

FIGURA 1. Recopilación de las observaciones de seguimiento realizadas en todo el rango del espectro electromagnético del evento GW170817. [Abbott et al., 2017]

EL OBSERVATORIO VIRTUAL: ¿QUÉ ES Y CÓMO UTILIZARLO?

EL OBSERVATORIO VIRTUAL ES UN PROYECTO INTERNACIONAL QUE TIENE COMO PRINCIPAL OBJETIVO GARANTIZAR LA EFICIENTE EXPLOTACIÓN CIENTÍFICA DE LA ENORME CANTIDAD DE INFORMACIÓN EXISTENTE EN LOS ARCHIVOS ASTRONÓMICOS. EN ESTE ARTÍCULO DESCRIBIREMOS EN QUÉ CONSISTE ESTE PROYECTO Y LOS BENEFICIOS QUE EN LOS ÚLTIMOS AÑOS HA APORTADO EN EL CAMPO DE LA ASTRONOMÍA Y OTRAS DISCIPLINAS AFINES.

ENRIQUE SOLANO

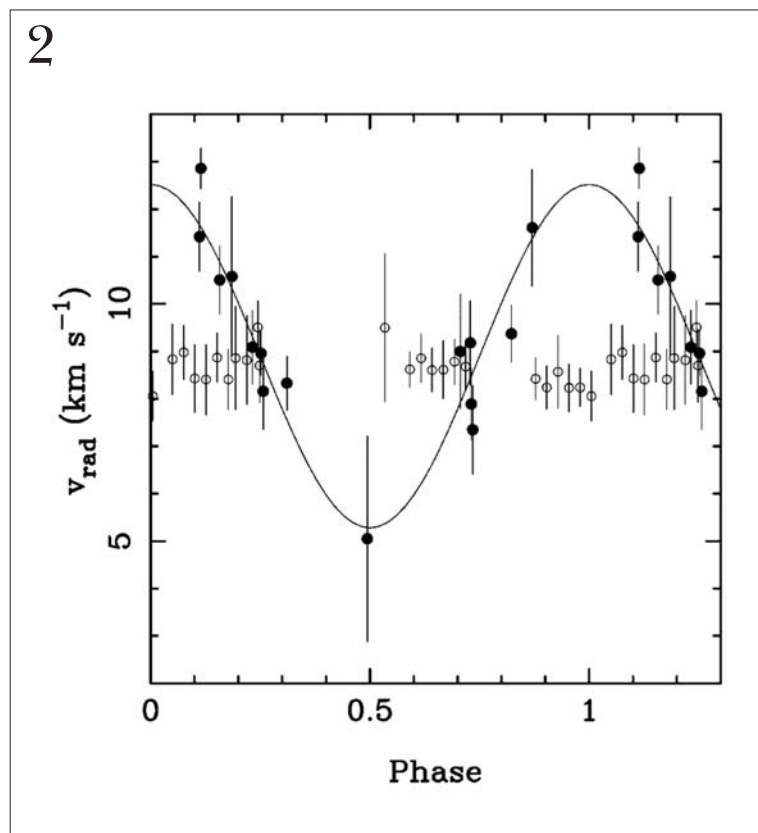


Artículo exclusivo
colaboración
de la Sociedad
Española de
Astronomía

La astrofísica es una ciencia experimental y, como tal, necesita datos para su avance. Para conseguir esos datos los astrónomos utilizan infraestructuras como satélites espaciales o telescopios en tierra. Una vez realizadas las observaciones, estas son comparadas con modelos teóricos y simulaciones numéricas para poder elaborar conclusiones sobre el fenómeno o proceso estudiado. Todos estos datos generalmente son almacenados en archivos y, tras un cierto periodo de privacidad, pasan a ser de acceso libre no solamente para la comunidad astrofísica sino para el público en general.

Para poder entender qué es el Observatorio Virtual (VO según sus siglas en inglés) se necesita primeramente comprender qué es un archivo astronómico y el papel que juegan los archivos en la investigación astrofísica moderna. Un archivo no es simplemente un espacio físico donde se preserva la información de manera segura a largo plazo. Es mucho más que eso. Los archivos son infraestructuras de investigación que tienen conceptualmente el mismo objetivo que los telescopios: proporcionar el acceso a datos. En este contexto, el término Observatorio Virtual empieza a cobrar su sentido ya que funciona igual que un observatorio astronómico, pero sin una ubicación física concreta.

