

A principios del siglo XXI, el concepto del Observatorio Virtual (VO) estaba ganando tracción a nivel internacional. La idea era simple pero desafiante: crear una infraestructura que permitiera descubrir y acceder a datos heterogéneos de archivos distribuidos por todo el mundo sin las barreras de formato o ubicación. Para ello había que lograr un doble objetivo: I) crear una federación de archivos astronómicos que, con la aplicación de un conjunto común de normas ("estándares VO"), proporcionara un acceso homogéneo a la información almacenada en los nodos de dicha federación ("red de datos") y II) desarrollar herramientas de descubrimiento y análisis de datos ("red de servicios"). El Observatorio Virtual Español (SVO) es la iniciativa que, desde el Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA), coordina las actividades VO en España. SVO vio la luz en 2004 por lo que estamos celebrando nuestro vigésimo aniversario. Sirva este artículo como resumen de lo que ha sido nuestro periplo durante estos 20 años de actividad.



Enrique Solano Márquez
Centro de Astrobiología (CAB; CSIC-INTA)
esm@cab.inta-csic.es
@obsvirtesp

Investigador Principal del proyecto
Observatorio Virtual Español

INTRODUCCIÓN

A finales de la década de 1990 y principios de la de 2000, la astronomía se enfrentó a un reto crucial: la gestión del gran volumen de datos generado por los nuevos telescopios y misiones espaciales. La necesidad de mejorar la accesibilidad y la interoperabilidad de los datos de archivo llevó al surgimiento del VO.

Interoperabilidad es la palabra clave cuando se habla de archivos astronómicos y VO, entendiendo como tal la capacidad de que éstos se "hablen" entre sí de manera fácil y eficiente. La interoperabilidad es una condición fundamental para la astrofísica moderna ya que, en una gran mayoría de las líneas de investigación, es necesario acceder a información en diferentes rangos de longitud de onda (normalmente disponible en diferentes archivos) para tener una visión pancromática del objeto de estudio y poder entender los procesos físicos que en él ocurren. El descubrimiento en agosto de 2017 de una onda gravitacional producida por el colapso de dos estrellas de neutrones y su posterior seguimiento por parte de más de 70 telescopios en tierra y satélites en el espacio en todo el rango del espectro electromagnético, desde muy altas energías hasta ondas radio, en un esfuerzo que involucró a más de 4.000 investigadores, es un ejemplo paradigmático de la importancia de la astronomía multirango (Fig. 1).

Garantizar no solamente la interoperabilidad de los datos astronómicos sino que éstos sean **FAIR** (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*) es el objetivo de la Alianza del Observatorio Virtual Internacional (IVOA), una alianza que nació en junio de 2002 y que, en la actualidad, se encuentra formada por 23 proyectos distribuidos por los cinco continentes.

La hoja de ruta definida por IVOA para conseguir dicho objetivo consta de los siguientes cuatro pasos:

- Desarrollo de estándares y protocolos que permitan un descubrimiento y acceso homogéneo a la información existente en los archivos astronómicos.
- Implementación de dichos estándares y protocolos en los centros de datos astronómicos.
- Desarrollo de herramientas de descubrimiento y análisis de datos que se beneficien del trabajo de estandarización realizado en los pasos previos.

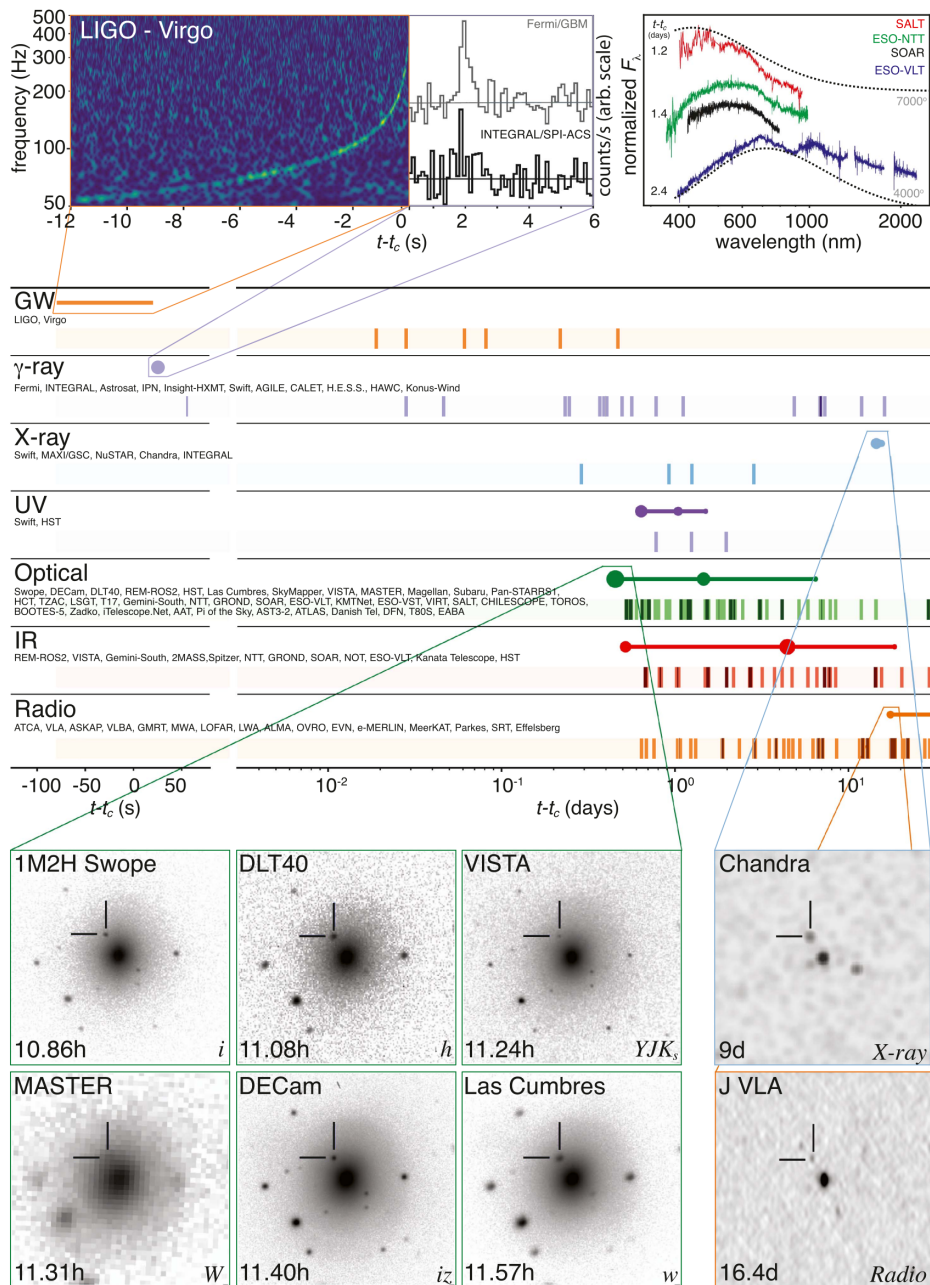


Figura 1. Recopilación de las observaciones de seguimiento realizadas en todo el rango del espectro electromagnético del evento GW170817. Fuente: [Abbott et al. \(2017\)](#).

