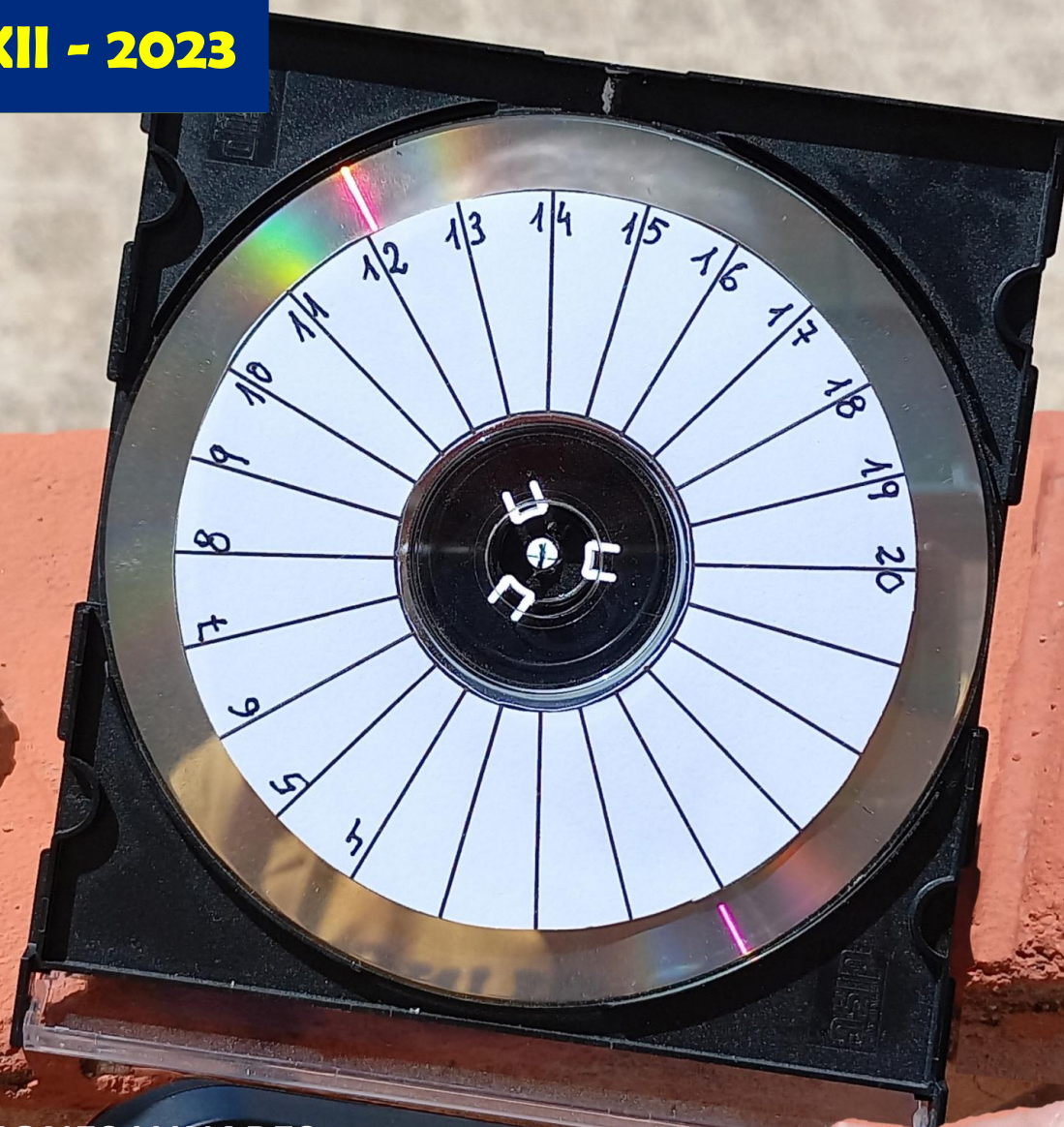


revista **NaDiR**

Nº 57 XII - 2023

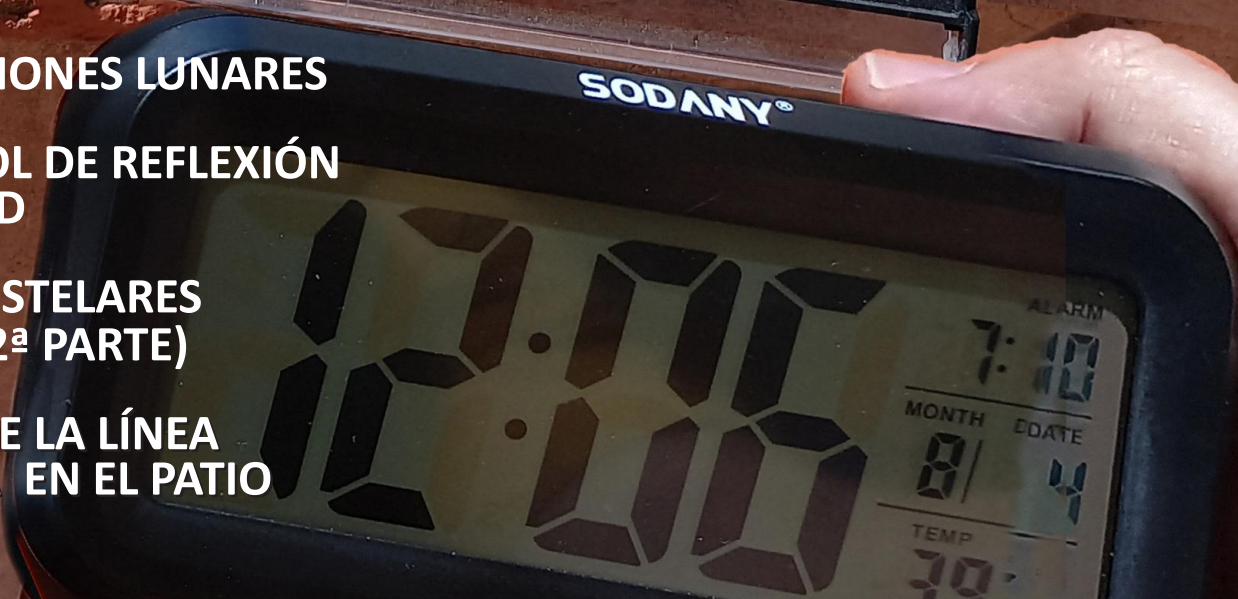


LAS LIBRACIONES LUNARES

**RELOJ DE SOL DE REFLEXIÓN
CON UN DVD**

**CÚMULOS ESTELARES
ABIERTOS (2ª PARTE)**

**TRAZADO DE LA LÍNEA
MERIDIANA EN EL PATIO**



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



**ASOCIACIÓN
PARA LA ENSEÑANZA
DE LA ASTRONOMÍA**

www.apea.es

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

Diciembre 2023

Foto de portada: Reloj de sol de reflexión con un DVD. ©Ricardo Moreno.

SUMARIO

DIDÁCTICA

LAS LIBRACIONES LUNARES. APLICACIONES

Esteban Esteban Peñalba

3

MATERIALES

RELOJ DE SOL DE REFLEXIÓN CON UN DVD

Ricardo Moreno Luquero

13

TRABAJOS EN AULA

CÚMULOS ESTELARES ABIERTOS (2ª PARTE)

Joaquín Álvaro

20

ACTIVIDADES

TRAZADO DE LA LÍNEA MERIDIANA EN EL PATIO ESCOLAR

Antonio Arribas de Costa

32

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.

LAS LIBRACIONES DE LA LUNA

Por qué ocurren y algunas aplicaciones didácticas



Esteban Esteban Peñalba



Fig.1 ¿Aprecias las diferencias?

Sin duda, el astro más fácil de observar y seguir su evolución es la Luna, y los cambios más evidentes son sus fases. Pero existen también otras circunstancias que a pesar de ser menos conocidas, o quizás por eso, pueden motivar aún más al alumnado al seguimiento y observación de nuestro satélite: las libraciones, que hacen que no siempre veamos exactamente la misma cara.

Hemos oído muchas veces que la Luna tiene dos caras: una que está siempre dirigida hacia la Tierra, la cara **visible**, y la otra, la cara **oculta**, que se encuentra en la zona opuesta y que por tanto nunca la vemos. Es algo que nuestro alumnado normalmente ya sabe.

Eso es correcto en términos generales, pero no es totalmente exacto porque hay zonas que se ven en ciertas ocasiones pero no en otras, como si la Luna se ladeara ligeramente para mostrarnos algo más. Y esto ocurre por las llamadas libraciones: ligeras oscilaciones del satélite respecto a

nuestra posición, debidas a su movimiento alrededor de la Tierra que no es uniforme y a la inclinación de su eje, gracias a las cuales desde la aquí podemos ver en total un 59% de la superficie lunar entre unas y otras observaciones, y no solo el teórico 50%.

Interés didáctico

Aunque pocas veces suele trabajarse este aspecto de las libraciones lunares en el aula, puede ser muy interesante hacerlo.

Podemos preguntar al alumnado: ¿Por qué crees que se producen? Y luego darles la explicación, o bien comenzar con la teoría y proponer la observación posterior para comprobarlo.

Por un lado incitará a observar de manera continuada en días seguidos, bien con telescopio o prismáticos, o incluso con programas informáticos como Stellarium si las condiciones del cielo no fuesen buenas, y a fijarse bien en ciertos detalles.

Para hacer un estudio del tema, durante cada observación habría que conseguir una imagen de la Luna. Bien una fotografía obtenida por medio del telescopio o simplemente un dibujo esquemático, aunque solo fuese en las proximidades de las dos zonas más significativas para apreciar estas libraciones: los alrededores del mar de la Crisis (Mare Crisium) situado cerca del borde occidental y el mar del Frío (Mare Frigoris) en la zona superior (Fig. 2).

Por otra parte podría realizarse un estudio previo para saber cómo cambiará la Luna en este aspecto y qué días serán los más apropiados para apreciarlo, tal como se describe más adelante.

Además permitirá aprender y manejar conceptos sobre la órbita lunar que

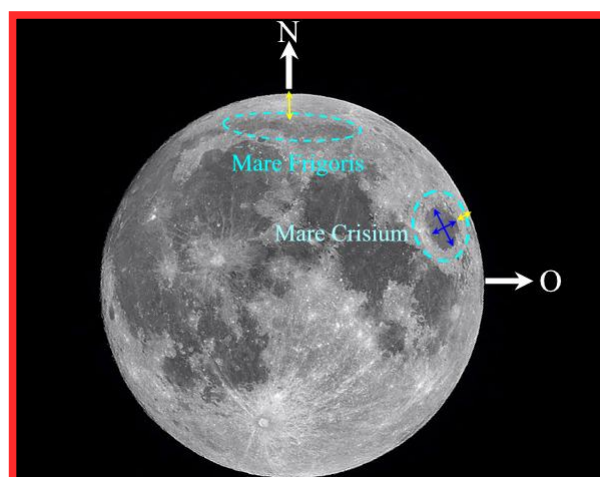


Fig. 2

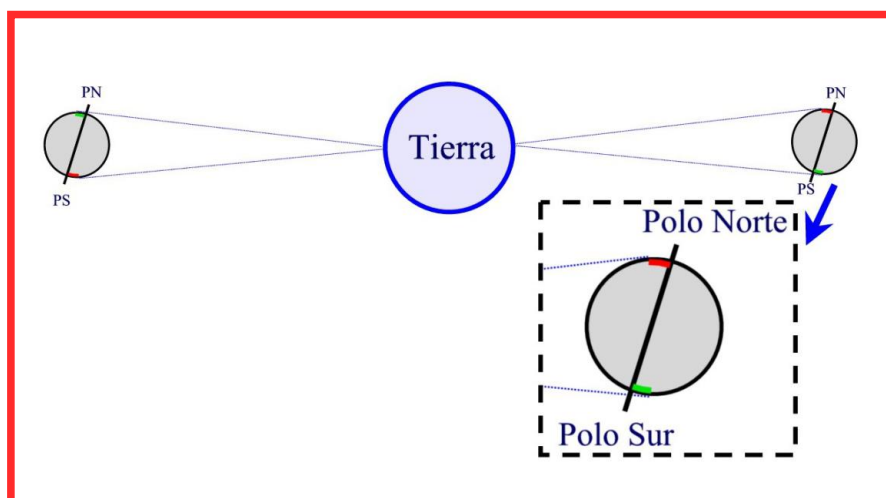
influyen en las libraciones, y que de otra manera quedarían en un simple enunciado y probablemente se olvidarían.

Tipos de libraciones

Existen las llamadas libraciones en longitud y en latitud, según que las variaciones sean en sentido Este-Oeste o Norte-Sur

- La **libración en latitud** está motivada por la inclinación del eje de giro de la Luna respecto a la perpendicular a su plano orbital, de manera similar a la causa de las estaciones en la Tierra. Según la dirección del eje, la zona polar norte o sur se muestra en mayor medida hacia el astro central (en este caso la Tierra). Debido a esta causa la libración llega a una amplitud de casi $\pm 7^\circ$ (Fig. 3).

Fig. 3 Representación con el plano orbital de la Luna de perfil.



En la figura 3, el eje limita la cara oculta y la visible, en su promedio. La zona verde es la parte que se ve de la cara oculta a causa de la libración en latitud y la zona roja es la parte de la cara visible que deja de verse.

- Libración en longitud

La casusa principal es la diferente velocidad de la Luna en su órbita según esté cerca del perigeo o del apogeo, por la segunda ley de Kepler: la velocidad de rotación de la Luna no cambia, pero sí la de traslación. Así cuando está cerca del perigeo se mueve más rápida, y como a una persona que camina a nuestro lado, pero a veces un poco más lenta que nosotros o a veces más rápida, primero le vemos parte del pecho y luego de la espalda.

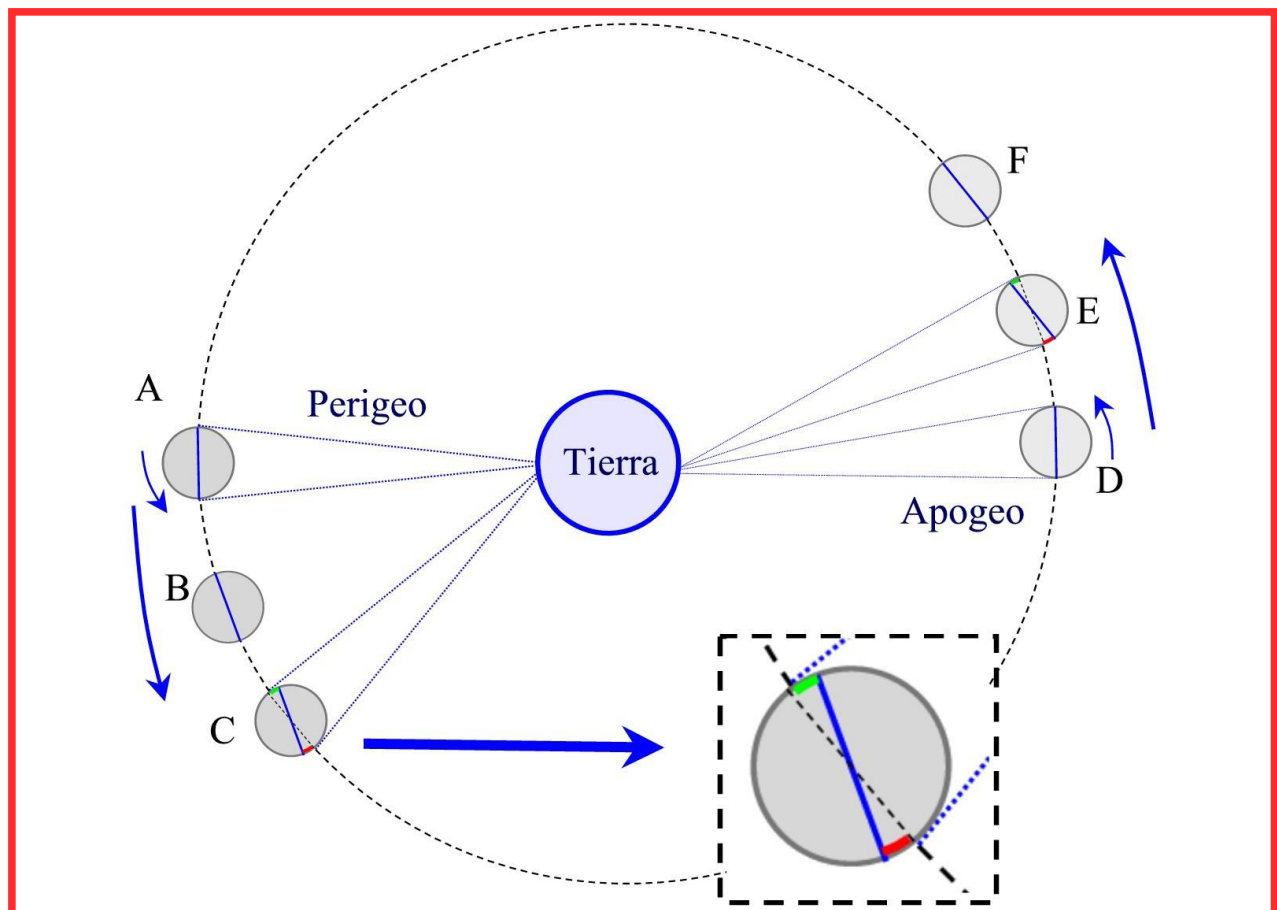
En la figura 4 se aprecia que si la Luna se moviera en traslación con velocidad uniforme, después de un tiempo de pasar por el

perigeo en A, estaría en B, y también ahora enseñaría exactamente la misma cara. Pero como va más deprisa, al cabo de ese tiempo estará en C, pero con la misma orientación porque la rotación es siempre uniforme, y desde la Tierra se verá la zona verde que en realidad pertenece a la cara oculta. Lo contrario ocurre cerca del apogeo donde la Luna se mueve más despacio, y después de pasar por el apogeo D, si se moviera con velocidad uniforme pasaría luego por F pero como va más lenta de lo habitual en realidad está en E.