Los principales observatorios están sometidos a un continuo proceso de mejora: telescopios cada vez de mayor tamaño, mejores instrumentos que permiten observar objetos cada vez más débiles cubriendo regiones



del cielo cada vez más extensas, una óptima planificación de las observaciones utilizando técnicas de Inteligencia Artificial para disminuir los desplazamientos en el cielo y minimizar los tiempos muertos..., son algunos de los avances que permiten realizar más y mejores observaciones. Si en el párrafo anterior se argumentaba que los archivos son infraestructuras similares a los telescopios, es razonable plantear la pregunta de cuáles son las líneas de actuación que se están llevando a cabo para optimizar el uso de los archivos. Y estas actuaciones se pueden describir con una sola palabra: **FAIR**, el acrónimo en inglés de *Descubrible* («Findable»), *Accesible*, *Interoperable* y *Re-*

utilizable. Particularmente importante es el concepto de *interoperabilidad*, entendiendo como tal la capacidad de poder trabajar de manera fácil y eficiente con datos heterogéneos obtenidos de diferentes archivos.

La interoperabilidad es una condición fundamental para la astrofísica moderna. En la inmensa mayoría de las líneas de investigación es necesario acceder a información en diferentes rangos de longitud de onda 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 gravitatoria producida por

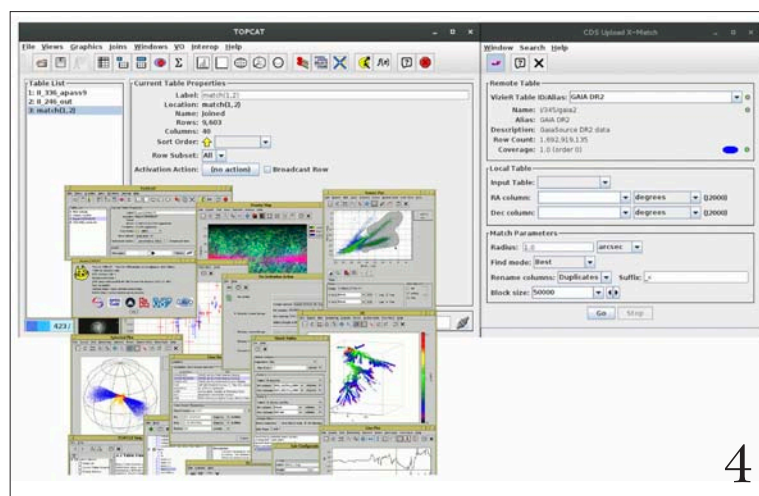
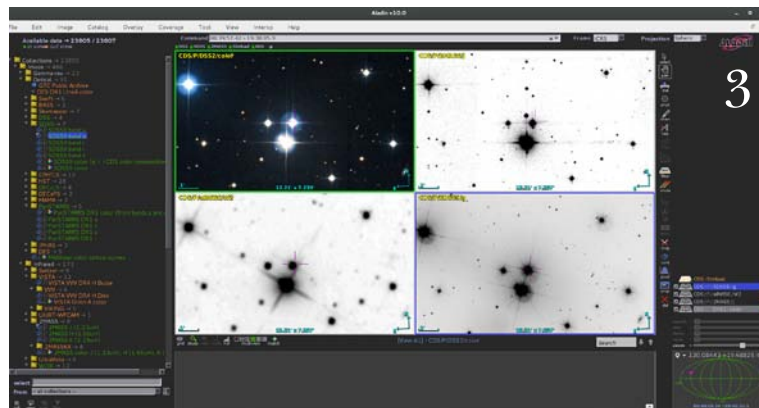
FIGURA 2. Variaciones en la velocidad radial de la enana marrón LP 944-20. Los puntos llenos corresponden a los datos en el visible mientras que los puntos vacíos representan las medidas realizadas en el rango infrarrojo. (Martín et al., 2006)

