con la precisión de vanguardia alcanzada por el experimento BOSS (en verde).

Página opuesta. Izquierda: Visualización 3D del sistema óptico del TMS diseñado en el contexto de la tesis, incluyendo la estructura del telescopio, los espejos en configuración Gregoriana descentrada y el criostato. La bocina en el interior del criostato se encuentra alineada con uno de los focos del espejo secundario. Derecha: Detalle del módulo de *Front-End* en el interior del criostato. Enfatizado en negrita se incluyen los componentes objeto de esta tesis: la carga de referencia de cuerpo negro a 4K, las OMT y los acopladores híbridos. Para mejorar la claridad de la representación, se han eliminado tanto la ventana del criostato como el filtro IR, que se encontrarían a continuación de la bocina denominada como *sky feedhorn*.

Instrumentación para “Tenerife Microwave Spectrometer”

Autora: Paz Alonso Arias

Tesis doctoral dirigida por: Roger John

Hoyland y José Alberto Rubiño Martín

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) / Universidad de La Laguna (ULL)

Fecha de lectura: 3 de octubre de 2022

El interés por desentrañar la historia térmica del Universo, codificada en la distribución espectral del fondo cósmico de microondas (FCM), ha sido durante mucho tiempo una fuerza impulsora en la comunidad científica. Recientemente se han propuesto nuevas misiones espaciales para detectar distorsiones espectrales a alta frecuencia, aprovechando recientes avances tecnológicos que prometen sensibilidades muy elevadas (los últimos límites establecidos para las distorsiones son de $\sim < 10E-5$ en el rango de ondas centimétricas). Hasta disponer de estos resultados, los experimentos en tierra pueden ser pioneros en este campo, sirviendo como banco de pruebas para diferentes tecnologías y métodos novedosos y completando la información espectral del cielo de microondas. En este escenario, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) propone y lidera el *Tenerife Microwave Spectrometer* (TMS), un experimento que tomará medidas absolutas de la emisión del cielo entre 10 y 20 GHz desde el Observatorio de Izaña (Tenerife).

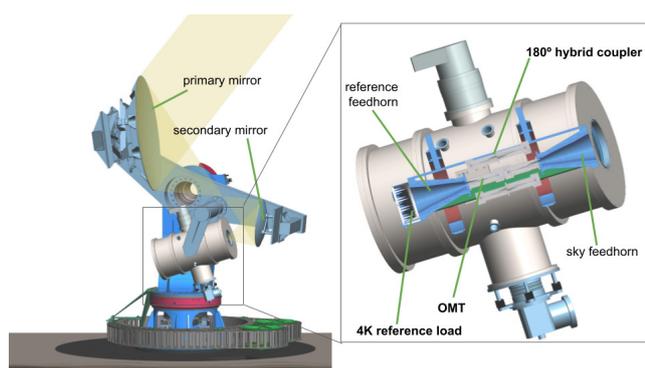
Esta tesis se ha desarrollado en el contexto del experimento TMS y ha abordado principalmente el desarrollo instrumental de una selección de subsistemas clave, incluyendo el diseño y la caracterización de un calibrador interno de cuerpo negro, el diseño del sistema óptico del TMS y de sus filtros, y el diseño del transductor de modos ortogonales (OMT) y del acoplador híbrido de banda ultraancha.

En la primera parte de la tesis se ha simulado el funcionamiento del TMS en condiciones nominales, incluyendo predicciones realistas de la contaminación de cielo y atmósfera en la banda de interés. Hemos verificado nuestra capacidad para reconstruir la temperatura atmosférica y la resolución de características espectrales de hasta 0,6 mK mediante observaciones de tipo *skydip* de corta duración (10 min). También se ha verificado nuestra capacidad para medir el exceso de emisión detectado por el instrumento ARCADE, uno de los principales objetivos científicos de TMS. Se ha confirmado que para detectar esta radiación sin sesgos es necesaria una calibración y estimación diaria de la cantidad de vapor de agua de la atmósfera. La estrategia de observación propuesta incluye observaciones cortas de tipo *skydip*

antes y después de la operación en modo *raster*, para asegurar la correcta caracterización de la variación de la atmósfera.

