

revista **NaDiR**

Nº 56 IX - 2023

**CÓMO FUNCIONA EL OBSERVATORIO
ROBÓTICO DEL MONTSEC**

**MODELO ESCOLAR DEL EFECTO
INVERNADERO**

**ASTRONOMÍA EN LA NECRÓPOLIS
VETTONA DE LA OSERA (ÁVILA)**

**CÚMULOS ESTELARES
ABIERTOS (1ª PARTE)**

**REVISTA DE LA ASOCIACIÓN PARA LA
ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA (ApEA)**



**ASOCIACIÓN
PARA LA ENSEÑANZA
DE LA ASTRONOMÍA**

ApEA

NaDiR es una revista de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA) www.apea.es

Presidente:

Carolina Clavijo Aumont

Vicepresidente:

Sebastián Cardenete García

Secretario:

Fernando Sánchez Gil

Tesorero:

Xavier Benlliure i Perales

Vocal de Publicaciones:

Ricardo Moreno Luquero

Vocal página web:

Eva Dominique Ibarra

Vocal FAAE:

Ángel Gómez Roldán

Vocales de Encuentros:

Antonio González Hernández

Fernando Ordóñez Monteagudo

Vocales:

Sensi Pastor Rodríguez

Joaquín Álvaro Contreras

Edición de la revista Nadir:

Ricardo Moreno Luquero

rmluquero@gmail.com

Comité de Redacción:

Joaquín Álvaro Contreras

Sebastián Cardenete García

Eduardo Zabala

Depósito Legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Septiembre 2023

Foto de portada: El Observatorio del Montsec. ©Kike Herrero - IEEC.

SUMARIO

CENTROS

CÓMO FUNCIONA EL OBSERVATORIO ROBÓTICO DEL MONTSEC

Azahara Rojas Roncero

3

MATERIALES

MODELO ESCOLAR DEL EFECTO INVERNADERO

Ricardo Moreno Luquero

10

ARQUEOASTRONOMÍA

ASTRONOMÍA EN LA NECRÓPOLIS VETTONA DE LA OSERA

Juan Carlos Terradillos Jiménez

15

TRABAJOS EN AULA

CÚMULOS ESTELARES ABIERTOS (1ª PARTE)

Joaquín Álvaro

25

NaDiR no se hace responsable de las opiniones expresadas en los artículos. Si no se indica otra cosa, las imágenes son propiedad de los autores de los artículos.

La distribución de NaDiR es gratuita entre los socios de ApEA, y se puede descargar de su web.

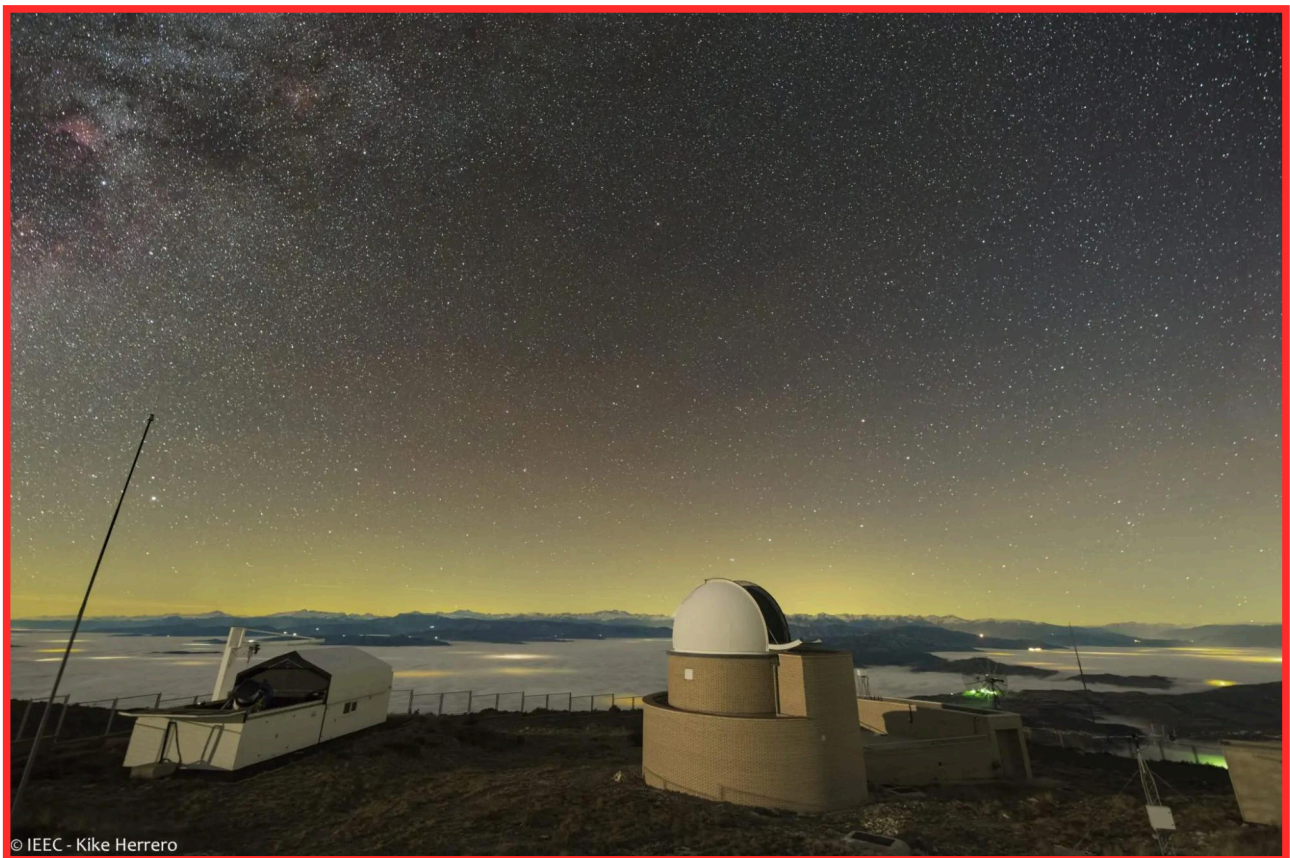
Se autoriza la difusión del contenido de la revista, citando la fuente.

CÓMO FUNCIONA UN OBSERVATORIO ROBÓTICO

El Observatorio del Montsec desde dentro



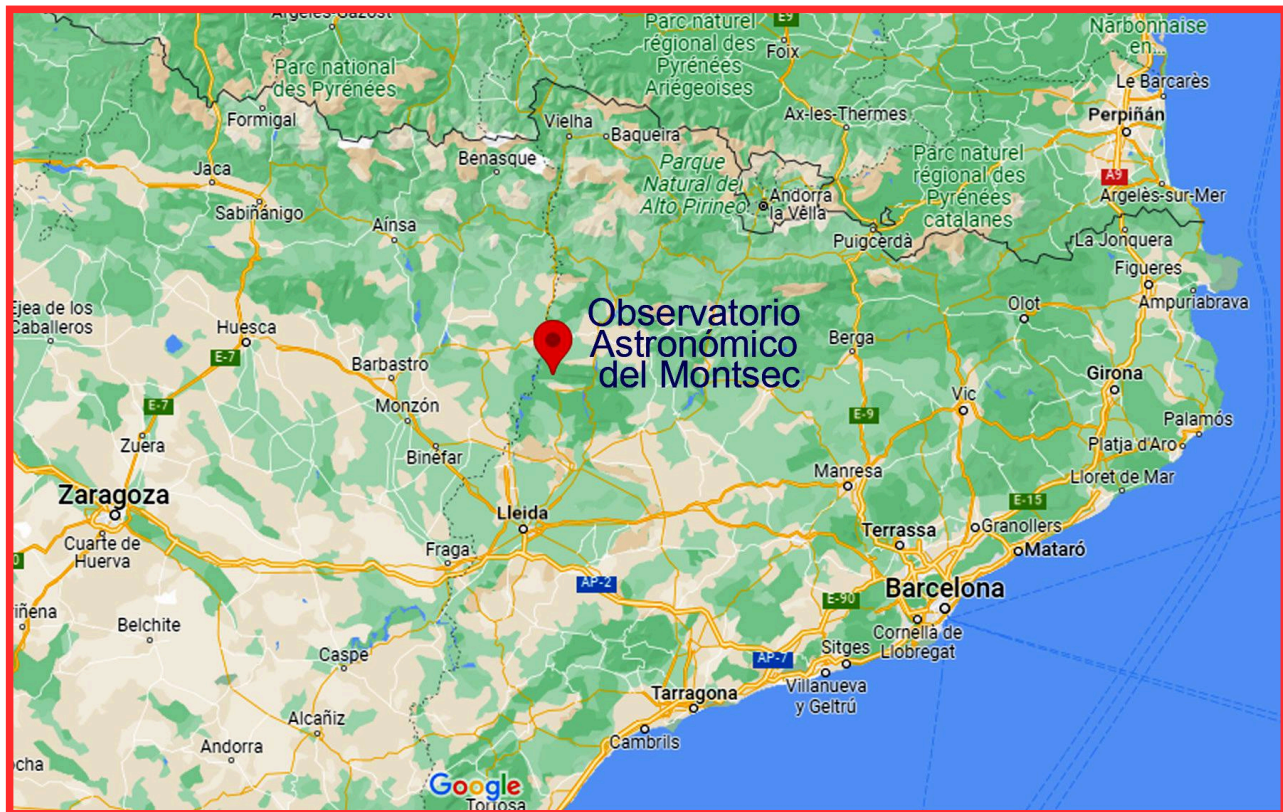
Azahara Rojas Roncero. Astrónoma de soporte y operaciones IEEC.
rojas@ieec.cat / rr.azahara@gmail.com



© IEEC - Kike Herrero

Nuestra compañera de ApEA Azahara Rojas nos explica lo que hace en su centro de trabajo: el Observatorio del Montsec, un moderno observatorio robótico, donde se ubica, entre otras instalaciones, el telescopio más grande de Cataluña, el Telescopio Joan Oró (TJO).

Resulta abrumador pensar en la rápida evolución que ha tenido la astronomía a lo largo de la historia. Lejos quedan aquellas noches de astrónomos en vela con ojos vigilantes a cualquier suceso astronómico y películas fotográficas que solo desvelarían la belleza de la noche tras un largo procesado. La evolución de la tecnología nos ha permitido un desarrollo enorme en el campo de la astronomía, y es algo que seguirá avanzando hasta niveles que a día de hoy desconocemos.



Así como vemos lejanas las películas fotográficas, es muy probable que en un futuro cada vez vayamos viendo más lejano el trabajo de astrónomos de soporte que pasan las noches preparando observaciones y dirigiendo los telescopios desde las salas de control. Aunque quizás no es necesario esperar al futuro en este aspecto, más bien se trata de un hecho presente; puesto que a día de hoy los telescopios robóticos son una realidad.

Jugamos en contra del tiempo, y en ese sentido la tecnología actual tiene una eficiencia y capacidad de respuesta mucho mayor que la humana, es por esto que recurrir a telescopios robóticos nos ofrece una gran ventaja. Sin depender de un tiempo de valoración y respuesta se pueden expresar al máximo las horas de observación, obteniendo mayor número de datos y con ello desarrollar de forma más rápida las investigaciones.

Telescopio Joan Oró

Son muchos los telescopios robóticos actuales en funcionamiento, pero hoy, el que nos ocupa, se encuentra en la zona del prepirineo catalán a unos 1570 metros de altitud, en la sierra del Montsec, en el municipio de Sant Esteve de la Sarga (Lleida).



La cámara CCD es una Andor iKon XL, con un sensor 4kx4k.



Y es que os voy a contar desde dentro el funcionamiento de este sistema autónomo de observación.

Efectivamente estamos hablando del Telescopio Joan Oró (TJO) en el Observatorio del Montsec (OdM) gestionado por el IEEC (Institut d'Estudis Espacials de Catalunya).

Qué se hace

Para empezar, os diré que el TJO actualmente se está usando para:

Búsqueda de exoplanetas: seguimiento de planetas conocidos con tránsitos o búsquedas seleccionadas de objetos individuales.

Binarias eclipsantes: entender la estructura y características de las estrellas.

Variables pulsantes: estudiar los interiores estelares.

Estrellas variables evolucionadas: gigantes y supergigantes.

Actividad estelar: comprender el sistema de dinamo magnético y caracterizar el comportamiento de los fenómenos de actividad.

Variabilidad de núcleos galácticos activos, relacionados con fenómenos de acreción y eyección de materia.

Objetos del Sistema Solar: seguimiento de asteroides, NEOs o cometas.

Supernovas: con capacidad de observarlas desde los primeros momentos.

Binarias de rayos X: variabilidad rotacional, acreción y curvas de velocidad radial.

Novas: se pueden conseguir datos desde el inicio.

GRBs: contrapartidas ópticas de explosiones de rayos gamma.



En cuanto al uso en educación y formación, hay algunas visitas para estudiantes de secundaria, bachillerato o universitarios, previamente concertadas para grupos reducidos, y pensadas para estudiantes que hayan trabajado temas de astronomía y ciencias del espacio. Los astrónomos del observatorio muestran, durante el día y en un recorrido de aproximadamente una hora, los diferentes telescopios del observatorio y la ciencia que realizan.

También hay posibilidad de asesoramiento en trabajos de investigación de bachillerato, utilizando datos abiertos del telescopio Joan Oró y con la ayuda de los astrónomos del IEEC. Por último, también se pueden hacer prácticas universitarias y trabajos de fin de grado o máster, trabajando con los astrónomos del observatorio en el análisis de datos astrofísicos o colaborando con el desarrollo tecnológico de los telescopios y del resto de equipamientos.

Cómo se hace

Formo parte de un equipo de tres astrónomos de soporte y dos informáticos, que nos encargamos de que todo funcione correctamente, pero como he adelantado anteriormente, nuestra presencia física durante las noches en el observatorio no es necesaria. Desde la comodidad de nuestras

casas, cada noche nos encargamos de vigilar telescopio y observaciones. Y cuando digo vigilar me refiero exactamente a eso, a comprobar el correcto funcionamiento del sistema haciendo falta la interacción humana solo en contadas acciones.

Para entender a grandes rasgos este complejo sistema podríamos pensar que dentro de él tenemos cuatro protagonistas: un programador, un observador, un meteorólogo y un procesador de datos.

Todo comienza de la mano de los propios investigadores. Dos veces al año se reciben propuestas de la comunidad científica interesada en observar con el TJO. Cualquier profesional científico investigador de cualquier institución del mundo tiene la posibilidad de demandar tiempo de observación. Estas propuestas recibidas son sometidas a un comité de asignación de tiempo que decide la adecuación de cada investigación y el tiempo que recibe cada una de ellas durante cada semestre. Los investigadores disponen de una plataforma en la que pueden “diseñar a la carta” las observaciones que quieren llevar a cabo (teniendo en cuenta ciertos parámetros y recomendaciones tanto del propio sistema como de los astrónomos encargados, que estamos a disposición durante todo el proceso).