FIGURA 3. Visualización en Aladin de cuatro imágenes abarcando una misma zona del cielo. Las imágenes proceden de diferentes archivos astronómicos y cubren distintos rangos de longitudes de onda. Con un simple comando, Aladin es capaz de mostrar las cuatro imágenes en la misma escala y con la misma orientación espacial. A la izquierda se muestra un listado con todos los archivos existentes en VO (23 807), agrupados por el tipo de dato (imagen, catálogo, espectro...) y rango del espectro electromagnético (rayos gamma, ultravioleta, visible, infrarrojo, radio). El código de colores indica la existencia o no (verde / marrón, respectivamente) en un determinado archivo de información en la zona del cielo de interés. (Excepto donde se indique, todas las imágenes son cortesía del autor)

FIGURA 4. Vista esquemática de algunas de las funcionalidades de cruce y visualización de tablas y catálogos implementadas en TOPCAT.

el colapso de dos estrellas de neutrones y su posterior seguimiento por parte de más de setenta 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 cuatro mil investigadores de más de novecientos institutos, es un ejemplo paradigmático de la importancia de la astronomía multirrangos (Figura 1).

LP 944-20 es otro objeto que refleja igualmente la necesidad de acceder a información en diferentes rangos del espectro electromagnético. Este objeto es una enana marrón (objetos que se encuentran entre las estrellas más frías y los planetas), que, ob-



servada en el rango visible, presenta variaciones en su velocidad radial compatibles con la existencia de un planeta orbitando alrededor de ella. No obstante, si se repite el mismo tipo de análisis, pero esta vez en el rango infrarrojo, se observa que dichas variaciones en la velocidad radial desaparecen. Este resultado descarta la hipótesis del planeta ya que, si este existiera, las variaciones deberían ser visibles en cualquier rango de longitudes de onda (Figura 2). Sin duda, la principal enseñanza que se puede extraer de este trabajo es que el acceso limitado a la información puede dar lugar a conclusiones erróneas.

Y este es precisamente el reto al que se tiene que enfrentar el Observatorio Virtual: garantizar la interoperabilidad entre archivos astronómicos, proporcionando un acceso fácil y eficiente a la información contenida en los mismos, tanto observaciones realizadas desde tierra o desde el espacio como modelos y simulaciones teóricas.

El Observatorio Virtual es una iniciativa internacional que surgió hacia el año 2000 y que, en la actualidad, se encuentra formada por veintiún proyectos que se agrupan en la Alianza del Observatorio Virtual Internacional, IVOA [ver referencia 1]. El Observatorio Vir-



FIGURA 5. 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).

FIGURA 6. Formulario de consulta (arriba) y ejemplo de tabla de resultados (abajo) del archivo de datos del Observatorio de Cielo Profundo de la Agrupación Astronómica de Cartagena.

FIGURA 7. 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 del 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.

6

Search

By position:

Target Name (resolved by Sesame) or Position:

Coordinates format: decimal degrees or sexagesimal degrees HH MM SS.S ±DD MM SS.S

Search radius: (arcmin)

By date:

Between: February 2019

And: October 2019

Number of Results per Page: Page to show:

Version 0.1 - April 2019 © CAB SVO - ObCP - Home - Help Desk

Results

RA (J2000)	Dec (J2000)	Date	T. Obj.	Almass	Object	Header	Plot	Model	Fit χ^2	Reduced info χ^2
22.16183	14.97888	2019.10.16 21:31:48.4	25.0	1.278081494726737	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.16204	14.97530	2019.10.16 19:56:27.8	25.0	1.81713479552935	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.16238	14.97511	2019.10.16 19:57:48.8	25.0	1.808472945694903	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.16462	14.97886	2019.10.16 21:50:41.8	25.0	1.20089226231624	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.16579	14.97936	2019.10.16 21:32:58.8	25.0	1.274465359487356	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.17013	15.04208	2019.10.16 02:15:59.8	25.0	1.268791292127781	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.17028	15.04166	2019.10.16 02:17:11.8	25.0	1.278159113208853	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.17028	15.04187	2019.10.16 02:18:16.8	25.0	1.273661913208857	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.17245	15.05044	2019.10.16 01:14:52.8	25.0	1.131327250968363	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.17258	15.05073	2019.10.16 01:16:11.8	25.0	1.13022802123644	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
22.17257	15.05087	2019.10.16 01:17:34.8	25.0	1.130230915162816	2019.VAN.AL.BADA	Header	View	Download	-	-
51.86780	-22.27838	2019.02.12 20:02:56.8	300.0	2.400826200494191	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
51.86871	-22.26384	2019.02.12 18:24:32.8	60.0	1.89503595180882	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
52.86308	-22.27885	2019.02.12 19:11:51.8	300.0	2.115288883432424	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
55.22192	-21.85224	2019.02.22 19:12:14.8	300.0	2.23268774999494	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
55.22182	-21.85051	2019.02.22 19:07:57.8	300.0	2.203157190660902	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
55.24883	-21.84916	2019.02.22 19:49:26.8	300.0	2.35058059392959	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
55.26742	-21.80229	2019.02.22 18:52:18.8	300.0	2.124770980593728	1253R.1998.OH	Header	View	Download	-	-
64.48017	53.26297	2019.03.20 21:28:19.8	300.0	1.63666580933	-	Header	View	Download	-	-
64.48025	53.26285	2019.03.20 21:37:58.8	300.0	1.63622449715	-	Header	View	Download	-	-
64.48025	53.26284	2019.03.20 21:21:55.8	300.0	1.58441362564	-	Header	View	Download	-	-
64.48038	53.26282	2019.03.20 21:49:23.8	300.0	1.7340765479	-	Header	View	Download	-	-
79.18052	41.287163	2019.04.24 21:06:47.8	200.0	2.3051397292	7889.1994.LX	Header	View	Download	-	-
79.18049	41.287081	2019.04.24 21:18:31.8	200.0	2.41050306089	7889.1994.LX	Header	View	Download	-	-
83.28683	42.96177	2019.04.22 20:07:10.8	300.0	1.6426648172	7889.1994.LX	Header	View	Download	-	-
83.28708	42.96338	2019.04.22 20:10:48.8	300.0	1.7076829243	7889.1994.LX	Header	View	Download	-	-

— Uso de estas herramientas por parte de la comunidad astronómica, tanto profesional como amateur, para realizar un tipo de investigación que, fuera del Observatorio Virtual, se realizaría de manera muy ineficiente o, simplemente, no podría llevarse a cabo.

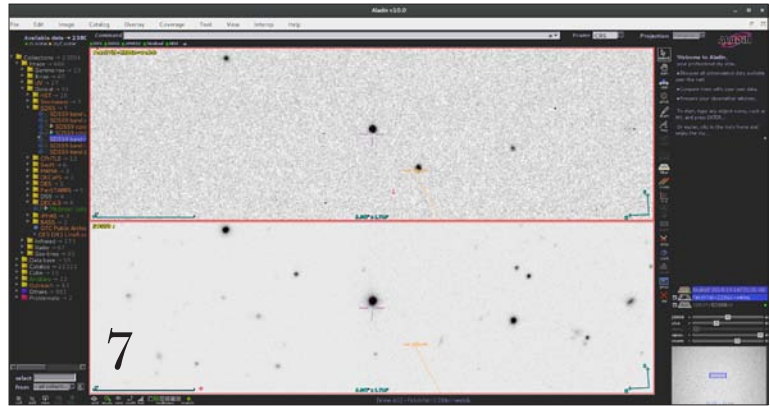
A continuación, se describirán brevemente alguna de las herramientas del Observatorio Virtual más utilizadas por la comunidad astronómica.

HERRAMIENTAS DEL OBSERVATORIO VIRTUAL

Aladin

Aladin Sky Atlas [3] es un atlas del cielo, creado por el CDS (*Centre de Données astronomiques de Strasbourg*) en 1999 que permite al usuario visualizar y analizar imágenes astronómicas, superponer catálogos y realizar operaciones con ellos. Al ser una herramienta plenamente integrada en el Observatorio Virtual, el usuario simplemente tiene que proporcionar las coordenadas de búsqueda. Una vez hecho esto y de manera automática y transparente, Aladin nos muestra todos los archivos existentes en VO y nos dice cuáles proporcionan información en la zona del cielo de interés.

De esta manera se puede trabajar con imágenes en diferentes longitudes de onda de manera fácil y sencilla. No importa que las imágenes procedan de archivos distribuidos geográficamente por todo el mundo ni que tengan diferentes orientaciones y escalas. Puesto que toda la información que describe el contenido de las imágenes (los llamados *metadatos*) se en-



cuentra estandarizada, herramientas como Aladin son capaces de encontrar los parámetros necesarios para reorientar y reescalar las imágenes de manera homogénea y uniforme. (Figura 3).