Las distancias de B a C y de E a F se han exagerado para visualizar mejor la situación.

La amplitud máxima de esta libración es ligeramente superior a la mayor libración de latitud y además suele ser más evidente debido a los accidentes próximos al borde lunar que sirven de referencia.

Fig. 4 Representación esquemática con el plano orbital de la Luna en planta.



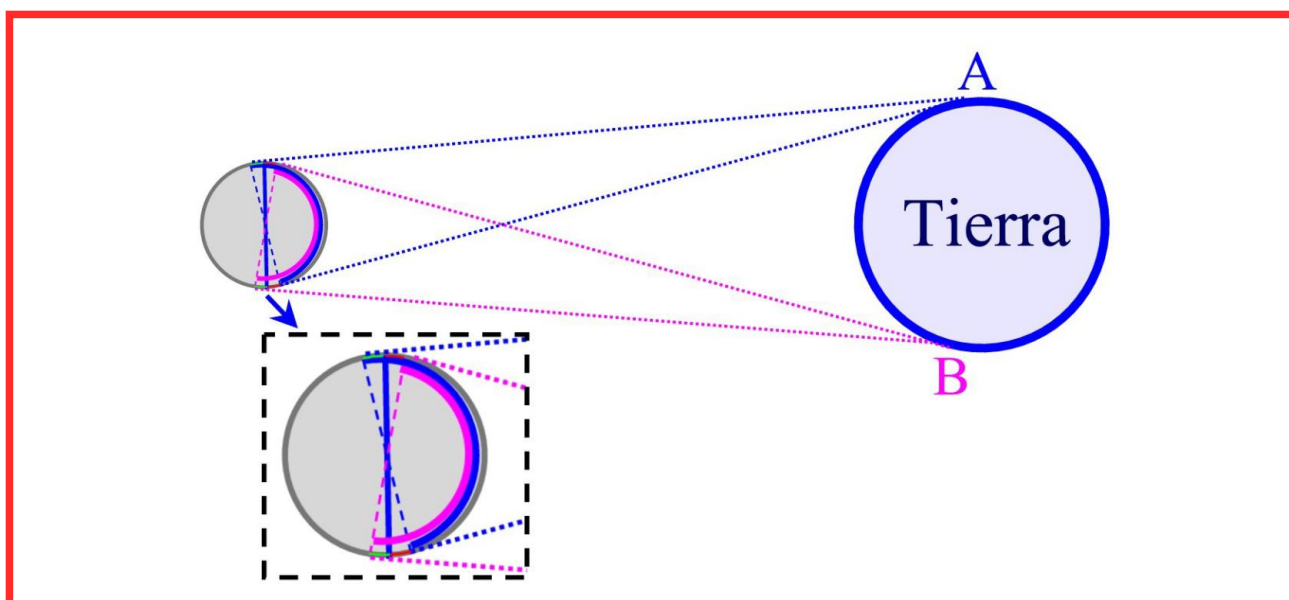


Fig. 5 Los puntos A y B pueden representar dos lugares casi opuestos del ecuador, o también podrían ser dos lugares cercanos a los polos, según la representación sea en planta o de perfil a la órbita lunar.

- También hay una pequeña libración por el llamado **efecto paralaje** (Fig. 5), que se produce si se observa simultáneamente la luna desde lugares muy lejanos entre sí, por ejemplo desde donde hace poco que ha salido y desde un lugar donde esté próxima a ponerse.

En ese caso sería una libración en longitud, aunque también puede ocasionar una libración en latitud si se observara desde las cercanías de ambos polos en un momento en que fuera visible desde los dos lugares. Su amplitud es del orden de 1° .

Observación de las libraciones

Para apreciar estos cambios lo más adecuado **podría parecer** el observar, o mejor fotografiar la Luna en **sucesivas fases llenas**, donde podemos ver la superficie completa que está dirigida hacia la Tierra y buscar diferencias. Sin embargo, **de esta manera no es fácil notarlo** porque en plenilunios consecutivos las circunstancias de proximidad al perigeo o posición del eje, sin ser iguales son similares. Además, el trabajo sería demasiado espaciado en el tiempo y probablemente en alguna lunación se nos olvidaría o no podría hacerse por las condiciones del cielo...

Curiosamente cambian más con el paso de los días, y la metodología idónea sería diferente según el tipo de libración.

- Para observar la libración en **latitud**

Para apreciar la libración en latitud conviene observar y fotografiar la Luna en sucesivas noches en torno a la fase llena, por ejemplo, desde el cuarto creciente al cuarto menguante. Aunque quizás también pudiera apreciarse en fases más finas, es mucho más difícil porque gran parte de la zona cercana a los polos, que es donde se apreciarán las diferencias, está oscura.

Como se representa luego, una fase fina puede servir para apreciar la libración en longitud, pero difícilmente en latitud:

No se verá igual en todas las lunaciones, sino que será más evidente en aquellas en que el eje se dirija hacia la Tierra cerca de los cuartos. En la última parte de este artículo se dan fechas para 2024 y los criterios generales para calcularlas.

Aunque una observación completa durante 2 semanas nos daría todos los datos, las diferencias más evidentes se verán con las imágenes de los primeros y últimos días de la quincena.



Fig. 6.

La clave puede estar en fijarse en el mar del Frío cuya alargada silueta se aproxima y aleja del borde norte lunar.

En la fig. 6 se aprecian las diferencias, y mejor, en la fig. 7, con la referencia clave ampliada.

Fig. 7.



- Para apreciar la libración en **longitud**:

En este caso lo mejor sería elegir, por ejemplo, todos los días seguidos de fase creciente (unos 11 ó 12) en los que aunque no veamos la Luna entera, sí veremos la zona occidental (la de la derecha vista desde el hemisferio norte), donde además tenemos un accidente lunar que nos facilitará mucho la tarea, tal como se ha dicho: El mar de la Crisis, una zona oscura redondeada muy cerca del borde.

Es muy fácil observar y calibrar la distancia desde el Mar de la Crisis hasta el borde lunar, comparándolo con el propio mar, y apreciar el cambio de unos días a otros. O incluso la forma más o menos ovalada de este mar. Estos cambios serán más evidentes en los días cercanos al perigeo o al apogeo (Fig 8).



Fig. 8 Las dos imágenes corresponden a diferentes lunaciones.

En este caso la mayor o menor fase no influye y siempre que la referencia esté iluminada puede apreciarse la libración. En la imagen de la Fig. 8, aunque esté en fase, se puede comparar la anchura aparente del Mar de la Crisis con lo que le falta hasta el borde, o también la posición del Mar de la Fertilidad (situado debajo del de la Crisis). Además la casualidad está de nuestro lado al ser visible estos mares durante las fases crecientes; las cuales se pueden observar al principio de la noche.

En la Fig. 9 aparecen más detalladas las posiciones de los dos mares citados.

Fig. 9.

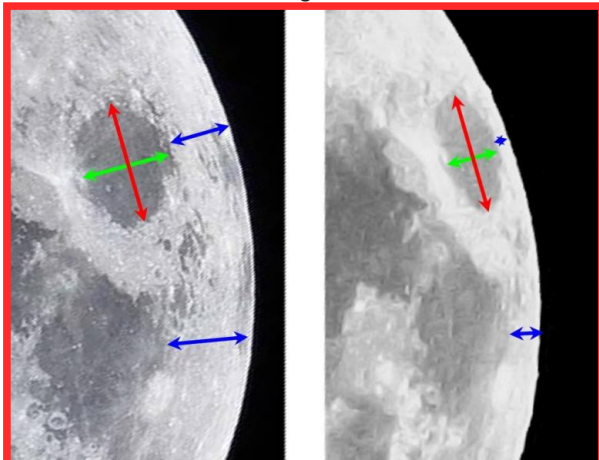


Fig. 10. En las dos primeras imágenes solo puede calibrarse la libración en longitud, mientras que en la tercera son evidentes ambas.

Con fases finas, la apreciación de la libración por latitud puede ser problemático, pero no así la longitud (Fig 10).

- Respecto a la libración debida al **paralaje** podemos observar la Luna una noche al principio y al final de su recorrido por nuestro cielo. Al movernos a causa de la rotación terrestre, estaremos viendo la Luna desde diferentes posiciones.

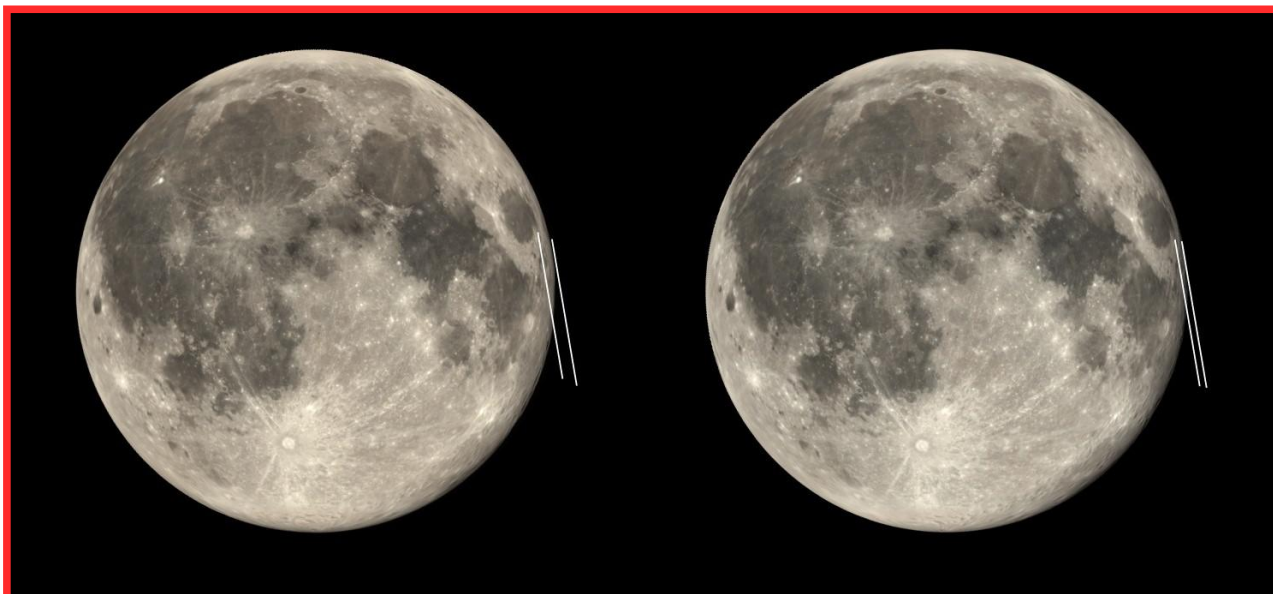


Fig. 11. Esta pequeña diferencia en la libración en longitud es debida al paralaje de las imágenes tal como se veían el 7 de marzo de 2023 al principio y final de la noche en una latitud de 43° .

Para apreciarlo es muy conveniente observar la luna llena que estará visible durante toda la noche, aunque lo más exacto sería que dos observadores que estén casi a 180° de longitud hiciesen una foto simultáneamente y luego se comparasen, lo cual sería posible si se conociese a alguien de por allí.

Si hacemos una observación al amanecer y al anochecer es conveniente que sea durante periodos en que la Luna esté lejos del perigeo y apogeo, porque en esos momentos la libración por longitud varía rápidamente y aunque solo sea en 12 horas, enmascararía el resultado (Fig. 11).

No todas las lunaciones son iguales

Las libraciones no se ven igual en todas las lunaciones. Como se ha dicho, para apreciar la libración en general convendría tomar datos a lo largo de media lunación; si es en latitud en torno a la luna llena y si es en longitud en torno al cuarto creciente. Pero según estén situados el eje y el perigeo los valores serán diferentes.

- En las de **latitud** se verán de mayor amplitud aquellas en que el plano que

contiene al eje de la Luna esté dirigido aproximadamente hacia la Tierra en uno de los cuartos, porque así desde el cuarto creciente al menguante podrán verse las situaciones extremas.

Aunque pudiera parecer que sería mejor que el eje estuviera dirigido a la Tierra en Luna llena porque así se apreciaría bien uno de los máximos, nos perderíamos el otro extremo, y la diferencia de ambos es lo más clarificador.

En el gráfico de la fig. 12 se recogen en la línea verde los días en que sería adecuado observar, siempre con referencia a las fases lunares que aparecen, para una lunación cualquiera en que siempre se obtendría una libración máxima y un término medio. En rojo los días en que se podrían ver dos libraciones extremas, pero solo en las lunaciones en que el eje lunar (o en el otro gráfico el perigeo) están en las posiciones indicadas.

Para elegir la lunación más adecuada aquí tienes las fechas en que un extremo del eje se dirige hacia la Tierra. Hay que buscar cuando coincidan con el cuarto creciente porque el otro extremo coincidirá aproximadamente con el cuarto menguante, y en el periodo de observación se podría apreciar la máxima variación.

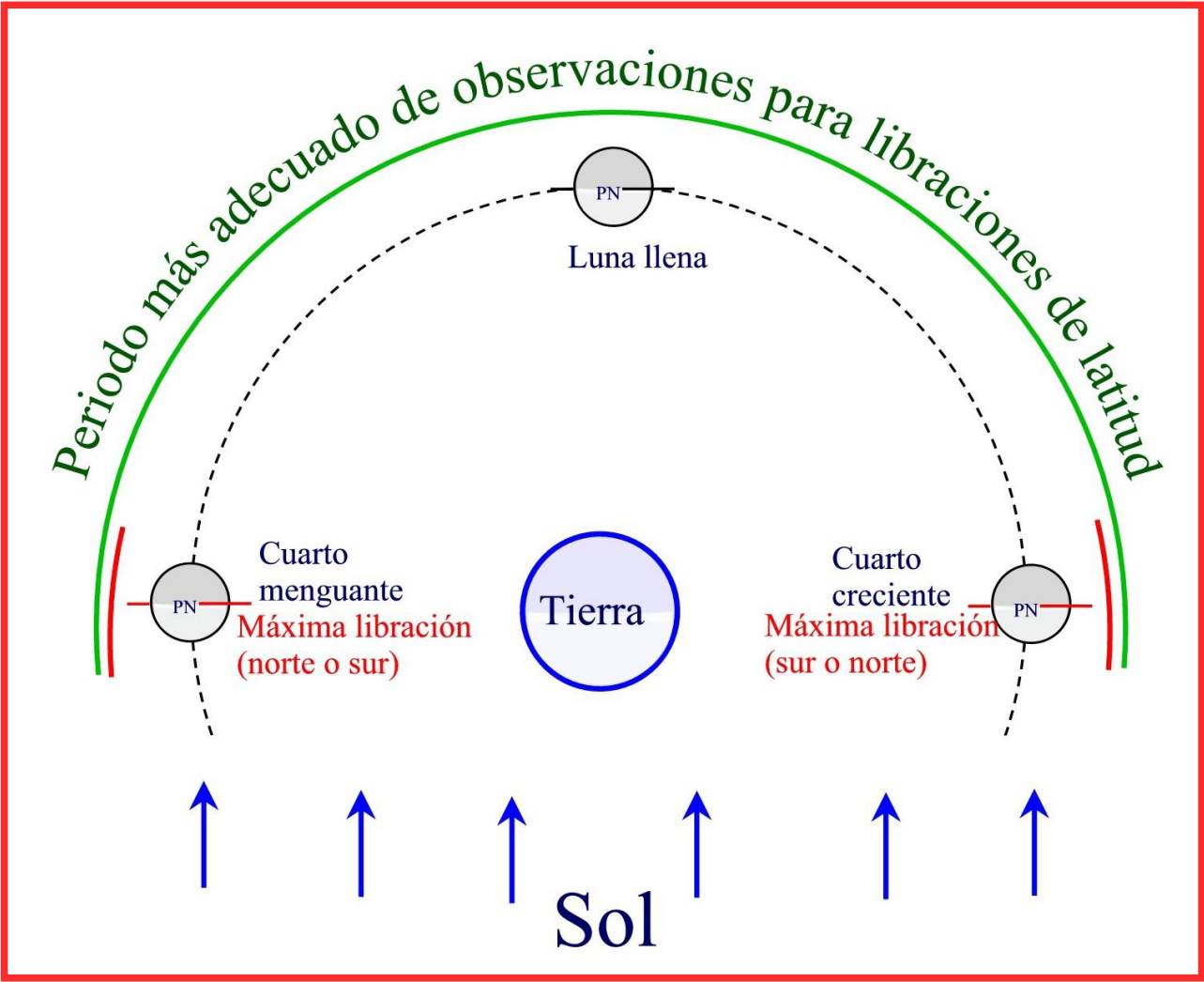


Fig. 12.

