

revista  
**NaDiR**

**Nº 52**

**IX-2022**

**LAS LÍNEAS DE FRAUNHOFER CON UN DVD**

**LA ECUACIÓN DEL TIEMPO**

**MINERÍA CON DATOS REALES DE  
EXOPLANETAS, EN EL AULA (1ª PARTE)**

**XIV ENCUENTROS EN SEVILLA**



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



**ASOCIACIÓN  
PARA LA ENSEÑANZA  
DE LA ASTRONOMÍA**

[www.apea.es](http://www.apea.es)



## ApEA

NaDiR es una revista de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA) [www.apea.es](http://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:

M. Carmen Botella

Fernando Ordóñez

Vocales:

Esteban Esteban Peñalba

Sensi Pastor Rodríguez

Manu Arregi Biziola

Edición de la revista Nadir:

Ricardo Moreno Luquero

[rmluquero@gmail.com](mailto:rmluquero@gmail.com)

Comité de Redacción:

Manu Arregi y Joaquín Álvaro

Depósito Legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Septiembre 2022

Foto de portada: Cerámica de Teodoro

Gómez Sanchez para los Encuentros.

© ApEA.

## SUMARIO

### ACTIVIDADES DE AULA

#### LAS LÍNEAS DE FRAUNHOFER CON UN DVD

Ricardo Moreno Luquero

3

### DIDÁCTICA

#### LA ECUACIÓN DEL TIEMPO

Esteban Esteban Peñalba

7

### EXOPLANETAS

#### MINERÍA CON DATOS REALES DE EXOPLANETAS, DE APLICACION AL AULA (1ª PARTE)

Joaquín Álvaro Contreras

17

### ASOCIACIÓN

#### XIV ENCUENTROS EN SEVILLA

Fernando Ordóñez Monteagudo

30

### ACTA DE LA ASAMBLEA

Fernando Sánchez Gil

40

**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.

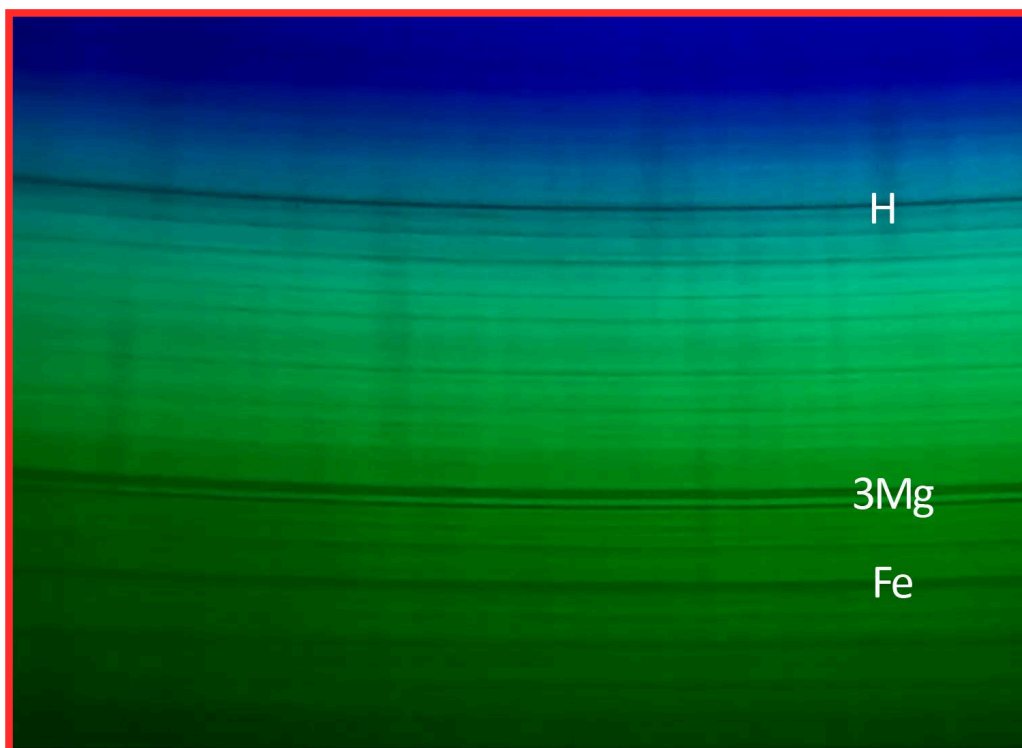
La distribución de **NaDiR** es gratuita entre los socios de **ApEA**, y se puede descargar de su web.

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



## LAS LÍNEAS DE FRAUNHOFER CON UN DVD

Ricardo Moreno Luquero



No es muy conocido que las líneas de Fraunhofer se pueden ver a simple vista, y en muy alta definición, simplemente con un DVD. En este artículo se explica cómo hacerlo. Las imágenes que se adjuntan son de bastante peor calidad que la visión en directo. La dificultad de enfocar la cámara a una imagen reflejada y que está muy cerca, y la respuesta de los chips de las cámaras a los colores, mucho peor que la del ojo humano, hace que las imágenes aquí presentadas sea un pálido reflejo de la visión en directo.

La mayor parte de lo que sabemos de las estrellas y de nuestro Sol procede del análisis de la luz que nos llega desde esos objetos.. Un instrumento clave para ello es el espectroscopio, que con un prisma o una red de difracción, separa la luz en las distintas longitudes de onda.

Si un sólido se calienta, empieza a emitir radiación electromagnética. Si la temperatura

es suficientemente alta, emite luz visible, con un espectro continuo. Sin embargo, si es un gas el que emite luz (excitado de alguna forma, bien por temperatura o por campos electromagnéticos elevados), su espectro es discontinuo, con una serie de rayas o bandas que dependen de la composición del gas. Por último, si una luz con espectro continuo atraviesa un gas frío, este atrapa la misma radiación que emite cuando está excitado, y el



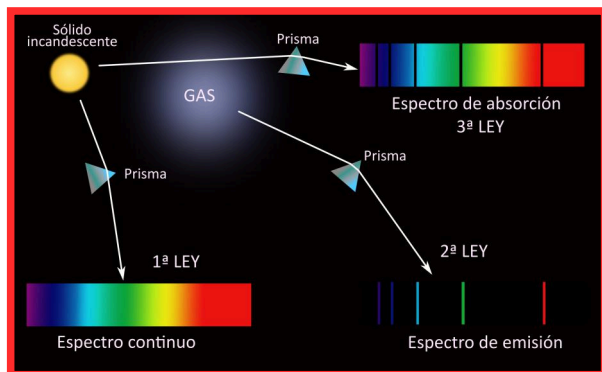


Fig. 1. Las tres leyes de Bunsen de la espectroscopía.

resultado es un espectro de absorción, continuo con rayas negras (Fig. 1).

El interior del Sol o de una estrella tiene tanta presión y temperatura que emite como un sólido, es decir, con un espectro continuo. Sin embargo, las capas superficiales de la estrella, que son de gas, absorben frecuencias que corresponden a los elementos que forman esas capas. En el Sol, esas líneas se llaman líneas de Fraunhofer (Fig 2), en honor de este científico alemán que las describió en 1814. El nombre Helio, que significa Sol en griego, tiene su origen en el Sol, pues fue en el espectro de su luz donde se descubrió por primera vez este elemento químico, antes de encontrarlo en la Tierra.

El espectro de la luz de las estrellas sirve también para detectar exoplanetas por el método de la velocidad radial. Estudiando el desplazamiento periódico al rojo y al azul de las líneas del espectro de la luz de una

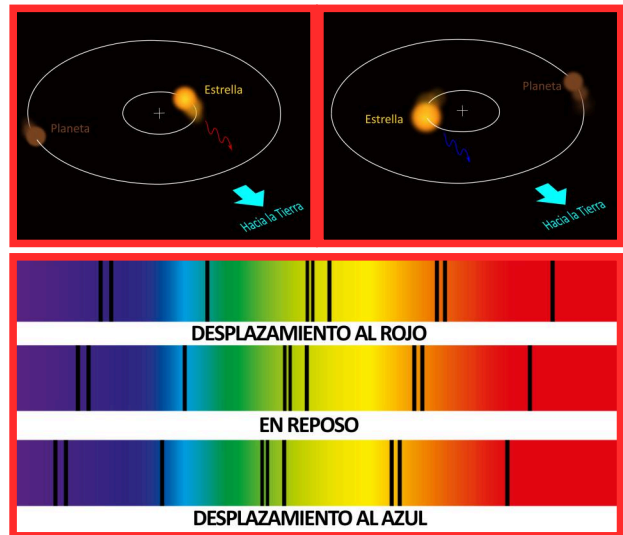


Fig. 3. Detección de exoplanetas por el método de la velocidad radial, por el efecto Doppler.

estrella, debido al efecto Doppler (Fig. 3) , se puede detectar que hay un planeta grande en sus cercanías.

Por otra parte, si un planeta pasa por delante de la estrella, su atmósfera añade nuevas líneas al espectro de absorción que nos llega, y se pueden analizar los elementos que hay en la atmósfera (Fig. 4).

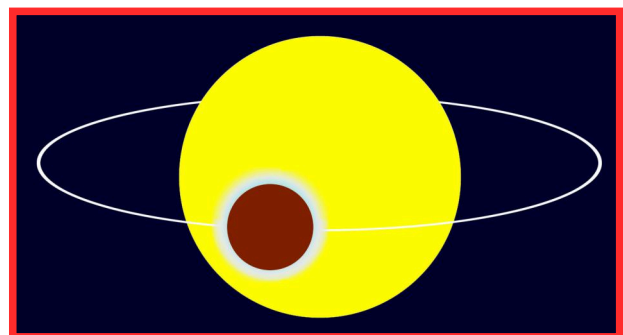
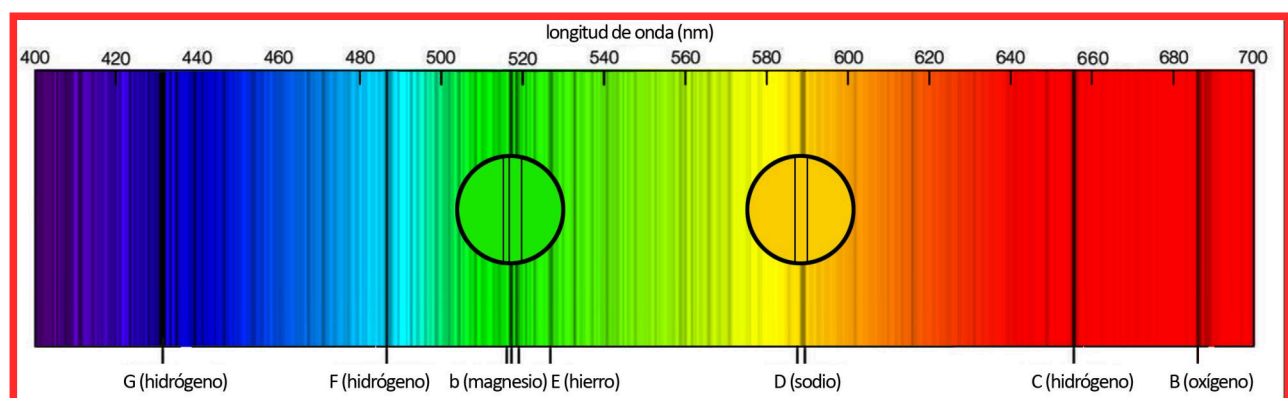


Fig. 4. La atmósfera del planeta influye en el espectro de absorción de la luz de la estrella

Fig. 2. Espectro de absorción del Sol, con el triplete del Mg y el doblete del Na.



## Cómo observar las líneas de Fraunhofer con un DVD

No es muy conocido que las líneas de Fraunhofer se pueden ver a simple vista en la reflexión de la luz solar en un DVD, gracias a las 1300 líneas/mm que tiene.

Si nos ponemos frente al Sol, con una DVD en la mano y con la parte reflectante hacia arriba, veremos enseguida un reflejo intenso y coloreado de forma radial (Fig 5.).



Fig. 5. Reflejo del Sol.

Si nos fijamos con detenimiento, vemos que contiene dos espectros, el de primer orden de reflexión, y otro más externo, debido al segundo orden de reflexión. Este segundo es menos brillante, y es el que usaremos, sin peligro para la vista (Fig. 6).

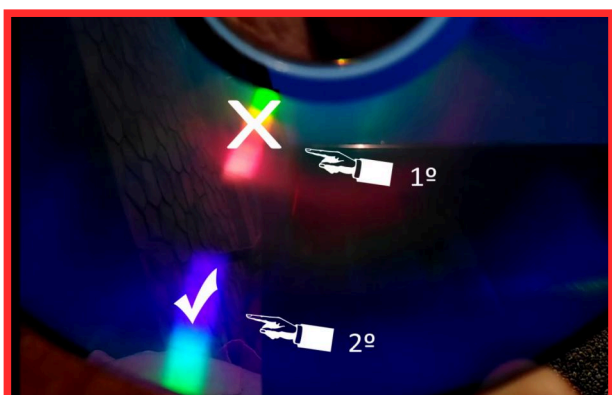


Fig. 6. Usaremos el reflejo de 2º orden, que es menos brillante que el de 1º orden.

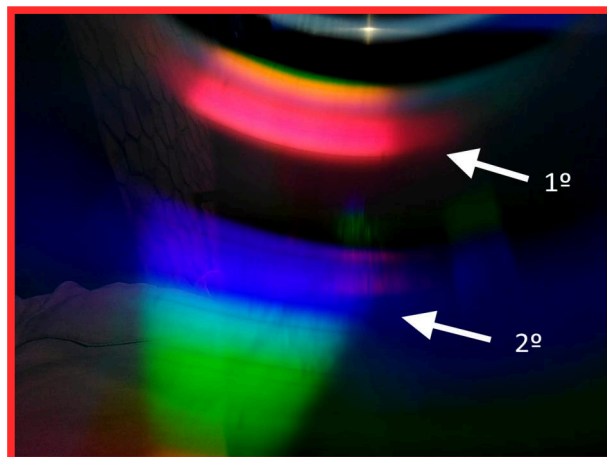


Fig. 7. Al acercarnos, el reflejo se ensancha y se ven las líneas de Fraunhofer.