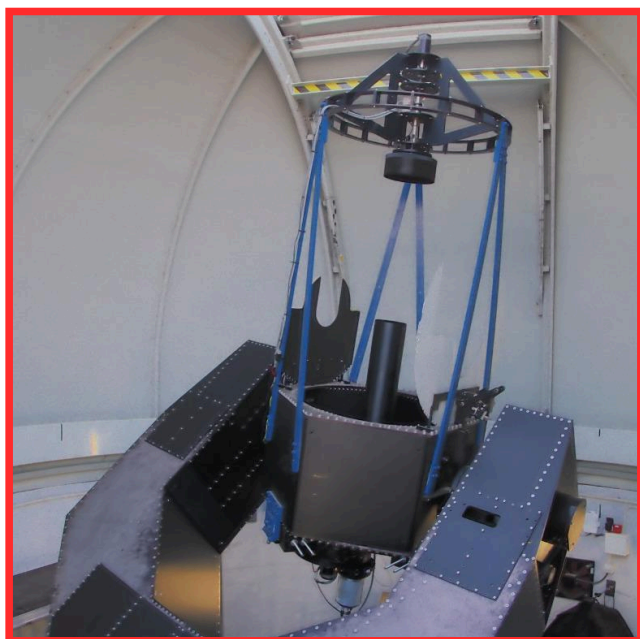
La recopilación de todos estos datos llegará a “manos” del programador, este se encargará de optimizar todas las observaciones disponibles. Las dispondrá el día más adecuado y en la mejor hora o momento teniendo en cuenta las condiciones requeridas por el propio investigador. De modo que recurriendo a su gran base de datos durante el día irá programando y colocando en cada minuto de la noche que se va a observar y cómo. Además irá realizando comprobaciones periódicas de dicha programación por si fuera necesario realizar modificaciones, de forma que a lo largo de todo el día cualquier investigador puede añadir o modificar sus observaciones. Esto se convierte en un sistema muy ventajoso para, entre otros, eventos transitorios o descubrimientos “inmediatos”. Gracias a ello cabe mencionar aquí como ejemplo dos observaciones recientes como son la supernova *SN 2023ixf* en M101 o la detección de la desintegración del asteroide 2023 CX1 en el norte de Francia el día 13 de febrero de 2023. Este último pudo ser detectado gracias a las cámaras de vigilancia del observatorio que de vez en cuando nos dejan estos regalos, ya que además del telescopio hay múltiples instrumentos en las instalaciones que serán mencionados más adelante.

Una vez que el programador tiene todo listo se lo comunicará al observador. Este se mantendrá a la espera hasta que acabe el día, será entonces, cuando empieza a atardecer, cuando se encarga de preparar el sistema: enciende telescopio, cámaras, hace las calibraciones necesarias, abre la cúpula... y cuando comience la noche tendrá lugar el programa de observación. Para cada una de ellas se encargará de elegir el objeto adecuado, el filtro, el tiempo de exposición, y todos los requerimientos del investigador que le han sido comunicados por el programador, realizando paso a paso las observaciones elegidas durante toda la noche, siempre y cuando lo permita la climatología. De la misma manera, cuando comienza el crepúsculo, el observador cerrará y apagará el equipo hasta que llegue la siguiente noche.

Las imágenes realizadas durante la noche por el observador son transferidas al procesador de datos, que se encargará de la astrometría, reducción y en definitiva de corregir y agrupar las imágenes para posteriormente enviarlas a cada investigador para ser analizadas y estudiadas.

Falta mencionar el trabajo del meteorólogo, y es que este sistema se encuentra continuamente en marcha, paralelamente a

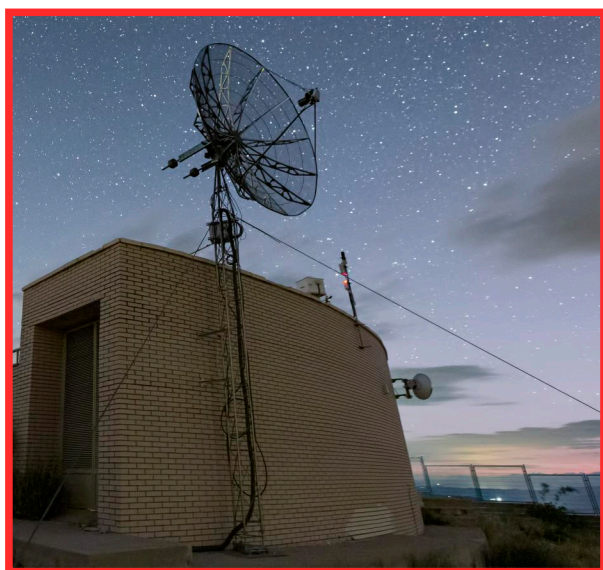
El TJO está quipado con una cúpula de 6.15 metros tiene un espejo primario de 0.8 metros de diámetro y un sistema óptico F/9.6 de configuración Ritchey-Chretien.



cualquier acción. Varias estaciones meteorológicas son las que se encargan de recoger estos datos, y esto es así ya que permite proteger toda la instalación, por tanto es un sistema que no debe fallar. En este sentido también tiene autonomía, es capaz de detectar cualquier anomalía climática que pudiera poner en riesgo el sistema: lluvia, nubes, viento, humedad, tormenta... Si cualquiera de los parámetros se encuentra fuera de los valores permitidos durante las observaciones el observatorio automáticamente se cerrará para proteger todo el equipo. La automatización en este aspecto también evita posibles fallos humanos o retardos a la hora de proteger o reanudar las observaciones.

Otras instalaciones

Como se ha citado anteriormente cabe mencionar otras instalaciones que forman parte del Observatorio del Montsec. Junto al Telescopio Joan Oró se encuentra el Telescopio Fabra-ROA Montsec, gestionado conjuntamente por la Real Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona y el Real Observatorio de la Armada. Este es otro telescopio robótico que funciona de una manera muy similar pero con diferentes prestaciones, de modo que en ocasiones,



Antena de banda s.

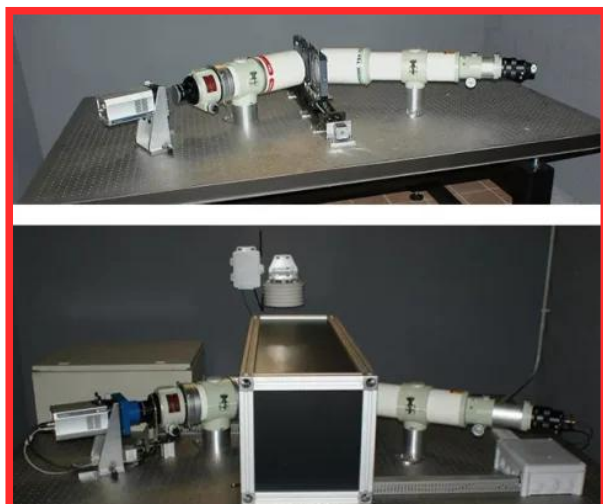
observaciones de un mismo objeto tomadas por ambos telescopios proporciona conjuntos de datos con mayor información. El IEEC cuenta también con una cámara de cielo completo que también permite monitorizar climatología y otros eventos astronómicos y cámaras de vigilancia de las instalaciones citadas anteriormente. Contamos también con una instalación de medio ambiente que se encarga de monitorizar la calidad del aire, así como cámaras de vigilancia de incendios, todo ello gestionado por la Generalitat de Catalunya. También se emplazan diferentes antenas de comunicación con satélites así como nuevas instalaciones en construcción y en proyecto.

Y mencionar la detección de satélites me lleva a hacer referencia a uno de los principales proyectos llevados a cabo en el Telescopio Joan Oró además de las observaciones de investigación astrofísica, y es el seguimiento y vigilancia de basura espacial con el programa de observaciones *Satellite Surveillance and Tracking (SST)*, pues cada noche una parte de tiempo es dedicada a vigilar y comprobar las trayectorias de fragmentos u objetos en desuso alrededor de nuestro planeta para evitar colisiones indeseadas u otros problemas.

Más tareas

Los beneficios de la robotización de estos sistemas son conocidos por todos, y ahora, tras comprender su funcionamiento, se puede entender el nivel de optimización en todos los sentidos, optimización de parámetros y recursos, pero sobre todo, optimización del tiempo de observación, tan valioso.

A pesar de la autonomía del sistema, el papel de los astrónomos no es irrelevante, y la intervención humana sigue siendo necesaria en muchos factores. Los astrónomos de soporte que estamos a cargo en el Observatorio del Montsec tenemos muchas y muy diferentes funciones. Desde las más



Espectrógrafo ARES.

comunes, como son el mantenimiento de las instalaciones y resolución de problemas técnicos que van surgiendo, no solo en el TJO, sino también ofreciendo soporte a las demás instalaciones que se encuentran en el recinto; hasta labores más complejas como la reparación e instalación de nuevos equipos e instrumentos, acompañamiento a los investigadores y supervisión de datos e imágenes. Algunos ejemplos de las últimas labores llevadas a cabo son la puesta a punto del espectrógrafo, la instalación de nuevos filtros, de nuevos equipos...

Una de las labores más importantes es mantener al día el funcionamiento del sistema, y es que tratándose de un sistema tecnológicamente autónomo, es continua la necesidad de optimización y desarrollo, por ello siempre se intentan aplicar mejoras, actualizar los equipos y en definitiva mantener la tecnología a punto y las versiones más recientes con el fin de mejorar tanto la

calidad como la cantidad de observaciones. Así como también involucrarnos en nuevos proyectos de observación y desarrollar las nuevas ideas que van surgiendo en el equipo derivadas de las necesidades actuales: brokers astronómicos, redes de satélites...

Esto implica también la colaboración con otros proyectos e instituciones, o el estudio de nuevos proyectos que pueden llevarse a cabo en este lugar, colaboración y puesta en marcha. Un ejemplo de esto son las nuevas instalaciones que se están desarrollando; como es el caso de la instalación reciente de un sismógrafo, o estudiando de cara al futuro, ya que el OdM se encuentra en un proceso de continuo crecimiento y desarrollo.

En definitiva las tareas son muy diversas, y en conjunto con todas ellas, se deja además un pequeño tiempo cada año dedicado a la divulgación para que la gente pueda entender nuestra labor, visitar las instalaciones y así comprender la importancia de este emplazamiento y de la astrofísica en general. Trabajamos para que los datos obtenidos cada vez nos ayuden más al desarrollo y al descubrimiento del universo, continuamos mejorando el sistema y optimizando al máximo sus prestaciones, colaborando en nuevos proyectos y buscando nuevas herramientas para seguir mejorando el funcionamiento y tener cada día mayor calidad de observación para impulsar el éxito de nuevos estudios.

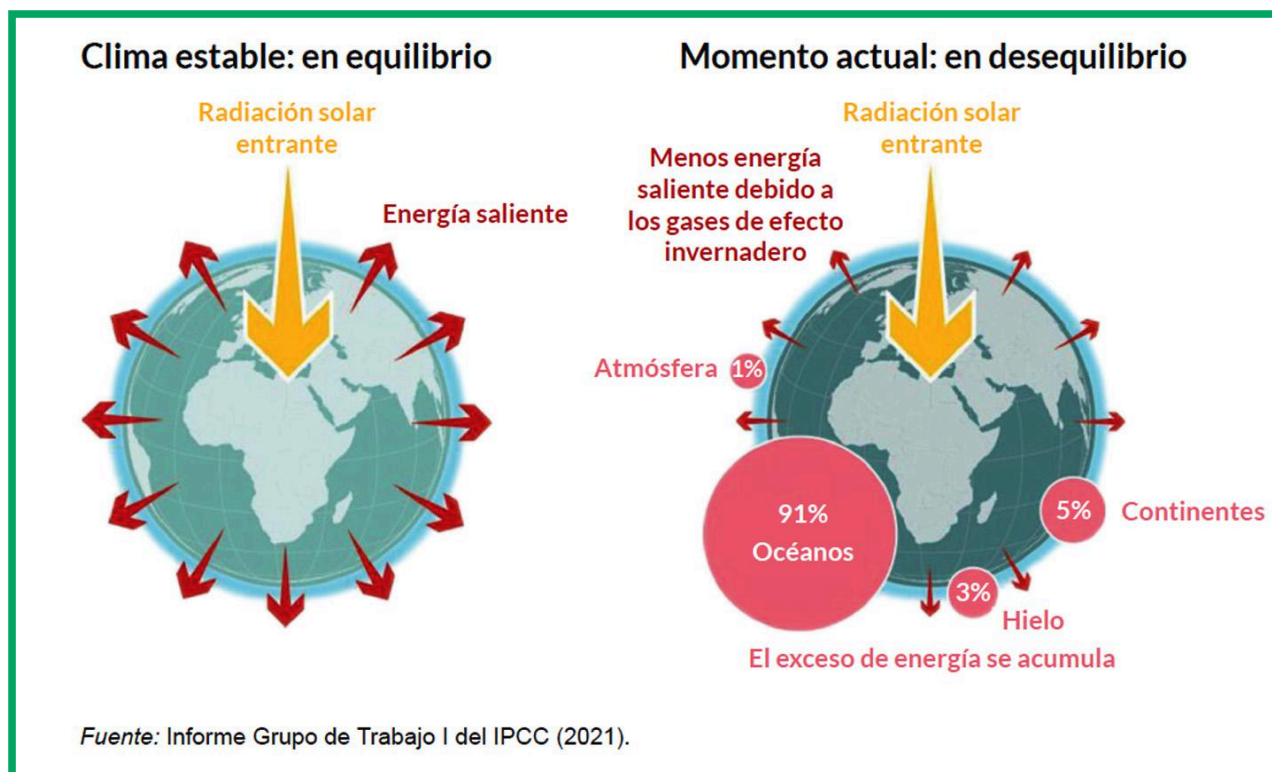
Más información del Observatorio del Montsec, completa y actualizada, se puede encontrar en la página web:

<https://montsec.ieec.cat/>

MODELO ESCOLAR DEL EFECTO INVERNADERO



Ricardo Moreno Luquero



La radiación que nos llega del Sol atraviesa sin mucho problema la atmósfera, llega al suelo y lo calienta, emitiendo radiación infrarroja. La atmósfera es opaca a las longitudes de onda del infrarrojo, y buena parte del calor queda atrapado. Es el llamado efecto invernadero. Si aumenta por los gases de efecto invernadero, la Tierra recibe más energía de la que emite, y se va almacenando en océanos, hielos, continentes y atmósfera, cada vez más calientes.

GASES DE EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero natural es beneficioso para la vida; sin él, la temperatura de equilibrio de la Tierra sería muy fría, de unos -18°C . Gracias a él, la temperatura media de la superficie terrestre es templada, con unos 15°C de media, y hace posible la vida como la conocemos.

Este efecto se potencia con las nubes y los llamados gases de efecto invernadero contenidos en la atmósfera, como el vapor de agua, el CO_2 , el metano CH_4 , etc., que absorben y vuelven a emitir la radiación infrarroja.

Algunas actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la defores-

tación, han hecho que esté aumentando cada año la concentración de esos gases en la atmósfera. Por ejemplo, según los informes del IPCC [1],[2], desde la época preindustrial hasta nuestros días, las concentraciones de CO₂ (en partes por millón), CH₄ (en partes por mill millones) y N₂O (también en partes por mill millones), han sido:

Año	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppmm)	N ₂ O (ppmm)
1750	≈280	≈700	≈270
1998	365	1745	314
2019	410	1866	332

Eso hace que la temperatura de la atmósfera, de los océanos, etc., esté aumentando, y se produzca el perjudicial calentamiento global.

Un caso extremo lo vemos en Venus, con una permanente capa de nubes, una atmósfera llena de CO₂ y una temperatura infernal de unos 400° C.