Utilizando un calendario con fases lunares y esta tabla, el alumnado podría deducir las fechas más favorables que, como se ha dicho, son aquellas en que el eje se dirija hacia la Tierra cerca de los cuartos. Te propongo que observes **del día** 17 de marzo de 2024 hasta

el 1 de abril, que es la mejor ocasión del año, o también a partir del 14 de abril, del 11 de septiembre, o del 9 de octubre.

Se pueden calcular como un trabajo de aula, o tomarlas directamente de aquí si se considera que lo importante es la constatación del fenómeno mediante las observaciones.

- Las **libraciones en longitud** se verán más evidentes si la Luna pasa por el apogeo o perigeo en el cuarto creciente (o menguante) o pocos días después.

Ahora el momento de máxima libración no es el apogeo (o perigeo) sino aproximadamente una semana después, cuando se han ido acumulando los desfases.

Ahora no se podrán apreciar los dos máximos aún en las lunaciones favorables (pero casi) porque en el mejor de los casos uno coincidiría con una fase demasiado fina y

Fig. 13

Fechas en que el extremo **norte** y **sur** del eje lunar está dirigido hacia la Tierra en 2024

10-1	11-5	12-9
23-1	25-5	24-9
7-2	7-6	9-10
19-2	22-6	22-10
5-3	5-7	6-11
17-3	19-7	18-11
1-4	1-8	3-12
14-4	16-8	16-12
28-4	28-8	30-12

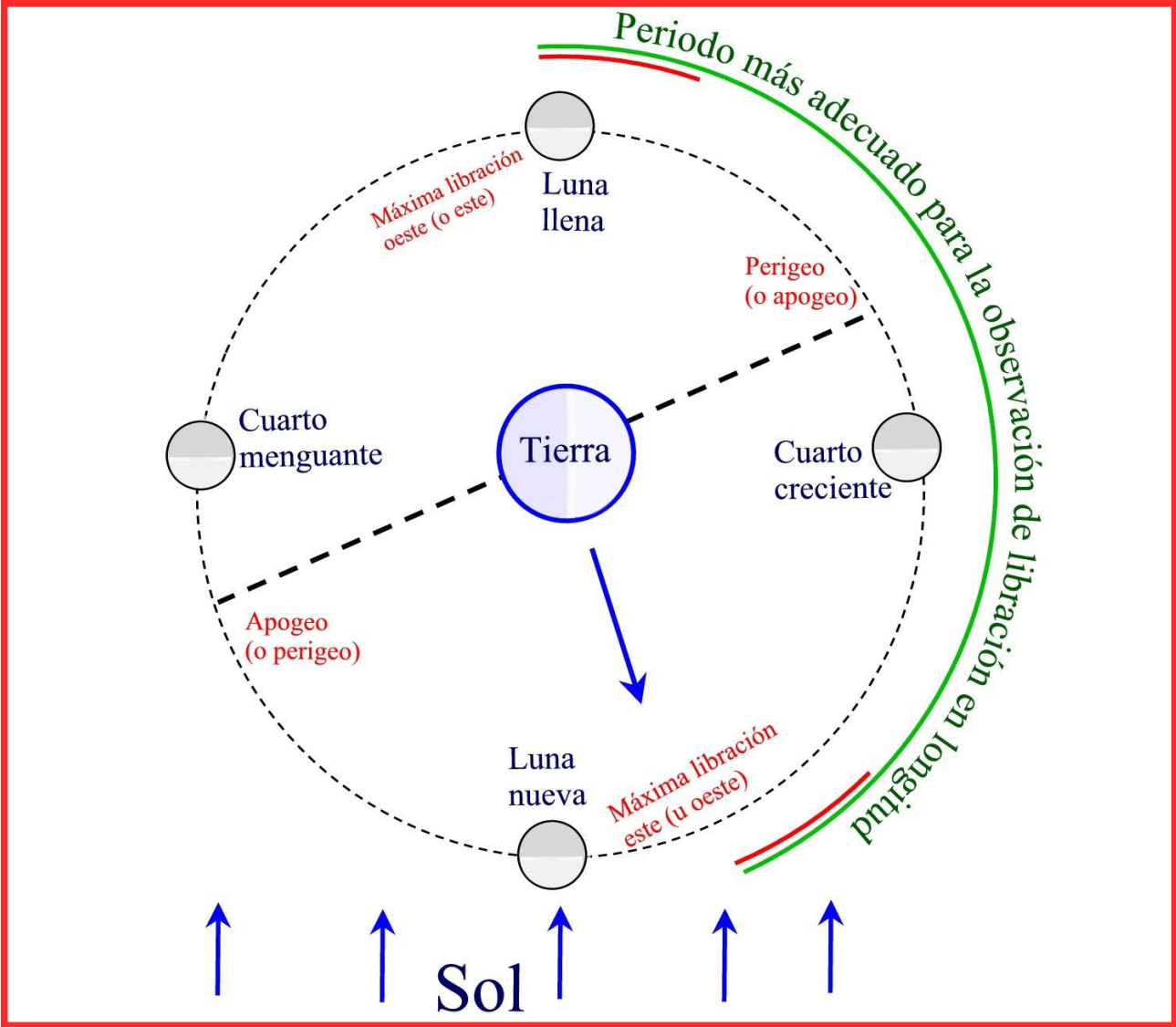


Fig. 14 Al igual que en la anterior figura 12, en ésta se indica con la línea verde el periodo de observación respecto a las fases, en general. Pero si se dan las condiciones idóneas sería suficiente observar los primeros y últimos días de ese periodo (en rojo).

el otro con la luna llena después de la cual volvería a estar en sombra.

Como las repeticiones del paso por el perigeo o la posición del eje son algo inferiores a la duración de la lunación, se van desplazando sobre ella, y pueden buscarse las mejores lunaciones para evaluar el máximo de las libraciones.

En la figura 15 aparece un listado de las fechas del paso de la Luna por el perigeo y el apogeo.

Como antes, con un calendario y este cuadro se obtendrían las fechas idóneas para

Fig. 15

Pasos de la Luna por el perigeo y apogeo en 2024		
1-1	5-5	5-9
13-1	17-5	18-9
29-1	2-6	2-10
10-2	14-6	17-10
25-2	27-6	29-10
10-3	12-7	14-11
23-3	24-7	26-11
7-4	9-8	12-12
20-4	21-8	24-12

observar la libración, cuando la luna nueva ocurra unos 6 días después del perigeo o apogeo: A partir del 11 de mayo, 9 de junio o 8 de julio, que como se dijo antes puede deducirse como ejercicio o tomar de aquí para organizar las observaciones.

En esas fechas la Luna mostrará una gran libración oeste con el mar de la crisis separado del limbo lunar pero a medida que pasen los días se irá acercando al mismo.

O a partir del 4 de noviembre y 4 de diciembre en que día a día se irá separando

Puede repetirse en fases crecientes en otras lunaciones, aunque el efecto será algo menor.

- Si queremos visualizar o cuantificar las **libraciones por paralaje** mediante dos observaciones al principio y final de la noche, la medición siempre estará condicionada por la variación de la libración en longitud durante ese tiempo debido al perigeo. Por ello deberíamos tomar una noche de luna llena (o casi) cuando sepamos que la libración en longitud no varía mucho, es decir a mitad de camino entre el perigeo y el apogeo, datos que tenemos en la última tabla.

RELOJ DE SOL DE REFLEXIÓN CON UN DVD



Ricardo Moreno Luquero



En este artículo se explica cómo funciona y cómo hacer un reloj de Sol de reflexión, sin gnomon, a partir de un dvd. Si lo ponemos paralelo al ecuador celeste, y situamos nuestro ojo en el eje perpendicular al dvd, el rayo de sol que vemos reflejado en el dvd se va desplazando 15° cada hora, y podemos leer la hora en los radios dibujados en el dvd radios cada 15° . Se puede ajustar fácilmente a la latitud del lugar y a la ecuación del tiempo. Eso sí, es un modelo sólo de primavera-verano.

Museo Principia

El Museo de la Ciencia «Principia», en Málaga, ha sido siempre una fuente de inspiración para todos los que nos gusta divulgar ciencia. En 2008 se construyó en su jardín un original reloj de sol ecuatorial basado en un láser-disc, que es similar a un dvd, pero de mayor tamaño (Fig. 1).

Consiste en una caja de cristal y acero inoxidable, orientada hacia el norte, y que forma un ángulo con el plano horizontal igual a la colatitud de Málaga ($90^\circ - 36,5^\circ = 53,5^\circ$). Tiene dibujadas líneas radiales, espaciadas 15° , marcadas con las horas.

Para leer la hora, hay que situarse enfrente del disco, justo en la perpendicular del centro



Fig. 1. Reloj en el jardín del Museo de Ciencias "Principia", con un láser-disc.

del disco. Por eso se debe mirar a través del orificio central del disco de tal forma que se vea una cruz que hay en el suelo. En esa posición, nuestra vista forma 90° con respecto al plano del disco. No hay gnomon: la línea intensa coloreada que refleja el Sol es la que nos indica la hora.

Tiene dos marcas en la parte superior del disco, una para el horario de verano, y otra para el horario de invierno, y está corregido con la longitud de Málaga. También muestra la curva con la ecuación del tiempo.

Me gustó mucho la idea, y me pregunté si se podría construir uno similar con un dvd. Para ello, había que entender cómo funciona.

Cómo funciona

Como es sabido, el Sol se mueve cada día en la bóveda celeste, describiendo una circunferencia y desplazándose 15° cada hora. Esa circunferencia es paralela al ecuador celeste. Por tanto, si ponemos el dvd paralelo al ecuador celeste, y situamos nuestro ojo en el eje perpendicular al dvd (Fig. 2), el rayo de

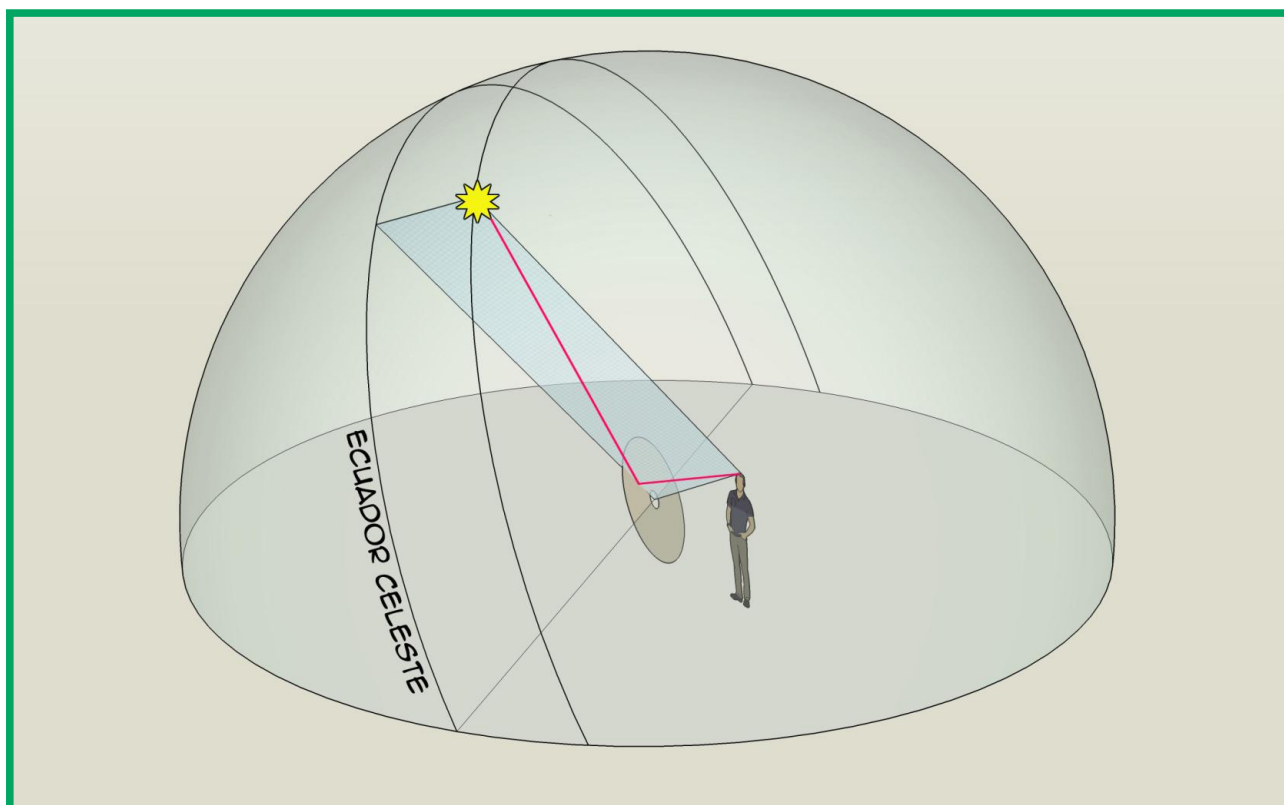


Fig. 2. El Sol se mueve en una línea paralela al ecuador celeste. Si el dvd está paralelo al ecuador y miramos perpendicularmente al dvd, el reflejo del Sol se va desplazando 15° cada hora. El ángulo de incidencia y el de reflexión deberían ser iguales.



Fig. 3. La caja del dvd hay que prepararla: hay que dar la vuelta a la tapa (1), perforar un orificio central (2) y marcar una línea justo en el centro del lado exterior (3).

sol que vemos reflejado en el dvd está en un plano que pasa por el Sol, y el reflejo se va desplazando 15° cada hora. Si hay dibujados en el dvd radios cada 15° , podremos leer el tiempo.

Cómo construirlo

Además de un dvd, necesitamos su caja transparente, mejor de las que son finas (Fig. 3). Hay que darle la vuelta a la tapa, con mucho cuidado de no romper las bisagras, que son muy frágiles. Así podemos abrir la caja en la posición adecuada.

Por otra parte, con un soldador caliente, hacemos un agujero en el centro del soporte del dvd, de unos 3-4 mm de diámetro (n. 2 en las Fig. 3). Y dibujamos con pintura blanca una marca justo en el medio del borde (n. 3 en la Fig. 3). Es importante hacerlo con precisión.

Pegamos una hoja blanca en la tapa, y también dos triángulos de cartón, con el ángulo de la colatitud del lugar ($90^\circ - \text{Latitud}$) (Fig. 4).

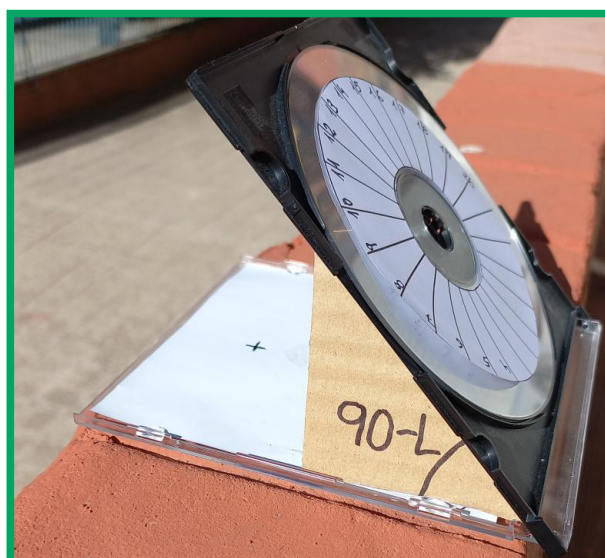


Fig. 4. Se pone el dvd formando un ángulo de la colatitud del lugar ($90^\circ - \text{latitud}$), con la ayuda de dos triángulos.

Ahora, en la hoja en blanco de la tapa, hay que dibujar una cruz justo en la perpendicular del orificio central (Fig. 5). Para ello nos podemos servir de un palito puesto junto al lado de un cartabón (o un libro), y hacerlo en dos direcciones perpendiculares (Fig. 6 y 7). También se puede usar un puntero láser alineado con el lado del cartabón (o el libro).

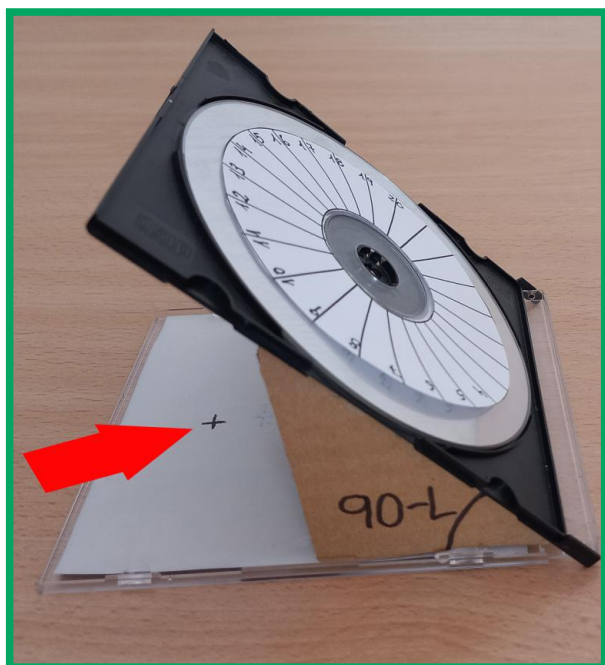


Fig. 5. Hay que dibujar una cruz justo en la perpendicular al orificio central del dvd.