Si nos vamos acercando a ese reflejo, se va ensanchando (Fig. 7), y podemos ver que contiene unas líneas negras que se ven muy nítidas. Variando la posición del ojo (en general, a muy pocos cm del DVD), podemos recorrer todo el espectro visible, lleno de

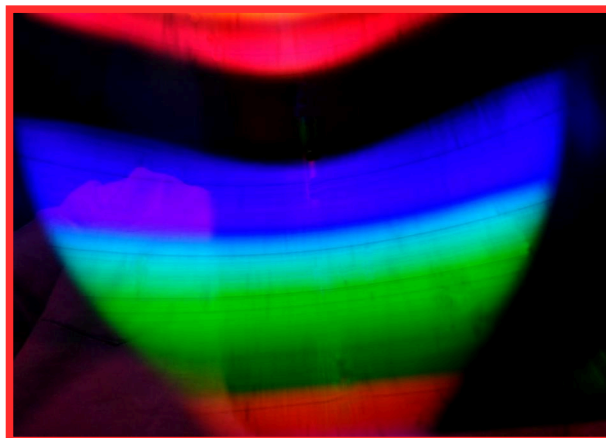


Fig. 8. En la zona azul se distingue la línea G del hidrógeno, en la azul clara, la línea F del hidrógeno, en la zona verde el triplete del magnesio, y la línea E del hierro., y en la zona anaranjada, la línea D del sodio. En el rojo también se pueden ver las líneas C y B, del hidrógeno y del oxígeno respectivamente.

líneas negras de distinta intensidad (Fig. 8), que son las líneas de Fraunhofer. Son fáciles de ver en la zona verde el triplete del magnesio, y en la zona amarilla, el doblete del sodio. Se ven todas las líneas de Fraunhofer, algunas de las cuales son la serie de Balmer del Hidrógeno (Fig. 9).



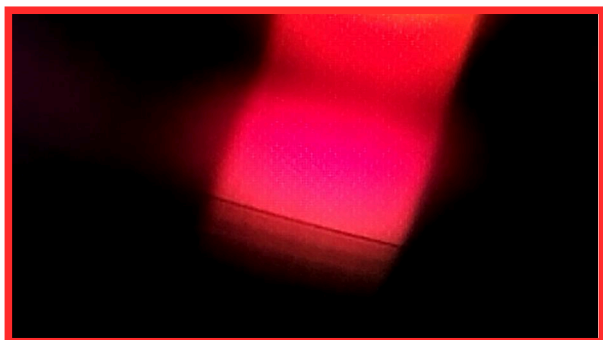


Fig. 9. Líneas de Fraunhofer en la zona roja.

El reflejo de primer orden se puede observar de cerca al atardecer, cuando la luz solar que nos llega tiene menos intensidad. Comparándolo con el de segundo orden, presenta un espectro más brillante pero con las líneas menos separadas. También es interesante observar que aparecen algunas líneas nuevas, correspondientes a la atmósfera terrestre, más notables cuanto más atmósfera atraviesa la luz solar.

### Ver otros espectros

Este espectroscopio tan sencillo se puede usar también para observar la luz de farolas de la calle (Fig. 10) que usen bombillas de descarga, o tubos fluorescentes, que contienen gases. Las líneas de emisión son notables (Fig. 11).

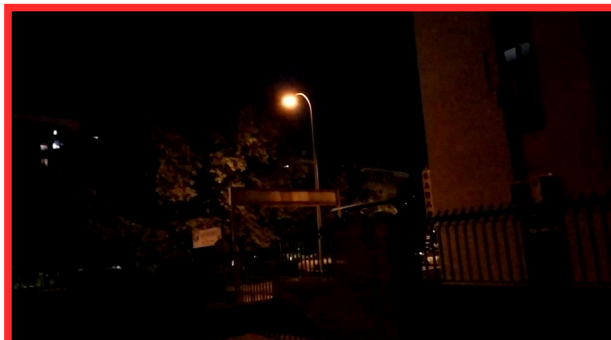


Fig. 10. Farola con bombilla de descarga (naranja). Al verla desde lejos, es casi un foco puntual y no se necesita rendija.

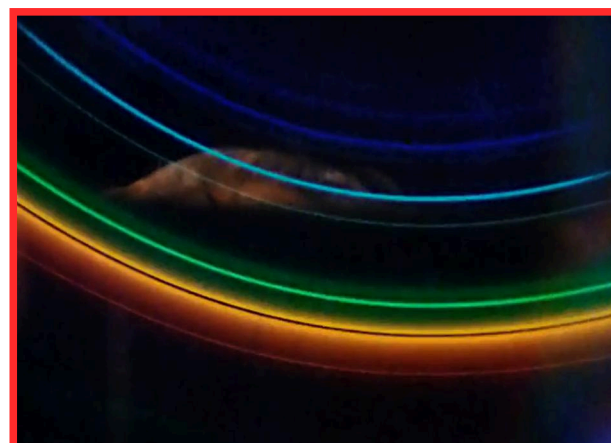
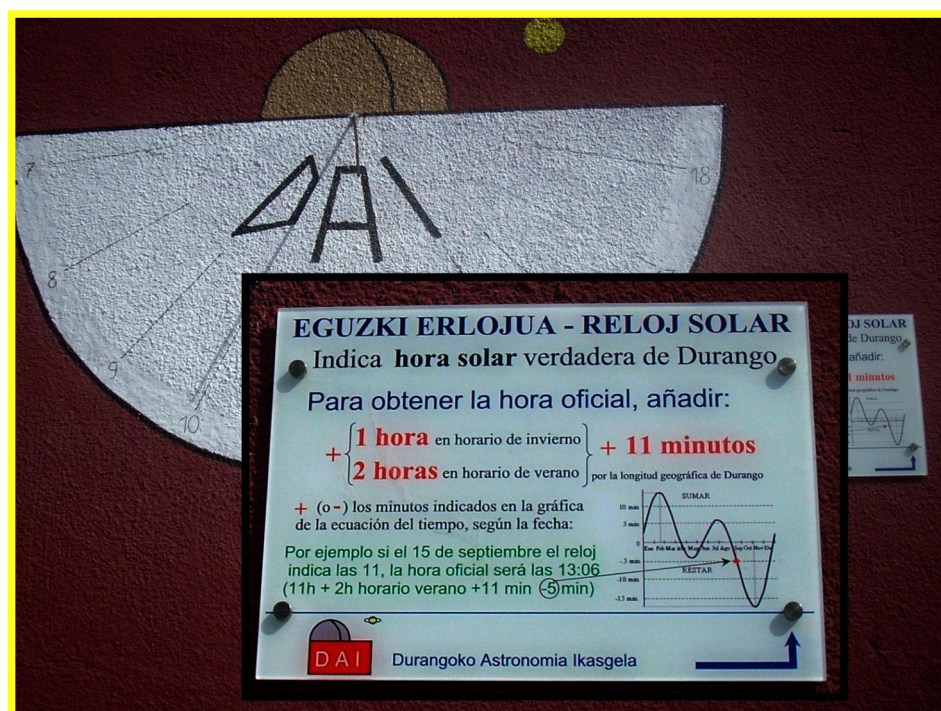


Fig 11. Espectro de la luz de la farola con un DVD.

Para que las líneas sean nítidas, basta con que la bombilla esté a varios metros de distancia, para que el foco sea casi puntual (Fig. 10). Se pueden distinguir de las bombillas led, que dan un espectro prácticamente continuo.

## LA ECUACIÓN DEL TIEMPO

Esteban Esteban Peñalba



Cuando los grupos de visitantes del aula de Astronomía de Durango llegaban a la instalación, lo primero que se les enseñaba, antes de entrar en el aula, era un reloj solar colocado en el exterior. A veces antes de empezar, alguien decía:

- ¡Ese reloj va mal!
- No has leído el cartel: Los relojes solares marcan la hora solar verdadera, que es diferente de la hora legal. Hay que añadir una o dos horas ... y 11 minutos por la longitud geográfica y sumar o restar unos minutos según la fecha, como recoge ese gráfico.
- Y eso ¿por qué?
- Porque aunque hemos oído siempre que el día dura 24 horas, desde que el Sol está justo en el Sur hasta que vuelve a estarlo al día siguiente, normalmente pasan unos segundos más o menos.
- ¡Venga ya! Y además que ahí marca muchos minutos.
- Esos segundos se van acumulando durante varios días y se produce ese desfase que recoge ese gráfico de la llamada “Ecuación del tiempo”
- ¡Ah, vale! Esa curva rara... Y ¿de dónde sale eso?



Efectivamente, la ecuación del tiempo es algo poco conocido, que en la práctica aparece en el siglo XVIII cuando los relojes mecánicos alcanzan suficiente precisión y queda evidente que no van a la par con los de Sol, aunque sus valores podían ser calculados teóricamente ya un siglo antes utilizando las leyes de Kepler.

Tiene un interés didáctico importante no solo en el tema de la utilización de relojes de sol, sino también en aspectos de mecánica celeste, la aparente discordancia entre la fecha de los solsticios y aquella en que el Sol sale o se pone antes o después, o como consecuencia observable de la excentricidad orbital de la Tierra y de la segunda ley de Kepler.

El origen inmediato de la ecuación del tiempo es que eso de que "un día dura 24 horas" es solo un promedio de todos los días del año. Hay días más largos que esas 24 horas, (como máximo 30 segundos más), y otros más cortos, pero tanto unos como otros van todos seguidos agrupados en varios periodos con lo que la diferencia se va acumulando. En el primer caso los relojes se van adelantando a la posición del Sol, en el segundo caso atrasando, y la diferencia con la hora solar llega a ser de algo más de 14 minutos por un lado (el 12 de febrero el mediodía en el meridiano cero ocurre a las 12:14:13 T.U.), o más de 16 minutos por el otro (el 4 de noviembre a las 11:43:34 T.U.) A lo largo del año se compensan unos con otros y al final el promedio son las conocidas 24 horas.

Pero por otra parte hay que aclarar que esas 24 horas no es la duración de una rotación.

### Día sidéreo y día solar

Consideremos la rotación y traslación de la Tierra, y el concepto de día, mediante el siguiente gráfico (Fig.1):

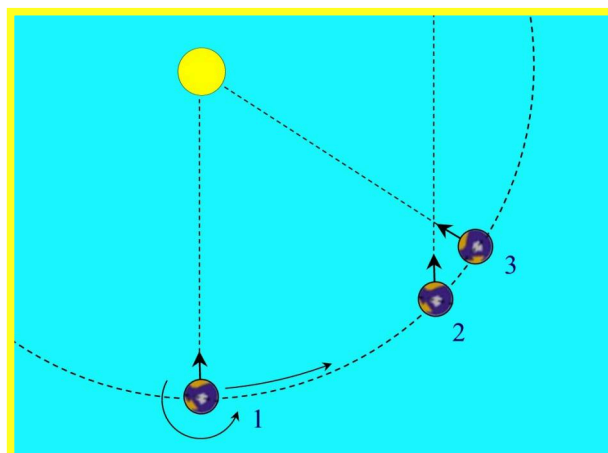


Fig. 1: En la posición 1 es mediodía en el punto donde arranca la flecha. En 2 se ha completado una rotación porque la flecha indica la misma dirección que al principio. En 3 se ha completado el día al cabo de unas 24 horas porque vuelve a ser mediodía en el mismo punto ya que vuelve a estar dirigido hacia el Sol.

La rotación terrestre tomando como referencia las estrellas es prácticamente uniforme salvo ligerísimas variaciones de algún milisegundo de una rotación a otra, siendo su duración (del paso de 1 al 2) de 23 horas y 56 minutos, redondeando a minutos, y a este intervalo de tiempo se le llama "día sidéreo".

De la posición 2 a la 3 pasan unos cuatro minutos pero curiosamente, y como luego se verá, este intervalo de tiempo es variable, con lo que la duración del paso 1 al 3 en total será de unas 24 horas con unas diferencias de hasta 30 segundos de más o 21 segundos de menos, y eso es el "día solar"

Esta situación puede representarse de otra manera, de acuerdo a lo que vería un

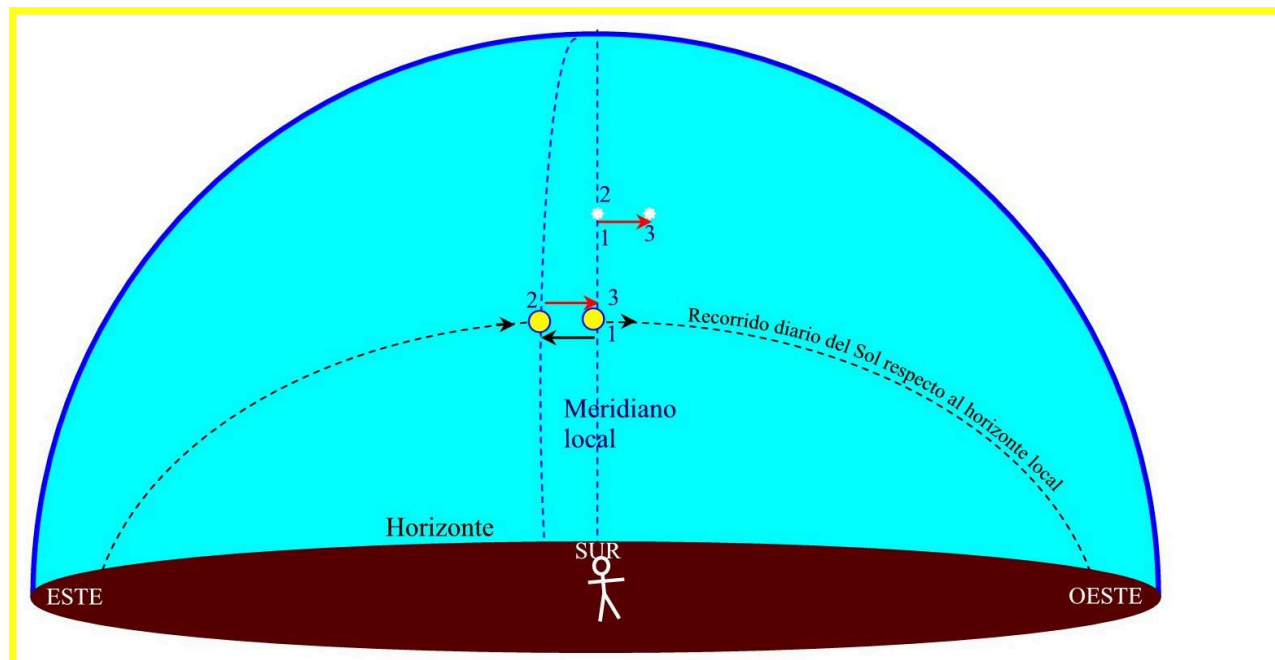


Fig. 2.

observador desde la Tierra, según el gráfico de arriba (Fig. 2), donde las posiciones 1, 2 y 3 se corresponden también con las del anterior.