En la parte central de la tesis, describimos el desarrollo y las pruebas del calibrador interno de cuerpo negro y el diseño del sistema óptico. La carga a 4K de TMS (4KCL) proporcionará una señal de referencia ultraestable para comparar con la señal del cielo. La carga fría consiste en un núcleo de aluminio, compuesto por una base y un lecho de elementos piramidales revestidos con un material absorbente, y un escudo metálico. Su diseño está optimizado para cumplir los estrictos requisitos de estabilidad y homogeneidad térmica, y de emisividad en la banda TMS, entre 10 y 20 GHz. Se han realizado mediciones de reflectividad especular y difusa de la carga en un rango de frecuencias extendido entre 8–24 GHz. La reflectividad especular es mucho mejor que el objetivo de diseño para la mayor parte de la banda de TMS (-40 dB). Se ha comprobado tanto la integridad mecánica frente al estrés térmico, como la homogeneidad térmica del diseño (gradiente de temperatura < 5 mK). Se ha presentado un diseño para el sistema óptico del TMS, maximizando su acoplamiento con el instrumento. El sistema final presenta dos espejos en configuración Gregoriana, e incluye la ventana del criostato (fabricada en UHMWPE) y un filtro de radiación infrarroja IR (en PTFE), así como las estructuras de soporte. Se han realizado mediciones de la reflectividad del prototipo de filtro IR, para verificar que cumple con las especificaciones requeridas ($RL < -25$ dB). Adicionalmente, hemos realizado simulaciones electromagnéticas para caracterizar el comportamiento del sistema, enfocándonos en la variación espectral del haz, la filtración en polarización y el análisis de la región de lóbulos laterales. En la banda de 10–20 GHz, el haz principal presenta menos de 2° , y la filtración de polarización es mejor que el 2,6 % para toda la banda. En la configuración actual, la contribución parásita al ángulo sólido total es menor que aproximadamente el 3,0 %. La estructura de soporte y la visión directa del cielo desde la bocina son los principales contribuyentes a la región de lóbulos laterales. Se ha confirmado la necesidad de una estructura de apantallamiento para minimizar estos lóbulos laterales por debajo del 0,1 % del ángulo sólido total.

Finalmente, se ha abordado el diseño del transductor de modos ortogonales (OMT) y del acoplador híbrido de 180° . El diseño del OMT se basa en la tecnología de guía de ondas de cuatro resaltes o *ridges*, y presenta una geometría altamente simétrica que permite el funcionamiento en todo el ancho de banda de operación del TMS (10–20 GHz). El diseño del OMT garantiza unas pérdidas de retorno (-25 dB), así como niveles de polarización cruzada (-60 dB) óptimas. Además, se garantiza un máximo rechazo de los modos de orden superior que se propagan en la bocina del TMS. El concepto del acoplador híbrido es un diseño frontera basado en el diseño del OMT que permite alcanzar una octava completa de ancho de banda con unas prestaciones en cuanto a adaptación (-25 dB), aislamiento (-60 dB) y rizado ($< 0,1$ dB) excepcionales. El diseño garantiza un mínimo desequilibrio de fase y amplitud de salida en toda la banda de TMS.



Fenómenos meteorológicos en Marte estudiados con la cámara VMC de *Mars Express*

Autor: Jorge Hernández Bernal

Tesis doctoral dirigida por: Agustín Sánchez Lavega y Teresa del Río Gaztelurrutia

Centro: Universidad del País Vasco

Fecha de lectura: 20 de diciembre de 2022

Esta tesis consiste en el estudio de fenómenos meteorológicos en la atmósfera de Marte usando principalmente imágenes obtenidas con la cámara VMC del orbitador *Mars Express*.