Este tema se puede tratar de forma transversal en varias asignaturas, en los últimos cursos de la enseñanza primaria y en secundaria. ¿Es posible hacer un modelo escolar, fácilmente realizable con los alumnos, en el que se visualice el efecto invernadero? Aquí propongo uno, y un análisis de los datos obtenidos.

CONSTRUCCIÓN

Necesitamos cuatro botellas grandes de plástico, tierra oscura y unos termómetros.

Agujereamos los tapones de las cuatro botellas, y ponemos un termómetro en cada uno. Conviene sellar lo mejor posible la unión con plastilina, para aislar el contenido. En las cuatro botellas echamos una cantidad similar

de tierra oscura, p. ej., la que se vende para decoración. La tierra vegetal para macetas es demasiado húmeda.

Una de las botellas la cortamos longitudinalmente (Fig 1), y nos quedamos con la mitad que contenga la parte del tapón. En posición horizontal, echamos tierra: simulará el planeta sin atmósfera (ver la Fig. 5).

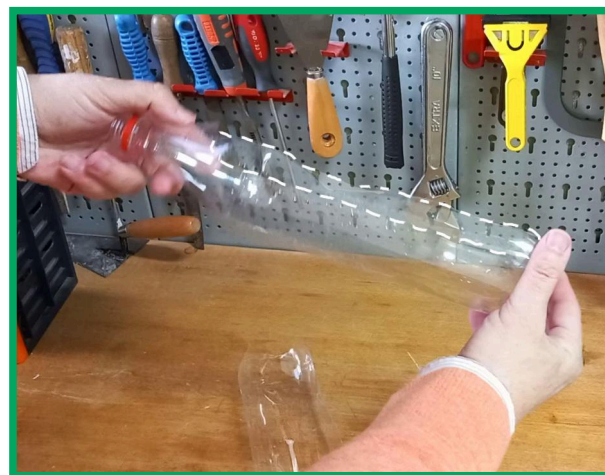
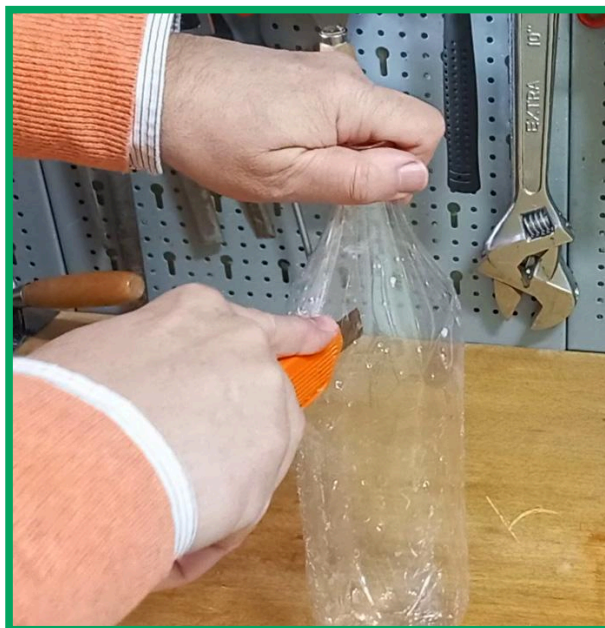


Fig. 1. Cortamos una botella a lo largo. Cuando echemos tierra, simulará el planeta sin atmósfera.

En otra botella ponemos un poco de tierra oscura y la cerramos con el tapón, que tiene también un termómetro incorporado. Simulará el planeta con atmósfera (ver Fig. 5).

[1] http://unfccc.int/resource/docs/publications/infokit_2004_sp.pdf, pg 62.

[2] 6º informe del IPCC de 2021, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf

Hacemos lo mismo en una tercera botella, pero antes de cerrarla, introducimos con un pulverizador un poco de agua. Con el calor se evaporará, y reproducirá una atmósfera con más vapor de agua.

En la cuarta botella introduciremos CO_2 , para ver cómo afecta este gas al efecto invernadero. Veamos cómo obtener fácilmente CO_2 y cómo manipularlo sin problemas.

OBTENCIÓN DEL CO_2

Este gas es transparente y más pesado que el aire. Su densidad en condiciones normales es 1,4 veces la del aire. No es venenoso (lo inhalamos y espiramos en cada respiración), pero, al desplazar el oxígeno, puede apagar el fuego, y se usa en algunos extintores. Por otra parte, se diluye en muchas bebidas (refrescos, vinos espumosos), cuyas burbujas son de CO_2 .

Tomamos una botella grande de refresco. Al abrirla por primera vez, se forman burbujas que son de CO_2 . Su gas llena el poco espacio libre que queda en la botella. Para comprobarlo, vertemos un poco de ese gas sobre la llama de una vela. Aunque el gas es transparente, al ser más pesado que el aire, podemos imaginárnoslo como un líquido que cae hacia abajo, y vemos que la llama se apaga (Fig. 2). Vamos bien.



Fig. 2. El CO_2 , más pesado que el aire, apaga la vela.

Vaciamos el líquido de la botella hasta la mitad. Echamos un poco de sal o de azúcar (basta media cucharilla de café), y se forma una gran cantidad de espuma (Fig. 3), que rebosa la botella, expulsando todo el aire que había en su interior. Al poco tiempo, las burbujas van explotando, y la espuma se deshace, dejando el interior de la botella lleno de CO_2 , que no sale porque es más pesado que el aire.

Vertemos despacio ese CO_2 en la cuarta botella preparada. Hace falta un embudo, y es importante que no tape la salida del aire que hay en el interior de la botella. Para ello podemos poner junto al embudo una pajita, una cuña o algo similar, para que esté libre la salida del aire del interior, cuando el CO_2 vaya cayendo y llenando la botella (Fig. 4).



Fig. 3. Al echar sal o azúcar, el CO_2 rebosa, dejando la botella llena de ese gas, que, al ser más pesado que el aire, no se escapa.



Fig. 4. Vertemos el CO_2 en una botella con tierra. Se deja salir el aire de dentro con una pajita.

Una vez que hemos llenado la botella con el CO_2 , la cerramos lo más herméticamente que podamos, pues vamos a ponerla en posición horizontal.

Marcamos cada botella con rotulador, para saber cuál es cada una. Las situamos al aire libre en una zona que les dé el sol, y vamos anotando la temperatura que marcan los cuatro termómetros cada 5 minutos. En unos 20 minutos se estabilizan las medidas.

RESULTADOS

El termómetro de la botella 1 (sin efecto invernadero), marca la temperatura ambiente, en nuestro caso, 21°C . En la botella 2 (con aire normal) la temperatura sube notablemente (en nuestro caso, a 40°C). En la botella 3 (con aire húmedo) el termómetro marca un par de grados más que en el anterior (42°C). En la botella con CO_2 , la temperatura es igual a la del aire normal (40°C).

La botella es transparente, por lo que sus paredes no deberían calentarse apenas al estar al sol. Por eso, el gran aumento de la temperatura que observamos en el interior de las botellas cerradas podemos suponer que es debido al efecto invernadero.

En la botella en la que hemos introducido gotas de agua, al pasar esas gotas líquidas a vapor, cogen calor sin subir la temperatura. Si a pesar de eso, dentro de la botella aumenta la temperatura más que en la de aire seco, podemos pensar que es debido al aumento del efecto invernadero que produce el vapor de agua.

La medida en la cuarta botella, con CO_2 , es un tanto desconcertante. Teóricamente ese gas

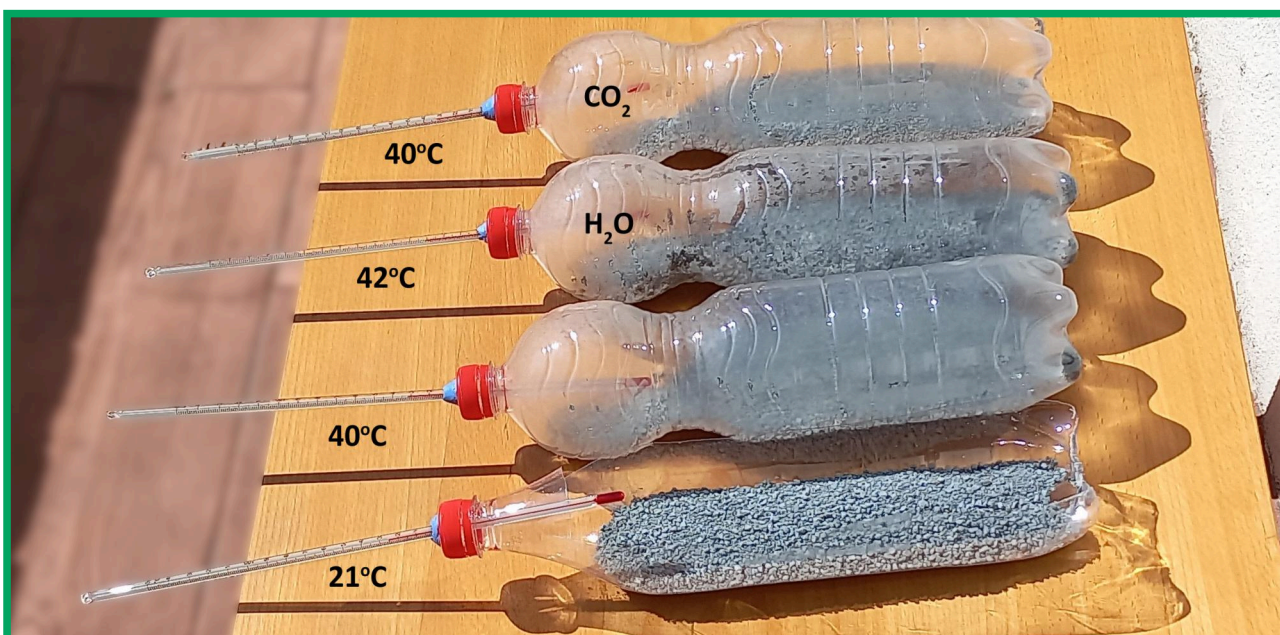


Fig. 5. Las cuatro botellas al sol, etiquetadas con el contenido. Se indican las medidas después de 20 minutos.

aumenta el efecto invernadero, y sin embargo la temperatura en esa botella nos sale similar a la del aire normal. ¿Por qué?

Puede ser que el CO_2 se escape, o que el CO_2 obtenido esté mezclado con aire normal. También hay que tener en cuenta que no son recipientes aislados térmicamente y la disipación a través del plástico de las botellas puede ser alta y rápida, y enmascarar de esta manera el efecto, aunque eso ocurre igual en las otras botellas. Pero pienso que la razón fundamental es que no hay suficiente espesor de aire con CO_2 dentro de la botella, para que reproduzca lo que pasa en la atmósfera real, donde hay varios kilómetros de espesor. Dicho con otras palabras, el efecto del CO_2 en la absorción del calor y de los rayos infrarrojos no es escalable lineal-

mente, como hacemos con las dimensiones de nuestro modelo.

En definitiva, nuestro sencillo modelo didáctico puede servir para mostrar el efecto invernadero en general, puede servir para ver el efecto invernadero del vapor de agua, pero no sirve para otros gases, como el CO_2 .

De todas formas, os invito a mejorar el modelo. Por ejemplo, se podría apantallar el termómetro, para que mida realmente la temperatura de los gases, no la radiación que le llega del suelo, que está muy próximo. También estaría bien prolongar el experimento, con una segunda etapa en la que tapamos la radiación solar entrante, y obtener las curvas de decaimiento de las temperaturas, con medidas cada minuto, por ejemplo.

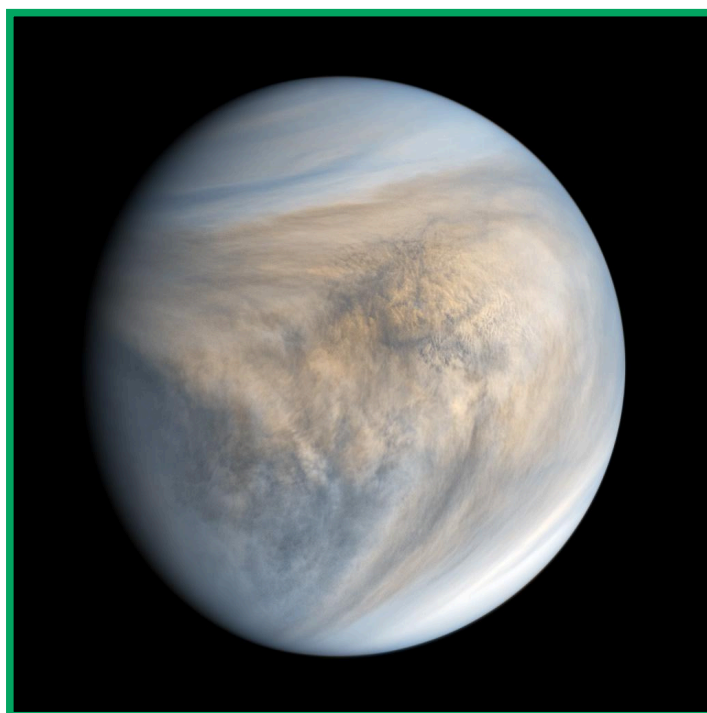


Fig. 6. Venus, con una permanente capa de nubes, una atmósfera llena de CO_2 y una temperatura infernal de unos 400°C .

ASTRONOMÍA EN LA NECRÓPOLIS VETTONA DE LA OSERA (ÁVILA)



Juan Carlos Terradillos Jiménez



El autor nos explica los conocimientos astronómicos que tenían los antiguos celtas, a partir de diversos textos de escritores antiguos, y de las alineaciones de algunas piedras en la necrópolis de La Osera, correspondiente al castro vettón de la Mesa de Miranda, en la localidad abulense de Chamartín de la Sierra.

Esta necrópolis de incineración fue excavada en la década de 1930 por el arqueólogo D. Juan Cabré Aguiló. Hoy en día se puede visitar el castro, con sus tres recintos defensivos, y la necrópolis, que se encuentra enfrente de la entrada principal del tercer recinto defensivo.

Los vettones se hallaban asentados en las estribaciones del Sistema Central, ocupando las actuales provincias de Ávila, Salamanca, parte de Toledo, Cáceres y Zamora. Una característica propia y exclusiva de este pueblo, que encontramos por todo su territorio, es la existencia de los "verracos", unas esculturas en granito que parecen ser toros o cerdos.



Fig. 1. Los Toros de Guisando (El Tiemblo, Ávila)

1. El estado de la investigación astronómica en la necrópolis de La Osera

La necrópolis se halla en una gran explanada, frente a la puerta de entrada al castro, extendiéndose entre el lado sur del poblado y el cerro de Las Navas, una colina próxima que oculta parte del horizonte sur, cuando se mira el cielo desde el cementerio.

J. Cabré diferenció seis zonas sobre el terreno de la necrópolis, que presentaban como señalización de las mismas otras tantas estelas funerarias verticales, colocadas sobre algún túmulo principal de cada grupo. Hoy sólo se ven seis estelas "in situ", mientras que la séptima estela (la VI de Cabré), situada originalmente cerca de la tercera muralla, ha desaparecido, pero se tiene constancia de su existencia por haber quedado registrada en el diario de excavaciones.



Fig. 2 y 3. El autor, en las estelas.