Comenzando al igual que antes a mediodía en la posición 1 con el Sol en el meridiano local, o bien con una estrella en ese meridiano, cuando la Tierra ha dado una vuelta sobre su eje después de completarse el día sidéreo (en la posición 2) volveremos a ver las estrellas donde estaban al comienzo si hemos empezado de noche. Pero si el comienzo ha sido de día veremos que el Sol aparece desplazado un poco hacia el Este, porque en realidad se ha movido la Tierra un poco en su órbita y ya no está en la posición inicial (o dicho de otra forma, porque visto desde aquí el Sol se ha movido en la eclíptica hacia el Este)

Tiene que continuar rotando la Tierra aproximadamente unos cuatro minutos más hasta la posición 3 para ver al Sol nuevamente en la posición inicial: Si hemos empezado a mediodía con el Sol en el meridiano, al cabo

de esas aproximadamente 24 horas volverá a estar ahí y se habrá completado un “día solar”.

Como se ha dicho, la duración del paso 2 al 3 en realidad es variable y su variación determinará días más largos o más cortos dando origen, en definitiva, a la ecuación del tiempo, y no deja de ser curioso el que de los dos intervalos con que se completa el día solar, sea el más pequeño (con mucha diferencia) el que determine su valor mayor o menor de 24 horas. Al intervalo de esas 24 horas exactas, que es solo una media de todos los días del año, se le llama “día medio”

### Motivos de la ecuación del tiempo

Hay dos causas que originan estos desfases y con ello dan lugar a la ecuación del tiempo: por un lado la diferente velocidad de nuestro planeta en su camino alrededor del Sol motivada por la forma ligeramente elíptica de su órbita según la 2ª ley de Kepler, y la inclinación del eje de rotación de la Tierra, por otro.

La segunda tiene más influencia que la primera, del orden de los 20 y 10 segundos como máximo, respectivamente.

#### A) Variación de la duración del día solar por la elipticidad de la órbita y la segunda ley de Kepler.

Los días próximos al perihelio son más largos que en el afelio por la mayor velocidad de la Tierra al recorrer su órbita.

Según la Tierra se encuentre próxima al perihelio o al afelio (más cercana o más lejana al Sol), necesitará unos segundos más de esos 4 minutos citados, o unos segundos menos, como se aprecia en el gráfico de la Fig 3.

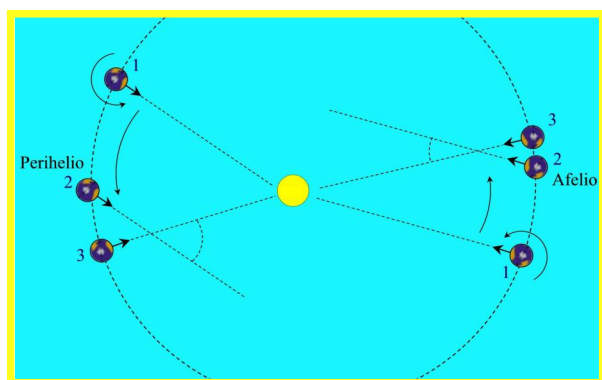


Fig. 3: Posición 1: comienzo del día y de la rotación, 2: se completa la rotación, 3: se completa el día.

En las proximidades del perihelio la Tierra se traslada más deprisa, de acuerdo con la segunda ley de Kepler. En una rotación (paso de 1 a 2) se ha movido más respecto al Sol (visto desde aquí el Sol se ha desplazado más) y el ángulo que debe girar (de la posición 2 a la 3) para completar el día y que la flecha vuelva a apuntar al Sol, es mayor que en el afelio y tardará más que los 4 minutos de media.

Por contra, cerca del afelio el día se completa antes de esos 4 minutos porque la traslación de la Tierra es más lenta, y así los días serán más cortos.

#### B) Variación de la duración del día solar por la proximidad a solsticio o equinoccio

Los días próximos a los equinoccios son más largos que en los solsticios.

Quizás este motivo no sea tan fácil de comprender como el anterior, aunque paradójicamente su efecto es mayor. La proximidad al solsticio o equinoccio también hace que ese tiempo que le falta al día sidéreo para completar un día solar sea diferente a esos 4 minutos de media, y depende de la situación del Sol en la esfera celeste, que hace que el ángulo que debe recorrer sobre la eclíptica sea variable.

A causa del movimiento de traslación de la Tierra, desde aquí el Sol se va desplazando sobre las constelaciones de fondo siguiendo la línea de la Eclíptica, inclinada  $23.5^\circ$  respecto al ecuador celeste.

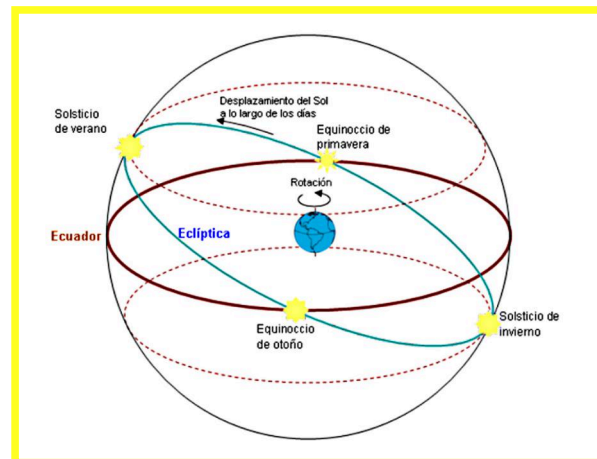


Fig. 4: Aunque sabemos que la Tierra no es el centro alrededor del cual se muevan los astros, este "modelo de las dos esferas" ayuda a entender la situación como la vemos desde aquí.

En los equinoccios la eclíptica atraviesa el ecuador y en sus inmediaciones está inclinada respecto a éste, mientras que en los solsticios las dos líneas son casi paralelas. Este será el motivo que ocasione la diferente duración de los días.



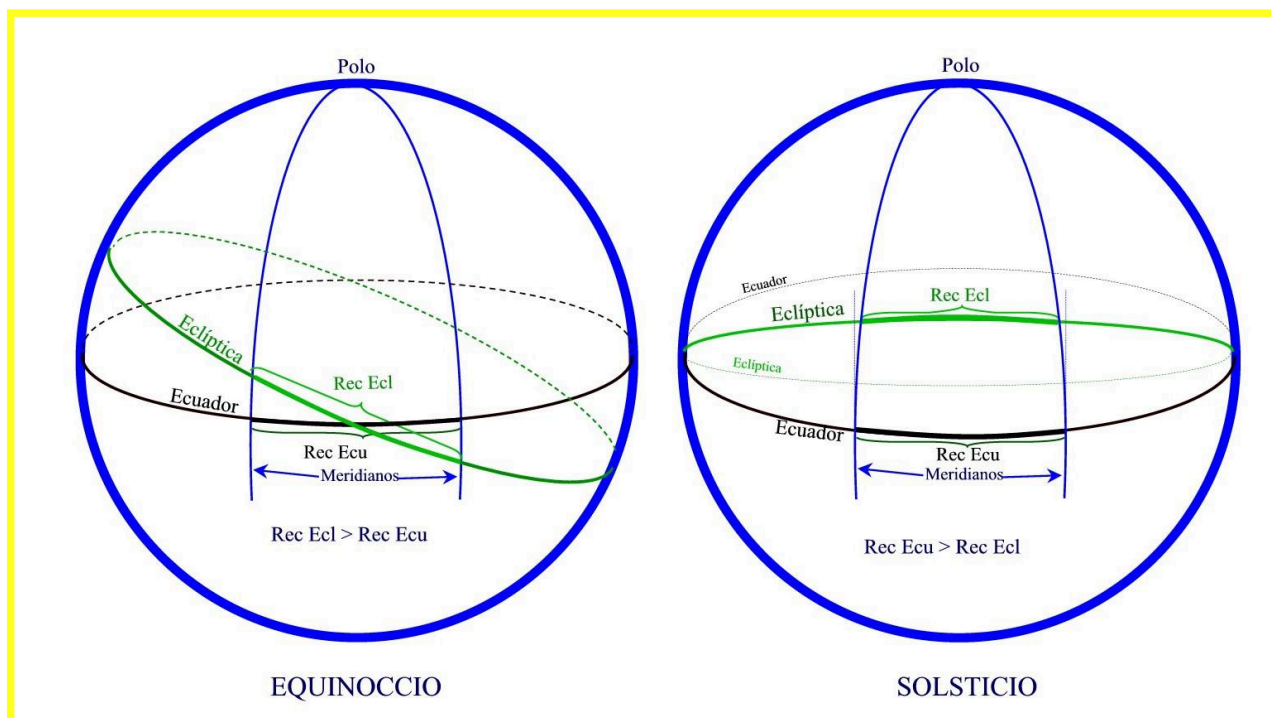


Fig. 5.

Por ello, y tal como se aprecia en las Fig. 5 a 8, en los equinoccios el recorrido que debe realizar el Sol en la eclíptica (Rec Ecl) entre dos meridianos es mayor que si se moviera en el ecuador (Rec Ecu) mientras que en los solsticios es menor porque el espacio entre meridianos (en forma de huso) disminuye al alejarse del ecuador.

La Tierra aproximadamente recorre en su órbita  $1^\circ$  cada día (porque en 365.25 días recorre los  $360^\circ$  y  $360^\circ / 365 \text{ días} = 0.986^\circ$ . O cada día sidéreo:  $360 / 366.25 = 0.983^\circ$ ) por ello desde aquí vemos recorrer al Sol casi  $1^\circ$  cada

día en la eclíptica. En los siguientes razonamientos se redondea a un grado para mayor claridad.

Tal como se aprecia en la Fig. 6, si suponemos un Sol ficticio situado siempre en el ecuador, y en un momento pasa por nuestro meridiano en el punto 1, en un día sidéreo (23 h 56 m) recorrerá  $1^\circ$  por la traslación de la Tierra y se situará en 2, y en otros cuatro minutos más debido a la rotación lo veríamos describir ese grado y pasar de nuevo por el meridiano en 3, con lo que se cumpliría el día solar de 24 horas.

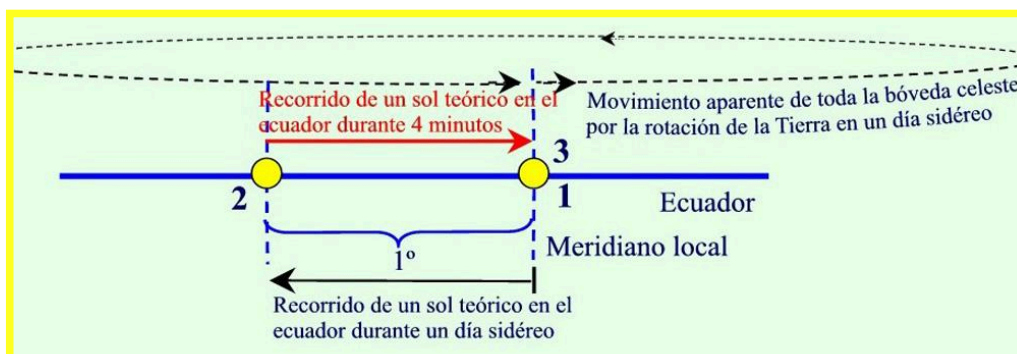


Fig. 6

Pero el Sol no se mueve en el ecuador sino en la eclíptica.

En el solsticio, tal como se recoge en el la Fig. 7, al cabo de un día sidéreo se habrá movido un grado en la eclíptica, desde 1 hasta 2, que como se ha visto y se aprecia también en el gráfico, ese arco mide más de un grado medido según los meridianos, por lo que necesitará más tiempo de la media (más de los 4 minutos) para llegar de 2 a 3 por la rotación de la Tierra, y así llegará más tarde al meridiano y el día solar será más largo de 24 horas.

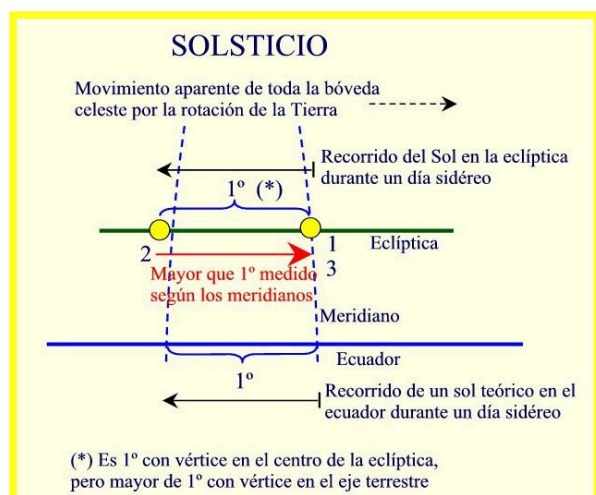


Fig. 7

En los equinoccios (Fig. 8), esa distancia, después de un día sidéreo, aun habiéndose movido un grado en la eclíptica, lo ha hecho en diagonal y se habrá apartado menos de un grado del meridiano, como se ve en el siguiente gráfico por lo que el Sol llegará antes al meridiano (necesitará menos de 4 minutos) y el día solar será más corto.

En días próximos al equinoccio, aunque el Sol no está en el ecuador, la situación es similar.

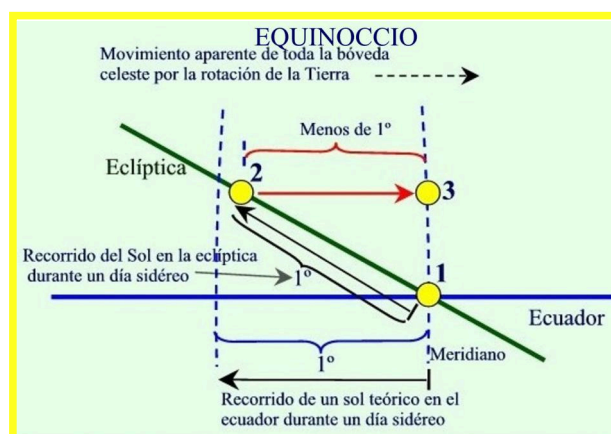


Fig. 8

En definitiva, en ambos casos en un día sidéreo el Sol se mueve un grado en la eclíptica de 1 a 2, y la clave está en los aproximadamente 4 minutos que le faltan para volver a pasar por el meridiano en 3 y completarse el día solar (el tramo representado en rojo en los gráficos). En los días próximos a los solsticios será más porque le falta recorrer más espacio con lo que el día solar será más largo, y en los días próximos a los equinoccios será menos porque tiene menos espacio por recorrer.