VMC es una cámara sencilla, con características similares a las de una *webcam* de los años 2000, y fue enviada a Marte como una simple cámara de ingeniería. Esta tesis se ha desarrollado en el marco del proyecto para convertir esta pequeña cámara en un nuevo instrumento científico, por lo que los desarrollos metodológicos de la tesis han contribuido también a la conversión de VMC en un instrumento científico completamente operativo. Estos desarrollos metodológicos incluyen la calibración fotométrica, geométrica y temporal de VMC; el desarrollo de la *pipeline* de procesado y archivado de datos; la participación en las operaciones de *Mars Express*; y el desarrollo de multitud de sistemas, bases de datos, paquetes de *software*, y aplicaciones para la visualización, procesado y análisis de los datos. Esta base metodológica ha posibilitado el desarrollo de una investigación científica centrada en diferentes fenómenos meteorológicos que resultaban especialmente bien accesibles para VMC y que en cambio eran más difíciles de observar para otros instrumentos y misiones que orbitan Marte. Esto se debe a que VMC, a pesar de sus evidentes limitaciones técnicas, tiene algunas características poco frecuentes en otros instrumentos: 1. La capacidad de obtener imágenes de disco completo desde los apocentros de *Mars Express*. 2. La órbita no heliosíncrona de *Mars Express*, que permite observar horas locales variadas. 3. La capacidad de VMC de tomar largas series de imágenes con las que es posible componer vídeos que muestran la dinámica de los fenómenos meteorológicos.

Así, son tres los fenómenos meteorológicos estudiados en el marco de esta tesis:

- La incidencia de la gran tormenta de polvo de 2018 sobre la región polar sur.
- Las nubes noctilucentes, incluyendo el primer estudio sistemático de este tipo de nubes en Marte, donde son más frecuentes que en la Tierra.

- La nube elongada de Arsia Mons (AMEC). La nube alargada más grande del sistema solar, que se ha descrito en una publicación científica por primera vez.

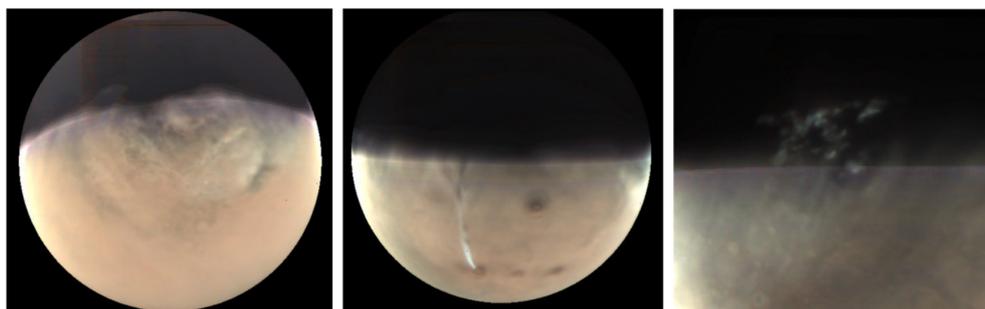
Las observaciones de la región polar sur de Marte durante la tormenta global de 2018 obtenidas por VMC revelan que el polvo penetró de forma inhomogénea en la región y la cobertura de polvo variaba notablemente de unos días a otros. Las observaciones de VMC analizadas en el marco de esta tesis permitieron medir los vientos dominantes en la región polar durante la tormenta y detectar la presencia de enormes bandas de aerosoles penetrando la noche polar.

El segundo fenómeno meteorológico estudiado en el marco de esta tesis son las nubes noctilucentes, que debido a su gran altura reciben la luz del sol durante las horas del crepúsculo y por ello son visibles sobre la oscuridad de la noche en las imágenes de satélite. La mayor parte de las imágenes de Marte obtenidas en las últimas décadas muestran únicamente la hora local del mediodía, pero VMC ha obtenido miles de imágenes del amanecer a lo largo de 15 años. Esto hace de VMC el mejor instrumento disponible para este tipo de estudio. Con el fin de explotar esta capacidad, se desarrolló un *software* capaz de detectar estas nubes y estimar su altura, lo que posibilitó hacer el primer estudio sistemático de las nubes noctilucentes en Marte. Los cientos de nubes catalogadas revelan una distribución estacional y geográfica en parte inesperada, con una abundancia de nubes mesosféricas en latitudes medias nunca antes vista. Estas nubes están probablemente compuestas de cristales de hielo de agua y también de dióxido de carbono.