TOPCAT

Si Aladin estaba principalmente orientada al manejo de imágenes, TOPCAT (*Tool for Operations on Catalogues And Tables*) [4] sirve para trabajar con tablas, permitiendo comparar datos propios del astrónomo con los existentes en catálogos astronómicos, comparar catálogos entre sí y realizar operaciones entre ellos (por ejemplo, cruzar tablas para saber qué objetos se encuentran en ambas). (Figura 4).

Un aspecto interesante es que TOPCAT permite trabajar de manera remota con tablas enormemente grandes sin necesidad de tener que descargarlas localmente. Este es, por ejemplo, el caso del catálogo de *Gaia* [5]; con más de 1600 millones de fuentes es difícil imaginar cómo se podría trabajar con tal volumen de información fuera del Observatorio Virtual.

VOSA

Virtual Observatory SED Analyser (VOSA) [6] es una herramienta desarrollada por el Observatorio Virtual Español 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 estudio fuera del Observatorio Virtual 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 (Figura 5).

EL OBSERVATORIO VIRTUAL Y LA COMUNIDAD AMATEUR

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

— Uso de material didáctico

El Observatorio Virtual ha desarrollado una serie de guías y tutoriales [7] que pueden ser de gran utilidad en las actividades

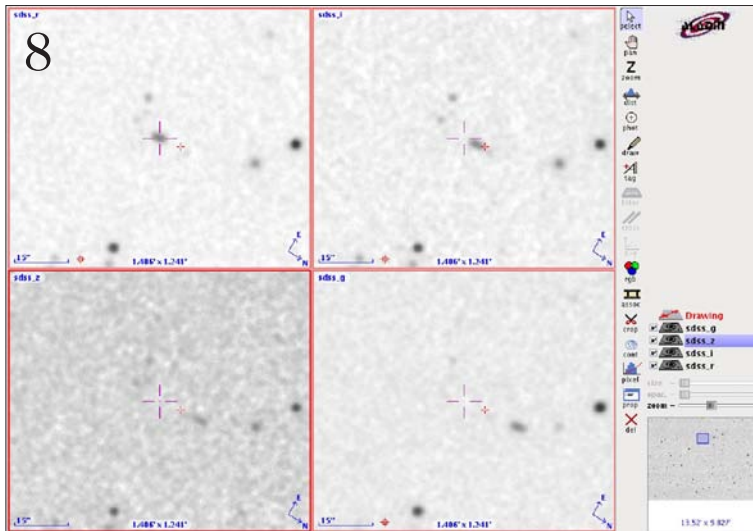


FIGURA 8. Proyecto de ciencia ciudadana del Observatorio Virtual Español. El asteroide 2007 JZ20 es claramente identificado en la secuencia de imágenes por su movimiento sur-norte. La pequeña cruz roja indica la posición esperada del asteroide según sus parámetros orbitales. Se observa como dicha posición 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.

divulgativas realizadas por la comunidad amateur, ya que permiten trabajar con datos reales a la hora de introducir un determinado concepto astronómico. Así, por ejemplo, en lugar de explicar el diagrama Hertzsprung-Russell (HR) utilizando un gráfico tomado de Internet, el tutorial permite construir un diagrama HR real utilizando datos de la misión *Hipparcos*.

— 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 a la instrumentación utilizada para realizar las observaciones como a las técnicas de reducción de los datos obtenidos. Este avance ha per-

mitido que el número de colaboraciones Pro-Am (Profesional-Amateur) sea cada vez mayor y que el interés de la comunidad profesional por las actividades realizadas por los amateur haya aumentado significativamente.

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

Para mejorar esta situación, desde el Observatorio Virtual

Español 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 Centro de Astrobiología para su ingestión en el archivo una vez haya superado los pertinentes controles de calidad.

El archivo del Observatorio de Cielo Profundo (ObCP) [8] de la Agrupación Astronómica de Cartagena es un excelente ejemplo de este tipo de colaboración. En la Figura 6 se muestra el formulario de entrada al archivo, el cual permite consultas por posición y fecha, así como el resultado de una búsqueda. Dicho resultado se muestra en forma de tabla desde donde es posible descargar las observaciones de interés. Un aspecto muy atrayente que destacar es que el archivo se encuentra plenamente integrado en el Observatorio Virtual, lo que implica que herramientas VO como Aladin van a descubrir nuestros datos de manera automática, datos que se podrán comparar con cualquier otra colección «profesional». En la Figura 7 se compara una imagen ObCP con una imagen del mismo campo obtenida por el cartografiado SDSS [9]. Se puede apreciar como la imagen ObCP es claramente menos profunda, pero contiene un objeto que no aparece en la imagen SDSS. Utilizando otra herramienta de VO como SkyBot [10], este objeto puede ser clasificado como un asteroide. Este sencillo ejemplo nos muestra el enorme potencial en términos de análisis y ex-

plotación de datos que permite el disponer de un archivo astronómico en el marco del Observatorio Virtual.