Debido a la suma de los efectos que producen estas dos circunstancias recogidas en los apartados A) y B), cada día tiene una duración ligeramente diferente de 24 horas.

### Cuantificación de estos efectos

Si se consideran numéricamente los resultados de los dos efectos y su suma, se obtiene la siguiente gráfica donde se recogen los segundos que cada uno de ellos hace aumentar (o disminuir) la duración del día (día más noche), a lo largo del año (Fig. 9):

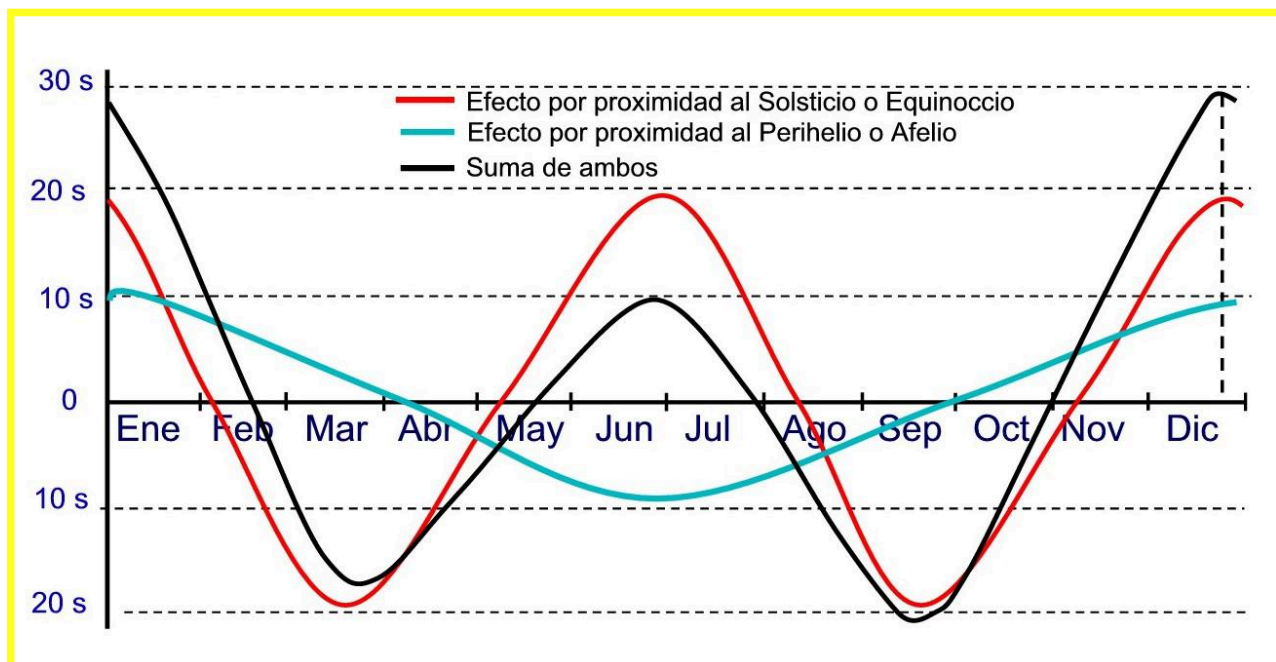


Fig. 9

Como puede apreciarse en la Fig. 9, la influencia del solsticio-equinoccio es mayor que la del perihelio-afelio tal como se ha dicho, aunque intuitivamente parece más difícil de interiorizar, pero lo que determina la duración de cada día es la suma de ambas, indicado por la línea negra, que para mayor claridad se recoge por separado en la Fig. 10:

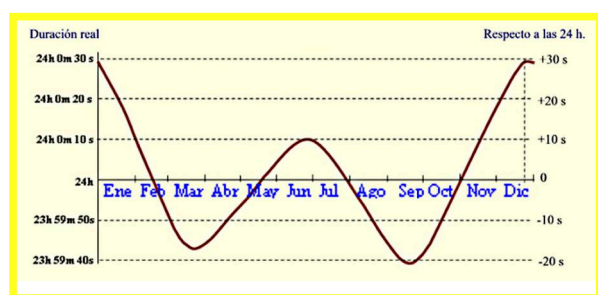


Fig. 10: Duración del día desde un paso del Sol por el meridiano local hasta el siguiente (día más noche), según la fecha.

Se ve que, en los solsticios, los días son más largos. Pero de los dos solsticios, el de diciembre (solsticio de invierno en el hemisferio Norte) está muy cerca del perihelio, que actualmente ocurre hacia el 2 de enero, y al sumar los dos efectos el día 22 de diciembre (a veces el siguiente) resulta ser el más largo del año con una duración de 24 horas y 30 segundos.

Curiosa casualidad porque ese es el "día" más largo considerando día+noche, pero es el más corto en el hemisferio norte si solo se considera el día excluyendo la noche (el tiempo en que el Sol está por encima del horizonte). En el hemisferio sur las dos circunstancias coinciden.

En el gráfico de la Fig. 10, la escala de la derecha nos da, para cada día, la diferencia de su duración real respecto a las 24 horas,



teniendo un valor máximo de 30 segundos por exceso, tal como se ha dicho, o 21 por defecto. Valores estos no muy elevados, pero como varios grupos de días más largos de las 24 horas (o más cortos) van todos seguidos, se va acumulando el adelanto o retraso en cada fecha de la hora solar media local respecto a la hora solar verdadera que marcan los relojes de Sol, que llega a ser de hasta 16 minutos y eso constituye el origen de la "Ecuación del tiempo", cuya gráfica es la siguiente (Fig. 11):

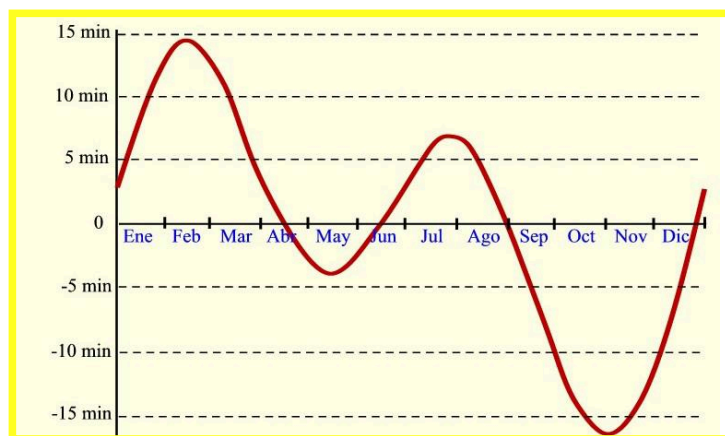


Fig. 11

Esta gráfica de la ecuación del tiempo proporciona la diferencia entre el tiempo medio y el tiempo verdadero a lo largo del año y suele utilizarse (sumada al ajuste al huso o zona horaria correspondiente según la longitud geográfica) para calcular la hora oficial a partir de la que marca un reloj de sol, y en ocasiones se representa invertida, o con los signos + y - cambiados.

También es muy frecuente encontrarla "doblada" y girada, dando una figura en forma de "número ocho" a la que se suele denominar "analema" en muchos relojes solares para realizar la corrección directamente, o en montajes fotográficos con sucesivas tomas a la misma hora.



Fig. 12. Ejemplos de analemas.

## Solución para corregir la ecuación del tiempo en un reloj de sol analemático

Un ejemplo clásico en el que aparece la ecuación del tiempo en forma de analema es en los relojes llamados precisamente “analemáticos”, donde la propia sombra del usuario indica la hora (Fig. 13).



Fig. 13

Sin embargo, y a pesar de que su gran difusión pudiera hacer pensar lo contrario, este analema solo corrige correctamente la hora a mediodía:

Por ejemplo, y tal como se representa en el gráfico de la Fig. 14, el día 1 de agosto el Sol atrasa 6 minutos. Entonces el usuario, en vez de colocarse en la posición A se coloca en B (a su misma altura pero en el analema) y adelanta esos minutos corrigiendo el

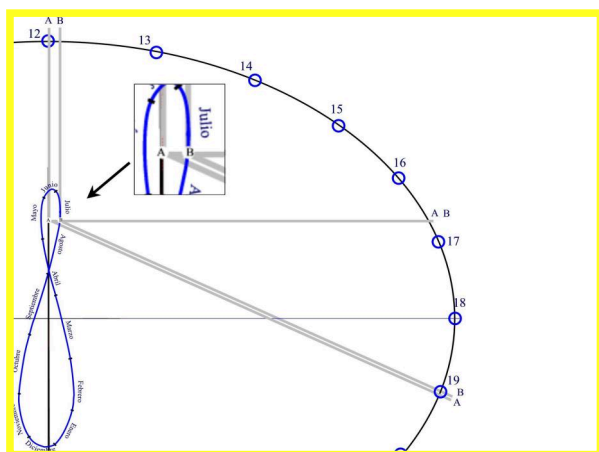


Fig. 14

desajuste. Pero a otras horas no corrige tanto, y cuando el Sol está en el este o el oeste (sobre las 17 horas) no corrige nada ya que las dos sombras A y B coinciden.

Pero incluso cuando el Sol tiene componente norte, por ejemplo a las 19 horas, la sombra B en vez de adelantar ¡retrasa la hora que marca el Sol! aumentando el desfase. ¡Es peor el remedio que la enfermedad!

Debido a la forma del analema, este desfase no es muy grande en el hemisferio norte porque la mayor amplitud de esta curva corresponde a meses de otoño e invierno cuando el Sol nunca tendrá componente norte, pero sí lo será en el sur porque allí es verano, como se ve en la Fig. 15:

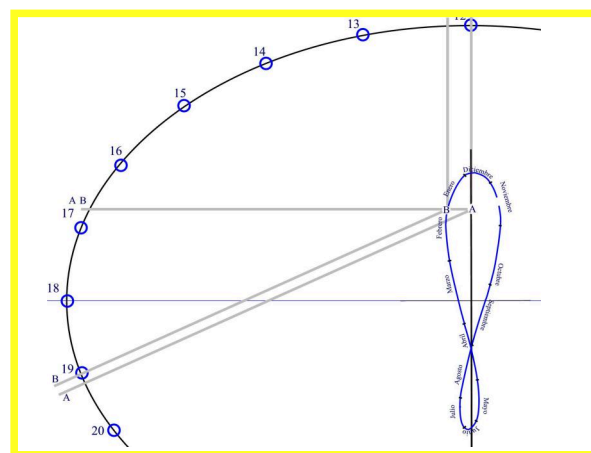


Fig. 15

Por ejemplo el 1 de enero al colocarse en B en vez de en A, a las 19 horas no solo no corrige adelantando los 15 minutos que atrasaría el reloj por la ecuación del tiempo, sino que retrasa aproximadamente otros 10 con lo que el error será de ¡25 minutos!

Si realmente no corrige e incluso a veces empeora la lectura ¿Sería conveniente eliminar el analema en los relojes analemáticos? Parece una incongruencia.

Se puede intentar buscar una solución, que en principio se antoja imposible porque parece que habría que dibujar un analema por cada hora en cada mes, pero... a veces los

problemas se solucionan como por arte de magia (Fig. 16).

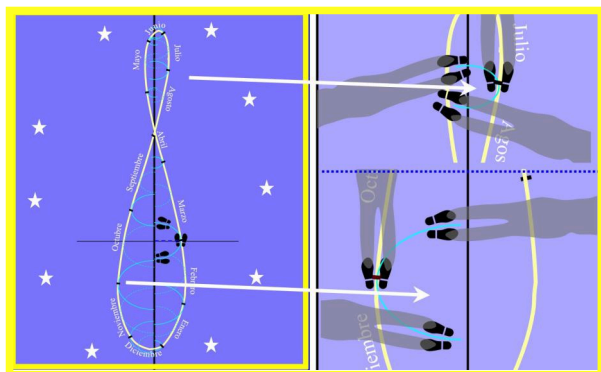


Fig. 16

En determinados puntos del analema, (por ejemplo a principio y en el centro de cada mes) se trazarán arcos de elipse, semielipses, o incluso elipses casi completas de la misma excentricidad que la que contiene las horas, con el vértice en ese punto y el semieje menor sobre la línea meridiana.

Habrá que empezar colocándose en el mismo lugar que con el analema tradicional, pero luego moverse en la semielipse y girarse de forma que se mire hacia donde está la

sombra, todo ello manteniendo un pie a cada lado de la citada semielipse, tal como se ha representado en el gráfico para el 1 de agosto y el 1 de noviembre. En este caso la corrección siempre es adecuada: el analema tradicional no corregía nada a primeras y últimas horas pero ahora sí se adelantarán o retrasarán los minutos correspondientes en cualquier caso.

En el hemisferio norte (Fig. 17):

Colocándose en los puntos C de la semielipse a mediodía funciona igual que con el método tradicional adelantando unos minutos, y lo sigue haciendo a las 17 h. cuando antes no corregía, y también a las 19 cuando atrasaba en vez de adelantar.

En el hemisferio sur (Fig. 18):

En las fechas en que se producían los mayores errores, como al comienzo de febrero cuando la ecuación del tiempo ronda los 15 minutos, que antes, hacia las 19 h., adelantaba en vez de retrasar, ahora realiza la corrección de manera adecuada, colocándose en el punto C en vez de en A.