Fig. 4. Túmulos funerarios en la zona IV de la necrópolis, con sus tres estelas

Al igual que en otros yacimientos de la Meseta, pertenecientes a la Edad del Hierro y a la Protohistoria, en los que se han realizado concienzudos trabajos sobre la existencia de ciertos alineamientos astronómicos en los castros, necrópolis y algunas estructuras singulares de los mismos, también en La Osera distintos investigadores han llevado a cabo estudios acerca de las posibles connotaciones astronómicas que puede haber en la disposición y en la orientación de las estelas funerarias.

Diversas hipótesis

Tres son las hipótesis formuladas hasta la fecha por estos investigadores, las cuales presentamos y resumimos a continuación.

a) Carlos Martín Escorza en su trabajo "Orientaciones en las necrópolis tumulares de La Osera (Ávila) y El Carrascalejo (Murcia)", propone:

- De un total de 113 túmulos que hay en la necrópolis, se observa que los acimuts dominantes de su eje axial, son 45° y 315° , es decir, al suroeste y sureste.

- Concluye que estas orientaciones están relacionadas con el inicio y el fin de la visibilidad del planeta Venus, en las fechas del 1 de febrero y 1 de noviembre, que eran los días en los que alcanzaba su máxima magnitud visual entre los años 700 y 200 a. C.

- Que estas dos fechas coincidían, en el calendario celta, con las festividades de Imbolc y de Samhain, respectivamente.

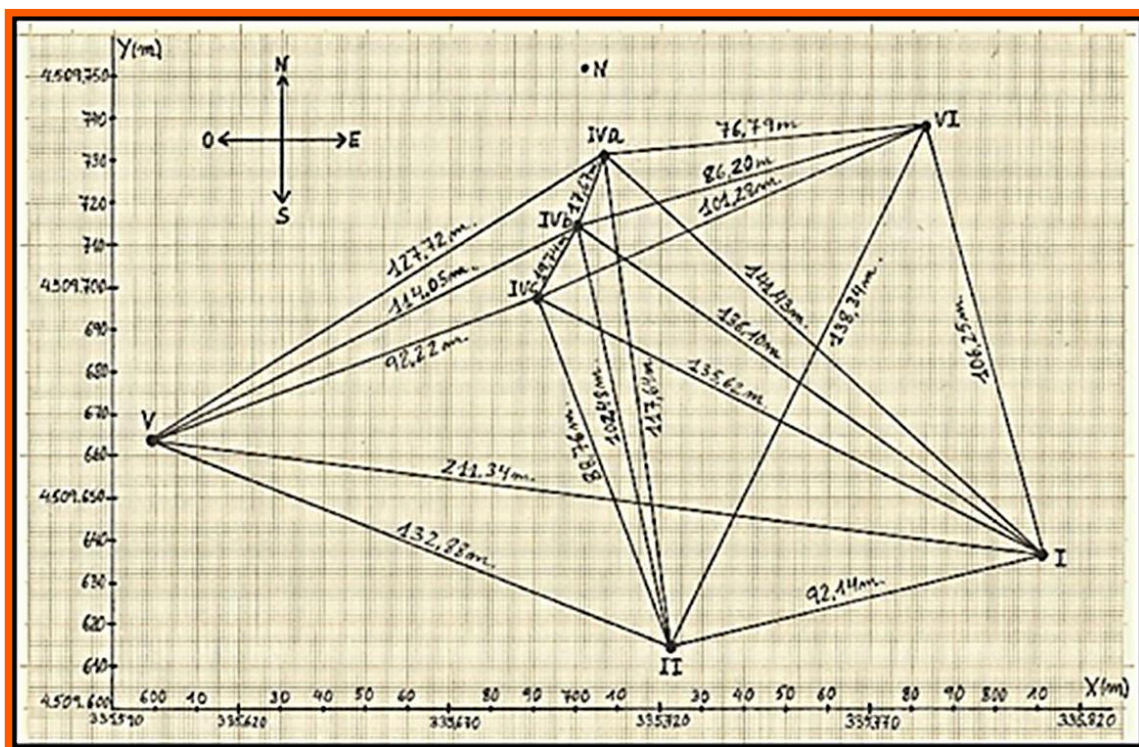


Fig. 5. Plano cartesiano representando las seis estelas y las distancias respectivas entre ellas

b) Isabel Baquedano Beltrán y Carlos Martín Escorza en su artículo "Alineaciones astronómicas en la necrópolis de la Edad del Hierro de La Osera", defienden:

- Las seis estelas funerarias que se ven hoy en día sobre el terreno, más otra (la VI de Cabré), que ellos sitúan dentro de la muralla del tercer recinto y denominan "α", no sirven para señalar ninguna sepultura ni grupo de ellas, sino que cumplen la función de marcadores de los ortos/ocazos del Sol en los solsticios y equinoccios, mediante alineaciones mutuas entre ellas con el horizonte local, tomando como estela de referencia la estela zeta, ζ, (IVa). Si se eligen las estelas δ (IVc) y γ (II) como origen de orientaciones, se encuentran alineaciones con las otras estelas que

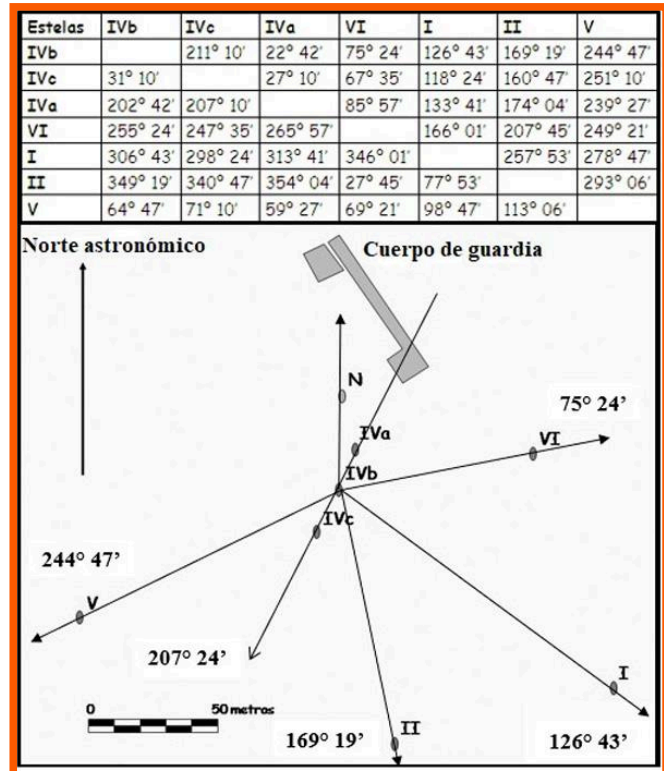


Fig 7. Acimuts astronómicos entre las estelas y direcciones astronómicas entre la estela IVb y el resto.

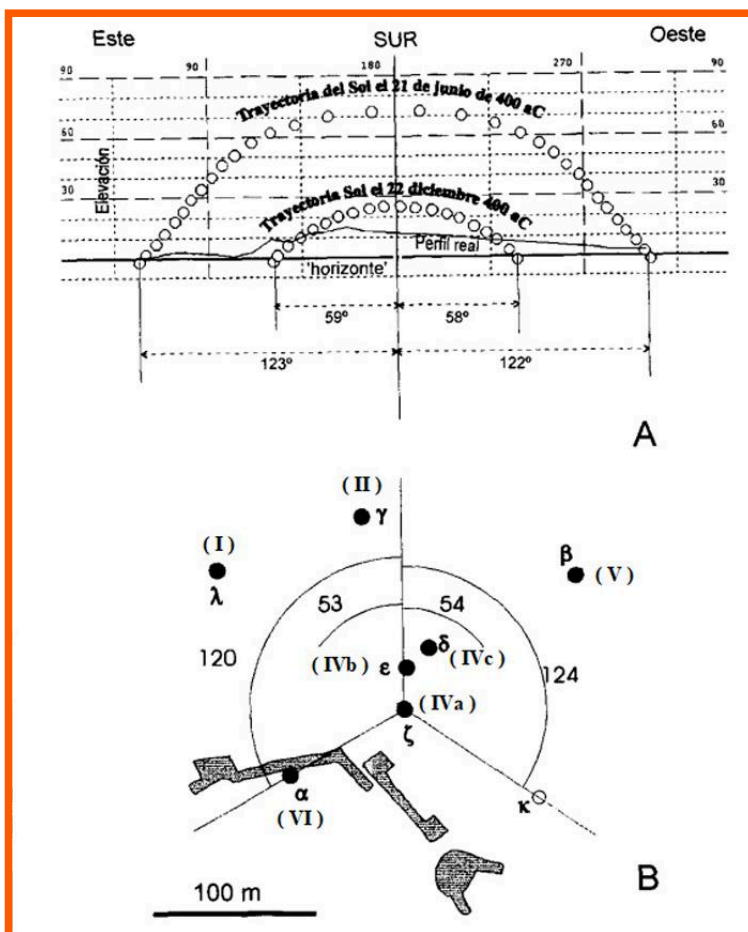


Fig. 6. Estelas sobre el terreno y orientaciones entre ellas.

señalarían, sobre el horizonte local, los ortos y ocacos del Sol en el entorno de las fechas del año en las que se celebraban las cuatro festividades celtas, aproximadamente en mitad de cada una de las estaciones astronómicas.

- Las estelas se distribuyen espacialmente sobre el terreno en un intento por representar la constelación de Orión, aunque falta la estela correspondiente a la estrella β de Orión (Rigel) y que llaman κ. Así mismo, relacionan las distintas posiciones en el cielo de esta constelación, con las fechas para esas cuatro fiestas, a modo de marcadores temporales de las mismas.

- Ven probable la existencia de un calendario lunar y también solar, junto con la existencia de una clase sacerdotal encargada de los mismos.

c) Manuel Pérez Gutiérrez en su libro "Astronomía en los castros celtas de la provincia de Ávila", propone :

- La existencia de unas figuras geométricas espaciales determinadas, con ciertas características de simetría y regularidad entre las estelas.

- Una serie de orientaciones astronómicas, desde cada una de las estelas del grupo IV a, b y c, hacia direcciones que señalarían en el horizonte algunos de los eventos más notorios del Sol (ortos/ocazos) y de la Luna (lunasticios mayores/menores) y de algunas estrellas de primera magnitud (ortos/ocazos helíacos); sirviendo estas orientaciones como marcadores temporales para las estaciones astronómicas y para el calendario festivo de los habitantes del castro.

Además aporta un registro gráfico del horizonte local desde la estela IVb, y la

medida de los acimuts astronómicos, respecto a la línea meridiana, que existen entre las distintas estelas de la necrópolis.

Todos ellos asignan una cronología de planificación de la necrópolis sobre el 400 a. C.

Mi aportación

Yo, también he investigado y realizado mis propios cálculos, los cuales presento gráficamente a continuación:

Estos gráficos los he elaborado ayudándome materiales didácticos elaborados por mí, como fueron el planisferio celeste, para la época, y los perfiles del horizonte local desde las estelas IVb y VI.

Resumiendo los resultados obtenidos concluyo :

- Si pueden existir unos marcadores entre estelas que marcaran el orto y ocaso solar del

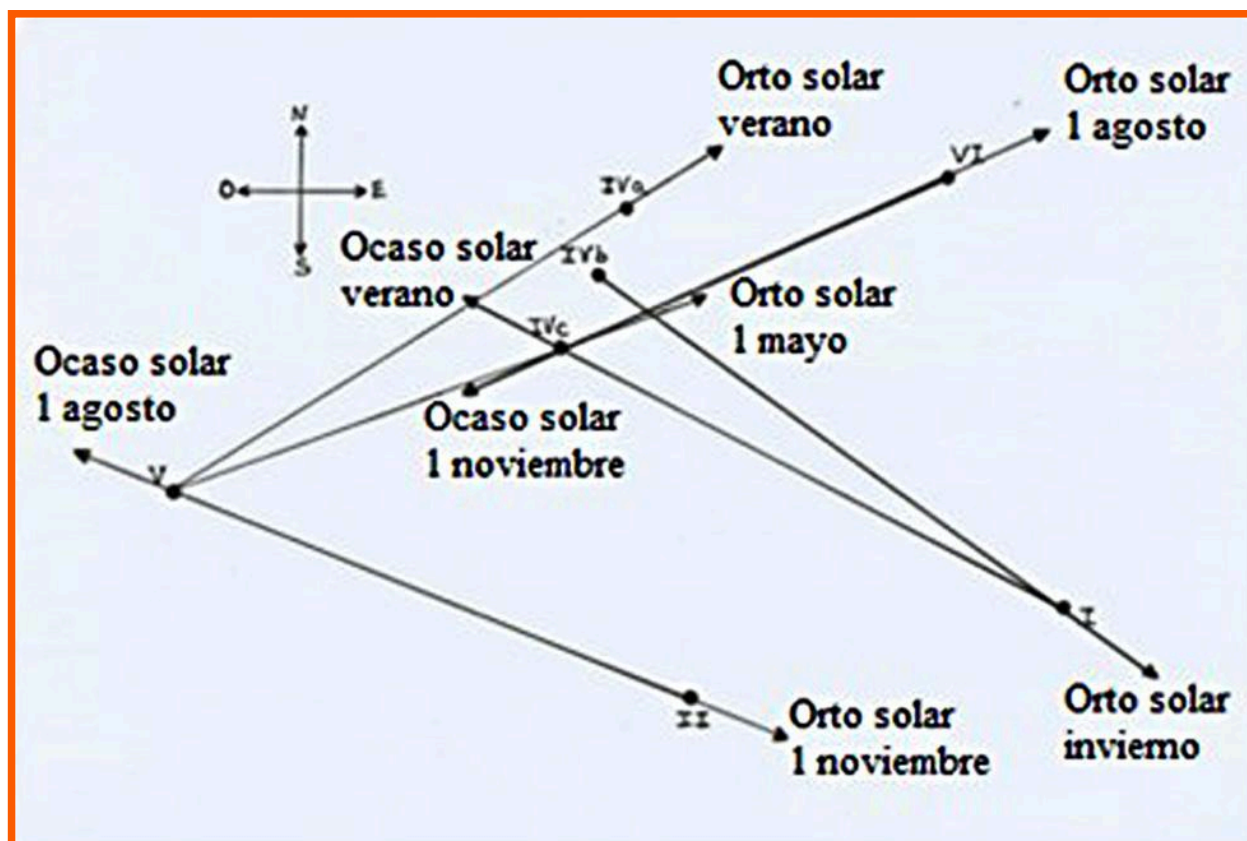


Fig. 8. Ortos y ocazos solares.