El tercer fenómeno meteorológico estudiado es la nube elongada de Arsia Mons (AMEC), que alcanza una extensión de hasta 1800 km. Esta nube expresa una dinámica inusualmente rápida, al extenderse en solo tres horas justo después del amanecer y disolverse muy rápidamente. En una primera parte del estudio se emplearon datos de todos los instrumentos de imagen que por sus características podían observar la nube y se hizo una amplia descripción observacional del fenómeno. Posteriormente se ejecutaron simulaciones de alta resolución para intentar comprender la formación de esta inusual nube. Este estudio ha desvelado un mecanismo de formación de nubes orográficas diferente a los que anteriormente se habían contemplado en Marte. Sin embargo, las simulaciones no han dado una explicación a por qué se forma la inusual cola alargada de la AMEC, que por ahora sigue siendo un misterio.

El estudio de estos fenómenos meteorológicos muestra que VMC es una pequeña cámara con mucho potencial científico. Y además revela la riqueza de los fenómenos meteorológicos que se dan en Marte al amanecer, un momento del día escasamente estudiado y que probablemente aún guarda muchos secretos.

Texto disponible en: https://vmc.ehu.eus/jhb_thesis



Izquierda: tormenta global sobre la región polar sur. Centro: la AMEC. Derecha: nubes noctilucentes.

Desentrañando las contribuciones a la emisión óptica de blazars brillantes de rayos gamma a través de estudios de variabilidad

Autor: Jorge Otero Santos

(jorge.otero.santos@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: José Antonio

Acosta Pulido y Josefa Becerra González

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) / Universidad de La Laguna (ULL)

Fecha de lectura: 24 de febrero de 2023

El objetivo principal de esta tesis es el estudio multifrecuencia de un tipo especial de núcleos activos de galaxias (AGN por sus siglas en inglés) conocidos como *blazars*. Estos objetos poseen un agujero negro supermasivo en su centro. También presentan un chorro (*jet*) amplificado por efectos relativistas que apunta en dirección a la Tierra, actuando como un acelerador de partículas natural, emitiendo en todo el espectro electromagnético, desde longitudes de onda de radio hasta rayos gamma, convirtiéndose en el laboratorio perfecto para estudiar los procesos físicos que tienen lugar en el Universo más extremo. Una propiedad crucial de los *blazars* es su impredecible variabilidad, que puede llevar a estados de mayor emisión con incrementos de flujo de varios órdenes de magnitud. Esta variabilidad puede manifestarse en escalas de tiempo muy diferentes y lleva asociados también cambios tanto en el espectro como en propiedades que pueden ayudar a revelar la física detrás de la emisión de los *blazars*.

En esta tesis presentamos un análisis de la variabilidad de varios *blazars* desde una perspectiva multifrecuencia, desde ondas de radio hasta rayos gamma utilizando datos de diferentes instrumentos y observatorios (por ejemplo OVRO en radio, el Observatorio Steward o WEBT-GASP en visible, o Fermi-LAT y MAGIC en rayos gamma). Con estos datos podemos construir las curvas de luz multifrecuencia que representan la emisión de cada *blazar* y su evolución con el tiempo. En particular, buscamos patrones interesantes en su emisión multifrecuencia como señales periódicas. La variabilidad de los *blazars* es típicamente interpretada a través de procesos estocásticos. Por lo tanto, la detección de este tipo de patrones puede ser de gran interés para revelar los mecanismos que dan lugar a la variabilidad observada. Además, la variabilidad presentada por estos objetos se refleja

también en cambios en su espectro. Este espectro está típicamente dominado por la emisión no térmica del *jet* relativista. Sin embargo, otras componentes como la emisión de la galaxia, la zona de líneas anchas (BLR por sus siglas en inglés) o el disco de acrecimiento pueden contribuir significativamente a su emisión. Separar las diferentes contribuciones a la emisión visible de estas fuentes es un reto debido a la dominancia del *jet*, pero es crucial para estudiar y entender la variabilidad detectada en los *blazars*. Por esta razón, proponemos un estudio de la variabilidad espectral de los *blazars*, aplicando una técnica estadística que nos permite modelar y reconstruir la variabilidad observada a través de un número reducido de componentes que se pueden asociar a las diferentes partes del *blazar*, descomponiendo su emisión visible en función de estas contribuciones.