Fig. 17: Hemisferio norte

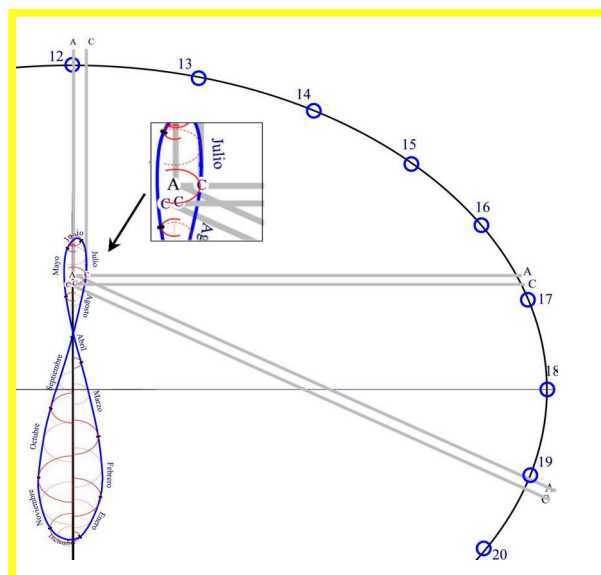
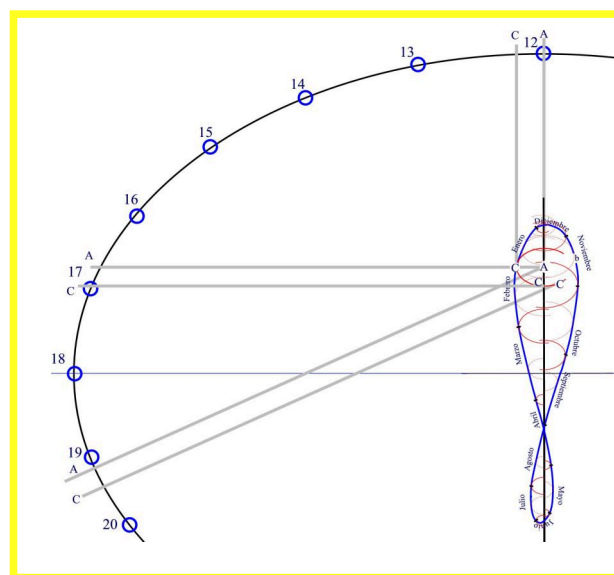


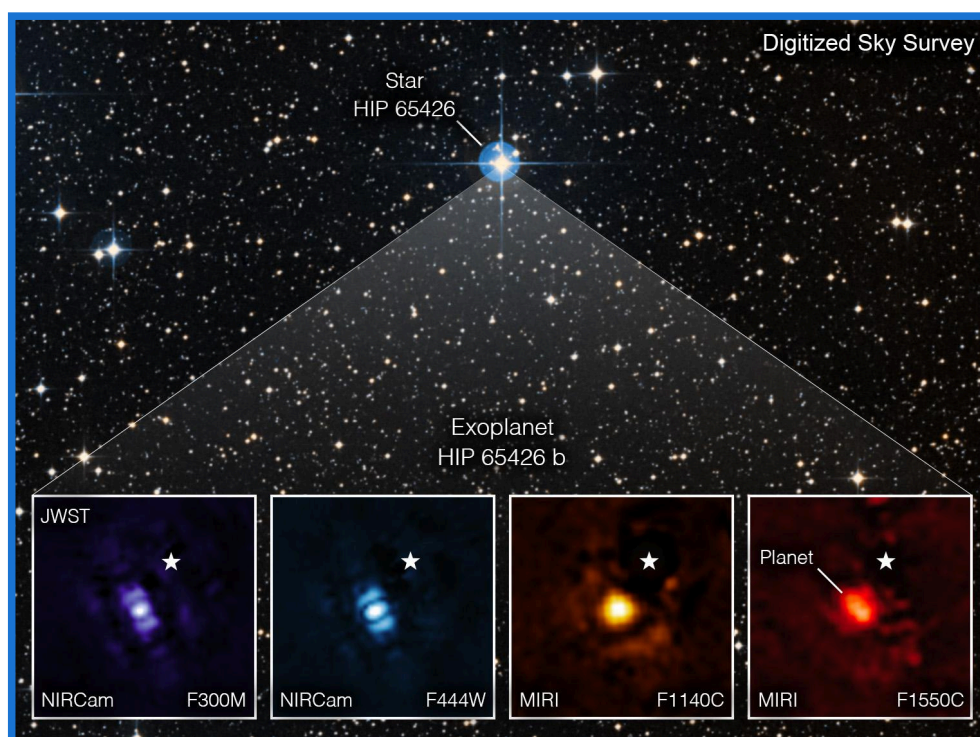
Fig. 18: Hemisferio sur





## MINERÍA CON DATOS REALES DE EXOPLANETAS, DE APLICACION AL AULA (1ª PARTE)

Joaquín Álvaro Contreras



Iniciamos con este artículo una serie de publicaciones sucesivas sobre dos temas, elegidos a modo de ejemplo, el primero de ellos sobre *exoplanetas* y el segundo sobre *cúmulos estelares abiertos*, cuyo propósito es adentrarse de manera sencilla en el acceso a estos conjuntos de datos, qué y cómo hacer con ellos, y mostrar desde el principio posibles trabajos a desarrollar en el aula con estudiantes de secundaria. La riqueza, abundancia y calidad de los datos originales admite desde un tratamiento sencillo, con simples hojas de cálculo Excel, hasta otras técnicas más sofisticadas con programación propia e inteligencia artificial de por medio, o bien el uso directamente de las herramientas ya disponibles en el VO.

### Introducción

Desde hace un tiempo, ya dilatado, los datos recopilados por los observatorios astronómicos profesionales, las misiones espaciales y hasta algunos propios de los amateurs, (aunque en menor grado), están

disponibles y accesibles de manera pública, y en general con grandes facilidades de consulta y descarga. En los últimos años el esfuerzo por integrar esta información en grandes bases de datos, compatibles y conectadas entre sí, ha sido importante y se

han creado paralelamente herramientas para facilitar tanto su acceso como su integración y explotación. A esto se le viene llamando Observatorio Virtual (VO).

El VO es una iniciativa de carácter internacional que nació en el año 2000 y cuyo objetivo es optimizar la explotación científica de los cientos de miles de datos existentes en los archivos astronómicos. La Alianza del Observatorio Virtual Internacional (IVOA) engloba una veintena de países, entre ellos España desde el 2004, (véase: [Spanish Virtual Observatory \[SVO\]](#)).

Iniciamos con este artículo una serie de publicaciones sucesivas sobre dos temas, elegidos a modo de ejemplo, el primero de ellos sobre *exoplanetas* y el segundo sobre *cúmulos estelares abiertos*, cuyo propósito es adentrarse de manera sencilla en el acceso a estos conjuntos de datos, qué y cómo hacer con ellos, y mostrar desde el principio posibles trabajos a desarrollar en el aula con estudiantes de secundaria. La riqueza, abundancia y calidad de los datos originales admite desde un tratamiento sencillo, con simples hojas de cálculo Excel, hasta otras técnicas más sofisticadas con programación propia e inteligencia artificial de por medio, o bien el uso directamente de las herramientas ya disponibles en el VO.

Aquí intentaremos ceñirnos a la opción más simple, con Excel, y sólo al final se propondrán soluciones más avanzadas a problemas de mayor alcance. Desde el principio se verá el carácter formativo y motivador del trabajo con datos reales como los utilizados en la investigación astronómica.

## EXOPLANETAS - 1

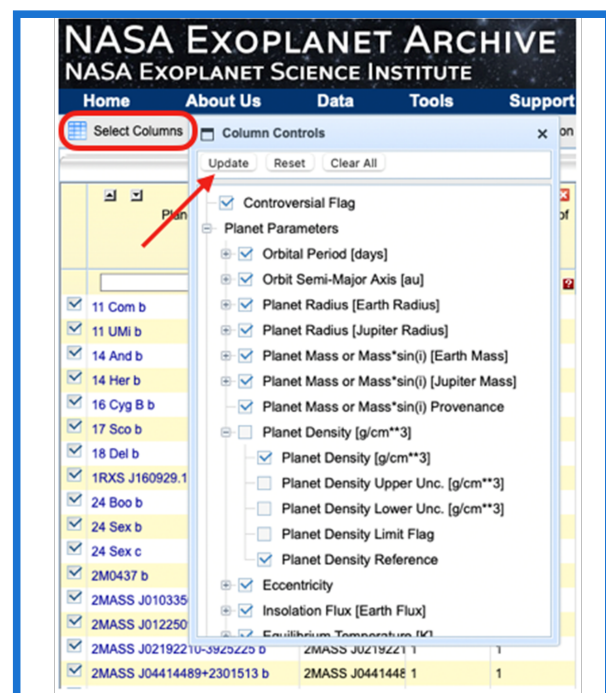
Para este primer trabajo utilizaremos el fichero<sup>1</sup> "[Planetary Systems Composite Data](#)" que contiene, a fecha del 9 de mayo de 2022, información muy detallada de los 5.030 exoplanetas confirmados a dicha fecha. En la [página de NASA](#) por la que se accede a este fichero también hay otros conjuntos de datos así como la documentación pertinente relativa a los mismos.

### El fichero de datos

a) Empezaremos por acceder al fichero<sup>2</sup> y descargarlo completo en formato .CSV

<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblView/nph-tblView?app=ExoTbls&config=PSCompPars>

b) Una vez en la página ya se tiene una visión de este conjunto de datos, pero antes de proceder a su descarga vamos a seleccionar algunas columnas adicionales que no están incluidas en la versión 'por defecto' que



[1] "This research has made use of the NASA Exoplanet Archive, which is operated by the California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration under the Exoplanet Exploration Program".

[2] En **NASA Exoplanet Archive** hay dos archivos: **Planetary Systems** y **Planetary Systems Composite Data**. La diferencia entre ellos es que el segundo integra datos en un único registro para cada exoplaneta recogidos de diferentes fuentes, mientras que 'Planetary Systems' puede incorporar varios registros para un mismo exoplaneta a partir de referencias diferentes. Haremos uso aquí del fichero compuesto: 'Planetary Systems Composite Data'.

se presenta aquí y que vamos a necesitar posteriormente.

Para ello se *pincha* en 'Select Columns' y en la ventana emergente, además de los parámetros ya marcados, que mantendremos, seleccionaremos los siguientes:

*Planet Radius Reference*

(dentro de Planet Radius [Earth])

*Planet Density*

*Planet Density Reference*

(dentro de Planet Density)

y de los Parámetros estelares:

*Stellar Luminosity*

*Stellar Age*

Podemos aprovechar aquí para eliminar de la selección otras columnas que no nos harán falta, como las magnitudes fotométricas estelares, (excepto la de Gaia, que sí utilizaremos), y los diferentes '*flags*'. Pero esto puede hacerse con más tranquilidad una vez importado el fichero a Excel más tarde.

Una vez seleccionados los datos que queremos descargar es preciso *pinchar* la opción '*Update*' y ya tendremos un refresco de la página con la tabla según la hemos

configurado lista para ser descargada. Y la descargamos.

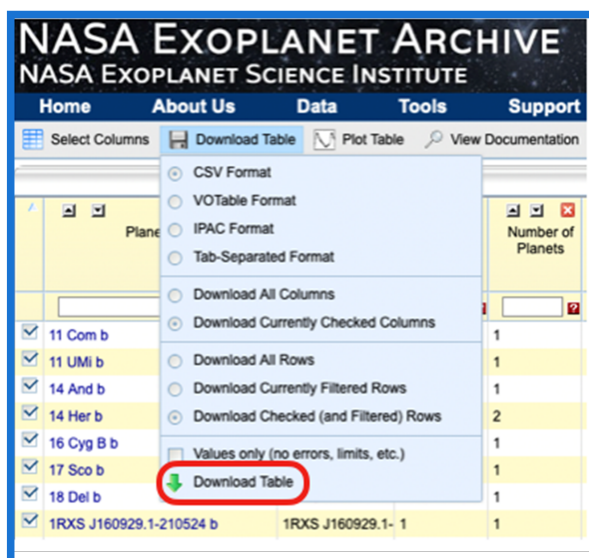
c) Como se ha podido comprobar, no es necesario ningún registro/login previo para tener acceso y proceder a su descarga. Se recomienda hacer mención con el 'agradecimiento' reseñado en el pie de la página anterior en cualquier trabajo que se publique derivado de estos datos.

d) Lo primero que debe hacerse con este fichero es abrirlo con un editor de texto y explorar mínimamente la información que contiene. Como podrá comprobarse, antes de los datos en sí hay una cabecera con la referencia de contenidos en cada columna. Es importante tener este repositorio siempre presente para consultarlo cuando sea necesario, especialmente en lo relativo a las unidades en las que se expresan los respectivos parámetros. (Se recomienda hacer una copia del fichero descargado antes de proceder a cualquier manipulación posterior).

e) La simple inspección de esta cabecera ya nos da idea de la cantidad de información que contiene, tanto de los exoplanetas en sí mismos como de las estrellas anfitrionas. A medida que vayamos haciendo uso de estos contenidos iremos explicando su significado.

## Importación a una hoja de cálculo Excel.

a) En la exploración inicial, se habrá comprobado que en el fichero descargado el delimitador de columnas es una coma ',' y el separador decimal un punto '.'. Como lo habitual será tener configurado Excel con coma ',' como separador decimal, antes de importar el fichero .csv a una hoja de cálculo conviene preparar dicho fichero convenientemente para una correcta importación.





Se abrirá el fichero con un editor de texto sencillo (no Word o similar) y se procederá a:

- eliminar los registros de cabecera, (recuérdese haber hecho una copia previa del fichero original; también puede aprovecharse para guardar estos registros de cabecera con la información del contenido en un fichero independiente para tenerlo fácilmente disponible).

- reemplazar las comas ‘,’ por punto y coma ‘;’. Se utilizará este carácter ‘;’ como delimitador de campos (columnas).

- reemplazar los puntos ‘.’ por comas ‘,’. De esta manera el separador decimal será entendido perfectamente por nuestro Excel.

- guardar el fichero así modificado en el mismo formato .csv.

b) Ya es momento de importar el fichero .csv modificado a una tabla Excel. Puede importarse igualmente el fichero con los datos de cabecera a una pestaña específica del mismo fichero Excel con objeto de tenerla disponible con facilidad.

Para la importación de la tabla de datos sólo es preciso tener en cuenta el carácter delimitador con que se ha dejado preparado el .csv, en nuestro caso el punto y coma ‘;’.

Después de comprobar que la importación ha sido correcta, que los campos en cada columna están debidamente alineados y que los valores numéricos se han interpretado correctamente, es momento de hacerla lo más legible posible dando a cada columna el ancho necesario, inmovilizando paneles, (al menos la primera fila con los nombres de las columnas y deseable también la primera columna con el nombre del exoplaneta). Como ya debe ser patente en este momento, las columnas con parámetros específicos relativos a los planetas se identifican con el prefijo ‘pl\_’ mientras que

los relativos a la estrella anfitriona del sistema planetario empiezan por ‘st\_’ o ‘sy\_’.