En el dvd hay dibujar líneas radiales separadas 15° . También se puede recortar y pegar la plantilla de la Fig. 8. Se numeran las

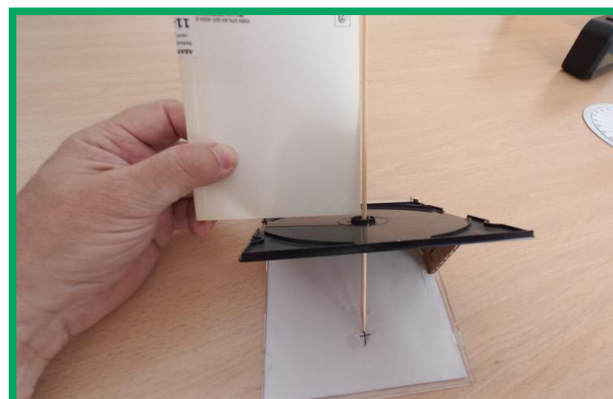


Fig. 6 y 7. Para marcar la perpendicular, nos podemos servir de un palito pegado a un cartabón o a un libro. Hay que hacerlo en dos direcciones perpendiculares.

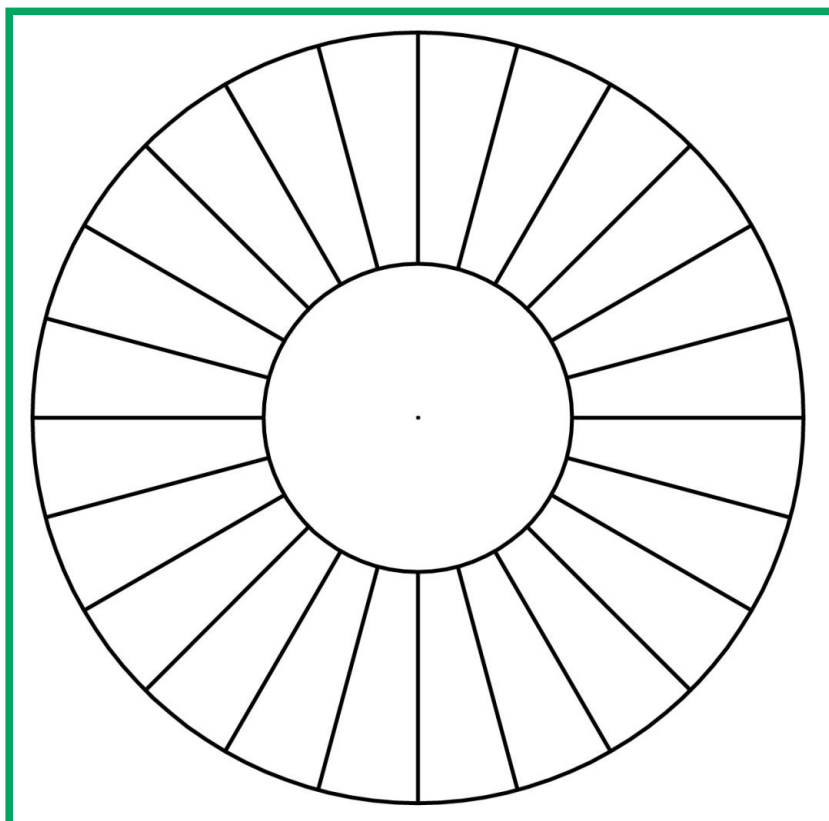


Fig. 8. Plantilla para recortar y pegar en el dvd. Hay que numerar las rayas del 4 a las 20 h, en sentido de las agujas del reloj. El resto de rayas no se usan.



Fig. 9. Se sitúa el dvd con el mediodía solar (las 14 h en verano, las 13 h en invierno) coincidiendo en la marca blanca del borde de la caja.

rayas en sentido de las agujas del reloj, de las 4 a las 20 h. Se pone el disco en la caja, coincidiendo las 12 solares con la marca blanca en el borde. En verano las 12 solares son las 14 h, y en invierno son las 13 h (ver la Fig. 9).

Una vez construido, se saca al exterior, y con una brújula se orienta con la cara del dvd mirando al norte. Para leer la hora hay que situarse de frente al disco, de tal forma que veamos la cruz a través del orificio central. En esa posición, el reflejo del Sol sobre el dvd nos da la hora (Fig. 10).



Fig. 10. Nos situamos enfrente del dvd, de tal forma que veamos por el orificio central la cruz dibujada en la tapa blanca. El reflejo nos da la hora.

Ajuste fino

Hemos dicho que las doce solares son las 13 h en invierno y las 14 en verano, pero eso ocurre solo si nuestra posición estuviera en el meridiano de Greenwich. Si estuviéramos a 15° de longitud oeste, habría que sumar una hora más. Y si estamos a una longitud de 3,688° oeste, como es mi caso, habría que sumar $60 \text{ min} \times L/15 = 14.75 \text{ minutos}$.

Puede ser una buena idea poner una línea que marque esos minutos, tanto en horario de verano y de invierno, que es la que debe coincidir con la marca blanca superior, para poner el reloj en hora, con la corrección de la longitud. Es lo que tiene el reloj de Málaga (Fig. 11).



Fig. 11. En el reloj de Málaga hay dos marcas en la parte superior del borde del disco: una para invierno y otra para verano.

Queda la corrección de la ecuación del tiempo: la posición del Sol varía ligeramente a lo largo del año, y produce un pequeño adelanto o retraso de hasta 15 minutos aproximadamente, según la llamada ecuación del tiempo. En el reloj de Málaga, la gráfica está dibujada en la parte inferior del disco (Fig. 11). En nuestro modelo también podemos hacerlo, o podemos ver el valor en esta web (<https://relojesdesol.info/node/748>) y ajustar el reloj girando levemente el dvd esa cantidad. O no hacer nada, y simplemente, constatar la pequeña diferencia entre la medida en el dvd y la hora oficial.

En mi caso, la medida de la Fig. 12 se hizo el 4 de agosto. Ese día hay que sumar 6.12

minutos por la ecuación del tiempo. Si lo añadimos a los 14.75 minutos de corrección por la longitud, nos da 20.87 minutos. O sea, que el mediodía solar se produjo a las 14 h y 21 minutos (figura 12).



Fig. 12. En el mediodía solar, el reflejo está justo en la marca blanca superior de la caja. El día de la foto se produjo realmente a las 14:21. La precisión es notable.

Reloj de primavera y verano

Si el eje terrestre no estuviera inclinado respecto de la eclíptica, la circunferencia por donde se mueve el Sol estaría siempre en el ecuador celeste. Pero como el eje terrestre está inclinado algo más de 23°, sólo el 21 de marzo y el 21 de septiembre ocurre eso, y el camino del Sol se va desplazando hacia el norte y hacia el sur el resto del año, marcando las estaciones. Es decir, a lo largo del año, el Sol describe realmente una espiral en el cielo (realmente describe lo que en geometría se llama una hélice) (Fig. 13).

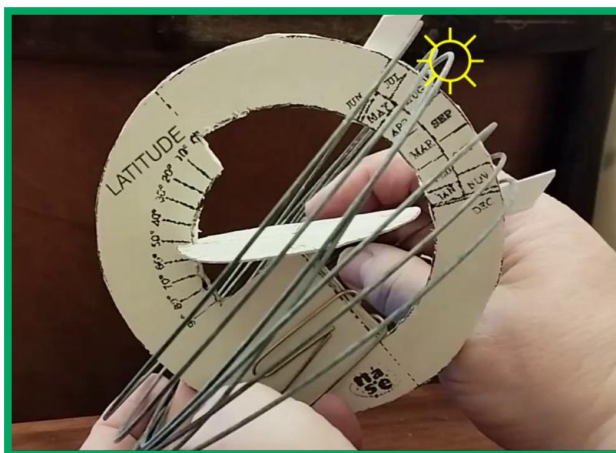


Fig. 13. Trayectoria del Sol a lo largo de un año (Foto cortesía de NASE).

Nuestro reloj, como funciona con el reflejo solar, sólo funciona cuando el Sol está por encima del ecuador celeste, es decir, en primavera y verano, que es cuando el Sol está en el hemisferio norte celeste. En otoño e

invierno, el Sol está más abajo que el ecuador celeste (Fig. 14), y sus rayos no iluminan al dvd, paralelo al ecuador, y por lo tanto este reloj no funciona. A no ser que a alguien se le ocurra cómo hacerlo. Ahí lo dejo.

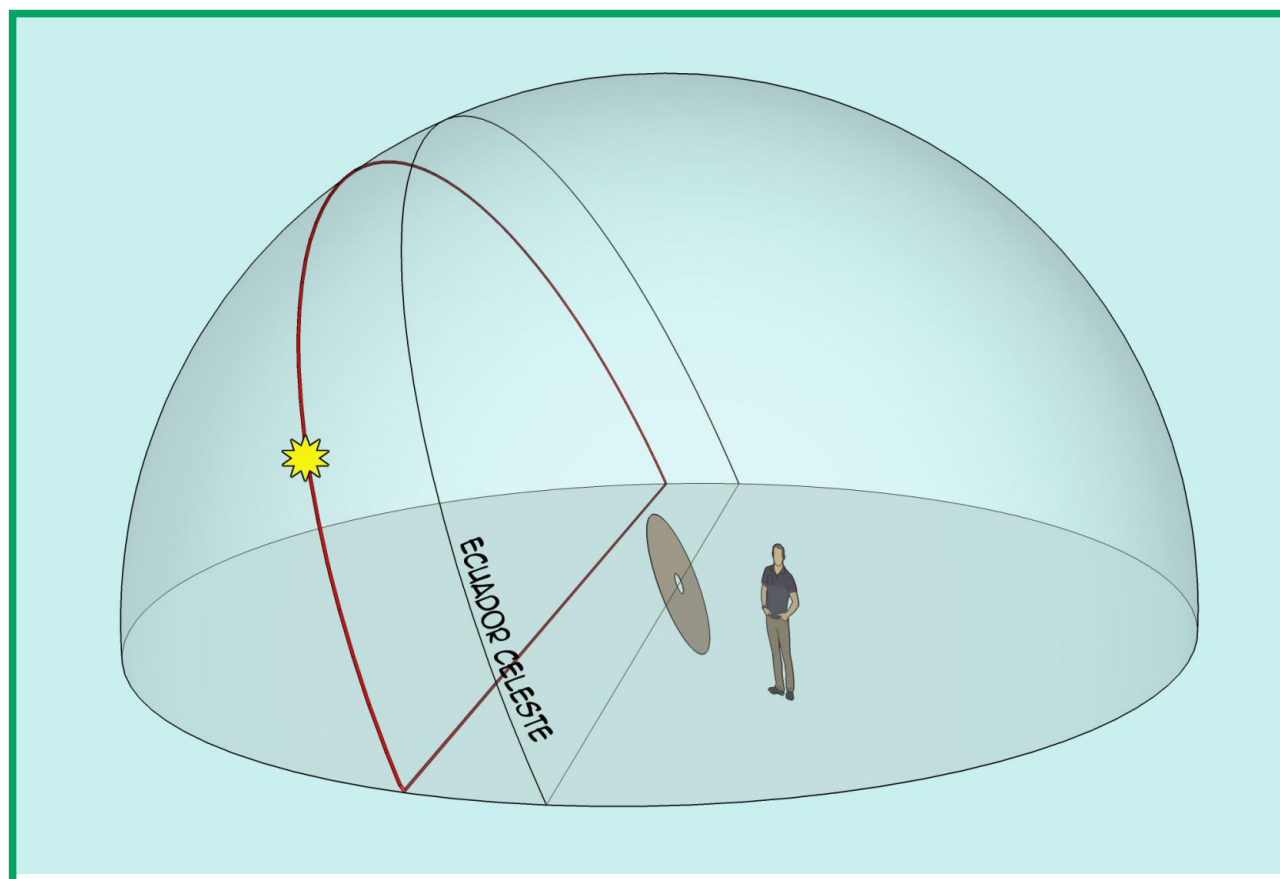


Fig. 14. El reloj no funciona cuando el Sol está por debajo del ecuador celeste, o sea, en otoño e invierno, porque no se produce reflejo.

CÚMULOS ESTELARES ABIERTOS - II



Joaquín Álvaro



NGC 2002 - Cúmulo abierto observado por el Telescopio Espacial Hubble en la Gran Nube de Magallanes, galaxia satélite de la Vía Láctea a 160.000 años luz. El cúmulo es muy joven, sólo tiene unos 18 millones de años, y está formado por unas 1.100 estrellas. Como se desprende de esta imagen, los OCs (Open Clusters) no son exclusivos de nuestra galaxia. El proceso de formación de estrellas es similar en todo el universo.

Al terminar el artículo sobre cúmulos estelares en el número anterior de NADIR ya se anticipaba que el objetivo de estos artículos es acercarnos a las tareas de caracterización de Cúmulos abiertos (OCs). Es decir, determinar qué estrellas de todas las que aparecen en el campo visual de observación forman parte de un cúmulo y, a partir de ahí, definir sus parámetros generales: masa, edad, distancia, propiedades dinámicas, etc.

En la figura 1 se aprecian miles de puntitos azules, formando una esfera en el centro de la imagen. Son todas las estrellas (hasta magnitud 21) presentes en el campo visual con un determinado radio desde el centro. Sólo las marcadas como puntos amarillos en ese conjunto se consideran integrantes de M67.

¿Cómo se llega a discriminar este subconjunto, esto es, el cúmulo? Ésta es la tarea que nos proponemos a partir de aquí. El proceso de análisis puede articularse en torno a los tres criterios principales que han de cumplir las estrellas de un cúmulo estelar.

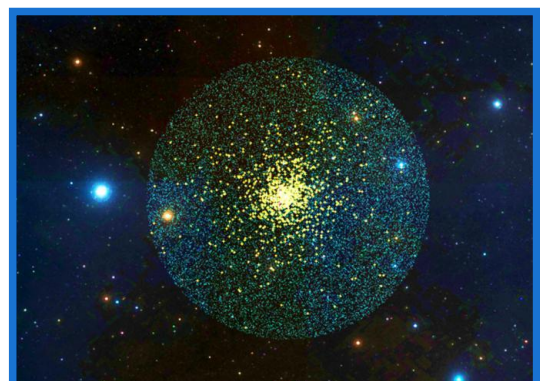


Fig. 1 – M67, (imagen obtenida con Aladin).

Como por definición un OC es un conjunto de estrellas nacidas de una misma nube de gas molecular en una ventana temporal relativamente corta, las estrellas del cúmulo van a compartir al menos tres propiedades:

1. La dinámica de la nube de gas progenitora. Esto significa que estas estrellas presentarán movimientos propios similares, (*pmRA*, *pmDEC*).
2. Serán estrellas próximas entre sí. Es decir, su distancia a un punto de referencia como puede ser la Tierra debe ser la misma, dentro de un rango más o menos reducido debido a la propia extensión del cúmulo.
3. Además, estas estrellas tendrán una misma composición química, (definida por la nube original), y una misma edad, también dentro de un rango temporal bastante estrecho.

Antes de empezar necesitamos ahora descargar e instalar en nuestro ordenador dos herramientas del Observatorio Virtual:

a) **TOPCAT** (*Tool for OPerations on Catalogues And Tables*)

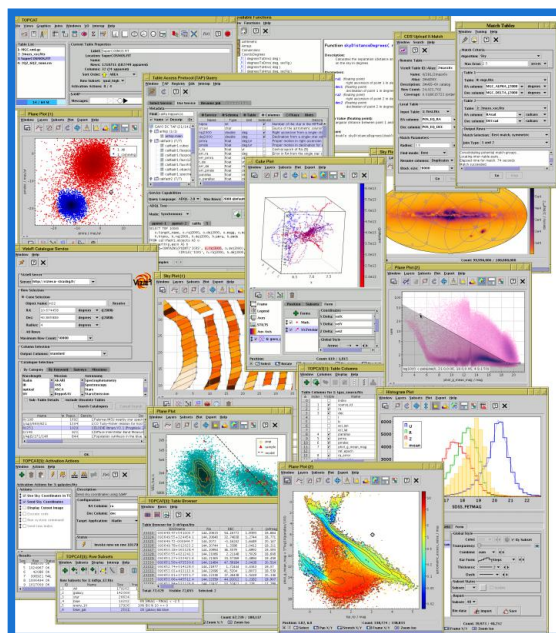
<https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>



En la página del enlace anterior se puede descargar TOPCAT. Está disponible para múltiples plataformas (Windows, Mac, Unix), y ahí se dan instrucciones completas acerca de su instalación, tutoriales, etc.

Al ejecutar TOPCAT se abre una simple ventana, pero a medida que se trabaja con esta herramienta van apareciendo ventanas nuevas, de manera que al final la pantalla puede llegar a tener un aspecto similar al de la figura adjunta.

Iremos avanzando paso a paso, de manera que no es necesario por ahora dedicar tiempo a los tutoriales o a una exploración exhaustiva de TOPCAT^[1].



b) **Aladin**



<http://aladin.cds.unistra.fr/java/nph-aladin.pl?frame=downloading>

Aladin Desktop^[2] es un atlas profesional con múltiples funcionalidades y acceso a numerosos catálogos de objetos del cielo. Disponible para todas las plataformas y fácil de instalar. Hay una versión más ligera, **Aladin Lite**, que se ejecuta en el navegador, pero utilizaremos la versión Desktop que nos permitirá enlazar con TOPCAT directamente.