- Uso de estas herramientas por parte de la comunidad astronómica, tanto profesional como amateur (e, incluso, por el público en general) para realizar un tipo de investigación que, fuera de VO, se realizaría de manera muy ineficiente o, simplemente, no podría llevarse a cabo.

Veamos cómo ha contribuido SVO a cada una de estas líneas de trabajo a lo largo de sus 20 años de existencia.

DESARROLLO DE ESTÁNDARES

Los cimientos de VO se apoyan en estándares que resuelven el problema de cómo descubrir (registro), consultar (protocolos de acceso) y describir (modelos y formatos de datos) la información astronómica.

Desde su aceptación en IVOA, SVO ha venido participando de manera activa en el desarrollo de estándares. Los protocolos de acceso a [datos espectroscópicos teóricos](#) y [simulaciones numéricas](#)

o los modelos de datos que describen cómo debe mostrarse la [información fotométrica](#) o las observaciones de radio de tipo “*single-dish*” son algunas de las principales aportaciones que SVO ha realizado en este ámbito.

ARCHIVOS

El Centro de Datos del CAB es uno de los centros de datos astronómicos de referencia a nivel internacional. La lista completa de los archivos astronómicos gestionados por SVO puede consultarse [aquí](#).

Además de las operaciones diarias de mantenimiento de los archivos, es necesario realizar una serie de actividades adicionales para garantizar la óptima funcionalidad y máximo rendimiento de los mismos. Entre ellas, se encuentran las siguientes:

Implementación de nuevos estándares VO

VO es un proyecto en continua evolución. Periódicamente surgen nuevos estándares, así como nuevas versiones de estándares ya existentes que hay que implementar en los archivos gestionados por SVO.

Inclusión de nuevos instrumentos y modos de operación

Los archivos de GTC y Calar Alto son los dos archivos más importantes gestionados por SVO en términos de uso, volumen de datos e impacto científico. De hecho, ambos archivos son el único punto de entrada para que la comunidad nacional e internacional acceda a los datos de dichas infraestructuras. En ambos casos, los sistemas de archivo se han diseñado con la suficiente modularidad como para acomodar fácilmente nuevos instrumentos, nuevos modos de observación o nuevos tipos de datos (e.g., datos reducidos, catálogos, mosaicos, ...).

SVO no solamente gestiona los archivos del CAB sino que también proporciona asesoramiento a otros centros de datos que quieren adaptar sus contenidos a los estándares VO. Este escenario encaja perfectamente con la filosofía VO de crear una red de centros de datos distribuidos por todo el mundo, frente a la idea de un centro monolítico y centralizado.

A través de diferentes actividades de formación (reuniones, visitas técnicas y organización de [talleres](#)), SVO asesoró al Observatorio Astronómico de Javalambre durante las primeras fases de desarrollo de su archivo de datos y está colaborando con el Ob-

servatorio Astronómico Nacional en la adaptación VO del archivo de datos del radiotelescopio de 40m, actualmente en desarrollo. Para facilitar este proceso, SVO ha desarrollado diferentes [herramientas de publicación de datos](#), que permiten pasar de manera fácil de tener un conjunto de ficheros almacenados de manera local a poseer un archivo 100% VO formado por una base de datos, una interfaz de consulta y visualización de los resultados y los protocolos VO necesarios para la consulta de los datos.

DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

La interacción de la infraestructura VO con los usuarios finales se realiza mediante una serie de aplicaciones denominadas herramientas VO, las cuales se benefician de la estandarización anteriormente comentada y permiten abrir nuevas líneas de investigación al facilitar el descubrimiento, acceso y comparación de conjuntos de datos astronómicos.

De entre todas las herramientas desarrolladas por SVO a lo largo de su existencia (descritas en el apartado “Tools and services” del [portal SVO](#)), destacaremos las siguientes:

Herramienta VOSA

VOSA (VO Sed Analyzer, [Bayo et al. 2008](#)) es una herramienta web que permite estimar parámetros físicos (temperaturas, gravedades, radios, luminosidades,...) de estrellas y enanas marrones mediante la comparación entre la fotometría observada a diferentes longitudes de onda y los correspondientes valores teóricos. La realización de este tipo de análisis fuera de VO puede llegar a requerir varias horas de trabajo para un solo objeto, la misma cantidad de tiempo que VOSA emplea para analizar miles de objetos de manera simultánea (Fig. 2).

VOSA es una herramienta enormemente popular entre la comunidad astronómica tal y como lo demuestran los más de 4.300 usuarios que han analizado más de 14 millones de objetos y han publicado más de 450 artículos en revistas arbitradas a lo largo de sus 16 años de vida operacional.

Filter Profile Service

El Filter Profile Service (FPS) es un servicio web concebido originalmente como mecanismo para gestionar la información fotométrica requerida por VOSA.

En particular, VOSA necesita transformar magnitudes observadas a flujos. En este sentido, FPS no sólo es un repositorio de información, sino también un recurso en torno al cual pueden construirse otros servicios y aplicaciones (e.g., [Specphot](#) o [COLCA](#)).

FPS contiene la mayor colección pública de filtros fotométricos con más de 10.000 filtros, incluyendo filtros específicos de misiones de exploración del sistema solar y de observación de la Tierra. Asimismo, FPS es un servicio utilizado de manera intensiva por la comunidad astronómica internacional, como lo demuestra el hecho de que, solamente en el período 2020-2022, se publicaron [115 artículos](#) en revistas arbitradas que utilizaban FPS para fines muy diversos. Archivos y servicios astronómicos como el Canadian Astronomy Data

Center o VizieR hacen uso de FPS. Mención especial merece [GaiaXPy](#), un servicio que, utilizado en combinación con FPS, permite generar información fotométrica en decenas de sistemas fotométricos utilizando los coeficientes espectroscópicos de Gaia Data Release 3.

Herramientas de Inteligencia Artificial y Machine Learning

La puesta en marcha de nuevas infraestructuras como el Observatorio Vera C. Rubin o el Square Kilometre Array (SKA) hará que el volumen de datos astronómicos crezca de manera exponencial en los próximos años, pasando de varios cientos de petabytes al rango de decenas de exabytes al final de esta década. Esta expansión impulsará la necesidad ya existente de desarrollar nuevos entornos de análisis de datos basados en inteligencia artificial y *machine learning*.