También ahora se puede prescindir de algunas columnas que no nos van a ser necesarias, como las referencias ‘disc\_facility’ y los diferentes ‘flags’ incorporados al fichero, (columnas que acaban en ‘...lim’. Mantendremos las columnas con nombre acabado en ‘...err1’ y ‘...err2’, que son las respectivas estimaciones de error (+, -) de los parámetros a que hacen referencia.

El número de registros que componen la hoja de cálculo finalmente dependerá de la fecha en que se haya realizado la descarga, (el fichero original de NASA se actualiza una o dos veces al mes). Para la fecha del 09.05.2022, este número es de 5.030 exoplanetas.

### **Primer ejercicio: Método de detección de exoplanetas**

Este ejercicio puede servir para desarrollar una amplia temática en clase sobre los **métodos de detección de exoplanetas**, (básicamente todos son métodos indirectos, excepto el de ‘imaging’), los procesos que lo hacen posible en cada caso y nos servirá también para explicar los sesgos instrumentales derivados de los procedimientos de detección, que se harán notorios un poco más adelante.

a) Utilizaremos para este ejercicio sólo las columnas ‘discoverymethod’ y ‘disc\_year’, esto es método de detección y año del mismo. Se aconseja copiar el contenido de estas columnas a una pestaña nueva con objeto de hacer más fácil las sucesivas manipulaciones a las que se someterán estos datos, (puede aprovecharse también para cambiar el nombre de las cabeceras de las columnas si se lo considera conveniente),

aunque no es lo más aconsejable con objeto de no perder la homogeneidad con el repositorio de referencias.

El objetivo de este ejercicio es ir familiarizándose con los datos contenidos en el fichero y tomar contacto con el tema ‘exoplanetas’, las dificultades instrumentales de detección, los principales métodos que lo hacen posible y un poco de la historia de esta nueva y pujante rama de la Astronomía.

Se proponen tres simples análisis para los cuales habrá que hacer diferentes ordenaciones de estos datos: por año de descubrimiento y/o por método. En cada caso se pueden consolidar resultados y/o hacer agrupamientos según se considere necesario, para obtener tablas adicionales que puedan ser representadas gráficamente de manera fácil. Véase la tabla siguiente:

| discoverymethod               | núm. | %       |
|-------------------------------|------|---------|
| Transit                       | 3854 | 76,60%  |
| Radial Velocity               | 927  | 18,40%  |
| Microlensing                  | 130  | 2,60%   |
| Imaging                       | 59   | 1,20%   |
| Transit Timing Variations     | 22   | 0,40%   |
| Eclipse Timing Variations     | 18   | 0,40%   |
| Orbital Brightness Modulation | 9    | 0,20%   |
| Pulsar Timing                 | 7    | 0,10%   |
| Pulsation Timing Variations   | 2    | 0,00%   |
| Astrometry                    | 1    | 0,00%   |
| Disk Kinematics               | 1    | 0,00%   |
|                               | 5030 | 100,00% |

La detección de exoplanetas era algo unimaginable hasta hace relativamente poco tiempo. Siempre se había pensado que nuestros instrumentos ópticos estaban lejos de tener la capacidad suficiente para observar planetas fuera de nuestro Sistema Solar. La muy baja luminosidad de los mismos y su proximidad a la estrella que orbitan hacen

que estos queden enmascarados por la luz de la estrella anfitriona. Hasta que se depuraron técnicas de detección indirecta.

La siguiente gráfica muestra esta historia. Desde el primer exoplaneta descubierto en 1989 sólo han pasado algo más de 30 años, y sólo en los últimos 10 o 12 el ritmo de detección ha crecido de manera significativa.

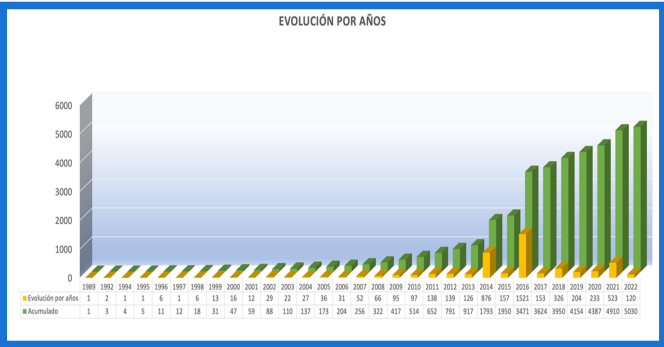


Fig. 1.1 – exoplanetas según año de confirmación del descubrimiento y un acumulado de la serie. La tendencia es claramente creciente y muestra tres impulsos significativos en los años 2014, 2016 y 2021, derivados del análisis de los datos recogidos respectivamente por los telescopios espaciales [Kepler \(2009-2013\)](#), [Kepler/k2 \(2014-2019\)](#) y [Tess \(2018-2020\)](#) .

En la gráfica adjunta se muestra el peso relativo de cada uno de los diferentes métodos de detección. Como puede comprobarse el 95% se debe a los métodos de ‘tránsito’ y ‘velocidad radial’.

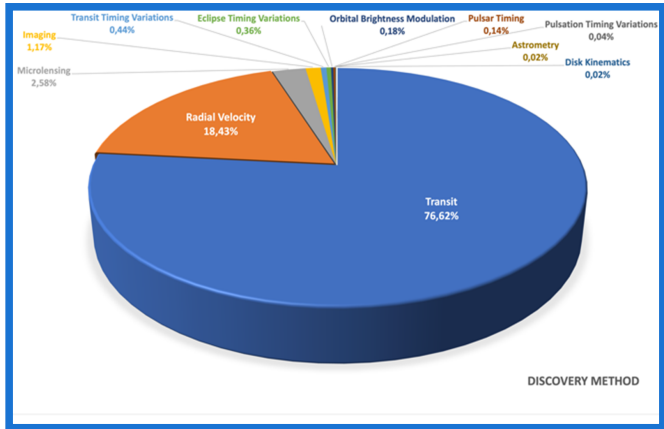
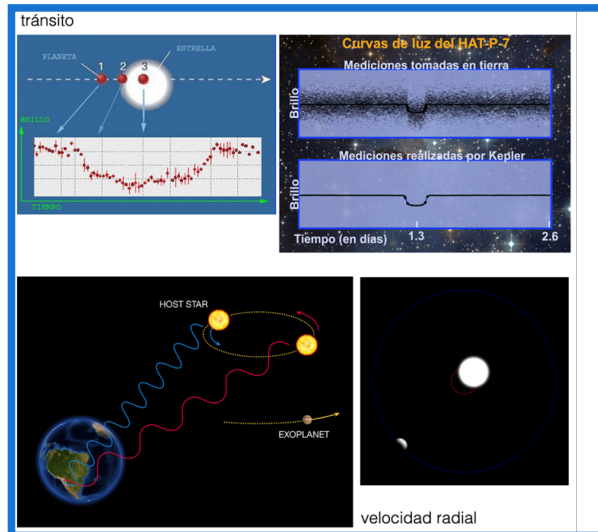


Fig. 1.2 – métodos de detección y pesos relativos

Es el momento de centrarse al menos en los dos más importantes y explicar en qué consisten. Se puede consultar:

([https://es.wikipedia.org/wiki/Planeta\\_extrasolar](https://es.wikipedia.org/wiki/Planeta_extrasolar))



En ambos casos la detección requiere una combinación de dos cosas:

a) Una sensibilidad manifiesta en los instrumentos de medida, (fotometría hasta el orden de milésimas de magnitud aparente para detectar el eclipse de luz estelar durante el tránsito y variaciones mínimas en los corrimientos espectrales de dicha luz para el método de velocidad radial).

b) Una afortunada disposición del plano orbital del exoplaneta, de manera que dicho plano esté convenientemente orientado en la dirección de observación.

Estas dos técnicas tienen a su vez condicionantes adicionales. En el caso del método de velocidad radial, será más fácil la detección de planetas muy masivos que sitúen el centro de masas del sistema notoriamente fuera del centro de la estrella anfitriona, haciendo así posible la observación espec-troscópica del movimiento de la estrella en torno al centro de masas.

En el caso del método del tránsito, también será más fácil detectar el oscurecimiento mínimo de la estrella provocado por el eclipse de su luz si el planeta es más grande. Por otra parte, dado que se requieren al menos tres tránsitos sucesivos detectados para establecer el periodo de rotación del exoplaneta y confirmar así su descubrimiento, la técnica sólo estará dando resultados positivos, por ahora, con planetas de periodos orbitales cortos (próximos a la estrella).

A pesar de estas dificultades la sensibilidad actual de los equipos de aficionados y su saber hacer en mediciones fotométricas, han hecho posible que los amateurs estén detectando tránsitos de exoplanetas con equipos supuestamente modestos. También es posible colaborar en estas tareas de detección/confirmación analizando curvas de luz de los datos obtenidos por los telescopios espaciales. Un buen ejemplo es el [proyecto K2OJOS](#), desarrollado por miembros de la Asociación Astronómica Asturiana OMEGA en colaboración con el Instituto de Ciencias y Tecnologías Espaciales (ICTEA) de la Universidad de Asturias, a partir de datos de Kepler/K2.

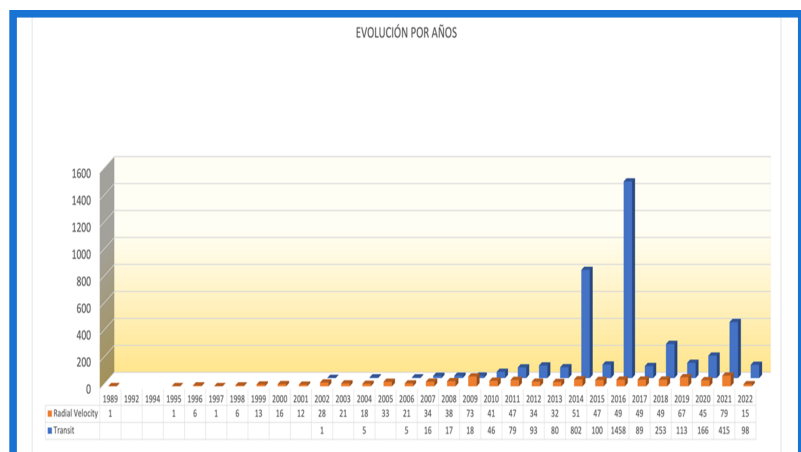


Fig. 1.3 – comparativa del número de exoplanetas descubiertos por los métodos de tránsito y velocidad radial. Mientras que el método velocidad radial mantiene un ritmo suave y constante, el método de tránsito crece de manera significativa, con picos, a partir del análisis de los datos recogidos por los telescopios espaciales.



## Segundo ejercicio: Distribución espacial de exoplanetas.

Vamos a intentar ahora representaciones gráficas de la ubicación espacial de los exoplanetas conocidos y confirmados. Para ello copiaremos a una pestaña nueva, (a partir del fichero original importado), el contenido de las siguientes columnas: 'pl\_name', 'discoverymethod', 'ra', 'dec', 'sy\_dist' {ra, dec, sy\_dist}, son respectivamente la posición en coordenadas ecuatoriales (ascensión recta y declinación, en formato decimal), y la distancia (en parsecs) de la estrella anfitriona, por tanto, del sistema planetario asociado a la misma.

Si observamos con cierto cuidado el contenido de la columna 'pl\_name' (nombre asignado al exoplaneta), podemos ver que todos los registros acaban en una letra minúscula, (b, c, d, ...), precedida de otros caracteres. Esta última letra es la que identifica al planeta dentro del sistema planetario al que pertenece, y al que se le asigna el nombre de la estrella anfitriona. La notación sigue el mismo orden de su descubrimiento, (b, para el primero de los planetas del sistema; c, para el segundo; etc.). En cuanto al nombre de la estrella, referencia el del catálogo que la contiene (HD, 2MASS, o alfa Tauri, beta UMi, ...) y presenta toda una casuística propia, incluido los que asumen el nombre de la misión de exploración: Kepler, K2, CoRoT, [WASP](#)...). Los relativos a la misión TESS pueden identificarse en algunos casos por TOI, (Tess Object Interest), haciendo alusión a la fase de análisis previa a la confirmación.

Por lo relevante de su número, vamos a asociar un indicador específico para los casos

'Kepler' y 'K2'. Para ello añadiremos una columna a nuestra tabla cuyo contenido sea 'Kepler' para los primeros y 'K2' para los segundos. Al resto les pondremos el indicador 'Otros'. Esto puede hacerse con facilidad utilizando una función sencilla del propio Excel aplicada a esta columna añadida y asumiendo que la columna A es 'pl\_name':

```
=SI(EXTRAE(A2;1;2)="K2";"K2";SI(EXTRAE(A2;1;6)="Kepler";"Kepler";"Otros"))
```

a) Representación espacial de exoplanetas. Después de ordenar la tabla por la columna 'discoverymethod' es fácil obtener el siguiente gráfico:

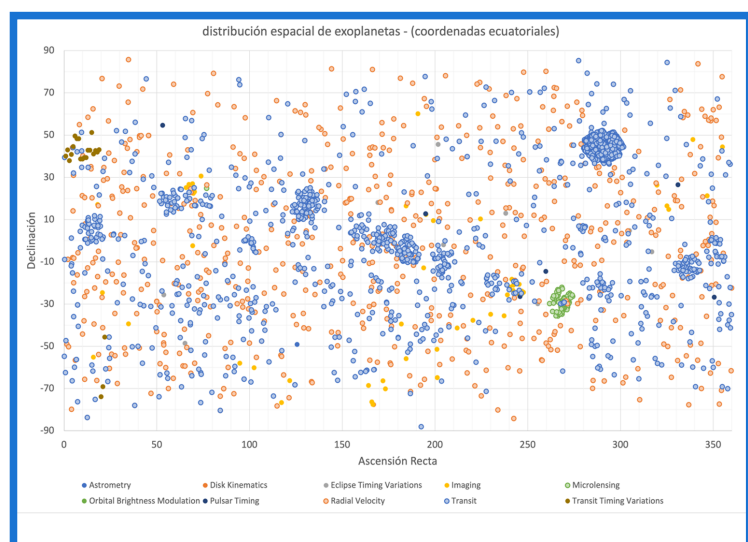


Fig. 1.4 – distribución de exoplanetas en coordenadas ecuatoriales. Se representan series diferenciadas por el método de detección. Como ya sabemos del ejercicio anterior, las dos series más pobladas son las correspondientes a los métodos de 'tránsito' y 'velocidad radial' respectivamente.