Primer ejercicio.– Tomaremos el cúmulo **NGC 2516** como objeto de nuestro primer trabajo. Por ahora del catálogo que ya se descargó anteriormente y que nos ocupó en el primer artículo de esta serie, sólo anotaremos un dato: los 30 *arm* que figuran en dicha tabla como diámetro del cúmulo. (Hacemos esto para evitar en este primer ejercicio tener que ensayar un poco *a ciegas* diferentes valores, como veremos después).

[1] Micro-curso sobre TOPCAT del SVO (en español): <https://www.youtube.com/watch?v=IJ3qeliOOGY>

[2] Micro-curso sobre Aladin del SVO (en español): <https://www.youtube.com/watch?v=Ajro94X7kUc&t=2498s>

1. Abrimos Aladin y en la línea de comando de la parte superior escribimos NGC 2516, (*enter*). Aladin devolverá de inmediato la imagen del cielo ocupada por el objeto que le hemos pedido resolver:

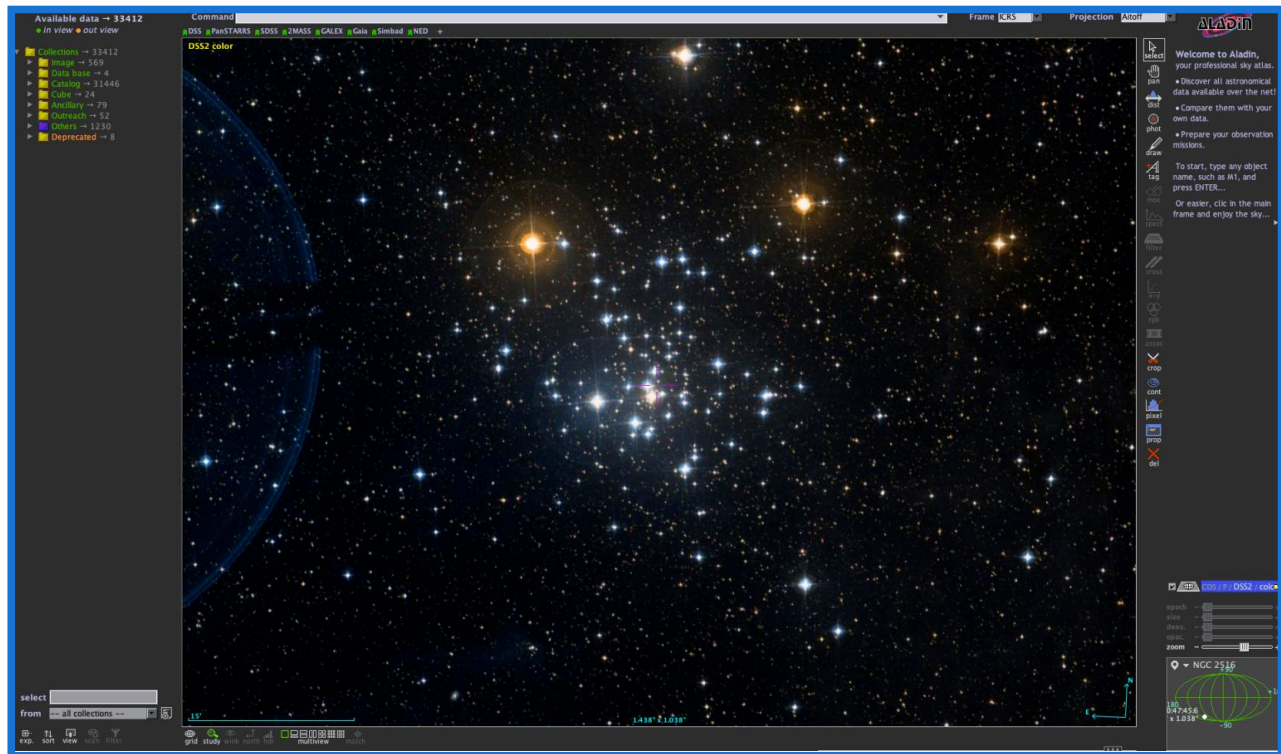


Fig. 2 – NGC 2516 – imagen de DSS2 ofrecida por Aladin.

2. Dejamos Aladin abierto y ahora ejecutamos TOPCAT. Nuestro propósito aquí es obtener de Gaia/EDR3 todas las estrellas presentes en el campo visual de las coordenadas del cúmulo NGC 2516, dentro de un radio en el que se considera que está contenido este objeto.

Como se verá al ejecutar TOPCAT, se abre una ventana bastante poco significativa a pesar de que los botones de la parte superior son contextuales e indican su funcionalidad.

Lo que pretendemos aquí es '*abrir una tabla nueva*', botón marcado con un círculo rojo. Esto abrirá una nueva ventana en la que debemos actuar sobre el botón '*obtener fuentes de un catálogo usando un cono para la búsqueda*', (fig. 4, también marcado).

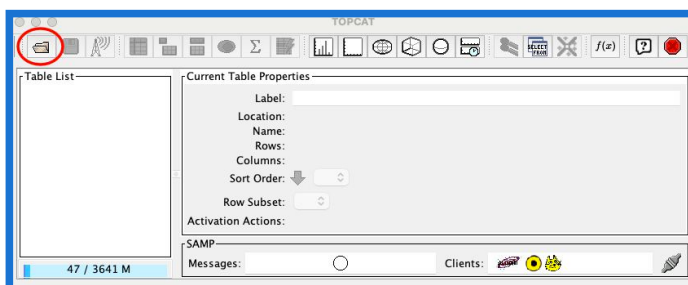


Fig. 3 – Ventana inicial de TOPCAT.

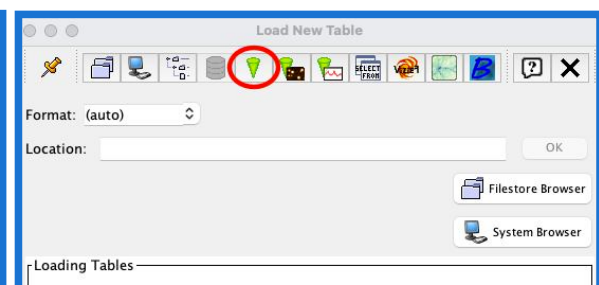


Fig. 4.

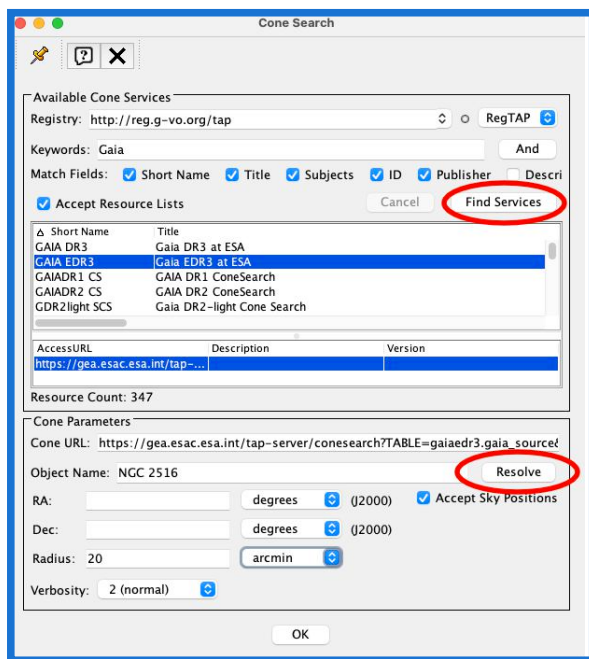


Fig. 5.

Lo que ocurre a continuación es que se localiza el objeto, (aparecen sus coordenadas RA, Dec - J2000), y se inicia la descarga de datos. Concluida ésta, se cierran solas las dos ventanas anteriores y en la ventana de inicio nos da información del número de filas descargadas desde Gaia y también del número de columnas, (10.504 y 100 respectivamente).

Estas 10.504 filas corresponden cada una a una estrella de las que Gaia tiene información en ese campo del cielo con radio de 20 *arcmin*.

3. En este momento ya todos los botones de la ventana inicial, (fig. 3), están activos. El segundo por la izquierda nos permite guardar estos datos recuperados de Gaia en diferentes formatos. El tercero, (con aspecto de antena), envía estos datos a otras aplicaciones. Como ya tenemos Aladin abierto, (por eso se pidió antes dejarlo en este estado), la tabla con los 10.504 registros es automáticamente representada en este atlas del cielo, (fig. 6). Probémoslo.

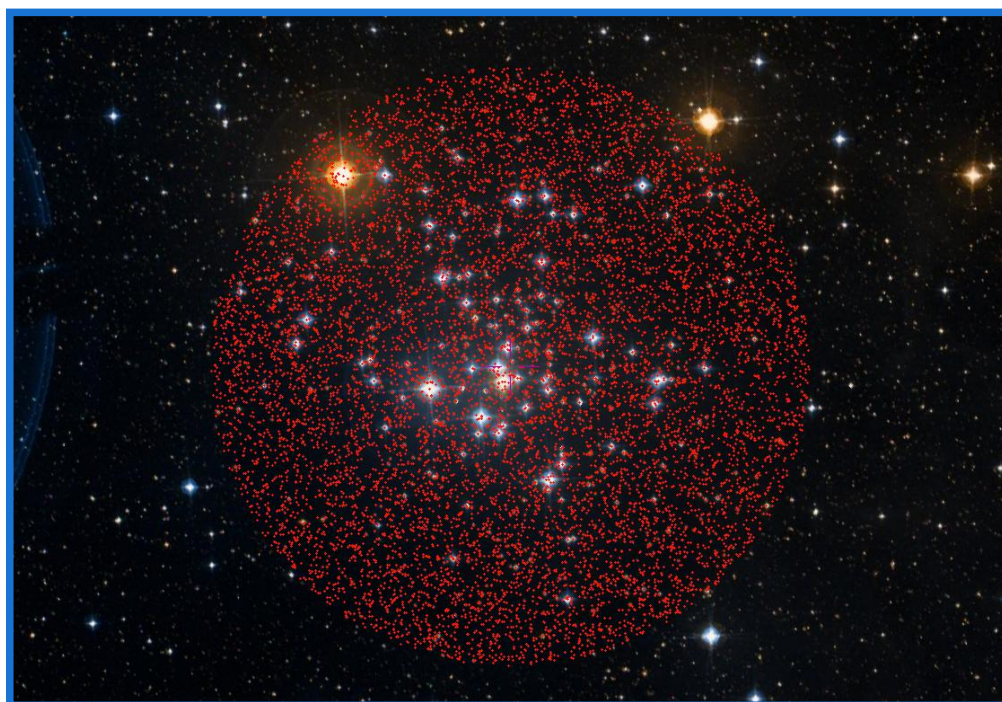


Fig. 6 – Representación de posiciones en Aladin de todas las estrellas, (puntos rojos), recuperadas de Gaia en la consulta hecha a través de TOPCAT.

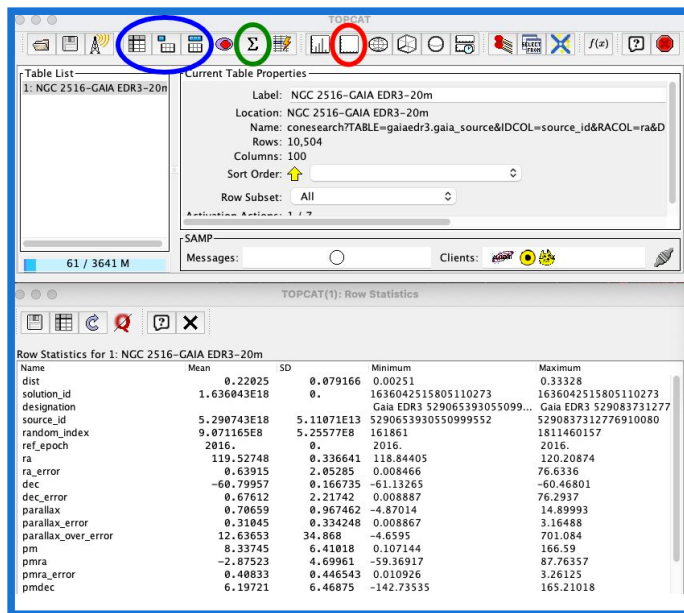


Fig. 7 – Detalle sobre datos estadísticos de la consulta.

4. El siguiente grupo de botones presentan información de los datos obtenidos, tanto de los datos en sí como del metadato asociado o el contenido y unidades de cada columna en formato tabla. Es interesante ahora explorar un poco por encima la información estadística sobre este conjunto de estrellas, (botón remarcado en verde, en la fig. 7).

Como se podrá comprobar aquí, para cada campo se da un valor medio, la desviación estándar, un valor mínimo y un máximo y también el número de estrellas, de las 10.504, para las que el dato presente en cada columna se considera bueno, (o no nulo).

Por ahora tampoco hay que perder demasiado tiempo con esto, pero como detalle nos fijaremos en los valores (*mín*, *máx*) del *parallax*, (-4.8, 14.89 en milisegundos de arco).

Sabemos que la paralaje está relacionada con la distancia, (ver artículo anterior de la serie), y el amplio rango entre estos dos valores nos dan idea de la distinta profundidad en el cielo de las estrellas que estamos tratando.

Otro dato interesante aquí puede ser el rango de magnitudes fotométricas en el que se extiende este conjunto, lo que también nos informa de sus diferentes brillos. Buscaremos en esta tabla moviendo la barra de scroll el campo '*phot_g_mean_mag*' y veremos que este rango está entre 4.29885 y 21.766 para las más débiles.

5. El siguiente bloque de botones en la parte superior de la ventana inicial sirve para desarrollar gráficos. Utilizaremos por ahora el marcado en rojo en la fig.7.

Se abre una nueva ventana, en la que debemos seleccionar qué parámetros queremos representar en cada eje.

Para obtener esta gráfica (fig. 8) se han elegido las coordenadas (*ra*, *dec*) en los ejes (X, Y).

Como puede verse esta es la información enviada a Aladin en el punto 3 (fig. 6).

En esta ventana hay otras funcionalidades para los gráficos que exploraremos según vaya siendo necesario. Por ahora interesa avanzar en nuestro objetivo: *caracterizar el*

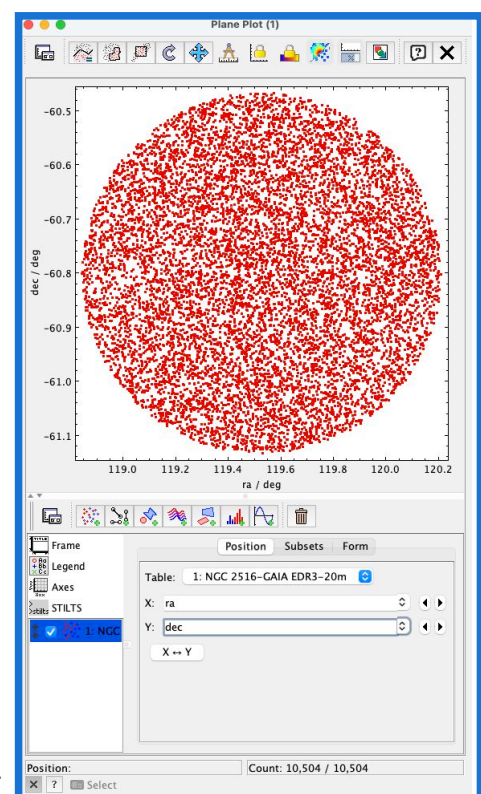


Fig. 8 – Representación gráfica de posiciones.

cúmulo NGC 2516. Y en este sentido el primer paso, como se indicó al principio, es centrar nuestra atención en los movimientos propios, (*pmra* y *pmdec*).

Cambiamos los valores representados en los ejes por estos últimos y obtendremos una nueva representación (fig. 9), en este caso del espacio de configuración de velocidades en milisegundos de arco por año (*mas/year*).

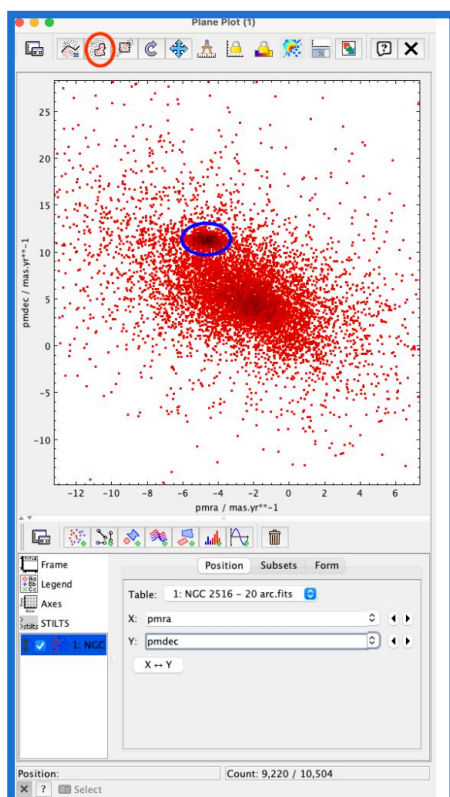


Fig. 9 – Representación de movimientos propios, (*pmra*, *pmdec*)

nueva tabla con las estrellas seleccionadas en ese área. Esta selección es considerada como un subconjunto al que hay que dar un nombre, (como esto será algo que vamos a repetir alguna vez más, podemos ir numerando las sucesivas versiones).