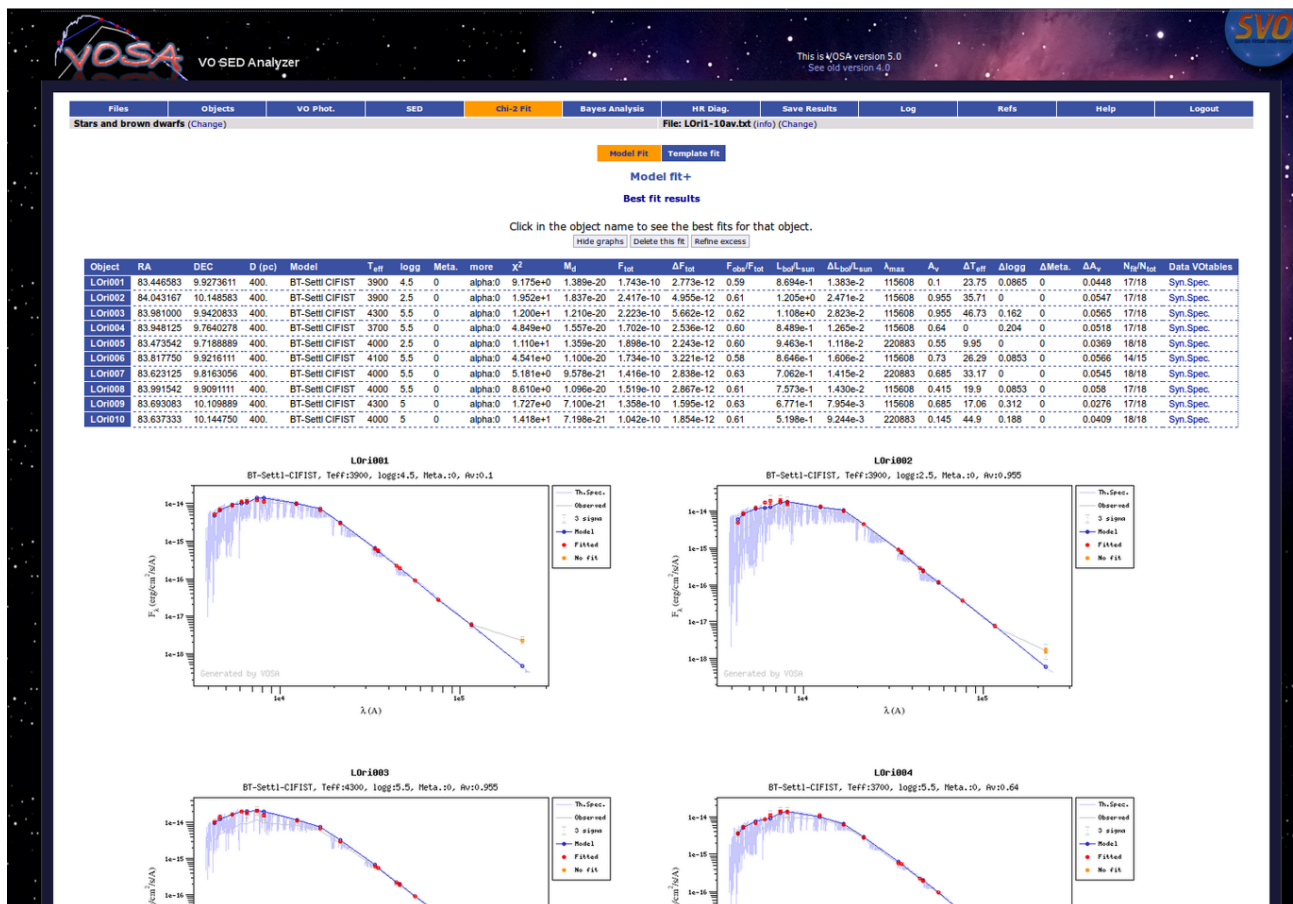


Figura 2. Parámetros físicos obtenidos con VOSA para un conjunto de estrellas a partir del ajuste de la distribución espectral de energía observada (puntos rojos) a un modelo teórico (en azul).

Las técnicas de minería de datos aplicadas a la astronomía incluyen métodos estadísticos avanzados, métodos de reconocimiento de patrones y técnicas de clasificación supervisadas y no supervisadas en espacios de datos multidimensionales, así como metodologías basadas en *Deep Learning*, que ofrecen una gran variedad de posibilidades. A todo ello habría que sumar el enorme potencial de la inteligencia artificial generativa (IAG), una rama de la inteligencia artificial que se enfoca en la generación de contenido original a partir de datos existentes. Inicialmente utilizada en el procesamiento del lenguaje natural, la IAG ha ganado recientemente un interés generalizado en el campo de las ciencias naturales.

Entre las actividades desarrolladas por SVO podemos citar la clasificación supervisada de las curvas de luz observadas de la misión CoRoT. Los resultados de este estudio se incorporaron al [archivo de datos](#), lo que permite que los usuarios puedan realizar consultas de alto nivel del tipo "dame todos los objetos de una determinada clase de variabilidad con una probabilidad de pertenencia superior a un valor dado". Sin la información sobre la clasificación, el usuario se vería obligado a descargar todo el contenido del archivo CoRoT (más de 150.000 curvas de luz) para realizar un análisis local con el fin de identificar sus objetos de interés.

Otra línea de trabajo de SVO en este campo fue el estudio de la pertenencia de objetos estelares a cúmulos. Los cartografiados de grandes regiones del cielo que comenzaron hace unas pocas décadas han dado lugar a grandes catálogos fotométricos y astrométricos. La precisión y sensibilidad sin precedentes de estos conjuntos de datos y su amplia cobertura espacial, temporal y de longitud de onda convierten en obsoletos los métodos clásicos de selección de miembros que se basaban en unos pocos colores y luminosidades. Como alternativa desarrollamos un método bayesiano para aprovechar al máximo la alta dimensionalidad de los datos (fotométrica, astrométrica y temporal) y obtener probabilidades de pertenencia a cúmulos autoconsistentes y robustas.

Más recientemente, nuestros esfuerzos en el campo del *Big Data* se han dirigido a la determinación de parámetros físicos de los objetos ultrafríos (estelares y subestelares) observados por la misión Gaia usando técnicas de inferencia bayesiana. Además se ha trabajado en la determinación de parámetros físicos de estrellas de tipo espectral M a partir de la información espectroscópica de muy alta resolución proporcionada por el instrumento CARMENES aplicando arquitecturas de redes neuronales de *Deep Learning* como los *autoencoders*.