A simple vista se puede concluir que no hay una dirección privilegiada en el cielo que acumule exoplanetas, o dicho de otra manera, que carezca de ellos. Aunque, también a simple vista, se aprecian ciertas concentraciones que parecen significativas y que conviene analizar más despacio.

También puede ser interesante superponer al gráfico de la fig. 1.4 la posición de la galaxia en este mapa de coordenadas ecuatoriales. Véase la fig. 1 en el anexo.

b) Si nos centramos en las concentraciones de planetas que son perceptibles en la fig. 1.4, vemos que básicamente corresponden a exoplanetas descubiertos por el método del tránsito, y en concreto por la misión Kepler y Kepler en su fase extendida K2.

Vamos a representar sólo el mapa de estos planetas (fig. 1.5). Para ello convendrá ordenar la tabla por la columna añadida anteriormente con los indicadores {Kepler, K2, Otros}, que facilitará la construcción de la gráfica:

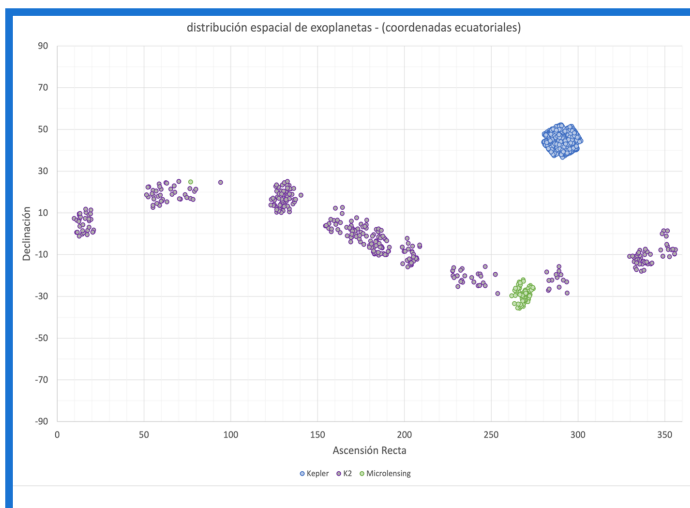


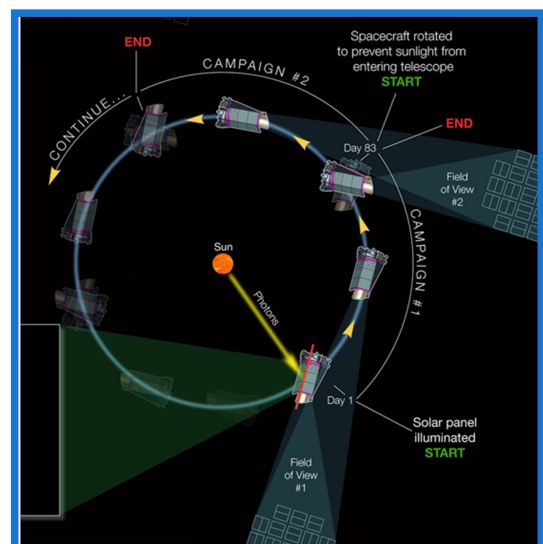
Fig. 1.5 – distribución espacial (en coordenadas ecuatoriales) de los exoplanetas descubiertos por la misión Kepler (azul), Kepler fase K2 (morado). En verde se sitúan también exoplanetas detectados por el método 'microlente' (que no tienen relación con la misión Kepler).

Indudablemente esta distribución contrasta con la aparente homogeneidad espacial concluida a partir de la fig. 1.4 lo que hace razonable indagar algo más acerca de las características propias de las observaciones que han dado lugar a estos datos.

La misión Kepler puso en órbita este telescopio espacial en marzo de 2009 con una duración prevista de 3.5 años. Su objetivo era inicialmente observar de forma ininterrum-

pida y continua una misma región del cielo próxima al plano de la galaxia y centrada en torno a los  $290^\circ$  AR y  $45^\circ$  DEC, observando simultáneamente unas 150.000 estrellas. Recuérdese que el método del tránsito requiere una detección de al menos tres tránsitos que permitan validar un descubrimiento positivo e identificado, lo que justifica esta observación continuada de unas mismas estrellas-objetivo. Esto es lo que explica la concentración de exoplanetas detectados entre los  $280^\circ$  -  $305^\circ$  AR y  $38^\circ$  -  $53^\circ$  DEC.

A finales de 2012 se vio posible ampliar la misión otros cuatro años, pero en 2013 se estropeo uno de los giróscopos utilizados para la correcta orientación del telescopio. Era el segundo que dejaba de funcionar, (el primero lo hizo al poco tiempo de su lanzamiento). Durante algunos meses la NASA intentó la reparación de al menos uno de los dos estropeados ya que de los cuatro con que Kepler contaba son necesarios tres para mantenerlo orientado, pero no fue posible y la misión entró en la fase extendida llamada K2. En esta etapa se utilizaron los paneles solares de alimentación del telescopio como sensores de orientación, lo que obligaba a dar 'un salto' en la dirección de observación cada tres meses, (véase la figura adjunta). Esta circunstancia explica



la distribución de exoplanetas K2 de la fig. 1.5. A finales de 2016 se dio por concluida la misión Kepler/K2.

Todavía nos queda una sorpresa más. Si hacemos zoom sobre la región ‘Kepler’, el detalle fino de la distribución de planetas en la misma es el que se muestra en la fig. 1.6. Indudablemente el espaciado geométrico debe tener alguna razón también instrumental. Compárese con la imagen del sensor instalado en el telescopio Kepler y quedará todo aclarado.

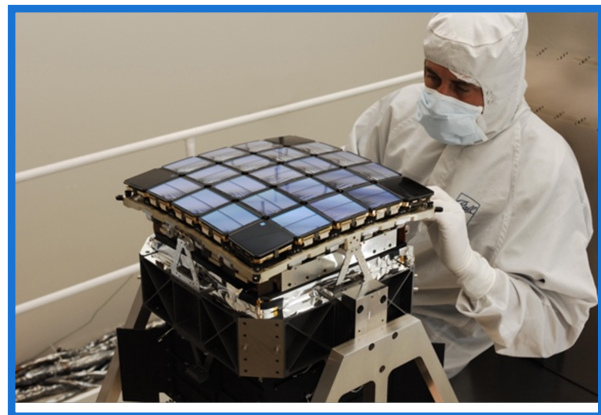
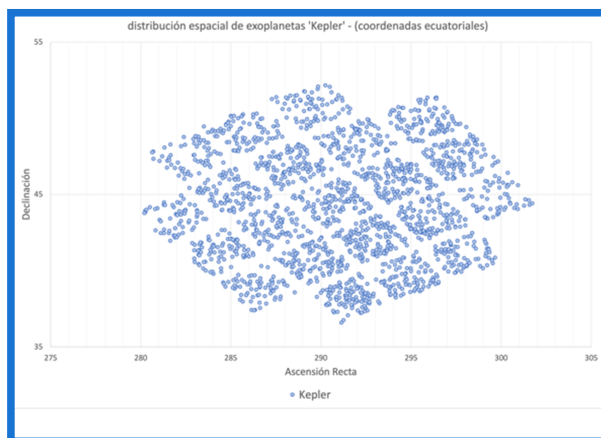


Fig. 1.6 – ampliación de la región Kepler

c) Sólo un comentario adicional sobre otro grupo llamativo y representado en la fig. 5 en color verde. Corresponde al conjunto de exoplanetas detectados por el [método de ‘microlente’ gravitacional](#). Ya no nos extraña

encontrar agrupamientos y sabemos que esto no significa que los planetas se encuentren en sitios privilegiados de la galaxia por alguna razón. Simplemente las técnicas de detección, y su corta historia, obligan a centrar las observaciones en posiciones estables durante periodos de tiempo más o menos amplios. En este caso sobre el brazo de Sagitario en dirección al centro galáctico.

Si volvemos a la tabla de datos, veremos que todos los exoplanetas catalogados por este método tienen nombres del tipo ‘KMT’, ‘MOA’ y ‘OGLE’. Corresponden respectivamente a los proyectos: ‘[The Korea Microlensing Telescope Network \(KMTNet\)](#)’, ‘[Microlensing Observations in Astrophysics \(MOA\)](#)’ y ‘[The Optical Gravitational Lensing Experiment \(OGLE\)](#)’, con observatorios en el hemisferio sur y centrados los tres en esa misma región del cielo con más de 100 millones de estrellas.

### Tercer ejercicio: Distribución de exoplanetas por distancia desde la Tierra

Para terminar esta primera toma de contacto con los datos sobre exoplanetas puede ser interesante fijarnos en la distancia a que se encuentran. Esto nos dará una idea de la sensibilidad de la instrumentación y técnicas disponibles por ahora y su capacidad de profundidad en el cielo para detectarlos.

a) En una primera aproximación planteamos un esquema simple donde se representan los exoplanetas con su respectiva distancia a nuestra posición. Esta distancia se encuentra en la columna ‘*sy\_dist*’ que, como ya se ha comentado, viene expresada en parsec. Aprovechamos para diferenciar por método de detección estableciendo series sólo para los más significativos: tránsito, velocidad radial, microlentes gravitatorias e ‘imagen’,

siendo esta última relevante en tanto que supone el único método de detección directa.

El gráfico planteado se muestra en la fig. 1.7. En el eje horizontal aparece el número de exoplanetas representado para cada una de las series, siendo éste un dato poco relevante aquí ya que ha quedado mejor explicado en las fig. 1.1, 1.2 y 1.3. En el eje de ordenadas se representan las distancias en parsec.

Como se puede comprobar, el método ‘microlensing’ es significativamente más sensible que el resto, presentando una capacidad de profundizar en el cielo hasta unos 8.000 pc (próximo al centro galáctico). Por el contrario, el método directo ‘imaging’ es el más limitado y los planetas detectados no superan nunca los 200 pc. También el método de velocidad radial es menos profundo que el de tránsitos.

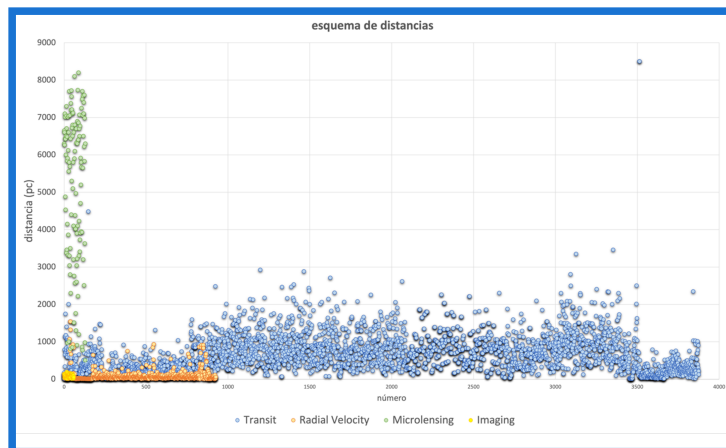


Fig. 1.7 – esquema de distribución de distancias según los diferentes métodos de detección. El par de planetas por encima de 8.000 pc en el método de tránsito corresponden a dos sistemas en las estrellas SWEEPS-11 y SWEEPS-4 (ver tabla en el fichero de datos). Evidentemente son datos a contemplar con cierta reserva puesto que, como puede verse en dicha tabla, corresponden a sendos registros con ausencia significativa de otros parámetros relativos a estas estrellas, incluidos los márgenes de error de esta propia medida.

Si hacemos zoom sobre el vértice ‘origen’ en el gráfico anterior tendremos algo más de detalle en el rango más cercano.

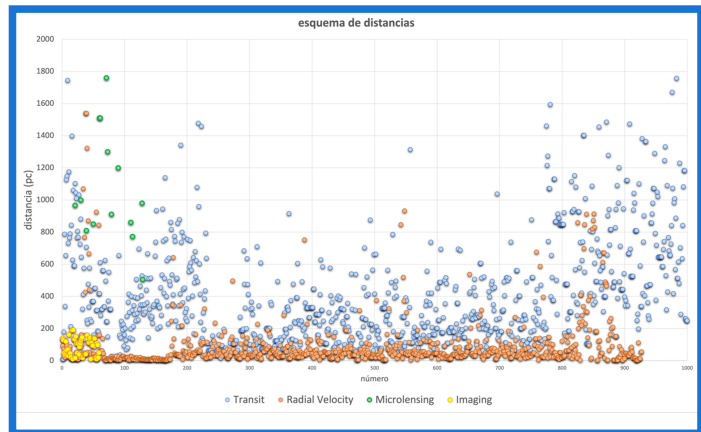


Fig. 1.8 – detalle en el origen de coordenadas de la fig. 1.7

No obstante, resulta evidente que podemos intentar un gráfico más significativo sobre las distancias y dirección en el cielo ( $ra$ ,  $dec$ ) que tenemos disponible en este fichero. Pero para ello hay que convertir el vector ( $ra$ - $dec$ ,  $sy\_disc$ ) a coordenadas cartesianas. Añadiremos tres columnas a la última tabla que estamos manejando: { $st\_x$ ,  $st\_y$ ,  $st\_z$ }, que corresponden respectivamente a los ejes ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) para la representación en un diagrama cartesiano de tres dimensiones.

El contenido de estas columnas es el que corresponde a la transformación de coordenadas:

$$\begin{aligned}x &= distancia \cdot \text{seno}(declinacion) \cdot \text{coseno}(ascension\ recta) \\ y &= distancia \cdot \text{seno}(declinacion) \cdot \text{seno}(ascension\ recta) \\ z &= distancia \cdot \text{coseno}(declinacion)\end{aligned}$$

Donde los ángulos ( $ascension\ recta$ ,  $declinacion$ ) deben expresarse en radianes y las distancias (en parsec) mantendrán esta unidad en las nuevas coordenadas. Como en algunos registros el valor del parámetro ‘ $sy\_dist$ ’ no está informado, tendremos en cuenta esta circunstancia para evitar errores en las fórmulas de transformación que finalmente pueden ser de la forma:

$$\begin{aligned}st\_x &= SI(Fn < > ""); Fn * \text{SENO}(\text{RADIANTES}(En)) * \text{COS}(\text{RADIANTES}(Dn)); "" \\ st\_y &= SI(Fn < > ""); Fn * \text{SENO}(\text{RADIANTES}(En)) * \text{SENO}(\text{RADIANTES}(Dn)); "" \\ st\_z &= SI(Fn < > ""); Fn * \text{COS}(\text{RADIANTES}(En)); ""\end{aligned}$$



siempre que en nuestra tabla la distancia se encuentre en la columna F y *ascensión recta* y *declinación* respectivamente en las columnas D y E. Si no fuera así, se sustituyen las referencias a estas columnas por su valor correcto. El indicador 'n', correspondiente a la fila, indica que las expresiones anteriores deben extenderse a todas las filas del fichero. Basta con hacerlo para la primera, n=2, y luego copiar/pegar estas fórmulas para el resto.