Llegados aquí, lo que tenemos es el conjunto total de estrellas inicial (10.504) y un primer subconjunto al que hemos etiquetado, por ejemplo, con NGC2516v1, (ver fig. 10).

Ahora tenemos representados dos colectivos de estrellas: a) el total original en rojo, y b) el subconjunto (v1) en azul.

En la ventana inicial de TOPCAT también podemos elegir sobre cuál de estos conjuntos actuamos:

Si en 'row subset' se selecciona el subconjunto -v1- podemos ver el número de componentes, (1.164, en este ejemplo).

6. Se obtiene así una nueva imagen, (se puede modificar el zoom con el scroll del ratón en el área del gráfico). En un campo visual cualquiera del cielo se debería esperar una distribución de velocidades repartidas con carácter básicamente aleatorio en torno a un centro más poblado. Aquí, (ver figura 9), se aprecia una sobre-densidad (remarcada con un círculo azul en la figura) y que es significativa de un posible cúmulo.

Ahora un poco de artesanía. Pinchando en el botón remarcado en rojo, podremos dibujar con el puntero del ratón el área que encierra la sobre-densidad observada, (más o menos la misma que la marcada en azul).

Hecho esto se vuelve a pinchar el mismo botón. Se abrirá un cuadro de diálogo en el que se nos da opción a generar una

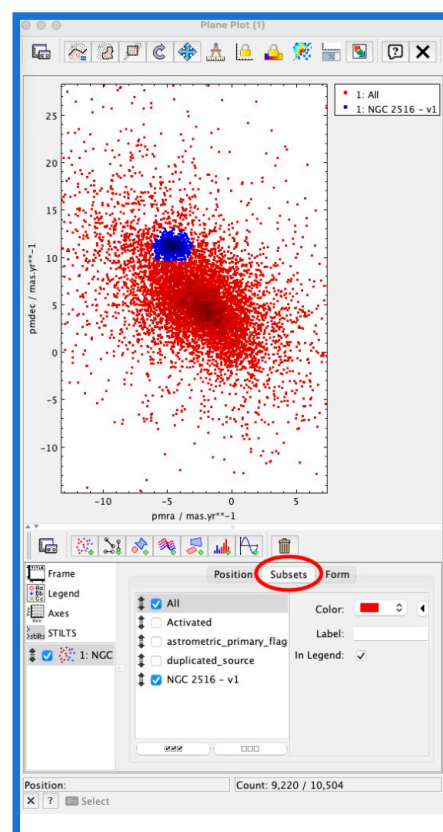
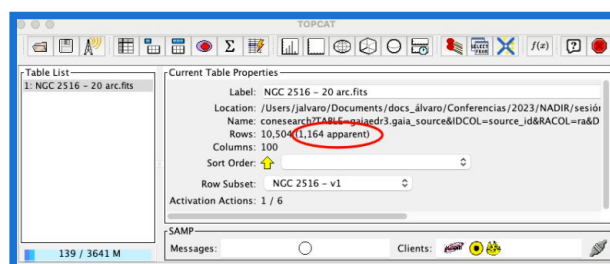


Fig. 10 – Selección del área con sobre-densidad.



También este grupo se puede enviar a Aladin con el tercer botón superior por la izquierda de esta ventana.

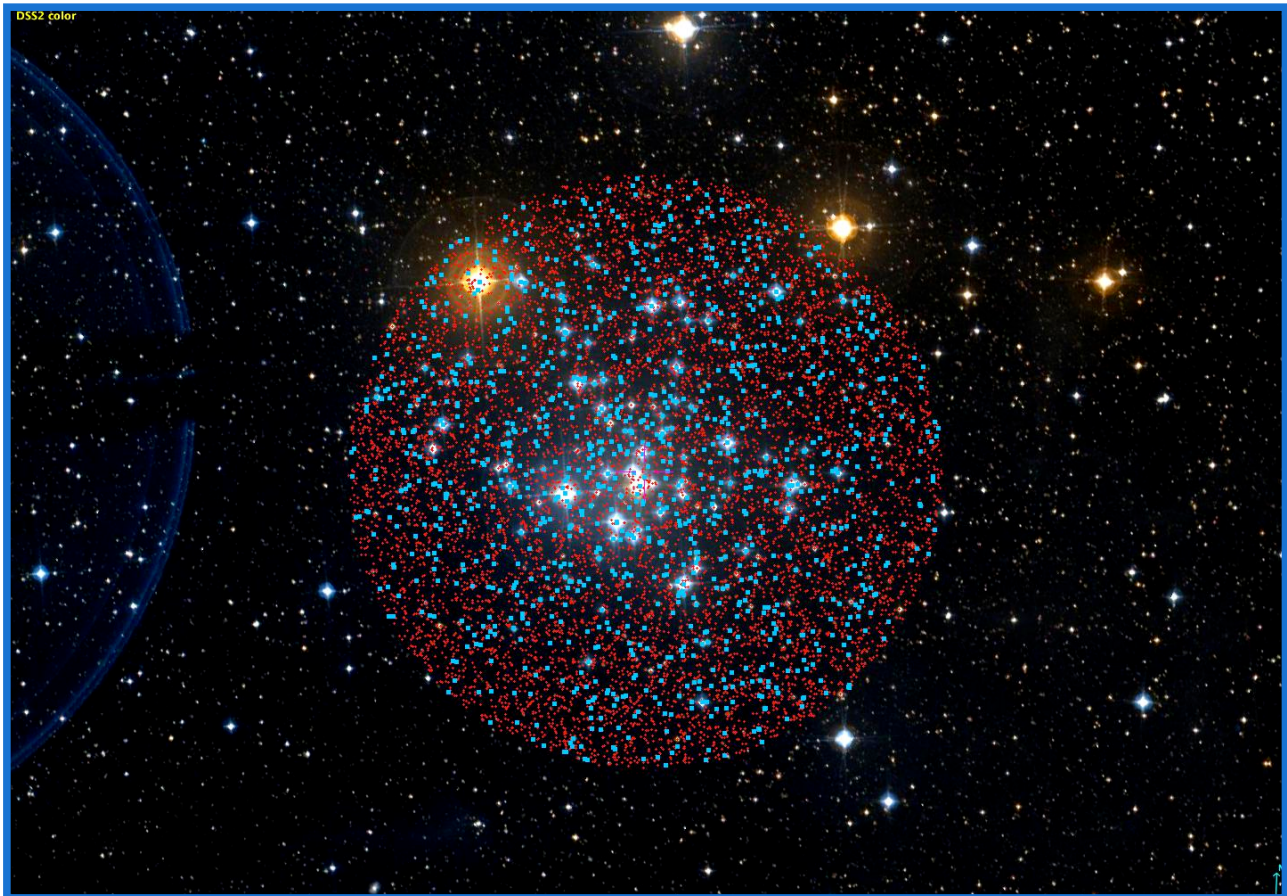
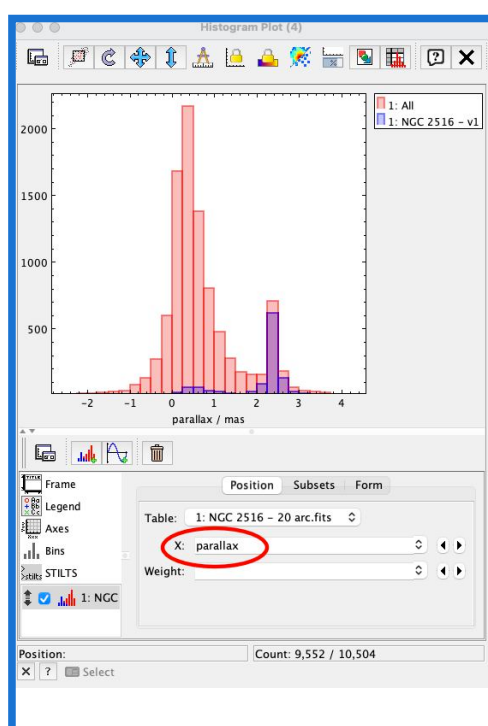


Fig. 11 – Representación en Aladin del subconjunto -v1- (en azul) superpuesto al conjunto inicial total.



7. Todavía puede haber estrellas en el campo visual del posible cúmulo que no formen parte del mismo. Es el momento de aplicar el segundo requisito planteado al principio: la distancia. Se asume que las estrellas de un OC están próximas entre sí y por tanto deben tener un valor de paralaje muy definido y con una dispersión pequeña en torno a un valor medio.

Nos centramos ahora sobre el campo del paralaje. En la ventana inicial de TOPCAT pedimos un histograma, (primero de los botones del grupo de gráficos), y seleccionamos el campo '*parallax*' en el eje X para la representación:

Si nos aseguramos de tener seleccionados ambos conjuntos (pestaña 'subset' en esta ventana) y ajustamos el zoom del área del gráfico con el ratón, deberíamos obtener algo similar a lo representado en esta figura.

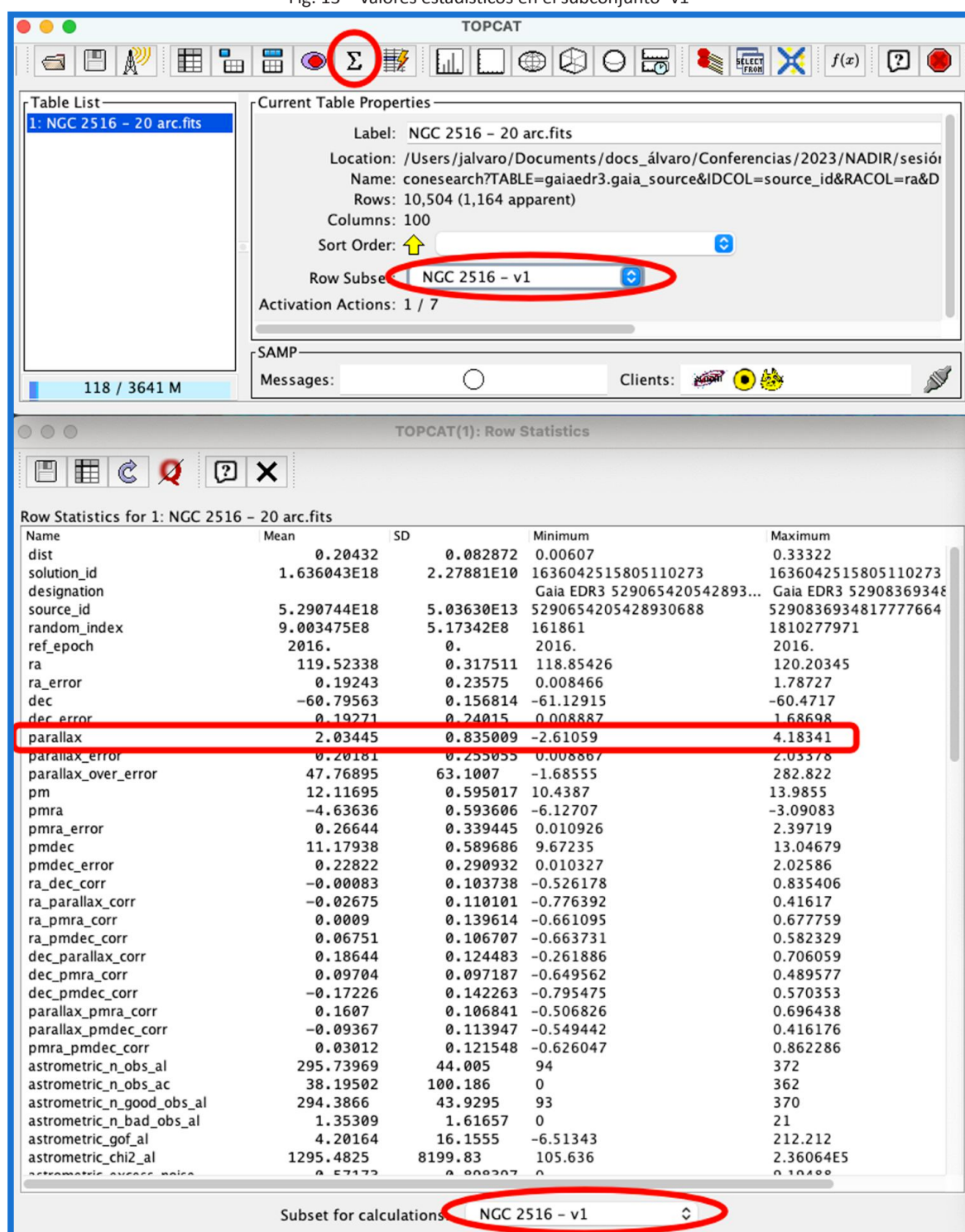
Fig. 12 – Distribución de paralajes del conjunto original (en rojo) y del subconjunto -v1- (en azul).

Como se puede ver hay una anomalía significativa respecto a lo que debería ser una distribución más o menos aleatoria respecto a un centro. Esta sobre-abundancia, también presente aquí y en torno a un valor de 2.4 mas, debe estar señalando el cúmulo que buscamos. Debemos estrechar de alguna manera su dispersión y, de paso, eliminar la fracción de estrellas que 'se nos han colado' en la selección anterior que aquí aparecen con un paralaje entre 0 y 1 mas.

Para ello volvemos de nuevo a la ventana inicial de TOPCAT, solicitamos estadística sobre el subconjunto -v1- y nos fijamos en los valores del campo 'parallax', (fig. 13).

Resulta evidente que no está centrado en los aproximados 2.4 mas y que su dispersión es grande.

Fig. 13 – Valores estadísticos en el subconjunto -v1-



Pasos que vamos a seguir:

a) En la ventana inicial de TOPCAT nos aseguramos de tener seleccionado el subconjunto -v1- y *pinchamos* sobre el botón '*display row subsets*', (parece un 'ojo'). Se abrirá una nueva ventana, (fig. 14), sobre la que *pinchamos* en el primer botón '+', (definir nuevo subconjunto), que abrirá a su vez otra ventana:

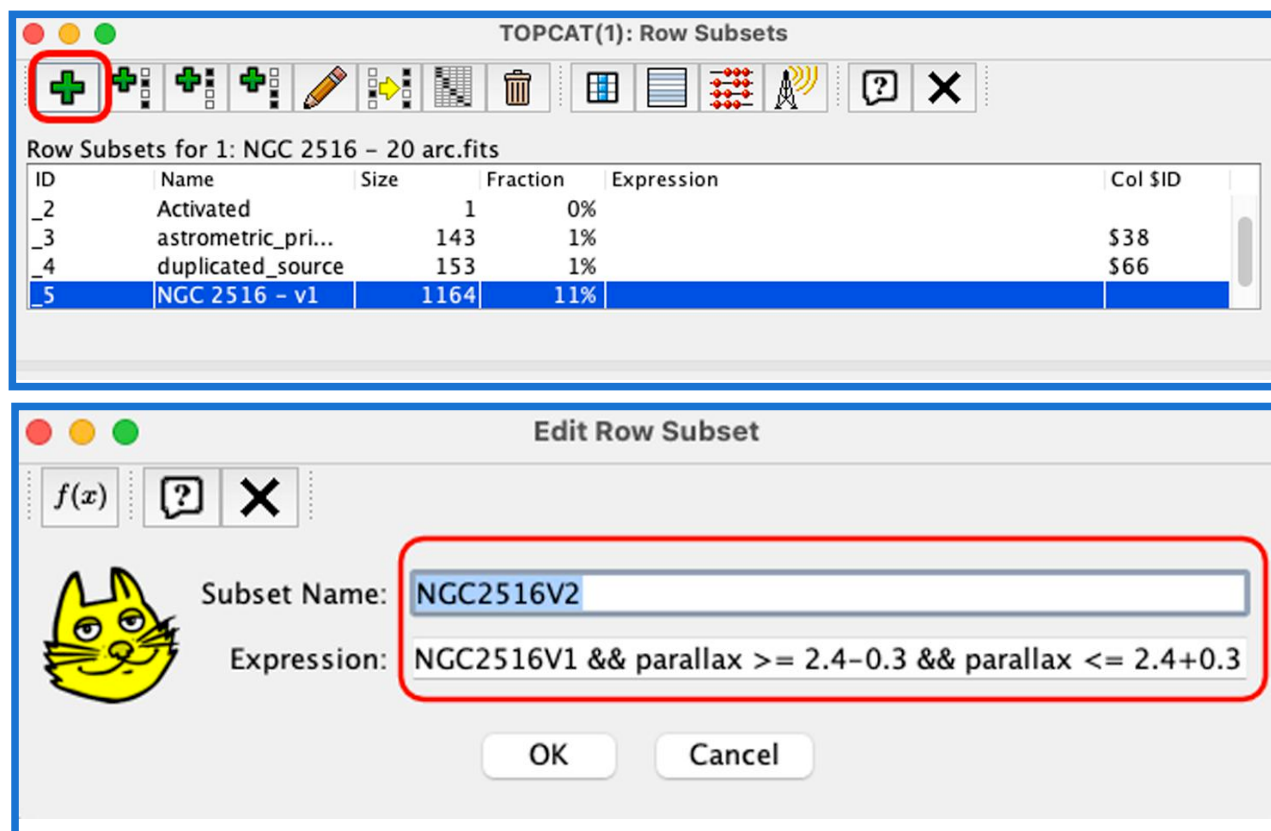


Fig. 14 – Ventanas TOPCAT para generar un nuevo subconjunto a partir de -v1-

Aquí daremos nombre al nuevo subconjunto y escribiremos el código con las condiciones que definirán este *subset*.