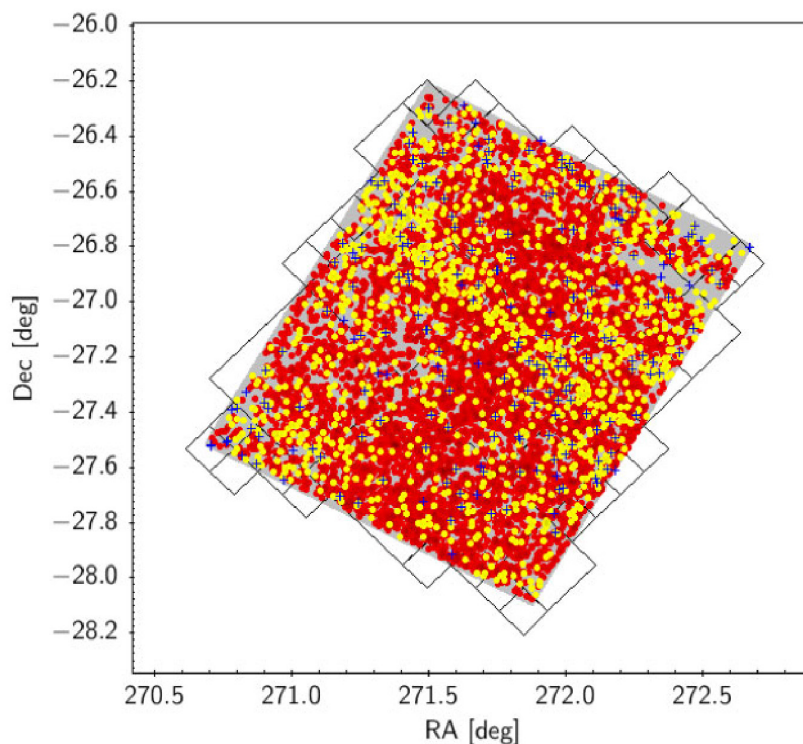


Figura 3. Posición en el cielo de las 7925 nuevas estrellas enanas M descubiertas por Cruz et al. (2023) (puntos rojos y amarillos) usando el cartografiado VVV. Como comparación se muestran en azul las enanas M conocidas en Gaia DR3 en la misma región del cielo.

Una lista detallada de todos los artículos SVO en el campo de la Inteligencia artificial se pueden encontrar [aquí](#).

CIENCIA-VO

El objetivo último de VO es abrir nuevas líneas de investigación en astrofísica. Desde sus orígenes, IVOA entendió la importancia de conseguir dicho objetivo y en 2009 creó el Comité de Prioridades Científicas.

La falta de familiaridad de la comunidad astronómica con VO es uno de los problemas potenciales que pueden limitar su impacto científico. Asimismo, la ausencia de vínculos sólidos entre la iniciativa VO y la

comunidad astronómica puede dar lugar a esfuerzos inútiles. Así, por ejemplo, si los servicios desarrollados por VO no tienen una orientación científica, no serán utilizados por la comunidad.

Desde los comienzos de su andadura, los esfuerzos de SVO se han orientado a evitar esta situación, dando a conocer el potencial de VO a la comunidad astronómica española y fomentando las colaboraciones científicas. El papel de SVO en estas colaboraciones se centra en tres aspectos principales: I) Evaluar el caso científico desde el punto de vista de VO, II) proporcionar información sobre las herramientas VO existentes para abordar el caso propuesto y III) en caso necesario, desarrollar nuevas herramientas.

El desarrollo de proyectos de ciencia-VO es una línea de trabajo en la que SVO viene desempeñando un papel de liderazgo a nivel internacional, como lo demuestra el significativo número de [artículos VO](#) publicado en los últimos años. La lista completa de artículos SVO se encuentra en la pestaña "VO-science" del [portal](#) del SVO

Entre las líneas de investigación abordadas por SVO, destacamos las siguientes.

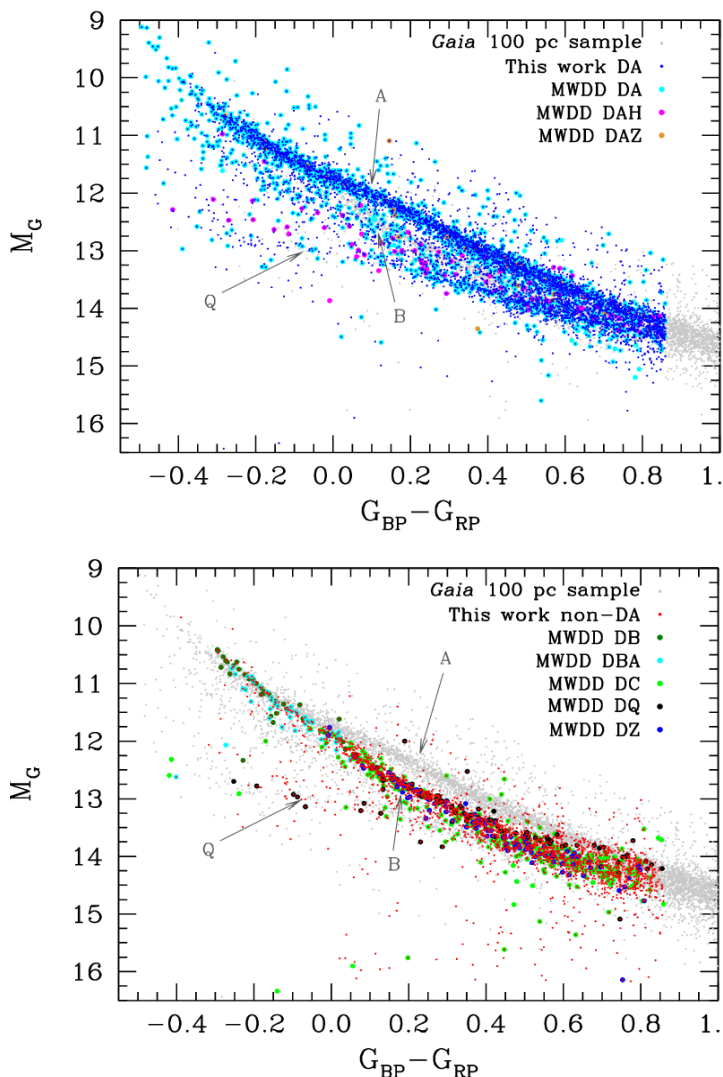
Estudio de objetos subestelares y estelares de baja masa

Numerosas son las líneas de estudio que, sobre objetos subestelares y estelares de baja masa, ha abordado SVO a lo largo de su historia. Descubrimiento de nuevos objetos en diferentes cartografiados (VV, J-PLUS, CARMENES, ALHAMBRA, COSMOS, Kepler, UKIDSS, SDSS, VISTA, IPHAS,...), identificación de sistemas binarios, tanto en órbitas cercanas como separadas, identificación de objetos de baja metalicidad (subenanas),..., son algunos de los campos investigados. La lista completa de artículos se puede encontrar [aquí](#) (Fig. 3).