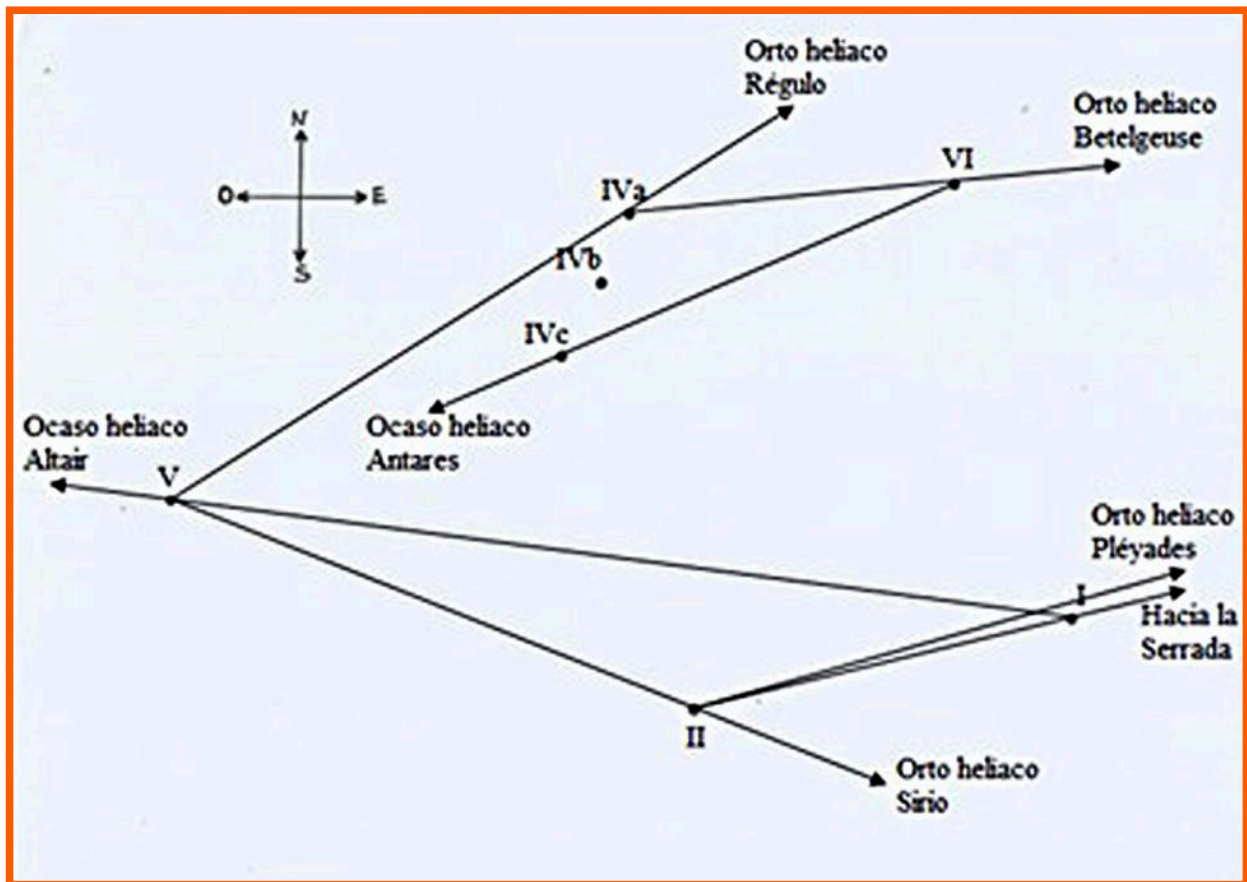


Fig. 9. Ortos y ocasos helíacos de estrellas.

solsticio de verano, encontrándose para el de invierno sólo señalado su correspondiente orto. Respecto a los equinoccios, no existe ningún marcador para los mismos.

- Respecto a las posibles alineaciones que señalaran las fiestas principales del calendario celta, veo que están bien representadas las festividades de Lughnasad (agosto) y de Samhain (noviembre), en los momentos de sus ortos y ocasos solares.

- En cuanto a Beltaine, sólo encontramos señalada su alineación solar al orto.

2. La astronomía en el mundo celta

Para acercarnos al conocimiento astronómico que podía tener el pueblo celta en general, y los vettones en particular, contamos con los comentarios dejados por los escritores clásicos que convivieron con ellos, describiéndonos sus costumbres, antes de su romanización. Los fragmentos literarios que presento a continuación pueden servir para ilustrarnos la cuestión tratada. Todos ellos hablan de los druidas, la clase sacerdotal entre los celtas europeos, portadores de todo el acervo cultural presente en sus respectivos pueblos.

• **Julio César** ("Guerra de las Galias").



"Dícese que allí (en el país de Chartres, en el centro de la Galia) aprenden gran número de versos, y pasan a menudo veinte años en este aprendizaje" (Libro VI, XIV).

"Otras muchas cosas disputan y enseñan a la juventud acerca de los astros y su movimiento, de la grandeza del mundo y de la tierra" (Libro VI, XIV).

"Por cuya causa hacen el cómputo de los tiempos no por días, sino por noches, y así en sus cumpleaños, en los principios de meses y años, siempre la noche precede al día" (Libro VI, XIII).

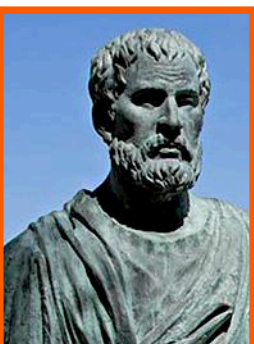
• **Plinio el Viejo** ("Historia natural").



"Pero es raro encontrar el muérdago de roble, y cuando se encuentra, se recoge en una ceremonia religiosa, el sexto día de la luna, que para ellos marca el principio de los

meses, de los años y de sus siglos de treinta años, y se elige ese día porque la luna ya tiene considerable fuerza, sin estar todavía a la mitad de su recorrido" (Libro XVI).

• **Pomponio Mela**. ("Coreografía").

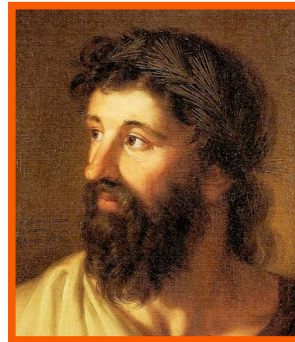


"Entre (los druidas) aseguran conocer el tamaño de la tierra y del firmamento, el movimiento del cielo y de los astros. Enseñan muchas cosas a los más ilustres de su pueblo, oculta-mente y durante el día,

en veinte años, en grutas o recónditas montañas" (Tercer libro).

Respecto a la Península ibérica, tanto el historiador griego Apiano (siglo II d. C.) como el geógrafo Estrabón (63 a.C. - 23 d. C.) nos informan sobre los pueblos celtiberos y del norte de España, describiéndonos algunas de sus costumbres astronómicas.

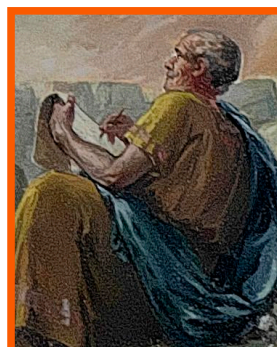
• **Diodoro de Sicilia**. ("Biblioteca histórica, II", 47).



"[La isla, Thule] se encuentra hacia el norte y está habitada por los que son denominados hiperbóreos por estar situados más allá del viento boreal. Se dice

también que el dios [Apolo] se presenta en la isla cada diecinueve años, en los cuales se llevan a término los reposicionamientos de los astros y, por eso, el tiempo de diecinueve años se denomina «año de Metón» por los griegos. Durante esa manifestación, el dios toca la cítara y baila continuamente por las noches desde el equinoccio primaveral hasta la salida de la Pléyade, alegrándose por sus propios éxitos"

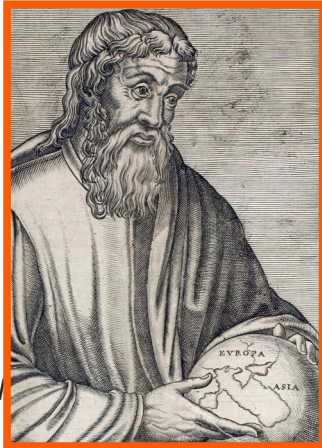
• **Apiano**. ("De rebus Hispaniensibus").



"Y como la retirada se produjo de manera desorganizada y con gran tumulto, los de Palantia hirieron a un gran número, desde la aurora hasta el atardecer. Al caer la noche, los romanos se dispersaron hacia los campos en grupos, hambrientos y agotados, y los de Palantia, como si les hubiera apartado un dios, se retiraron" (Ibéricas, 82).

Según el gran historiador alemán Shulten, los vacceos se retiraron de la batalla atemorizados por el eclipse de luna que tuvo lugar el 1 de abril del 136 a. C.

• **Estrabón.** ("Geografía")



-"Algunos dicen que los calaicos no tienen dioses, y que los celtíberos y sus vecinos del norte hacen sacrificios a un dios innombrado, de noche en los plenilunios, ante las puertas, y que con toda la familia

danzan y velan hasta el amanecer". (Libro III, capítulo 4,16).

De los fragmentos anteriores sacamos algunas ideas claras e importantes sobre los conocimientos astronómicos entre los celtas:

a) La existencia de una clase sacerdotal, los druidas, compuesta por personas muy preparadas, con amplios conocimientos sobre la forma de la Tierra, la Naturaleza, la Mecánica celeste y el culto religioso, incluidos los sacrificios humanos; encargados también de la transmisión oral de los mitos y leyendas mediante versos, la adivinación y los augurios. Su formación abarcaba un periodo de tiempo prolongado, pues los escritores clásicos nos hablan de veinte años de estudios, impartidos en lugares apartados y secretos, como podían ser los bosques y las cavernas.

b) La importancia que le daban a la Luna, a sus movimientos en el cielo, a las formas que presentaba en cada lunación, a los ciclos y periodos temporales que se apreciaban asociados a nuestro satélite natural, unos cortos, como podían ser la alternancia del día

y la noche, el mes y el año lunar, junto con otros más largos y complejos como pudieron ser los lunásticos (mayores y menores), el ciclo metónico de diecinueve años solares, y el aún más largo del siglo celta, de treinta años de duración, llamado por Plinio el Viejo "Saeculum", término que se podía traducir por "generación".

La Luna marcaba el comienzo de cada uno de estos periodos cuando aparecía en el cielo, generalmente en la fase de cuarto creciente, el "sexto día de la luna" que nos mencionaba ese naturalista romano.

También la Luna se hallaba relacionada con los eclipses, incluidos los solares, a través del conocido con el nombre de "saros", de 18 años, 11 días y 8 horas de duración, que establecía un orden en la aparición de los eclipses en el cielo, más fácilmente apreciable en los de luna.

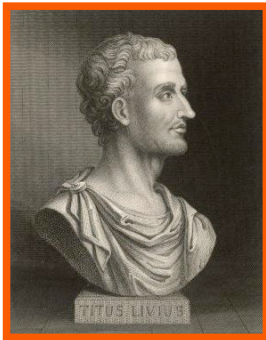
c) Aunque las fuentes no nos informan sobre el saber astronómico entre los celtas peninsulares deducimos que, dada la indudable filiación celta de todas las tribus del norte y centro-oeste de la Península, guardarían fuertes vínculos y conocimientos con sus hermanos de la Europa Occidental y, por extensión, con el Mundo Atlántico de la Edad del Bronce.

3. El calendario lunisolar celta

Damos por hecho que la sociedad celta fuera consciente de estas regularidades que se producían en los astros que veían en el cielo, los cuales podían servirles muy bien para la confección de un calendario que ordenara el tiempo en la comunidad.

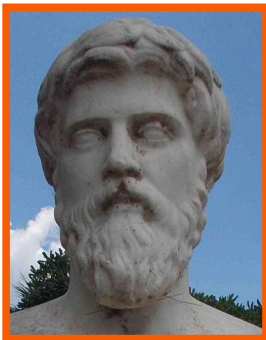
A modo de antecedente sobre su posible existencia tenemos unas referencias dejadas por dos historiadores romanos.

• **Tito Livio** ("Historia de Roma").



- *"Ante todo divide (Numa Pompilio) el año en doce meses, según el curso de la luna; pero, como la luna no tarda treinta días todos los meses y faltan seis días para completar el año que se cierra con una revolución solar, añadiendo meses intercalares consiguió una distribución tan exacta, que cada diecinueve años los días correspondían con la misma posición del sol que al principio, completándose la duración de todos los años."* (Historia de Roma, I, 19, 5 y 6).

• **Plutarco**. ("Vidas paralelas").



- *"(Numa Pompilio) Se ocupó también del estudio relativo al cielo, no de forma muy exacta, pero tampoco con total desconocimiento. Durante el reinado de Rómulo, se guiaban de los meses*

sin orden ni concierto, calculando unos en menos de veinte días, otros en treinta y cinco y otros en más, y sin tener en cuenta el desajuste existente respecto a la luna y el sol, sino observando un sólo principio. que el año fuera de trescientos sesenta días.

En cambio, Numa, calculando que la media del desajuste era de once días, ya que el año lunar tenía trescientos cincuenta y cuatro días y el solar trescientos sesenta y cinco, con la duplicación de estos veintidós días introdujo, cada dos años, después del mes de febrero, el intercalar, llamado por los romanos "mercedino", que era de veintidós días." (Numa, Libro I, 18, 2 y 3).

Las referencias de Tito Livio y Plutarco sobre el rey Numa y su reforma del calendario romano nos informa de la antigüedad en el conocimiento de dicho ciclo de 19 años, pues el rey Numa reinó a comienzos del siglo VII a. C

La otra prueba lo constituye el hallazgo arqueológico en 1897, cerca de Lyon, de lo que se ha conocido como el "Calendario de Coligny".

Es un calendario lunisolar, que persigue sincronizar las fases de la luna con el año solar.

Los meses son lunares, aunque no está claro cuándo comenzaban cada uno de ellos, si lo hacían durante la luna llena (cuando danzaban delante de sus casas los pueblos del norte peninsular, según Estrabón), o en el cuarto creciente, el "sexto día", según nos contaba Plinio el Viejo; pero siempre se empezaba la cuenta o registro del mes por la noche, como dice Julio César que sucedía en la Galia.

El año lunar, compuesto de doce lunaciones, dura 354 ó 355 días solares, por lo que se origina un retraso de once días respecto al año solar.

El año celta daba comienzo en el mes de Samonios, a principios de noviembre.

El calendario representa una secuencia de cinco años, de doce meses cada año, con una



Fig. 10 Calendario de Coligny

duración de 29 o 30 días cada mes, siendo llamados **anmatos** (desafortunados) los que tenían 29 días y **matos** (afortunados) los de 30.

Cada mes estaba dividido en dos quincenas, correspondiendo a la segunda de ellas 14 ó 15 días, según el mes fuera matos o anmatos.

- Cada dos años y medio se intercalaba un mes adicional, de 30 días, para ajustar el cómputo realizado, contando los días mediante fases lunares, con los correspondientes a los años solares. Así, en cada lustro se intercalaban dos meses. De esta manera, a cinco años le correspondían 62 lunaciones. Si bien, para corregir el desfase que se originaba durante un ciclo de 30 años, es decir seis lustros, uno de ellos sólo estaba formado por 61 lunaciones, quitándola cuando correspondiera antes de entrar en el mes de Samonios.

Dentro de este ciclo o siglo celta de 30 años, al cumplirse el décimonoveno año, es

decir transcurrido un ciclo metónico, el desfase entre la Luna y el Sol era insignificante, sólo de 20 minutos; mientras que al final de ciclo era de un día y medio, aproximadamente.

4. Ciclos relacionados con los planetas

Hay indicios del conocimiento por parte de los druidas de otros dos ciclos temporales, más largos, y relacionados con los movimientos de los planetas Venus y Saturno.

Me refiero al "octaetaris", correspondiente a cinco periodos sinódicos de Venus (2.920 días u ocho años terrestres menos dos días), transcurrido el cual el planeta vuelve a estar en el mismo punto sobre el fondo de estrellas; y el "setlon" de 30 años, relacionado con el periodo sidéreo de Saturno (29.5 años), momento el que este planeta vuelve a ocupar, aproximadamente, el mismo lugar en el cielo estrellado.