Lo que queremos es seleccionar, a partir del *subset* -v1-, sólo estrellas con un paralaje centrado en 2.4 mas y una dispersión máxima que podemos estimar en torno al 10 % de este valor. Se pueden ensayar otros límites, pero ésta es generalmente una buena aproximación. El código por tanto sería éste:

$NGC2516v1 \ \&\& \ parallax \geq 2.4-0.3 \ \&\& \ parallax \leq 2.4+0.3$

Tras el OK, tendremos el *subset* -v2- con 798 estrellas, (en este ejemplo), y un histograma de paralajes como el de la fig. 15.

Lo damos por bueno ..., es sólo un ejercicio.

Ya sólo nos queda un último paso. Analizar la edad de las estrellas de nuestra última selección.

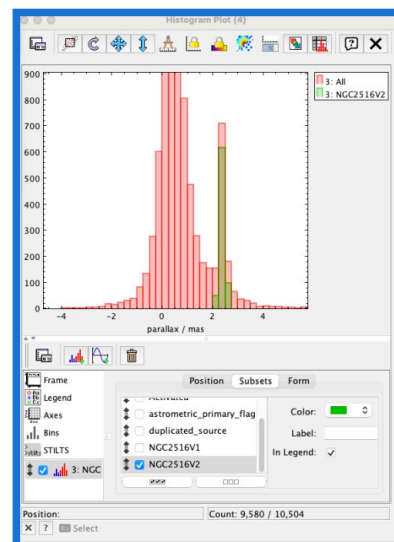


Fig. 15 – Histograma de paralajes del subconjunto -v2- frente al conjunto original.

8. En realidad lo que vamos a hacer es representar un diagrama H-R del subconjunto -v2-, utilizando el parámetro ‘exceso de color’, (diferencia entre las magnitudes fotométricas del azul y el infrarrojo), en sustitución de las temperaturas efectivas de las estrellas, frente a la magnitud fotométrica de Gaia en el visible (verde). Para ello podemos cerrar las ventanas de TOPCAT que molesten salvo la inicial y procederemos a solicitar un nuevo gráfico, (segundo botón del grupo de gráficos). Los ejes de este nuevo gráfico serían:

$$X = bp_rp, Y = phot_g_mean_mag$$

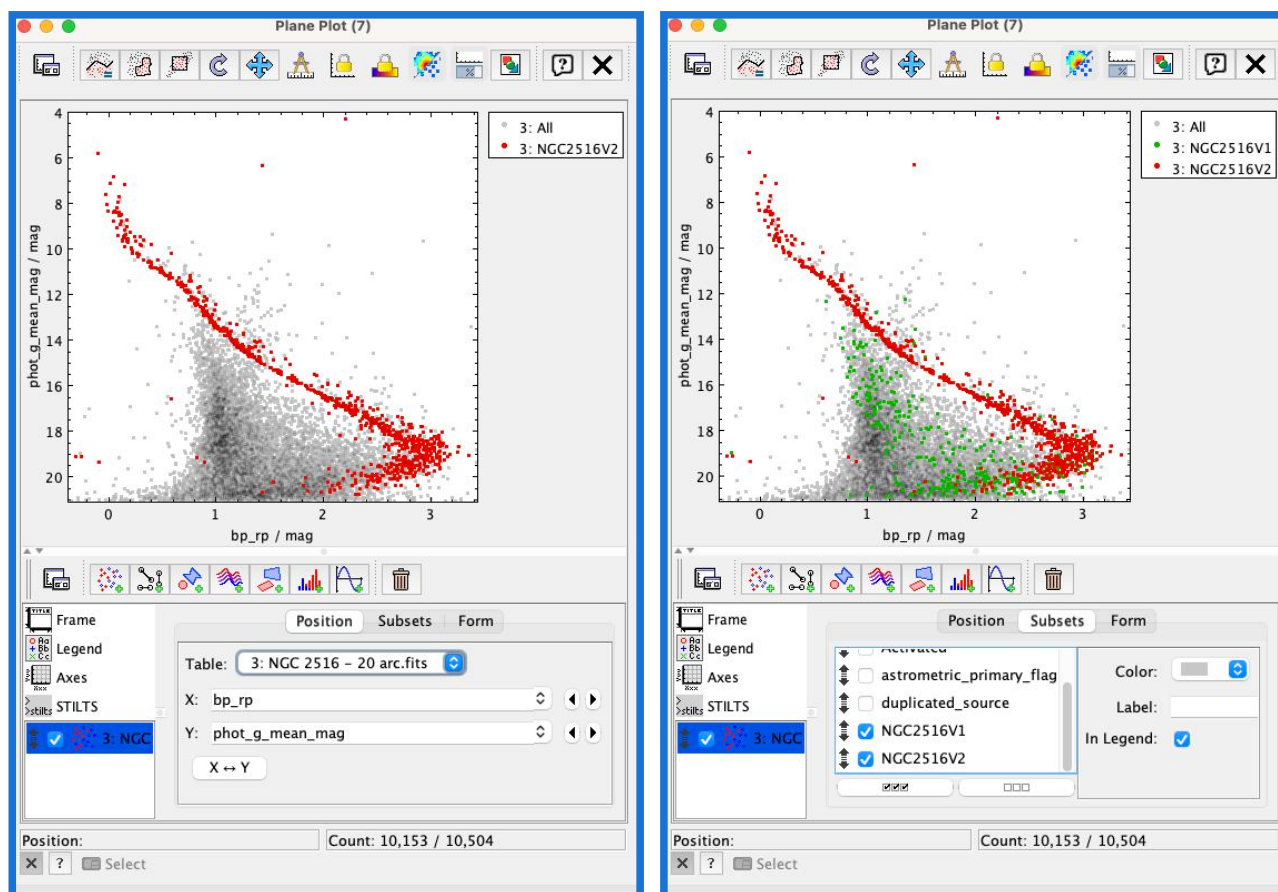


Fig. 16 – Diagramas ‘exceso de color’ frente a magnitud fotométrica. A la izquierda el subconjunto -v2- y a la derecha, ambos, -v1- y -v2-. De fondo el conjunto total inicial. El eje Y se ha invertido, con las magnitudes en sentido decreciente, más débiles abajo.

Lo que se observa en estos diagramas es un perfil bastante nítido de las estrellas finalmente seleccionadas, (candidatas a ser las componentes del cúmulo). Podría decirse que todas ellas están en la secuencia principal del diagrama H-R, apreciándose en la parte superior un incipiente punto de inflexión en el que empieza la derivación a la fase de gigantes rojas. Determinar la edad del cúmulo a partir de aquí, asumiendo que esta aproximación es razonablemente buena, es algo más complejo de lo que aquí podemos intentar. Habría que comparar estos datos con otros perfiles derivados de modelos matemáticos ad hoc y tener en cuenta a su vez otros parámetros como metalicidad, y otros indicadores de la composición química. Pero ya sabemos por la información de este cúmulo en el catálogo que tenemos como referencia que NGC 2516 es un cúmulo bastante joven, con poco más de 100 millones de años: $10^{8.052}$.

En la parte inferior del gráfico (fig. 16) hay un buen número de estrellas que parecen necesitar explicación por el hecho de ‘emborronar’ de alguna manera ese perfil nítido comentado. Hay que advertir aquí que hay literatura científica suficiente sobre Gaia, (de la propia ESA), advirtiendo del

empobrecimiento en la calidad de los datos fotométricos por encima de la magnitud 19. Podríamos haber filtrado también este conjunto eliminándolo directamente del conjunto original. Igualmente al análisis con movimientos propios se podría haber añadido un paso teniendo en cuenta las velocidades radiales, siempre y cuando este dato no presente demasiados registros con valores nulos.

En la fig. 16, derecha, se ven (en verde) las estrellas excluidas en el paso del subconjunto -v-1 al -v2-

Si comparamos los resultados obtenidos con los datos relativos a NGC 2516 en el catálogo de OCs que manejamos en el primer artículo, podemos sacar algunas conclusiones:

a) Por el número de componentes: hemos obtenido 798, frente a los estimados 770 del catálogo. Es evidente que sólo hemos hecho un ejercicio de aproximación, que podríamos haber refinado aún un poco y del que también se podrían haber eliminado de partida las estrellas con magnitud superior a la 19. El resultado es muy aceptable.

b) Si atendemos a la distancia media al cúmulo, la estadística de nuestro -v2- indica un paralaje medio de $2.41 \text{ mas} \pm 0.10 \text{ mas}$. En el catálogo se indica 2.44 mas .

c) En relación a los movimientos propios, los datos catalogados son:

pmRA: -5.43 mas/yr

pmDEC: 8.41 mas/yr

nuestros resultados aquí difieren un poco más:

pmRA: -4.64 mas/yr ,

pmDEC: 11.25 mas/yr

Nuevamente aquí hay que ver la conveniencia de rehacer el análisis eliminando las estrellas más débiles, ($\text{mag} > 19$), aunque en este caso los datos obtenidos en nuestro trabajo deben considerarse más fiables que los del catálogo, ya que hemos trabajado con los datos astrométricos de GAIA/EDR3, mucho más precisos que los existentes a la fecha de publicación del catálogo de referencia.

d) Y ya como imagen final, podemos llevar a Aladin las estrellas del *subset -v2-* que quedan representadas en amarillo en la fig. 17.

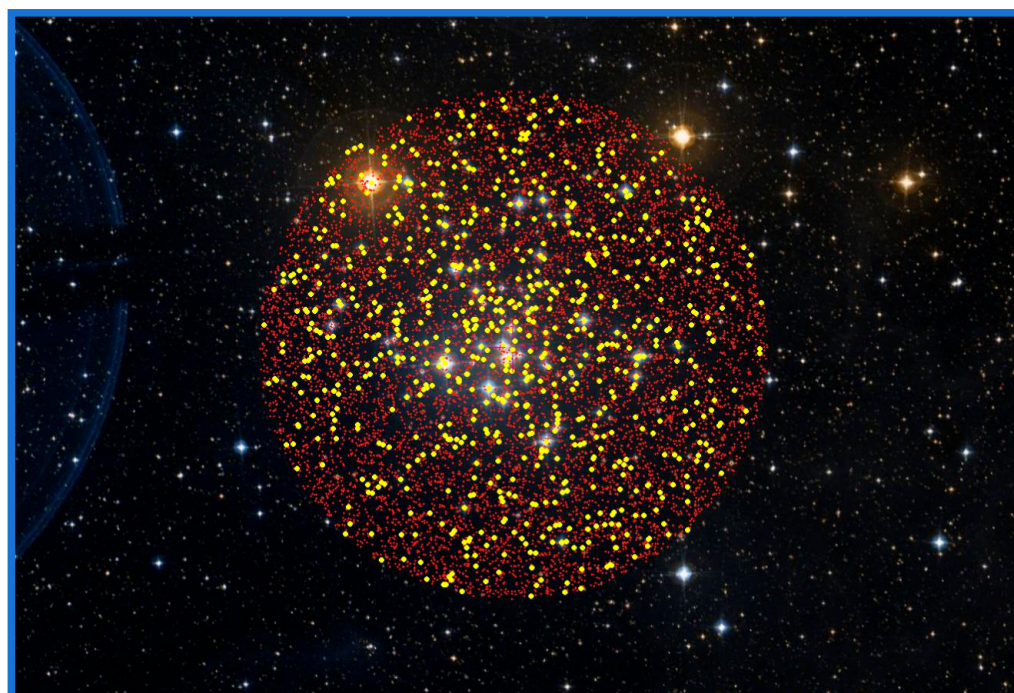


Fig. 17 – Estrellas consideradas finalmente como componentes del cúmulo NGC 2516, (en amarillo), a partir de Aladin. Esta imagen sugiere que debería ampliarse todavía un poco el radio del campo de observación, (20 minutos de arco en nuestro ejercicio), ya que parece haber demasiadas estrellas del cúmulo en el borde del área seleccionada.

9. Antes de dar por terminado el proceso y cerrar TOPCAT, conviene guardar todas las tablas de la sesión, (original, v1 y v2), por si fuera necesario rehacer el análisis en algún momento. (Menú principal: *File/Save table(s)/Session*, hay varias opciones en cuanto al formato. Después pueden abrirse de nuevo en TOPCAT sin necesidad de volver a descargar el conjunto de Gaia y/o repetir pasos ya dados).

Segundo ejercicio.- La propuesta para este ejercicio es repetir todo lo hecho con NGC 2516 en el primer ejercicio, pero en este caso sobre **NGC 2682 (M67)**. Aquí sólo se ofrecen unos posibles resultados finales como guía.

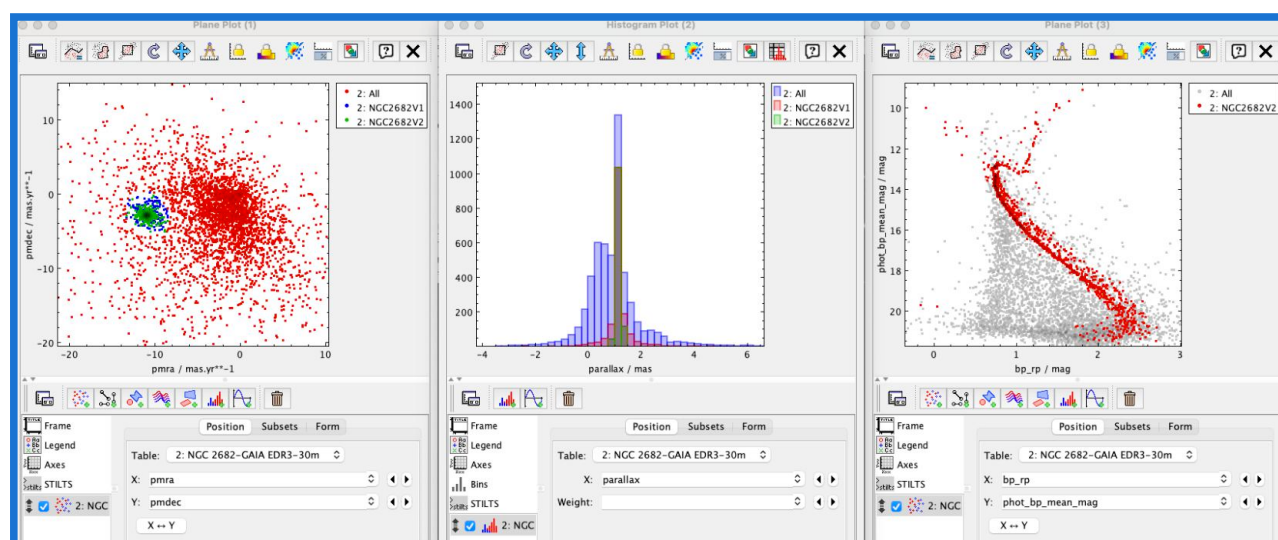


Fig. 18 – Diferentes fases del proceso de caracterización de NGC 2682 (M67) en TOPCAT. El perfil en el diagrama de magnitudes presenta el punto de giro hacia la rama de las gigantes rojas, donde ya hay componentes, más evidente que en el cúmulo anterior. Este cúmulo tiene una edad de unos 2.800 millones de años, (véase el catálogo: 109.45 años).

El número de estrellas resultantes es ahora de 1.192 con un valor medio de paralaje de $1.15 \text{ mas} \pm 0.076$ y en movimientos propios, $pmra = -10.95$ y $pmdec = -2.91 \text{ mas/yr}$.

Algunas conclusiones.- Es seguro que este proceso que hemos seguido puede haber parecido laborioso, e incluso bastante farragoso en ciertos momentos, pero eso ocurre por desconocimiento o falta de dominio de la herramienta utilizada. A medida que se trabaja con TOPCAT y los conceptos en sí mismos empiezan a resultar familiares, este análisis puede hacerse en pocos minutos y puede emplearse algo más de tiempo en ser más exigente y riguroso en la tarea.

Lo que sí se hace evidente es una cierta dosis de '*artesanía*', que depende en buena medida de la experiencia del investigador, como cuando se hace la selección del área de sobre-densidad en movimientos propios o se van aplicando criterios en las diferentes etapas de filtrado. Un proceso así se define como **supervisado** y **parametrizado**, que significa que la actuación sobre los parámetros a tratar es necesaria y necesita la vigilancia y decisión del analista.

En el próximo y último artículo de la serie veremos una nueva herramienta, **Clusterix**, también directamente conectada con TOPCAT, y que se autodefine como no supervisada y no parametrizada (¿?). Veremos entonces en qué medida se simplifica el trabajo.