Identificación y caracterización de enanas blancas

Es bien conocido que la misión *Gaia* ha revolucionado nuestros conocimientos en muchos campos de la astronomía. En particular, *Gaia* y VO han demostrado ser un binomio de gran valor en el campo de las enanas blancas. En colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya, hemos venido trabajando en los últimos años en el estudio y caracterización de la población de enanas blancas de la vecindad solar. La lista completa de los artículos publicados en este campo se puede encontrar [aquí](#) (Fig. 4).

Figura 4. Diagrama HR para las enanas blancas de tipo DA (panel superior; puntos azules) y no DA (panel inferior; puntos rojos) clasificadas en Jiménez-Esteban et al. (2023). Otros tipos espectrales obtenidos de la *Montreal White Dwarf Database* (MWDD) se han representado en diferentes colores.



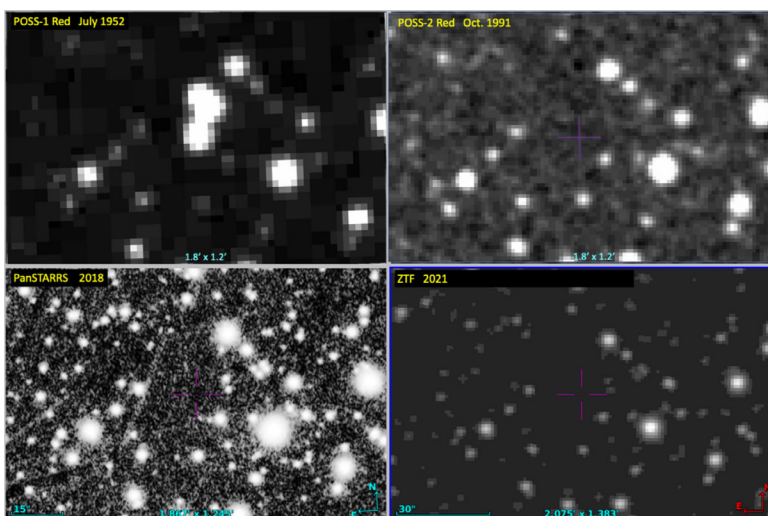


Figura 5. Exposiciones del cielo centradas en el triple objeto transitorio reportado en Solano et al. (2023), tomadas en cuatro momentos diferentes a lo largo de 69 años. Arriba a la izquierda: La imagen de POSS I, tomada en julio de 1952, muestra el objeto triple con una magnitud R (Supercomos) ~ 16 mag. Arriba a la derecha: Imagen de POSS II, tomada en octubre de 1991. El objeto triple se encuentra ausente con un umbral de detección de 21 mag. Abajo a la izquierda: Imagen PanSTARRS (2018). Abajo a la derecha: Imagen ZTF (2021). En ambas el objeto triple se encuentra igualmente ausente.

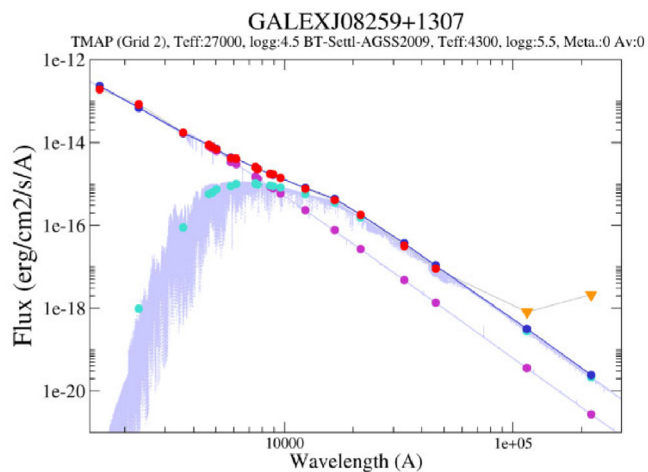
Estudio de objetos transitorios (“transients”)

Por “transient” se entiende todo fenómeno astronómico con una duración que va desde fracciones de segundo hasta semanas o años. En la mayoría de los casos se requiere realizar observaciones en diferentes longitudes de onda para comprender adecuadamente la verdadera naturaleza del objeto transitorio. Esta caracterización suele llevarse a cabo con observaciones de seguimiento utilizando instalaciones terrestres y espaciales. Desde SVO se ofrece un enfoque alternativo explotando la información existente en los archivos astronómicos y beneficiándose de las ventajas que VO ofrece en términos de descubrimiento, acceso y análisis de datos. La cantidad y diversidad de información disponible en los archivos de VO proporciona una oportunidad sin precedentes que puede ser de gran interés en muchos campos de la astrofísica *Multi-Messenger* y *Time-Domain*. Un aspecto adicional altamente interesante es que, solamente con datos de archivo, es posible obtener información de cómo era el objeto antes de sufrir la variación en brillo. Una recopilación de los artículos publicados en esta línea de trabajo se puede encontrar [aquí](#) (Fig. 5).

Estudio de subenanas calientes

Las estrellas subenanas calientes son objetos compactos azules evolucionados, caracterizados por poseer una capa extremadamente fina de hidrógeno. La mayoría de los modelos sugieren que esta pérdida de hidrógeno es debido a una evolución como sistema binario con envoltura común durante la fase de

Figura 6. Identificación de una subenana caliente binaria utilizando VOSA. Los puntos púrpura y verdes representan, respectivamente, la fotometría de los modelos TMAP y BT-Settl que mejor se ajustan. Los espectros teóricos correspondientes se representan en púrpura. Los puntos rojos son los puntos fotométricos observados, mientras que la línea azul y los puntos azules indican el modelo compuesto que mejor se ajusta a los datos. Los triángulos amarillos invertidos indican que los valores fotométricos corresponden a límites superiores y, por lo tanto, no se tienen en cuenta en el cálculo.



Gigante Roja. Sin embargo, el número real de subenanas calientes binarias es una cuestión aún abierta.

A lo largo de los años, SVO ha venido trabajando tanto en la identificación de nuevas subenanas calientes como en la estimación de su tasa de binariedad. La lista completa de artículos SVO publicados en este campo se puede encontrar [aquí](#) (Fig. 6).

ACTIVIDADES EDUCATIVAS

Desde sus comienzos SVO puso un fuerte énfasis en la formación y capacitación de investigadores y estudiantes. La formación se considera un elemento clave para garantizar la adopción del entorno VO por parte de la comunidad astronómica. En particular, el uso de las herramientas y servicios VO por parte de las nuevas generaciones de astrónomos es imprescindible para garantizar la sostenibilidad del mismo a largo plazo.

Para ello se ha venido participando en cursos de máster en diferentes universidades españolas (Autónoma y Complutense de Madrid, Granada, Universidad Católica de Murcia, Universidad Internacional de Valencia y Universidad Internacional de La Rioja) y se han dirigido [trabajos de tesis, fin de grado y fin de máster](#). Pero, sin lugar a dudas, la actividad más visible en el marco educativo ha sido la organización de [escuelas y cursos de VO](#) (hasta la fecha, 23 a nivel nacional y 10 a nivel europeo).