— Desarrollo de proyectos Pro-Am

Dentro de la comunidad amateur existe un creciente interés por las herramientas del Observatorio Virtual y su aplicación en colaboraciones Pro-Am. Dos son los principales proyectos que se han llevado a cabo desde el Observatorio Virtual Español:

1. Identificación de sistemas de movimiento propio común

Este fue un proyecto realizado en colaboración con el Observatorio Astronómico del Garraf [11]. Su principal objetivo era la identificación, utilizando la herramienta Aladin, de objetos que se desplazan en el cielo a la misma velocidad y en el mismo sentido. El principal resultado de este trabajo fue el descubrimiento de 1700 nuevos sistemas de movimiento propio común que fueron incorporados al archivo de referencia de este tipo de objetos: el *Washington Double Star Catalogue* (WDS) [12].

2. Identificación de estrellas dobles olvidadas

Se entiende por «olvidadas» aquellas estrellas dobles con una única observación en el WDS. En colaboración con la Agrupación Astronómica de Cartagena se han utilizado imágenes de un cartografiado de alta resolución espacial como UKIDSS [13] para confirmar la existencia real de estos objetos. Asimismo, consultando el archivo de la misión *Gaia*, se obtuvieron datos de paralaje y

movimientos propios que permitieron identificar sistemas ligados gravitatoriamente cuyos parámetros físicos fueron calculados utilizando VOSA. De entre estos sistemas destacan los formados por una estrella de tipo espectral M y una estrella más caliente. Son bien conocidas las dificultades de estimar la metalicidad de las estrellas M a partir de su información espectroscópica. No obstante, este problema desaparece si la estrella es más caliente. Según esto, los pares estrella M y estrella caliente son muy interesantes ya que, asumiendo un origen común, es posible estimar la metalicidad de la estrella M a partir de la metalicidad de su compañera caliente.

EL OBSERVATORIO VIRTUAL Y LA CIENCIA CIUDADANA

El Observatorio Virtual Español viene desarrollando desde 2011 un proyecto de ciencia ciudadana cuyo objetivo es el mejor conocimiento de las órbitas de asteroides cercanos a la Tierra [14]. Como todo proyecto de ciencia ciudadana, está abierto a la sociedad en general y no necesita ningún conocimiento previo de astronomía para participar. A través de la inspección visual de una secuencia de imágenes, los participantes en este programa deben identificar el asteroide y medir sus coordenadas en la imagen. Una vez superados una serie de controles de calidad, esta información es enviada al Centro de Planetas Menores [15] para la actualización de los correspondientes parámetros orbitales.

El proyecto ofrece al público la posibilidad de participar en

una atractiva iniciativa recorriendo los mismos pasos que los astrónomos profesionales (adquisición de datos, análisis de estos y publicación de resultados) y contribuyendo a un mejor conocimiento de los asteroides con potenciales trayectorias de colisión con la Tierra. (A)

Referencias:

- 1- www.ivoa.net
- 2- svo.cab.inta-csic.es
- 3- aladin.u-strasbg.fr
- 4- www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat
- 5- www.cosmos.esa.int/web/gaia/home
- 6- svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa
- 7- svo.cab.inta-csic.es/docs/index.php?pagename=Education/VOCases
- 8- astronomiacartagena.es/obcp/
- 9- www.sdss.org
- 10- vo.imcce.fr/webservices/skybot
- 11- www.oagarraf.net
- 12- www.astro.gsu.edu/wds
- 13- www.ukidss.org
- 14- near.cab.inta-csic.es
- 15- minorplanetcenter.net



Enrique Solano Márquez, es Investigador Científico en el Centro de Astrobiología (CAB; CSIC-INTA), e Investigador Principal del proyecto Observatorio Virtual Español.