Para una información más amplia de todo lo tratado en este artículo, se puede ir a mi trabajo: "[Astronomía en la necrópolis vetona de La Osera](#)", en "[Publicaciones](#)" del Aula de Astronomía de Fuenlabrada.



Fig. 11. Salida de los vacceos contra los romanos en la toma de Pallantia.
Cuadro de Eugenio Oliva en el Palacio de la Diputación de Palencia.

CÚMULOS ESTELARES ABIERTOS - I



Joaquín Álvaro



Messier 25. Créditos & Copyright: Jean-Charles Cuillyre (CFHT) & Giovanni Anselmi (Coelum Astronomia), Hawaiian Starlight.



Messier 67 (NGC 2682). Créditos: Sloan Digital Sky Survey (SDSS).

Iniciamos una serie de artículos sobre cúmulos estelares abiertos, con el propósito de hacer posible un desarrollo temático en el aula con alumnos de secundaria. Al igual que los publicados sobre exoplanetas en números anteriores, se trata de facilitar el acceso a los grandes conjuntos de datos disponibles en Astronomía, al tiempo que se introduce al alumnado en los conocimientos astronómicos del tema tratado y, también, en los rudimentos del método científico de la mano de las herramientas que usan habitualmente los astrónomos profesionales.

Se propondrán ejercicios sencillos con Excel, y también se dará un paso más, utilizando herramientas del Observatorio Virtual, como TOPCAT, Aladin y Clusterix.

Introducción

Los Cúmulos estelares abiertos, (en adelante 'OCs' –Open Clusters–), son grupos de estrellas unidas gravitacionalmente que se formaron a partir de una misma nube de gas molecular, por lo que comparten la misma composición química y edad, y tienen además posiciones relativas muy próximas y movimientos propios similares. Los OCs son objetos fundamentales para comprender la estructura espiral, la dinámica y la evolución química de la galaxia, al tiempo que también ayudan a comprender los procesos de formación estelar.

Aunque la mayoría de las estrellas de la Vía Láctea se presentan aisladas, se considera que en su mayor parte, tal vez todas, se forman en entornos agrupados y pasan un periodo de tiempo unidas gravitacionalmente entre sí incrustadas en la nube progenitora, (*Clarke et al. 2000; Portegies Zwart et al. 2010*). La evolución de estos sistemas tiende a disgregarlos en pocos millones de años debido a interacciones gravitatorias con otros sistemas, a fuerzas de marea galácticas y/o a mecanismos que involucran la pérdida de gas por retroalimentación estelar, (*Brinkmann et al. 2017*). Una fracción de estos sistemas sobrevive, no obstante, en la fase incrustada y permanece ligada a escalas de tiempo más largas.

Los OCs jóvenes permiten investigar las regiones de formación de estrellas y comprender los mecanismos que dan lugar a éstas. Por su parte los cúmulos intermedios y antiguos informan sobre los procesos estelares y la evolución del disco galáctico. Algunas órbitas muy perturbadas podrían también proporcionar evidencia de sucesos recientes de fusión y rastros de acreción pasada desde fuera de la galaxia, (*Cantat-Gaudin et al. 2016*).

El estudio de los OCs ha tomado nuevo impulso a partir del inmenso y preciso conjunto de datos de la misión GAIA (ESA), tanto para la revisión de los ya conocidos como para la determinación de otros nuevos, habiéndose aumentado el catálogo anterior de cúmulos abiertos hasta prácticamente doblarlo con unos 3.800 OCs.

Los OCs pueden contener desde sólo unas decenas de componentes a unos pocos miles de estrellas y suelen encontrarse casi exclusivamente en el plano de la galaxia.

No hay que confundir los **cúmulos abiertos** con los **Cúmulos Globulares**. Estos últimos, también son conjuntos de estrellas muy unidas entre sí por la gravedad, pero en este caso compuestos de varios centenares de miles, lo que les da una forma esférica y densidades estelares muy altas en sus centros. Se encuentran en el halo galáctico con órbitas que cruzan el plano de la galaxia. De estos sólo se conocen alrededor de unos 150 en nuestra galaxia, son mucho más antiguos y su origen y evolución está poco claro todavía, aunque en general se asume que pueden ser núcleos de galaxias fallidas en las cercanías de la Vía Láctea y que terminaron en una fase muy temprana formando parte de ésta.

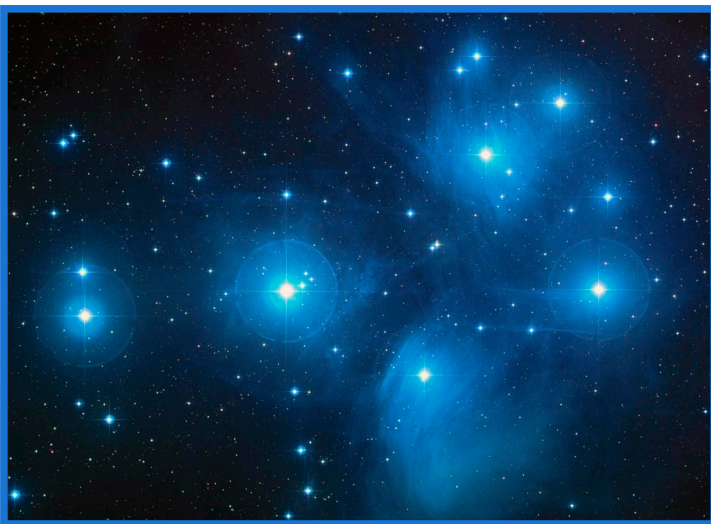


Fig. 1 - Las Pleiades, un OC compuesto aproximadamente por un centenar de estrellas, situadas a una distancia de 400 años-luz (M45 – NGC 1432/35).

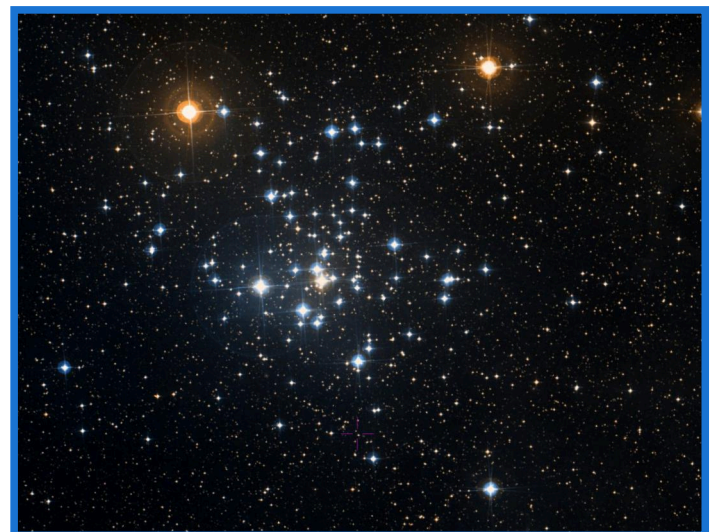


Fig. 2 - NGC 2516 – con más de 500 estrellas, situado a 1.300 años-luz. Es un cúmulo muy joven, apenas tiene 150 millones de años.

Primeros pasos

Antes de entrar en faena conviene hacer un breve recorrido por los cúmulos más representativos con imágenes incluidas. Esta fase, además de ayudar como elemento motivador, debe servir para tener una idea más completa de los OCs. Para ello es suficiente la Wiki:

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Open_clusters

Esta etapa puede extenderse todo lo que se considere necesario y es susceptible de ser complementada con observaciones, con telescopios de campo, de cúmulos abiertos. Otros recursos que pueden resultar de interés son:

https://www.youtube.com/watch?v=iPUFkoM_SDM

<https://www.youtube.com/watch?v=Wqqj2T6ox70>

<https://www.youtube.com/watch?v=nnGVL9LEVDE>

https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/iow_20201015

Ya es momento de acceder al fichero que contiene el catálogo de los OCs que vamos a utilizar ^[1]:

<http://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=B/ocl/clusters>

En esta página nos encontraremos con lo necesario para hacer la consulta al catálogo de OCs y algunas herramientas adicionales, (no es necesario registrarse).

The screenshot shows the VizieR web interface. On the left, there is a sidebar with 'Search Criteria' and 'Preferences'. The main area is titled 'Simple Target' and 'List Of Targets'. It shows the target name 'B/ocl' and the position 'J2000'. Below this, there is a section for 'Simple Constraint' and 'List Of Constraints'. The 'Query by Constraints' section is active, showing a list of columns and their descriptions. The columns are listed in a table with checkboxes for selection. The table has columns for 'Show', 'Sort', 'Column', and 'Constraint'. The 'Column' column contains the column name, and the 'Constraint' column contains the description. The 'Show' column has checkboxes for each column. The 'Sort' column has a dropdown menu. The 'Column' column contains the column name, and the 'Constraint' column contains the description. The table lists various columns such as 'recno', 'P', 'Cluster', 'RAJ2000', 'DEJ2000', 'Class', 'Diam', 'Dist', 'E(B-V)', 'Age', 'r_pmRA', 'pmRA', 'e_pmRA', 'pmDE', 'e_pmDE', 'Nc', 'K14 K14', 'RV', 'e_RV', 'o_RV', 'r_RV', '[Fe/H]', 'e_[Fe/H]', 'o_[Fe/H]', 'TrType', 'WEBDA', and 'Lynga'. Each column has a corresponding description in the 'Constraint' column. The interface also includes buttons for 'Reset All', 'Clear', and 'Submit'.

Fig. 3 – Acceso al catálogo CDS-VizieR.

[1] CDS-VizieR Catalog – Créditos: “This research has made use of the VizieR catalog access tool, CDS, Strasbourg, France, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2002A&A...389..871D/abstract>”. Este fichero tiene 2.167 registros. Hay otros catálogos con un mayor número de OCs, (<http://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR?-source=J/A+A/652/A102>, 3.794 rows), pero para los propósitos de este trabajo es más adecuado el seleccionado.

El cuerpo principal de la página presenta las diferentes columnas que integran el fichero, con indicación de las unidades en que están expresados los datos y una breve explicación de su contenido, (seleccionaremos únicamente las marcadas en la fig. 3. Ver también la fig. 4).

También hay una ventana para configurar la consulta (fig. 4) y, a la derecha, un botón 'submit', repetido tres veces, para ejecutarla y obtener los datos.

La configuración de la consulta es bastante sencilla y sólo hay que tener en cuenta unos pocos detalles (fig. 4):

1. En 'preferencias', el parámetro '*max*' se refiere al número máximo de registros que devolverá la consulta. Como sabemos que el número total de OCs inventariados en este catálogo es de 2.167, (ver nota ^[1]), si queremos recuperar todos, habrá que poner aquí un número superior a este total.

2. El segundo detalle a tener en cuenta es el formato de los datos recuperados. Por defecto se ofrece la opción de una tabla HTML. En este caso los datos se presentarán en el navegador en forma de tabla. (Antes de descargar los datos es recomendable hacer la consulta HTML con objeto de ver que es correcta, fig. 5)

Para descargar el catálogo completo y guardarlo en el ordenador para trabajar después con ellos es conveniente seleccionar aquí la opción '*XML + CSV (Astrores)*', fig. 4. El fichero descargado de esta manera tendrá una cabecera y un final '*xml*', que es fácil de eliminar con un editor de texto sencillo, y dejar así el contenido '*txt*' limpio para su importación a una tabla Excel.

También interesa solicitar las coordenadas en formato decimal. Esto nos ahorrará algunas manipulaciones después.

Hecho esto ya se puede ejecutar la consulta (**submit**).

Search Criteria
Save in CDSportal
Keywords: [Back]
Tables: B/ocl [Add]
B/ocl
...clusters
...refs
...removed
...sources
[Enlarge] [Choose]

Preferences
max: 9999
HTML Table
[All columns]
[Compute]
Distance q
Position angle θ
Distance (x,y)
Galactic
[X] J2000
[] B1950
[] Ecl. J2000
[] default
Sort by Distance
+ order -
No sort
Position in:
[] Sexagesimal
[X] Decimal °
[] Truncated prec.
Mirrors
CDS, France

CDS portal
VOTable
VOTable (bin-64)
VOTable (bin2_64)
[X] XML + CSV (Astrores)
FITS (ascii) Table
FITS (binary) Table
SkyCat-Compatible
HTML Table
HTML with Checkboxes
Detailed results
Tab-Separated-Values
| -Separated-Values
; -Separated-Values
ascii text/plain
ascii table
ascii - with Checkboxes
ascii - 999'filled

Show	Sort	Column	Clear	Constraint
☐	☐	recno		
☐	☐	P		(char)
☒	☐	Cluster		(char)
☒	☐	RAJ2000		"h:m:s"
☒	☐	DEJ2000		"d:m:s"
☒	☐	Class		(char)
☒	☐	Diam		arcmin
☒	☐	Dist		pc
☒	☐	E(B-V)		mag
☒	☐	Age		[yr]
☐	☐	r_pmRA		(char)
[ALL cols] [Reset All] [Clear]				
☒	☐	pmRA		mas/yr
☐	☐	e_pmRA		mas/yr
☒	☐	pmDE		mas/yr
☐	☐	e_pmDE		mas/yr
☒	☐	Nc		
☐	☐	K14 K14		
☒	☐	RV		km/s
☐	☐	e_RV		km/s
☒	☐	o_RV		
☐	☐	r_RV		(char)
☒	☐	[Fe/H]		Sun
☐	☐	e_[Fe/H]		Sun
☐	☐	o_[Fe/H]		
☒	☐	TrType		(char)
☐	☐	WEBDA WEBDA		
☐	☐	Lynga Lynga		
[ALL cols] [Reset All] [Clear]				

Similar Catalogs: 2002A&A...389..871D [ReadMe+ftp] [Submit] [Reset All]

Fig. 4 – Configuración de la consulta para descargar los datos deseados.