Escuelas VO

Las escuelas VO han demostrado ser el mecanismo de capacitación más eficaz. De entre todos los proyectos VO a nivel internacional, SVO es el más activo en la organización de escuelas VO con 23 ediciones a nivel nacional desde 2009 y 10 a nivel europeo desde 2010. Entre ellas destacan las escuelas realizadas desde 2021 en coordinación con las universidades españolas que ofertan programas de máster o doctorado en astronomía, las dos escuelas realizadas desde 2021 en colaboración con la Federación de Asociaciones Astronómicas de España (FAAE) y orientadas principalmente a la comunidad amateur y la I escuela Latinoamericana que reunió a más de 150 participantes de más de 20 países.

El objetivo principal de las escuelas es exponer a los participantes a la variedad de herramientas y servicios VO disponibles en la actualidad para que puedan utilizarlos de forma eficiente en sus propias investigaciones. Durante las mismas los participantes se familiarizan con las principales funcionalidades de las herramientas VO más populares a través del desarrollo de casos científicos reales. En ocasiones, dependiendo del formato y la duración de la escuela, los participantes pueden trabajar en sus propios casos científicos. Los materiales de formación (tutoria-

les) usados en las escuelas se encuentran disponibles tanto en el [portal](#) del SVO como en plataformas como [Zenodo](#).

El largo periodo en el que la situación pandémica por COVID-19 estuvo lejos de estar bajo control, nos hizo modificar el formato de las escuelas y convertirlas en actividades *online* usando plataformas como Zoom y Slack. Desarrollar un evento con decenas de participantes y un alto nivel de interactividad en un entorno en línea fue un reto exigente y SVO fue pionero a nivel mundial. La experiencia fue extremadamente exitosa y no se observó ningún impacto negativo en el seguimiento de la escuela. Por el contrario, aprovechamos las ventajas del formato virtual para llegar a un público más amplio y diverso. Esto ha hecho que, a día de hoy, no hayamos descartado el formato *online* y lo sigamos usando en muchas de nuestras escuelas.

EL OBSERVATORIO VIRTUAL Y LA COMUNIDAD AMATEUR

VO es un recurso muy interesante para muchas de las actividades de la comunidad astronómica amateur. Entre ellas, se pueden destacar las siguientes:

Material didáctico

VO ha desarrollado una serie de [guías y tutoriales](#) que pueden ser de gran utilidad en las actividades divulgativas realizadas por la comunidad amateur, ya que permiten introducir conceptos astronómicos utilizando datos reales. La generación del diagrama HR del cúmulo de las Pléyades, la determinación de la distancia a Andrómeda o a la Nebulosa del Cangrejo, la identificación de una supernova o la estimación del movimiento propio de la estrella de Barnard son los casos prácticos propuestos en algunos de los casos ofertados. Este material puede ser igualmente útil para la enseñanza de la astronomía en cursos de secundaria, bachillerato y universidad.

Desarrollo de archivos astronómicos

Es bien sabido que en los últimos años la comunidad amateur ha experimentado un avance extraordinario en lo que se refiere tanto al uso de instrumentación astronómica como al manejo de técnicas de reducción de datos. Este avance ha permitido que el interés de la comunidad profesional por las actividades realizadas por los amateurs haya aumentado significativamente y que el número de colaboraciones Pro-Am (Profesional-Amateur) sea cada vez mayor.

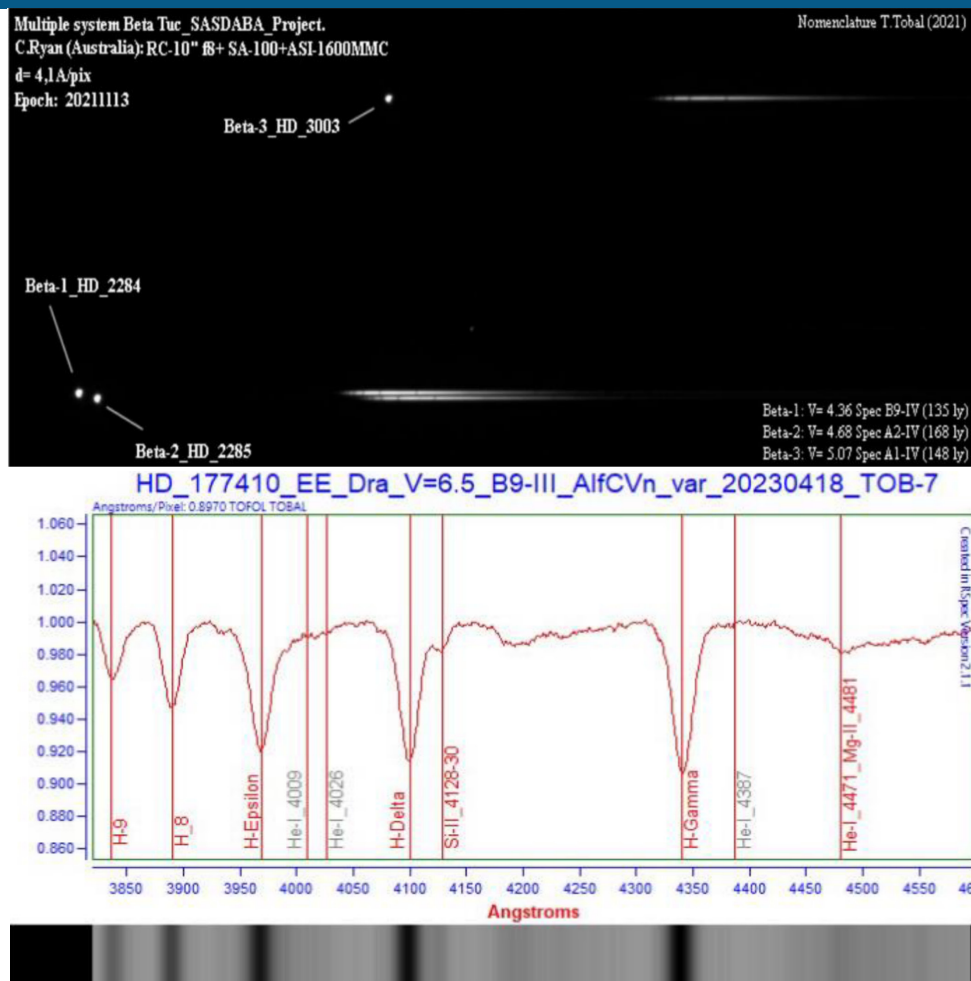


Figura 7: Arriba, observaciones espectroscópicas de Beta Tuc. Abajo, Espectro reducido e identificación de líneas en la estrella variable EE Dra.