La radiación no térmica del *jet* también está caracterizada por mostrar emisión de luz polarizada debido a la presencia de fuertes campos magnéticos. El estudio de esta polarización es uno de los caminos más útiles para comprender la naturaleza de los campos magnéticos en *jets* de objetos astrofísicos y en el Universo extremo. Programas como RoboPol han comenzado estudios sistemáticos de la polarización de los *blazars* para entender la naturaleza de sus campos magnéticos y su rol en la aceleración de partículas que tiene lugar en el *jet*. Sin embargo, nuevos estudios serán cruciales para llegar a un completo entendimiento del comportamiento de estos campos. Por lo tanto, hemos desarrollado un estudio detallado de diez años de datos espectropolarimétricos, caracterizando su variabilidad, evolución y propiedades para una muestra de *blazars*.

En los últimos años, el desarrollo de la astronomía de rayos gamma y multimensajera ha incrementado el interés de los estudios multifrecuencia en *blazars*. Estos objetos dominan el cielo extragaláctico en rayos gamma, siendo una de las pocas fuentes capaces de acelerar partículas hasta energías de TeV. Por lo tanto, la astronomía de rayos gamma ha emergido como un tema candente en las últimas décadas en el estudio de estos objetos. Estos estudios son posibles gracias a telescopios espaciales como Fermi-LAT y a la actual generación de telescopios Cherenkov (MAGIC, HESS y VERITAS). Estos instrumentos dan acceso a la parte más energética del espectro electromagnético, permitiendo un mejor entendimiento de la emisión de los *blazars*. En este contexto, hemos desarrollado un estudio multifrecuencia del *blazar* 1ES 0647+250, que ha sido observado y detectado por MAGIC durante su período de baja emisión entre 2009 y 2011, así como durante varios eventos de tipo *flare* en 2014, 2019 y 2020. Utilizando datos multifrecuencia desde radio a rayos gamma hemos estudiado su variabilidad y las correlaciones entre las diferentes bandas. También hemos caracterizado su espectro y construido su distribución espectral de energía (SED por sus siglas en inglés). Con esta SED somos capaces de modelar e interpretar la emisión de la fuente en el marco de diferentes modelos teóricos.

Tesis disponible en: <https://www.educacion.gob.es/teseo/mosstrarRef.do?ref=2372199>



Representación artística de una galaxia activa. Crédito: ESA, NASA, STScI.

Parámetros astrofísicos de enanas M con exoplanetas

Autor: Carlos Cifuentes San Román

(ccifuentes@cab.inta-csic.es)

Tesis doctoral dirigida por: José Antonio Caballero, y Jorge Sanz Forcada

Centro: Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)