Una vez obtenidos los datos relativos a los OCs catalogados, no son necesarias demasiadas explicaciones. El contenido de los valores recuperados es fácilmente interpretable. No obstante, podemos aprovechar para aclarar algunos conceptos:

Full	RAJ2000	DEJ2000	Cluster	RAJ2000	DEJ2000	Class	Diam	Dist	E(B-V)	Age	pmRA	pmDE	Nc	RV	o	[Fe/H]	TrType
	deg	deg		"h:m:s"	"d:m:s"		arcmin	pc	mag	[yr]	mas/yr	mas/yr		km/s		Sun	
1	000.05000	+60.96667	Berkeley 58	00 00 12	+60 58 00		11.0	2700	0.720	8.470	0.56	1.56	88	-87.00	1		
2	000.08750	+50.74167	NGC 7801	00 00 21	+50 44 30	r	8.0	1275	0.170	9.230	-3.56	-2.60	85				4-3-p-*
3	000.16250	+59.23889	FSR 0459	00 00 39	+59 14 20	IR	2.0	3800	1.103	8.950	-1.66	-0.01	8				
4	000.40417	+64.62500	Stock 18	00 01 37	+64 37 30		6.0	1242	0.710	8.100	-2.78	-0.15	109				4-2-p-*
5	000.55833	+67.41667	Berkeley 59	00 02 14	+67 25 00		10.0	1000	1.241	6.100	-2.11	-1.20	2	-5.17	3		3-3-m-n
6	000.87500	+63.58333	Berkeley 104	00 03 30	+63 35 00		3.0	4365	0.450	8.890	-2.35	-0.30	76			0.070	4-2-p-*
7	001.02917	-29.83333	Blanco 1	00 04 07	-29 50 00		70.0	269	0.010	7.796	20.17	3.00	27	5.53	49	0.040	
8	001.17083	+56.08333	Stock 19	00 04 41	+56 05 00		4.0				1.43	-2.04	42				2-2-p-*
9	001.32083	-20.69167	NGC 7826	00 05 17	-20 41 30	r	20.0	620	0.030	9.340	6.48	-6.20	39	-4.62	1		4-2-p-*
10	001.84167	+64.97278	Majaess 1	00 07 22	+64 58 22	IR	5.0				4.63	1.72	20				
11	001.90833	+61.47500	Czernik 1	00 07 38	+61 28 30		2.5	2530	1.230	6.700	-3.83	1.66	5				4-2-m-*
12	002.08333	+51.72083	SAI 1	00 08 20	+51 43 15		4.0	2170	0.340	9.100	0.31	-0.88	35				
13	002.40000	+60.47500	Berkeley 1	00 09 36	+60 28 30		5.0	2420	0.780	8.600	-1.83	-0.75	135				3-1-p-*
14	002.40000	+62.68000	ASCC 1	00 09 36	+62 40 48		24.0	4000	0.160	8.250	-3.27	1.19	1189	-74.10	3		
15	002.52500	+61.16667	King 13	00 10 06	+61 10 00		5.0	3100	0.820	8.500	-4.15	-2.46	127				2-2-m-*
16	002.64167	+58.76000	Alessi 20	00 10 34	+58 45 36	e	40.0	600	0.220	6.480	8.73	-3.11	17	-11.50	1		
17	002.72083	+59.74722	FSR 0474	00 10 53	+59 44 50	IR	4.6	4638	1.145	8.900	-0.41	-0.81	53				
18	003.72917	+61.47306	FSR 0480	00 14 55	+61 28 23	IR	1.5	5492	0.937	9.300	-1.66	-1.81	24				
19	004.08333	+59.96194	Juchert Saloran 1	00 16 20	+59 57 43		5.0	3859	0.830	9.050	-0.59	0.58	60				
20	004.17917	+64.50583	Majaess 8	00 16 43	+64 30 21	IR	3.0				-2.38	2.06	24				
21	004.42500	+60.93333	Berkeley 60	00 17 42	+60 56 00		3.0	4365	0.860	8.200	-3.64	0.20	40			0.070	3-1-p-*

Fig. 5 – Muestra del catálogo (formato HTML).

Las coordenadas celestes, (RAJ2000, DEJ2000), son la *ascensión recta* y *declinación* (coordenadas ecuatoriales) de cada uno de los OCs. Como los cúmulos abiertos son objetos extensos, (no puntuales, como una estrella), se está dando una posición media considerada como 'centro del cúmulo'.

El sufijo 'J2000' indica que los valores están referidos a la 'Época' de las coordenadas ^[2], (en este caso, 1 de enero de 2000, a las 12 TT). Esto es algo que debe tenerse en cuenta si se van a cruzar los objetos de este catálogo con otros catálogos, (por ejemplo con el de Gaia).

Como al configurar la consulta se ha añadido la opción '*decimal*' para las posiciones, se añaden al comienzo de la tabla las coordenadas (AR, DEC) en grados en formato decimal.

Otros parámetros que ofrece el catálogo son los referidos a los *movimientos propios* de los OCs, tanto en AR, (pmRA), como en DEC, (pmDE), (en *velocidad radial*, RV, no en todos los casos se tiene dato empírico), así como la distancia media al cúmulo (en parsecs), la edad estimada (su logaritmo decimal en años), un valor del diámetro o 'anchura' del cúmulo, (en minutos de arco), el 'exceso de color' (B-V, en magnitud fotométrica). Estos parámetros serán necesarios para los ejercicios que haremos a lo largo de este trabajo. También se indica una estimación del número de estrellas que componen cada OC y, en muchos de ellos, su tipología *Trumpler*. Ver:

http://www.astrophoton.com/trumpler_class.htm.

[2] Según la IAU, las coordenadas celestes se 'refrescarán' cada 50 años, (J1950, J2000, J2050, ...). Estas correcciones se deben fundamentalmente a los movimientos de precesión y nutación del eje terrestre. La recomendación de la IAU es que las coordenadas utilizadas estén referidas a la 'Época' con ± 25 años, esto es, a partir de 2025 las que deberían utilizarse son las J2050, así hasta el año 2075.

Primeros ejercicios

Con la tabla ya descargada, la importación a Excel no requiere demasiados cuidados. Una vez eliminadas las líneas que no contienen datos, como la cabecera y final 'xml', el fichero se importa sin mayor complicación teniendo en cuenta el separador ';' y que los valores decimales en los datos van con un punto '.', que tal vez convenga cambiar a coma ',' antes de hacer el *import*. La primera línea será la cabecera con los nombres de las columnas y, como puede verse, la segunda línea son las unidades en que vienen expresados los datos. Conviene agregar esta información a cada columna en la primera línea y eliminar la segunda línea, (también la tercera, que son meros guiones para remarcar la cabecera). A medida que vayamos haciendo uso de esta tabla se irán concretando detalles de las columnas que aún no han sido comentadas.

Por ahora lo primero que haremos, (después de comprobar la integridad de los datos y ajustar los formatos para trabajar con comodidad), es intentar un mapa de distribución de OCs en el cielo. Si lo hacemos en coordenadas ecuatoriales (con los datos de las columnas `_RAJ2000`, `_DECJ2000`), es casi inmediato. Si no hubiéramos descargado las coordenadas de posición en formato decimal, deberíamos haberlas calculado a partir de las coordenadas en sexagesimal (h:m:s, °,m,s):

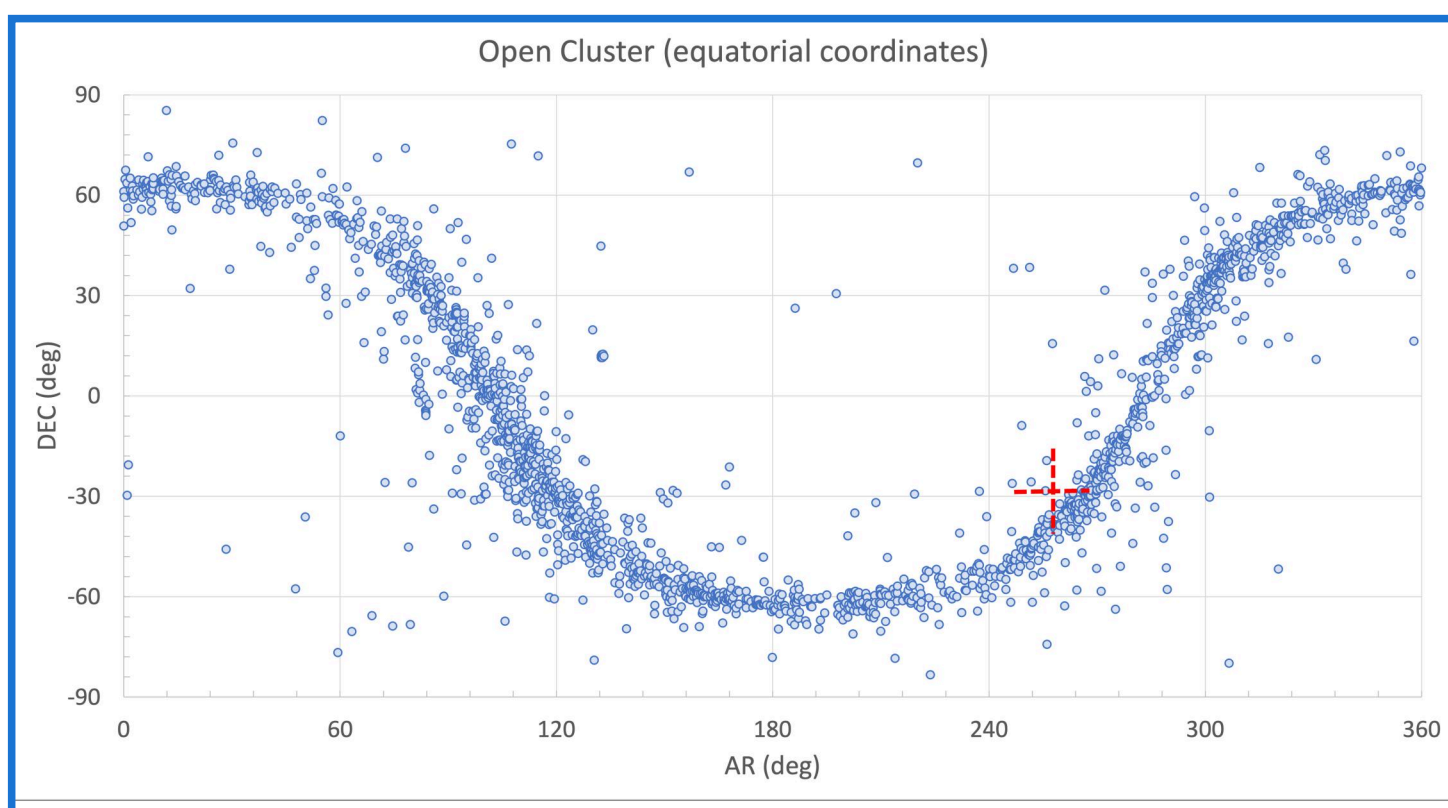


Fig. 6 – Distribución de OCs en coordenadas ecuatoriales.

Se puede intentar añadir a la gráfica el Centro Galáctico (marcado con guiones en rojo en la fig. 6), que para las coordenadas de la Época J2000 está situado en 17h 45m y 40.04s de ascensión recta y -29° 00' y 28.1" en declinación. Como resulta evidente se requiere aplicar las transformaciones de unidades correspondientes (h, m, s) a grados.

Otra representación, más significativa, de estos mismos datos puede hacerse sobre las coordenadas galácticas (fig. 7). Pero ahora sí, debemos añadir un par de columnas a nuestra tabla de referencia donde insertar los valores calculados de las coordenadas en *longitud* y *latitud* galácticas. Ver nota al pie ^[3]. Como resulta evidente, este cálculo no es tan sencillo pero puede resultar un buen ejercicio utilizando un poco de programación, o incluso en el propio Excel haciendo uso de algunas columnas adicionales para pasos intermedios.

En la gráfica de la fig. 7 se hace patente que todos, (o casi), los OCs están situados en el plano galáctico.

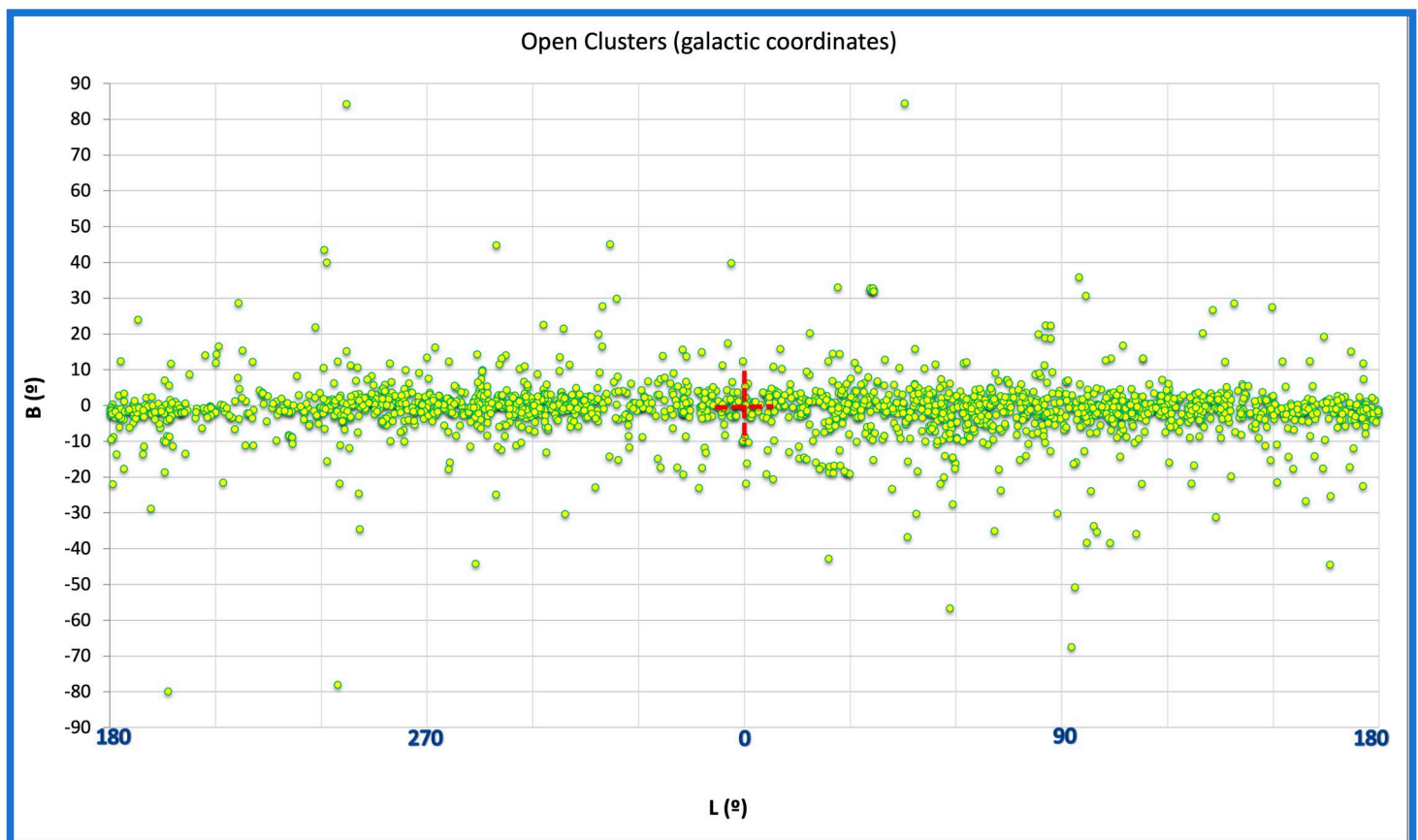


Fig. 7 – Distribución de cúmulos abiertos en coordenadas galácticas. Nótese que para situar el centro galáctico en la posición central de la gráfica se ha desplazado el '0' 180 grados en la coordenada 'longitud'.

Esta imagen puede resultar engañosa haciendo pensar que realmente tenemos una representación de la galaxia completa a través de los cúmulos que la pueblan. En realidad nuestro alcance visual de la galaxia es limitado. El Sol, (y con él, la Tierra), se encuentra en el llamado Puente de Orión, entre los brazos de Perseo y Sagitario, de manera que el entorno al que los telescopios, tanto terrestres como espaciales, tienen acceso en el plano galáctico se reduce considerablemente debido en su mayor parte a las nubes de gas presentes en estos brazos, (ver fig. 8).