No obstante, existe todavía un “talón de Aquiles” en lo que se refiere a la gestión y distribución de los datos obtenidos. Normalmente la información se almacena de manera local, sin copias de seguridad, en equipos sin mantenimiento a largo plazo y de difícil acceso para otros grupos, muchos de los cuales ni siquiera conocen la existencia de dichos datos.

Para mejorar esta situación, desde SVO se ofrece la posibilidad de crear y gestionar un archivo de datos. El único requisito es que el grupo amateur transfiera la información de interés a un ordenador conectado a Internet desde donde será enviada al Centro de Datos Astronómicos del CAB para su ingestión en el archivo una vez hayan superado los pertinentes controles de calidad. Para facilitar su acceso e identificación, los archivos Pro-Am tienen un acceso independiente dentro del SVO a través del [Portal de Datos para Astronomía Amateur](#). A través de este portal es posible acceder a los seis archivos que SVO ha desarrollado para la comunidad amateur a

lo largo de los años. A continuación, describiremos brevemente dos de los más representativos:

- SASDABA: Este proyecto tiene por objetivo la creación de una base de datos espectroscópica de estrellas brillantes ($V < 5$ mag) de ambos hemisferios. SASDABA es un excelente recurso para docentes, estudiantes y aficionados que deseen realizar trabajos introductorios de espectroscopía estelar.

El archivo [SASDABA](#) proporciona acceso a las imágenes en bruto, que pueden ser descargadas, procesadas y analizadas por cada usuario según sus intereses. SASDABA es un archivo dinámico cuyo contenido cambia con el tiempo. A fecha de mayo de 2024 el cartografiado se encuentra completo a más del 95% y el archivo contiene 8.004 imágenes espectroscópicas de 2.959 estrellas tomadas durante el periodo 2018-2024 en más de 600 noches de observación por equipos ubicados en España, Brasil y Australia. (Figura 7).

- Observatorio de Cielo Profundo (ObCP) de la Agrupación Astronómica de Cartagena: Un aspecto muy interesante a destacar de este [archivo de datos](#) es que, al estar plenamente integrado en el Observatorio Virtual, herramientas VO como Aladin van a descubrir las observaciones ObCP de manera automática, pudiendo éstas compararse con las tomadas por los grandes cartografiados profesionales. Así, por ejemplo, en la Fig. 8 se compara una imagen original con una imagen del mismo campo obtenida por el cartografiado SDSS. Se puede apreciar cómo la imagen ObCP es claramente menos profunda, pero contiene un objeto que no aparece en la imagen SDSS. Utilizando una herramienta de VO como [SkyBot](#) es posible clasificar dicho objeto como un asteroide del Cinturón Principal.

Este sencillo ejemplo nos muestra el enorme potencial en términos de análisis y explotación de datos que ofrece un archivo astronómico VO y el mundo de posibilidades que se abre a la comunidad amateur para desarrollar nuevas líneas de investigación.

Colaboración en proyectos científicos

Tal y como se desprende de la encuesta que la FAAE llevó a cabo recientemente, existe un creciente interés dentro de la comunidad amateur por las herramientas de VO y su aplicación en colaboraciones Pro-Am.

En este contexto, hemos desarrollado en los últimos meses el proyecto “Identificación y caracterización de estrellas dobles olvidadas”, entendiéndose por “olvidadas” aquellas estrellas dobles con una única observación en el catálogo [WDS](#). En colaboración con el Observatorio Astronómico del Garraf y la Agrupación Astronómica de Cartagena, hemos procedido, utilizando el catálogo de datos de la misión Gaia, a identificar aquellos sistemas que se encuentran ligados gravitacionalmente. Como resultado de este trabajo conseguimos confirmar y caracterizar 428 sistemas binarios y múltiples y estimar las energías de ligaduras para 42 de ellos (Fig. 9). Los resultados del trabajo se han publicado en el siguiente [artículo](#).

Figura 8. Comparación entre una imagen del Observatorio de Cielo Profundo (ObCP) de la Agrupación Astronómica de Cartagena (arriba) y una imagen del cartografiado SDSS de la misma región de cielo (abajo). Se puede apreciar que en la imagen superior aparece un objeto que no se muestra en la imagen inferior. Este objeto corresponde al asteroide van Albada, perteneciente al cinturón principal de asteroides.