TRAZADO DE LA LÍNEA MERIDIANA EN EL PATIO ESCOLAR



Antonio Arribas de Costa

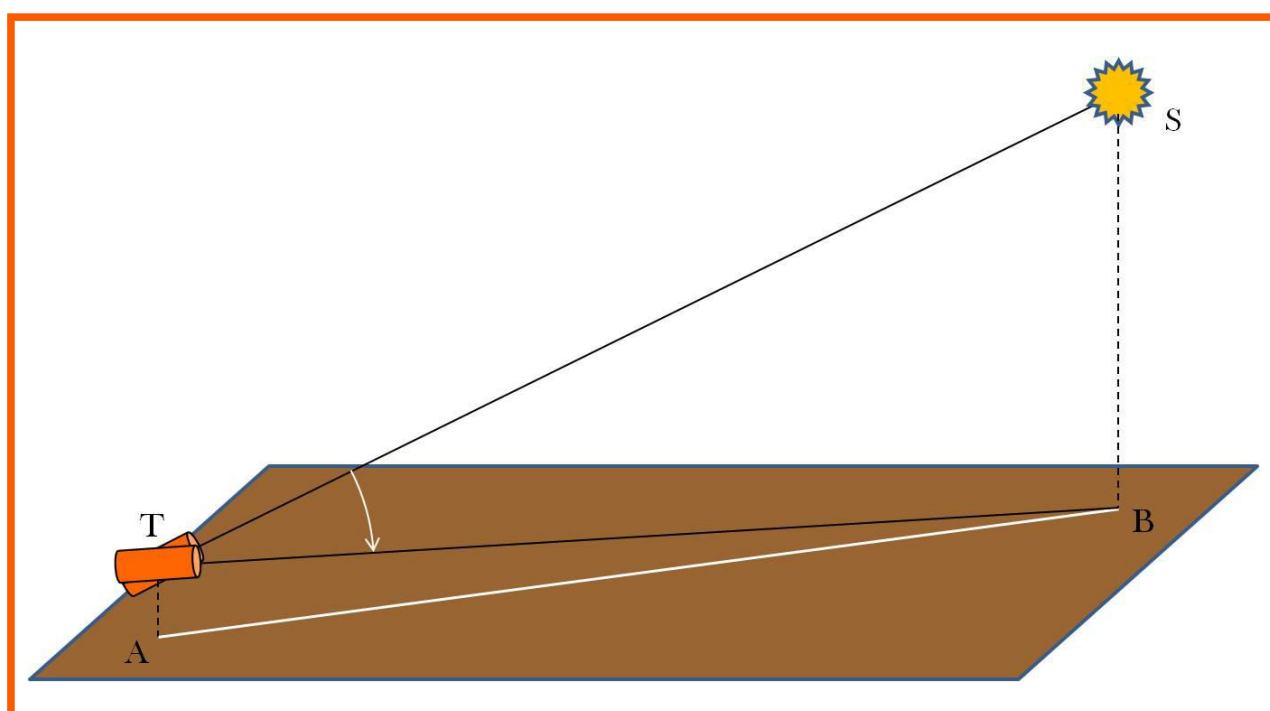


Fig. 1: Esquema del método usado.

Este artículo es el desarrollo de una comunicación presentada en los VIII Encuentros para la Enseñanza de la Astronomía celebrados en Cuenca en julio de 2009.

El método **escolar clásico** para determinar la meridiana del lugar hace uso de las sombras de un gnomon. Como la precisión de este método siempre me ha parecido escasa (altura reducida del estilete, dificultades al precisar bien los extremos de la sombra y al trazar la mediatriz sobre el terreno y con medios rústicos) comencé a buscar alguna otra manera de hacerlo de forma que se mejorase algo la exactitud.

La primera idea fue utilizar una plomada y dibujar su sombra en el suelo a mediodía. Utilicé una plomada casera colgada de una portería de balonmano. Marqué en el suelo, con laca de uñas, dos cruces pequeñas. Una justo debajo de la plomada y otra en el extremo más alejado de la sombra de

la plomada. Encontré varias dificultades: hacía algo de viento con lo que la plomada no dejaba de balancearse; la sombra de la parte alta de la plomada no era nada nítida; la línea así trazada es muy corta (apenas 2 ó 3 metros) y al prolongarla nos podríamos desviar con facilidad. Un resultado lejos de lo pretendido.

Consulté con algunos amigos. Me hablaron de la posibilidad de introducir el peso de la plomada en un cubo de agua, con lo que se conseguía reducir sensiblemente su oscilación. Pensé también en hacerla más larga, colgándola de alguna canasta de baloncesto, o mejor de algún listón que llegara hasta unos 4 m de altura. Tendría que comprar varios listones para unirlos entre sí y conseguir que fuera de esa longitud y colocarlos más o menos verticales sujetos de algún modo que no acababa de ver claro.

Dándole vueltas opté por utilizar un telescopio con montura acimutal, apuntarlo al sol e irlo siguiendo, manteniéndolo en el centro del campo de visión hasta la hora del mediodía, momento en el que dejamos de mover el telescopio. **La idea es simple:** si yo tengo (Fig. 1) un telescopio (T) apuntado al sol (S) al mediodía, la línea TS me señala hacia el sur y el plano vertical que contiene a esta recta es el plano del meridiano. Abatiendo en vertical la línea TS obtendré en el suelo la meridiana. Hay que proyectar verticalmente dos puntos de TS. Uno es muy fácil: basta hacer, con una plomada simple, una señal (A) justo al pie del telescopio. ¿Cómo obtener otro punto B? Moviendo el tubo del telescopio sólo en altura, bajando hasta apuntar al suelo en un punto muy lejano del patio. Haciendo allí una marca ¡ya tendría la meridiana! Como de costumbre la teoría parece diáfana; llevarla a la práctica arrastra algunas complicaciones, claro. Como este

procedimiento me ha resultado satisfactorio, paso a describirlo con más detalle.

La determinación de la hora del mediodía verdadero (el paso del sol por el meridiano del lugar) no tiene muchas complicaciones. Lo primero es conocer la longitud del lugar de la experiencia. Esto se puede obtener a partir de un mapa o plano, pero ahora es más cómodo y efectivo hacerlo utilizando el programa Google Maps, por ejemplo.

Una vez conocida la longitud y elegida la fecha en la que se va a hacer la experiencia hay que averiguar la hora del mediodía, bien manualmente usando algún anuario, bien utilizando algún programa informático de los muchos existentes. Doy por sentado que este punto no reviste problemas para los lectores.

El **punto crucial** para que este método funcione correctamente es conseguir abatir correctamente la línea TS. En particular necesitamos que el telescopio (una vez apuntado al mediodía) “baje” con la máxima precisión en vertical. Esto implica conseguir que quede bien situado en estación acimutal, es decir, con un eje vertical (para moverlo en acimut) y el otro horizontal (para controlar la altura). El que yo tengo en el instituto es un reflector de 11 cm (Fig. 2) colocado sobre una montura que permite disponerlo en forma acimutal o ecuatorial, variando la inclinación



Fig. 2: El telescopio utilizado.

del bloque en el que están situados los dos ejes. Pero el trípode está lejos de la perfección y yo quería asegurarme al máximo de la posición vertical-horizontal de sus ejes.

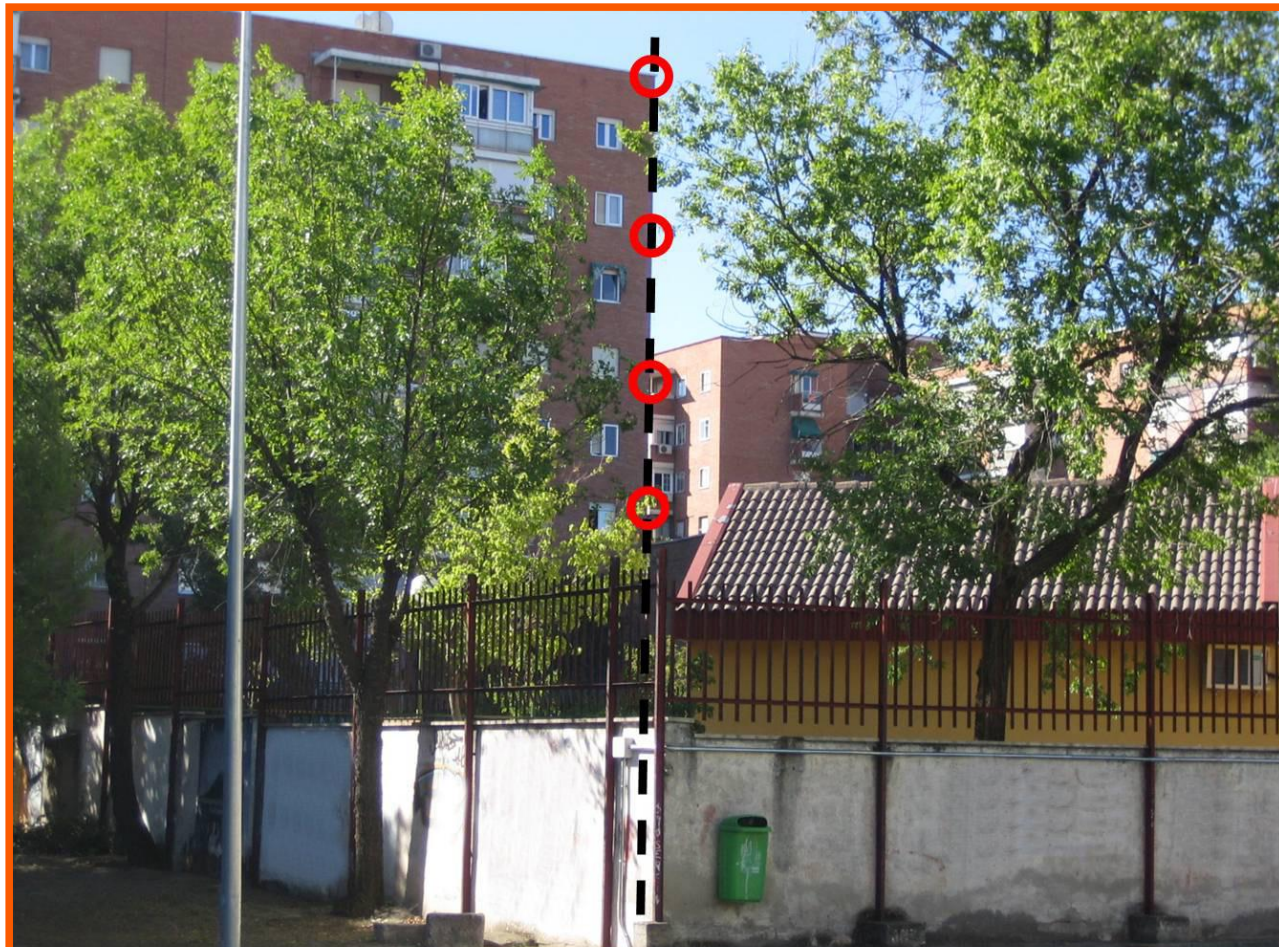
Para ello lo que hice fue **observar la arista** de algún edificio próximo y relativamente alto con el telescopio, utilizando un ocular de pocos aumentos (Fig. 3). Primero apunté al extremo superior de dicha arista; luego fui moviendo el telescopio sólo en altura (hacia abajo), manteniendo fijo el acimut. Si todo está bien, por el telescopio debería ir viendo todo el tiempo la arista del edificio centrada en el campo de visión. Naturalmente esto no sucedió, sino que la arista se fue desplazando ligeramente del centro. Aquí utilicé el método de ensayo y error, corrigiendo la posición del telescopio (retocando la longitud de las patas del trípode o variando la inclinación del

bloque de los ejes), volviendo a recorrer la arista del edificio, corrigiendo de nuevo la montura, probando otra vez a ver si ya se seguía el borde de la casa, y así hasta que di por buena la puesta en estación. Luego la comprobé con otro edificio distinto, situado en otra orientación, por intentar evitar en lo posible cualquier error. Visto que seguía desplazándose también por el borde de este otro bloque de casas, ya desistí de ulteriores mejoras. Desde ese momento no se podía tocar para nada la montura del telescopio.

Así, **la bondad del procedimiento** descansa en la verticalidad de las construcciones, en el buen hacer de los albañiles y maestros de obra.

La **elección de la fecha** para realizar la experiencia no es irrelevante. Puesto que

Fig.3: Recorrido vertical siguiendo la arista de un edificio.



todo se basa en la proyección vertical de la línea TS, conviene que esta línea no esté muy alta; cuanto más baja esté mejor, porque habrá que desplazar menos el telescopio en vertical hasta llegar al suelo. Cualquier pequeña inexactitud que haya en ese movimiento se vería magnificada al recorrer un arco amplio y reducida cuanto menor sea ese desplazamiento vertical. Por todo ello conviene poner en práctica este trabajo en las proximidades del solsticio de invierno, cuando la declinación del sol y su altura meridiana sean mínimas.

Las coordenadas del patio de deportes del Instituto Rey Pastor son: latitud $40^{\circ} 24' 40''$ N y longitud $3^{\circ} 38' 55''$ W. La fecha en la que hicimos el trabajo fue el jueves 28 de noviembre de 2002. Ese día y en ese lugar el momento exacto de culminación del sol fue a las 13:02:32. Tuve la precaución de poner en hora un reloj digital por la mañana, con las señales horarias de la radio.

La puesta en estación del telescopio me llevó bastante tiempo, desde las 12:15 hasta las 12:45. A partir de ese momento, lo apuntamos al sol, hasta que apareció su imagen en la pantalla de proyección acoplada a él (Fig. 4). Una vez que lo conseguimos encargué a dos alumnos que mantuvieran centrada su imagen (en la pantalla) girando con suavidad los dos mandos de movimiento lento, al principio sin mayor cuidado pero con



Fig. 4: El sol en la pantalla.



Fig. 5. Marca bajo el telescopio (punto A).

la máxima atención y retocando la posición casi continuamente a medida que se aproximaba la hora fijada. Llegado ese instante dejaron ya de mover el telescopio. El tubo óptico había quedado orientado hacia el sur. Con una pequeña plomada hicimos una marca en el suelo del patio en la vertical del eje del telescopio (Fig. 5).

Ya solo faltaba abatirlo en vertical. Giré el telescopio hacia abajo utilizando el mando de movimiento lento en vertical hasta observar por el ocular el suelo del patio cerca del borde opuesto, a unos 25 metros. Una alumna se situó en aquella zona y fue colocando un lápiz en vertical sobre el suelo en diferentes posiciones según yo le iba indicando que se desplazara hacia un lado u otro, hasta que el lápiz quedó en el centro de la imagen del ocular (Fig. 6). Otra alumna hizo una pequeña marca, de nuevo con laca de uñas. ¡Trabajo terminado!

Con las dos marcas hechas tendimos una cuerda bien tensa y pintamos la meridiana, previo permiso de las autoridades correspondientes que se mostraron amigables. El resultado (la pintura) no quedó mal, aunque mostraba algunas desviaciones de la recta teórica (Fig. 7).

¿Para qué puede servir? Pues para todo tipo de prácticas relativas a **relojes de sol** y a

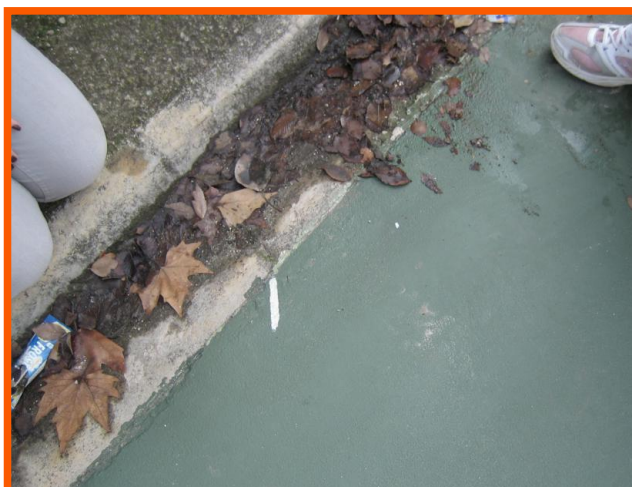


Fig. 6: Marca del punto B.

instrumentos caseros destinados a medir la posición, las coordenadas horizontales, del sol (o incluso de la luna), como el gnomon, el zócalo de Ptolomeo o un teodolito. Los relojes de sol pueden así orientarse adecuadamente con facilidad y nos sirven para comprobar la precisión de la meridiana trazada (Fig. 8): siempre es posible calcular la hora solar verdadera en un cierto momento y verificarla con la que marca el reloj solar.

En años anteriores habíamos construido un **zócalo de Ptolomeo** y lo utilizamos varias veces para medir la posición del sol a lo largo del día, en el horario escolar de 9 de la mañana hasta las 3 de la tarde, obteniendo su acimut y su altura. Luego comprobé las medidas de mis alumnos con programas informáticos y la concordancia fue muy satisfactoria, lo que implica que la meridiana estaba correctamente trazada. En la fotografía (Fig. 9), el zócalo está



Fig. 7: La meridiana pintada.



Fig. 8: Reloj de sol horizontal y reloj de sol ecuatorial anular, en la meridiana.



Fig. 9: El zócalo de Ptolomeo en la meridiana.

orientado de forma que la sombra se extienda hacia atrás sin que el sol de en ninguna de las dos caras verticales; así se

puede medir en el círculo graduado el acimut del sol en ese momento. El norte está a la derecha y el sur a la izquierda; está marcando un acimut de 140° .

A comienzos del curso 2008-2009 organicé otra sesión de observación del sol con mis nuevos alumnos. Al llegar al patio me encontré con la desagradable sorpresa de que había sido repintado y lucía espléndido con un nuevo color y las líneas de los campos de deporte primorosamente señaladas. Naturalmente 'mi' meridiana había sido engullida bajo esa capa de cemento y pintura. Vuelta a empezar. Con la única diferencia de que ahora he decidido no pintarla; dejo las marcas (los puntos A y B) y cada vez que hago alguna sesión práctica tiendo una cuerda fina entre ellas (Fig. 10).



Fig. 10: Cuerda tensa señalando la meridiana.



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