[3] https://es.wikipedia.org/wiki/Conversión_de_coordenadas_ecuatoriales_a_coordenadas_galácticas

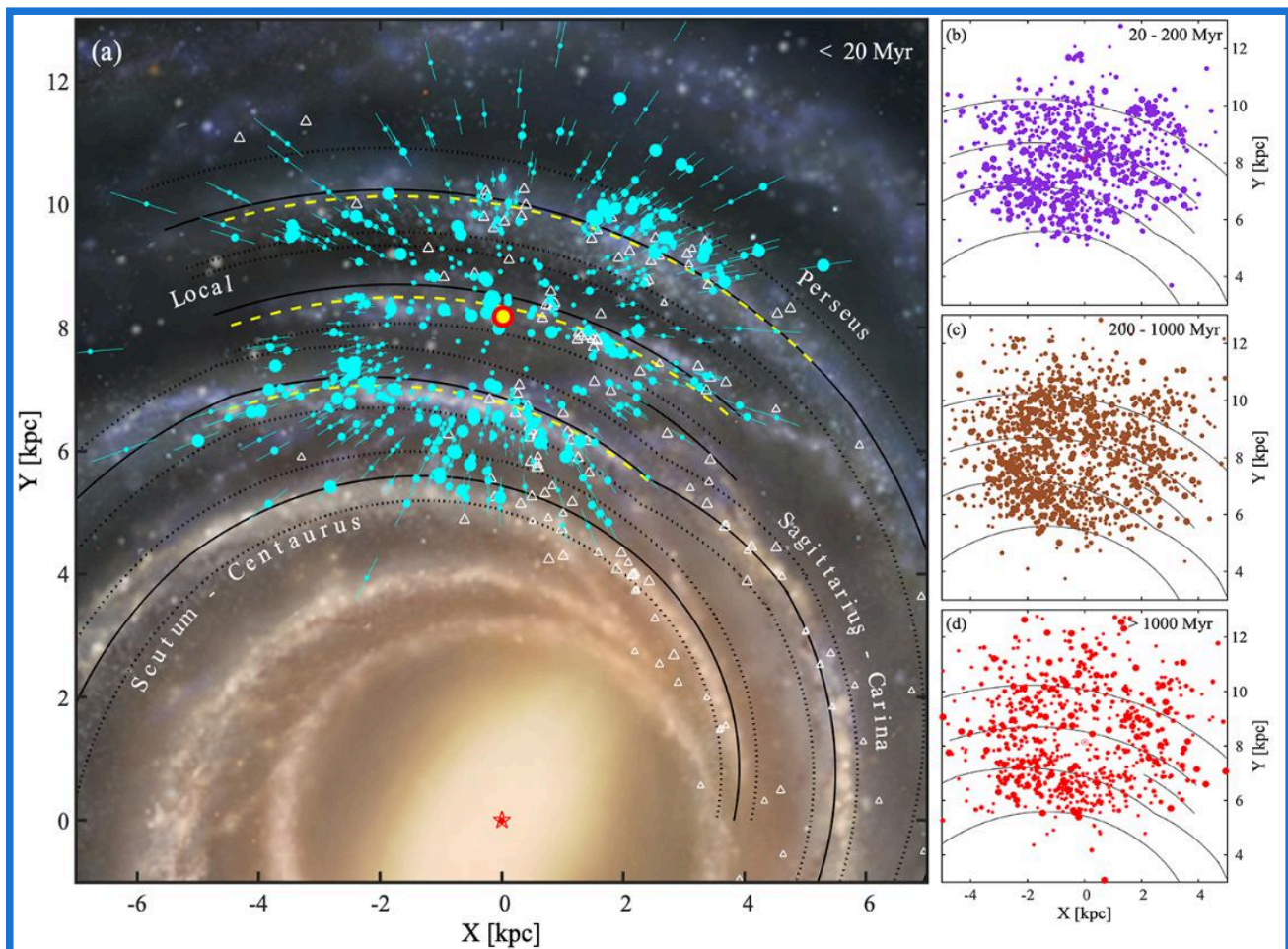


Fig. 8 – Vista cenital de la galaxia con la posición de los cúmulos abiertos conocidos. En primer plano los más jóvenes, con edades inferiores a 20 millones de años. A la derecha, sucesivas representaciones para cúmulos más antiguos. El Sol está representado en la imagen central por un círculo amarillo. (Créditos imagen: “[Evolution of the local spiral structure of the Milky Way revealed by open clusters](#)” – C. J. Hao et al. - Astronomy and Astrophysics 652, A102 [2021].

Nos centraremos ahora en el parámetro ‘Distancia’. También en este caso el valor que aparece para cada OC en el catálogo es un valor medio, (recuérdese que un OC es un objeto extenso compuesto por algunos centenares de estrellas). Las unidades de este campo en el fichero son *parsecs* ^[4], pero el procedimiento empírico por el que se estima este valor es el de la *paralaje* ^[5], por lo que es interesante añadir una columna a nuestra tabla con el valor calculado de la ‘distancia’ en forma de paralaje (en unidades de mili-segundo de arco, *mas*), que nos servirá más adelante. La relación *parsec-paralaje* es sencilla:

$$\text{distancia (pc)} = 1 / \text{plx (segundos de arco)} \rightarrow \text{plx (mas)} = 1000 / \text{dist (pc)}$$

Por otra parte una representación bidimensional de la distancia frente a cualquier otro parámetro, (RA, DEC por ejemplo), es poco significativo. Sí es interesante un mapa 3D, para lo que necesitamos convertir las coordenadas ecuatoriales (esféricas) a cartesianas, teniendo en cuenta que ‘distancia’ es el módulo del vector que buscamos, (no olvidar expresar los ángulos en radianes):

$$\begin{aligned} x &= \text{distancia} \cdot \cos(\text{DEC}) \cdot \cos(\text{AR}) \\ y &= \text{distancia} \cdot \cos(\text{DEC}) \cdot \sin(\text{AR}) \\ z &= \text{distancia} \cdot \sin(\text{DEC}) \end{aligned}$$

Con un poco de programación Python, (ver nota ^[6]) se pueden obtener estas representaciones fácilmente. En la fig. 10 se ofrecen otras perspectivas. El origen de coordenadas (0,0,0) corresponde a la posición de la Tierra.

[4] Pársec. Ver <https://es.wikipedia.org/wiki/Pársec>.

[5] Paralaje estelar: https://es.wikipedia.org/wiki/Paralaje_estelar.

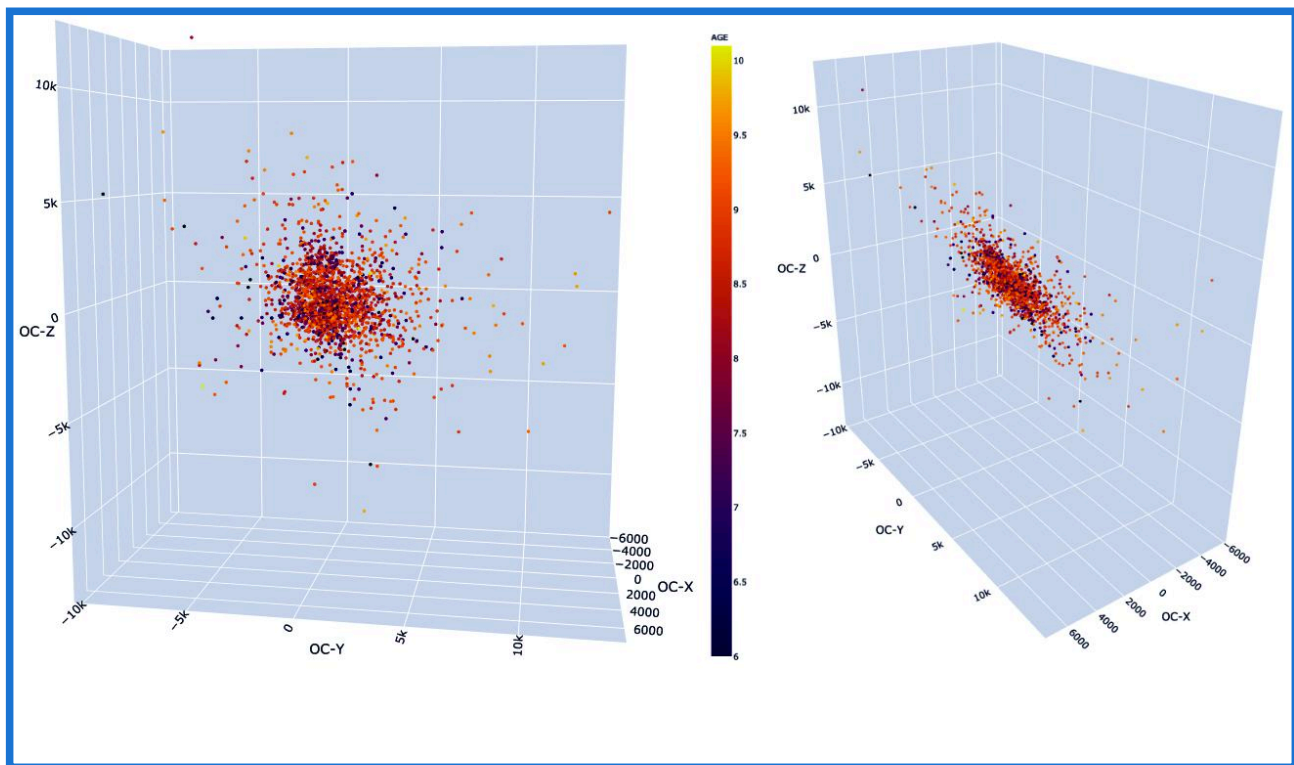


Fig-9 – Mapa 3D de la distribución de los cúmulos abiertos desde distintas perspectivas al rotar los ejes.

En la fig. 10 (izquierda) se aprecia cómo los cúmulos representados se distribuyen en el plano de la galaxia. Debe tenerse en cuenta lo comentado en la fig. 8 acerca de las limitaciones para observar en el plano galáctico. A pesar de las altas capacidades instrumentales de observación disponibles, en este entorno no dejamos de tener una visión bastante local.

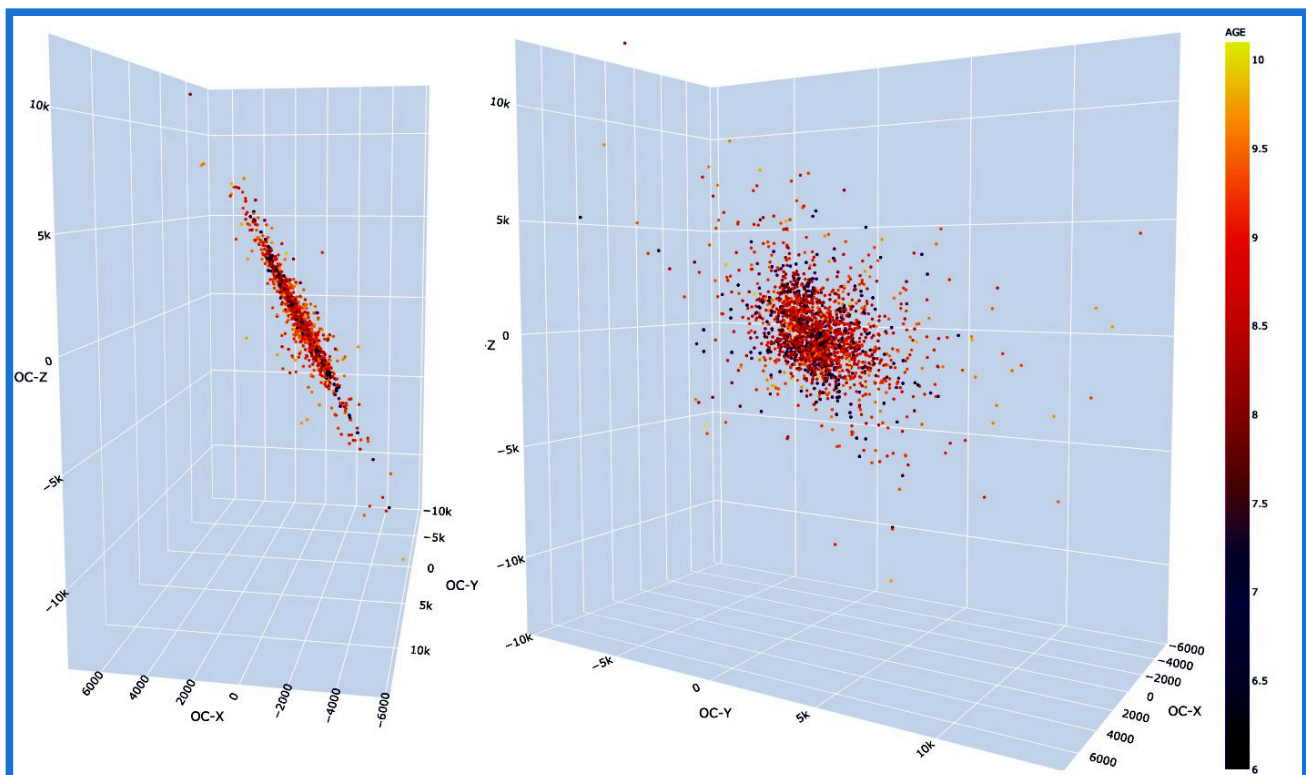


Fig. 10 – Otras perspectivas en la distribución de OCs. Los colores representan el campo 'edad'^[6].

Conclusión

En este artículo se ha pretendido acercarnos al conocimiento de los cúmulos estelares abiertos y situarnos en su contexto. Debe quedar claro que los datos utilizados, y en general todo el catálogo presentado, no son el comienzo del estudio de OCs, sino justamente su resultado. El problema real es la *caracterización* del cúmulo, esto es, allí donde hay una sobre-densidad de estrellas, y por tanto un potencial OC, el trabajo consistirá en determinar qué estrellas de entre todas las presentes en el campo visual observado forman parte del posible cúmulo y, a partir de éstas, determinar las propiedades del mismo. En unos casos es sencillo y el cúmulo se hace fácilmente evidente, pero en otros no es una tarea trivial. Una vez caracterizado el cúmulo se le da entrada en el catálogo.

Como ya se ha comentado, la ingente cantidad de datos, de exquisita calidad astrométrica y fotométrica, recopilados por la misión Gaia ha permitido casi duplicar en los últimos años el número de OCs conocidos utilizando herramientas de inteligencia artificial [7]. Nuestro propósito en los próximos artículos es hacer uso de herramientas más clásicas del Observatorio Virtual, (TOPCAT, Aladin y Clusterix), para introducirnos en la caracterización de OCs, utilizando para ello algunos de los objetos ya catalogados lo que permitirá contrastar los resultados obtenidos.

[6] Código Python utilizado para las representaciones 3D. Genera un .html (mapa_3D.html) que se ejecuta directamente en el navegador con varias funcionalidades, (zoom, rotación de ejes, etc.). A partir de un fichero.csv con los campos de las coordenadas x, y, z, (se ha incluido también el campo edad (AGE) para representarlo a través del color), se obtiene 'mapa_3D.html':

```
import numpy as np
import pandas as pd

df = pd.read_csv('fichero.csv', sep=';', names=['Cluster', 'OC-X', 'OC-Y', 'OC-Z', 'AGE'], header=0)

import plotly
import plotly.express as px

fig = px.scatter_3d(df, x='OC-X', y='OC-Y', z='OC-Z', color='AGE')
fig.update_traces(marker=dict(size=2))
plotly.offline.plot(fig, filename='mapa_3D.html')
```

[7] Cantat-Gaudin et al. – “A Gaia DR2 view of the Open Cluster population in the Milky Way” - <https://arxiv.org/abs/1805.08726> .
Castro-Ginard et al. – “Hunting for open clusters in Gaia: 582 new OCs in the Galactic disc” - <https://arxiv.org/pdf/2001.07122.pdf>.



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados.

También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente revista.

Más información en www.apea.es