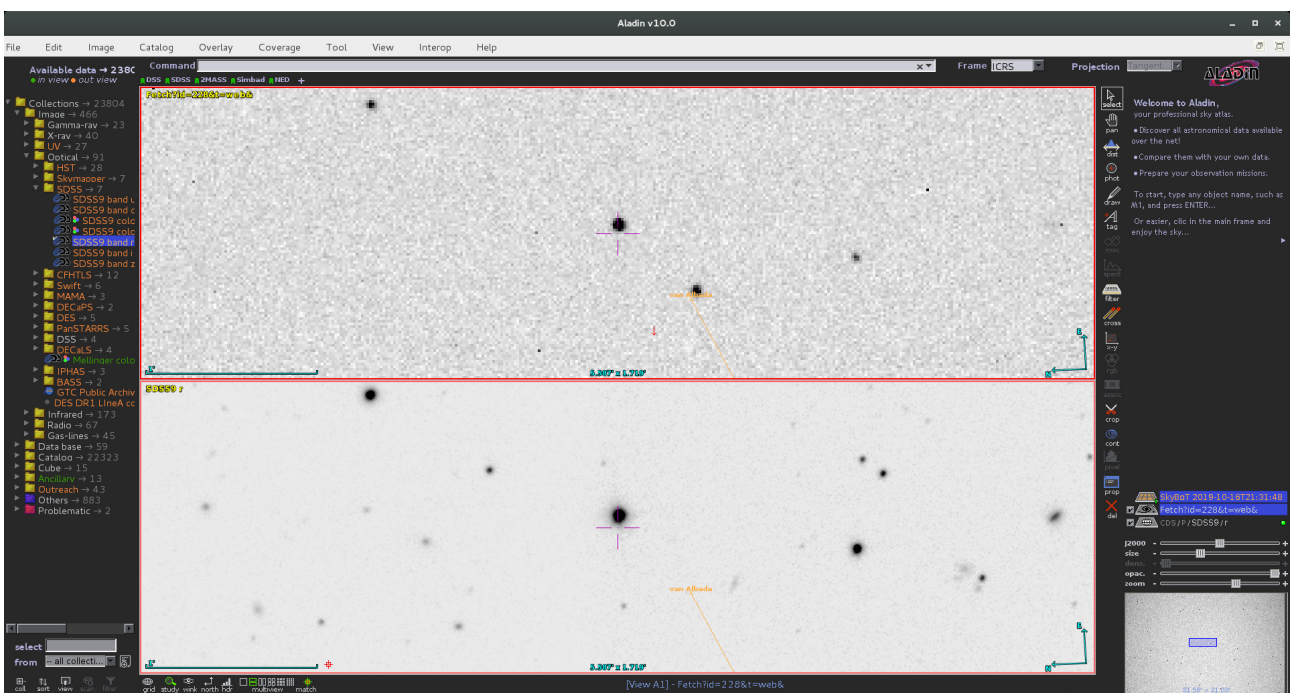
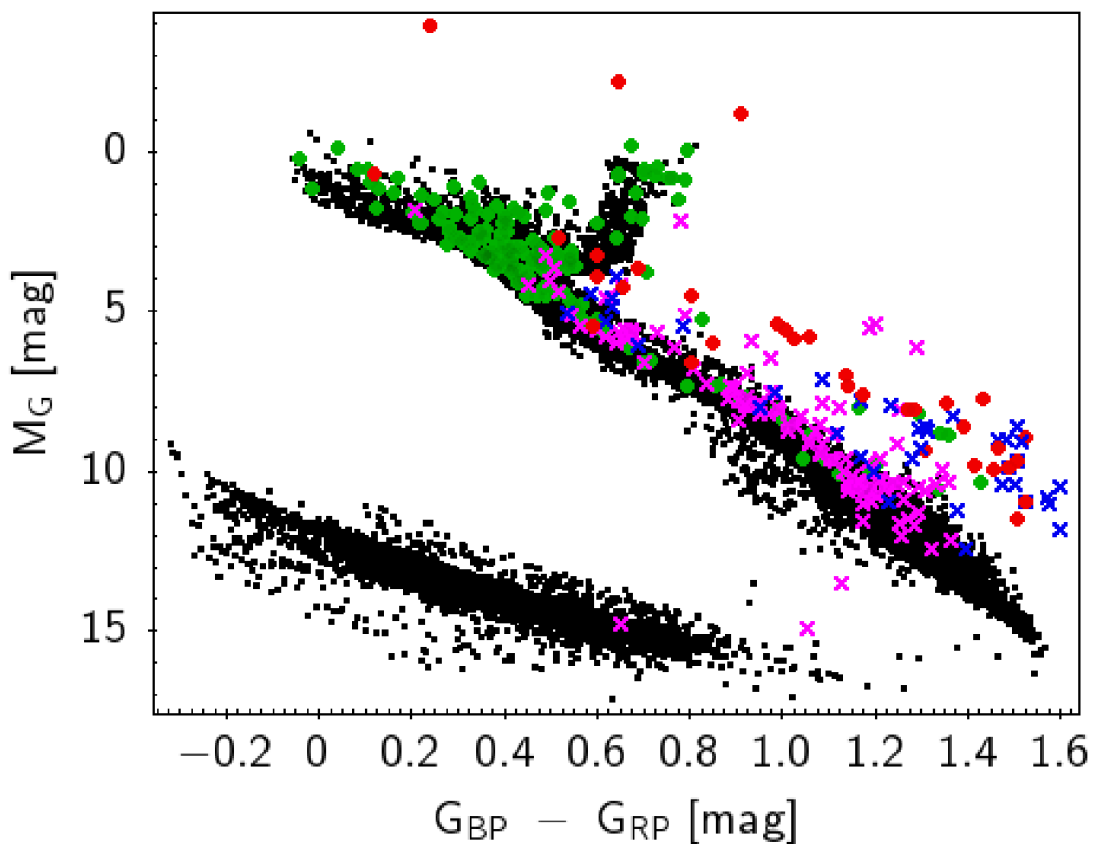


Figura 9: Diagrama color-magnitud de las estrellas dobles "olvidadas" identificadas en Solano et al. (2023). Las componentes primarias clasificadas por VOSA como "singles" se muestran en verde mientras que las identificadas como binarias no resueltas aparecen en color rojo. Igualmente, las componentes secundarias "singles" y binarias no resueltas se muestran en rosa y azul, respectivamente.



PROYECTOS DE CIENCIA CIUDADANA

El principal objetivo de este tipo de iniciativas es involucrar al público en proyectos de investigación, permitiendo a los entusiastas de la astronomía contribuir al avance científico.

SVO viene desarrollando desde 2011 un [proyecto de ciencia ciudadana](#) cuyo objetivo es mejorar el conocimiento de las órbitas de asteroides cercanos a la Tierra. El proyecto se encuentra abierto al público en general y no se necesita ningún conocimiento previo de astronomía para participar. A través de la inspección visual de una secuencia de imágenes, los participantes deben identificar el asteroide y medir sus coordenadas. Una vez estas coordenadas han sido validadas, la información es enviada al Centro de Planetas Menores para la actualización de los correspondientes parámetros orbitales (Fig. 10).

El proyecto ofrece al público la posibilidad de participar en una atractiva iniciativa recorriendo los mismos

pasos que los astrónomos profesionales (adquisición y análisis de datos y publicación de resultados) y contribuyendo a un mejor conocimiento de los asteroides con potenciales trayectorias de colisión con la Tierra. El trabajo realizado por los más de 4.000 usuarios registrados ha permitido no solamente mejorar el conocimiento de las órbitas de cientos de asteroides y, en consecuencia, estimar de manera más precisa la probabilidad de impacto con la Tierra, sino también aumentar en un 40% y en un !663%! el número de asteroides cercanos a la Tierra y *Mars-crossers* con clasificación taxonómica.

Algunos de los resultados más interesantes de esta iniciativa se pueden encontrar en [Solano et al. \(2014\)](#) y [Carry et al. \(2016\)](#).

CONCLUSIONES

SVO ha sido una iniciativa pionera y de gran importancia para la astronomía en España durante las últimas dos décadas. Desde su nacimiento en 2004,

SVO ha evolucionado significativamente, adaptándose a los cambios tecnológicos y científicos para servir mejor a la comunidad astronómica.

No obstante, la astronomía está en una era de rápidos cambios, con nuevas tecnologías y descubrimientos que transforman constantemente el campo. SVO, una iniciativa plenamente consolidada y reconocida a nivel internacional, deberá seguir innovando para mantenerse a la vanguardia, trabajando en nuevos desarro-

llos que respondan a las necesidades de la comunidad astronómica y, sobre todo, seguir manteniendo el espíritu de servicio a la comunidad que lo ha caracterizado durante estos primeros veinte años de vida.

AGRADECIMIENTOS

A todos los miembros del proyecto SVO con los que he tenido el placer de trabajar desde 2004 y sin cuya aportación todo lo descrito en este artículo no hubiera sido posible.

Figura 10. Proyecto de ciencia ciudadana del Observatorio Virtual Español. El asteroide 2007JZ20 se identifica claramente en la secuencia de imágenes por su movimiento Sur – Norte. La pequeña cruz roja indica la posición esperada del asteroide según sus parámetros orbitales. Se observa como dicha posición no coincide con la posición real del asteroide en las imágenes. Gracias a las mediciones realizadas por los participantes en el proyecto estas discrepancias pueden ser reducidas o, incluso, eliminadas.