Fecha de lectura: 24 de marzo 2023

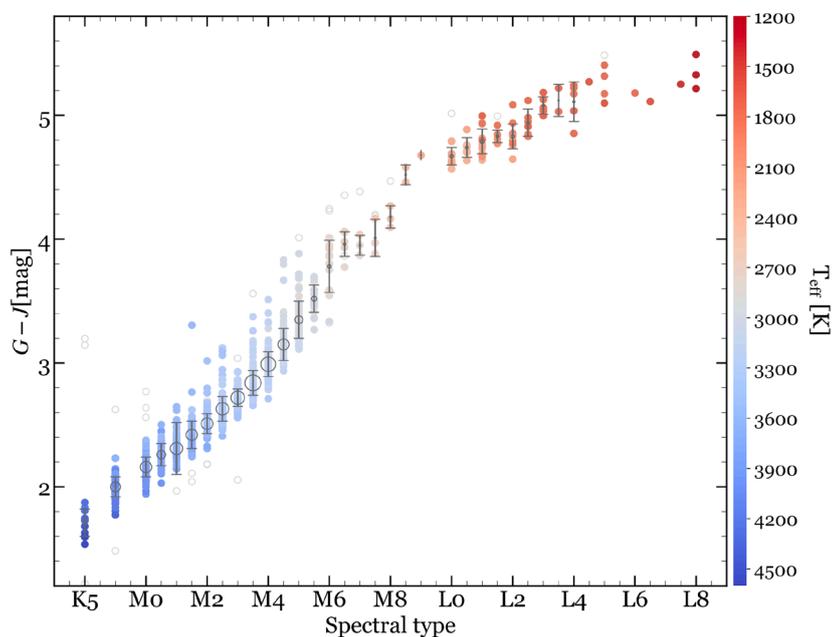
En esta tesis se estudian las enanas M, que son las estrellas más abundantes en el Universo. En estas estrellas más pequeñas, los planetas son mucho más evidentes y en muchos casos pueden describirse con notable detalle. Lo que marca la diferencia en esta tarea es cómo de bien podemos caracterizar la estrella anfitriona. Esto incluye el modelado adecuado de sus atmósferas, su abundancia en metales y sus procesos de actividad. Si se describen adecuadamente de manera individualizada, estas numerosas estrellas tienen el potencial de proporcionar conclusiones estadísticamente robustas cuando se combinan en muestras más grandes. Este trabajo estudia más de 2200 enanas M en Carmencita, que es el catálogo de entrada de enanas M para el proyecto CARMENES. Este tiene como objetivo buscar planetas del tamaño de la Tierra potencialmente habitables orbitando alrededor de ellas.

Esta tesis contribuye a la descripción de cada una de estas enanas M, incluyendo la astrometría, fotometría, actividad, cinemática y multiplicidad, pero también al estudio de la muestra en su conjunto. Llevamos a cabo un proceso exhaustivo que

implica el análisis de datos fotométricos en múltiples bandas y astrométricos. Con un examen minucioso de cada estrella y sus posibles compañeros físicos, hemos puesto especial énfasis en la inspección individualizada en lugar de en las búsquedas masivas, y en la selección manual de datos en lugar de cruces completamente automatizados con bases de datos. Derivamos homogéneamente luminosidades estelares que son eminentemente empíricas, temperaturas, masas y radios, así como muchos productos intermedios como correcciones bolométricas, magnitudes absolutas y colores. A partir de estos, obtenemos valores promediados y relaciones empíricas entre los parámetros fundamentales y las observables. Además, abordamos el tema de la multiplicidad de las enanas M, describiendo detalladamente los sistemas múltiples existentes y sus componentes, proponiendo también la existencia de muchas parejas descubiertas por primera vez. Nos enfocamos en los sistemas binarios no resueltos que pasan desapercibidos sin estudios espectroscópicos, pero que conducen a una imagen incompleta de la formación estelar y a cálculos erróneos de los parámetros estelares, lo que afecta negativamente a las descripciones planetarias.

Las observaciones empíricas presentadas en este estudio proporcionan un importante punto de referencia para poner a prueba y mejorar las predicciones teóricas, ya que cualquier modelo de formación y evolución estelar debería ser capaz de explicar las características observadas de estas estrellas. Al tomar un enfoque cuidadoso e individualizado para el análisis de las enanas M, esperamos que la gran cantidad de datos recopilados en esta tesis sirva como un recurso valioso para astrónomos e investigadores en campos relacionados, y que inspire nuevas investigaciones y nuevas perspectivas sobre los procesos que dan forma al Universo.

Tesis disponible en: <https://arxiv.org/abs/2305.08893>



Color G-J en función del tipo espectral. Los círculos grises vacíos indican el color promedio para cada tipo espectral, con un tamaño proporcional al número de estrellas, y las barras verticales representan su desviación estándar en los tipos espectrales con más de un valor de color válido. Los círculos vacíos de color claro en el fondo representan datos fotométricos incorrectos y sus valores no se tienen en cuenta en los cálculos de los colores promedio.