Ahora ya estamos en condiciones de poder hacer una representación cartesiana en 3D de los exoplanetas contenidos en nuestro fichero

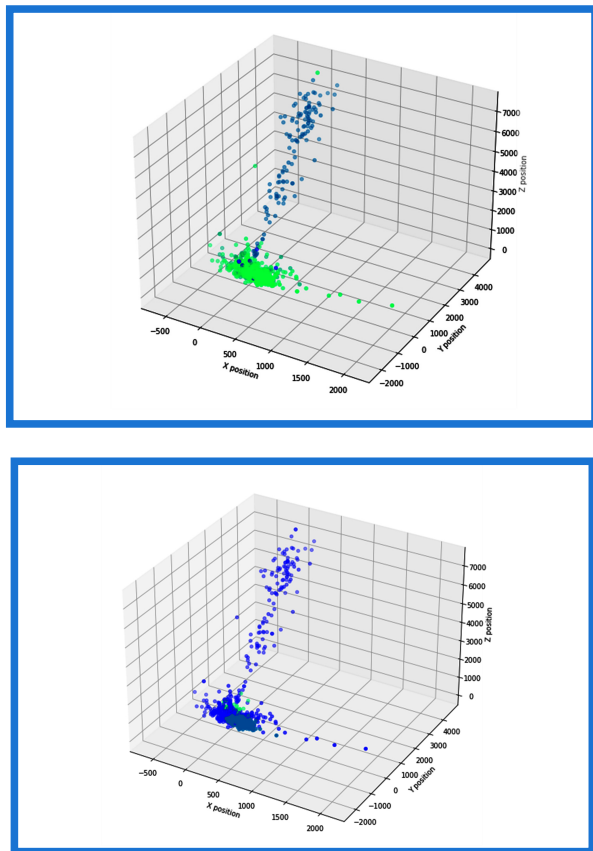


Fig. 1.9 – representación cartesiana de distribución de exoplanetas y distancias desde la Tierra.

En la parte superior de la fig. 1.9 se representan los exoplanetas diferenciando por el método de detección y resultan más destacados los métodos de microlente (azul

claro) y tránsito (verde). El resto queda enmascarado en la zona de distancias más cortas. En la parte inferior de la figura 1.9 se discrimina por lo que hemos llamado 'origen/misión' = {Kepler: azul verde, K2: azul claro, Otros: azul oscuro}. Igualmente la zona próxima al origen de coordenadas {0, 0, 0} resulta confusa si no se hace zoom en la misma, debido a la mayor profundidad de los 'chorros' microlente y Kepler.

Para la representación tridimensional de las figs. 1.9 Excel puede resultar insuficiente si no se le añade alguna extensión de análisis de datos (del tipo XLSTAT). En este caso se ha utilizado Python, (en el anexo se dan detalles).

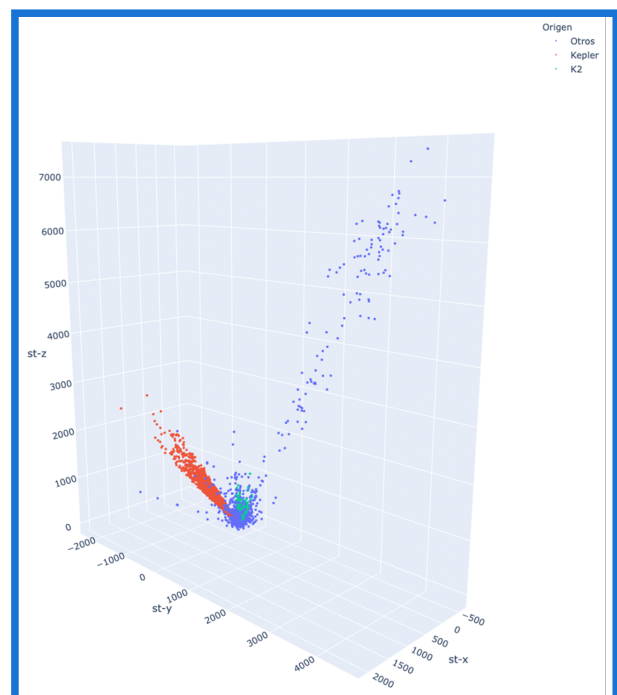


Fig. 1.10 – ampliación de la fig. 1.9 con otra perspectiva y un mapa de colores diferente.

La conclusión final es que la existencia de sistemas planetarios es algo generalizado, como puede deducirse de la distribución espacial que muestra la fig. 1.4. Pero el catálogo de exoplanetas conocidos hasta el momento está muy condicionado por la corta

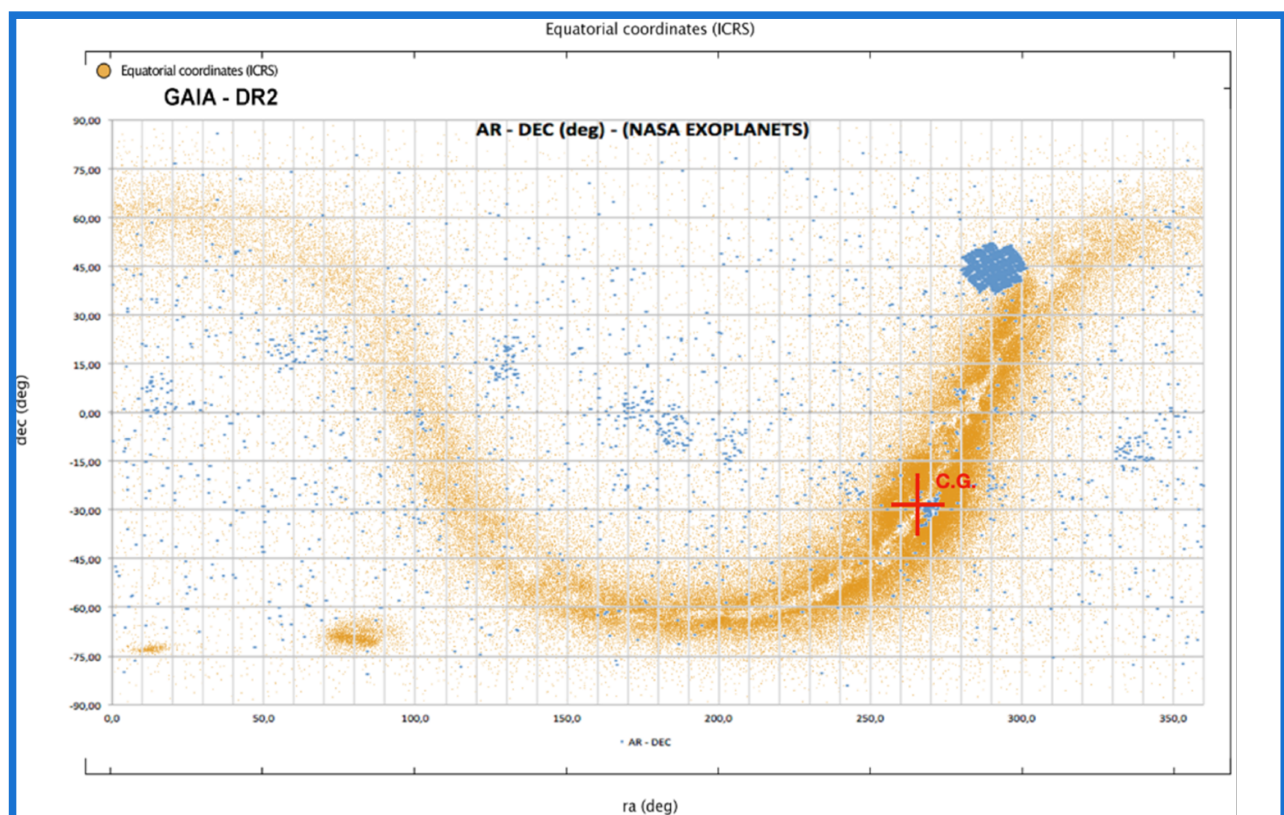
historia de las técnicas de detección y, especialmente, por el tiempo dedicado a la exploración de direcciones concretas del cielo, como muestran los dos chorros de las figs. 1.9 y 1.10.

Terminamos aquí este primer artículo. Se aconseja realizar los ejercicios/gráficos,

propuestos a modo de ejemplo, u otros similares. Habrá continuidad en sucesivas publicaciones como se ha indicado en la introducción. Si alguno de los ejercicios presenta alguna duda, o para cualquier otra cuestión relacionada, podéis contactar conmigo: [jalvaro@citelan.es](mailto:jalvaro@citelan.es)

## ANEXO

### a) Superposición de la Vía Láctea sobre la fig. 1.4 simplificada



La imagen de la galaxia se ha generado utilizando las estrellas de magnitud < 16 a partir del catálogo Gaia-DR2. Se ha marcado el centro galáctico (C.G.).

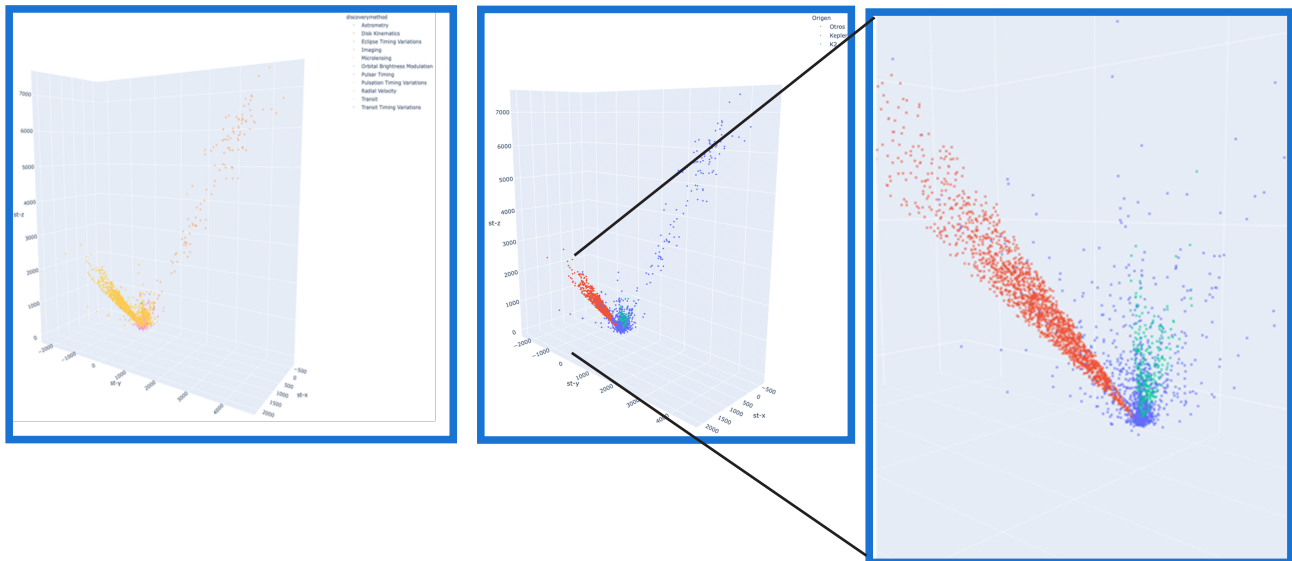
**b) Representación tridimensional de la distribución espacial de exoplanetas en coordenadas cartesianas.**

Para las figuras 1.9 y 1.10 se ha utilizado código en Python. En concreto se ha optado por una solución que da como salida un gráfico visualizable como un fichero .html con capacidad para ser rotado en cualquiera de los ejes y sobre el que se puede hacer zoom.

```
# librerías utilizadas
import numpy as np
import pandas as pd
import plotly
import plotly.express as px
```

```
# lectura del fichero exportado desde excel (formato .csv), delimitador ','.
df = pd.read_csv('exoplanets-1-mapa3d.csv', sep=',',
                mames=['pl-name', 'Origen', 'discoverymethod', 'ra', 'dec', 'sy_dist',
                    'st-x', 'st-y', 'st-z'], skiprows=1)
df.head()
```

```
# generación del gráfico en formato 3D y exportación a formato .html
fig = px.scatter_3d(df, x='st-x', y='st-y', z='st-z', color='discoverymethod')
fig.update_traces(marker=dict(size=2))
plotly.offline.plot(fig, filename="mapa_3d.html")
```



## XIV ENCUENTROS DE ApEA Sevilla, 3-7 de julio de 2022

Fernando Ordóñez Monteagudo



La Asociación ha vuelto por fin a celebrar uno de sus actos principales: los Encuentros bianuales de socios, que se interrumpieron en 2021 por la pandemia de coronavirus. En 2019 se había decidido en la Asamblea de Úbeda que los siguientes Encuentros fueran en Sevilla, y así ha sido, aunque han pasado tres años desde la reunión en tierras jiennenses.

Los Encuentros se han celebrado en la Facultad de Física de la Universidad hispalense, entre el 3 y el 7 de julio de 2022, bajo el lema “De Magallanes a los Exoplanetas”. Hemos compartido nuestros últimos avances en la didáctica de la Astronomía, en un entorno que nos ha permitido un estrechamiento de los lazos de amistad que nos unen.

Ha habido 27 intervenciones de socios de ApEA, 2 conferencias de apertura y clausura, con ponentes invitados, y 3 talleres externos.

La conferencia inaugural estuvo a cargo de Rainer Schödel, del Instituto Astrofísico de Andalucía (CSIC) que nos explicó el descubrimiento del agujero negro central de nuestra Galaxia. En la de cierre, Javier Santaolalla, conocido divulgador científico, hizo las delicias del público contando con humor las leyes de la Física macro y micro desde las estrellas hasta el Big Bang.





Las intervenciones de los socios de ApEA consistieron en 13 ponencias de quince minutos, 5 ponencias largas y 9 talleres, de los cuales 3 tuvieron formato de curso NASE (Network for Astronomy School Education), centrados en Exoplanetas y Astrobiología. Además hubo 2 talleres externos en el Parque del Alamillo, sobre Astrofotografía, y, tras la cena al aire libre, ya caída la noche, tuvimos una observación astronómica con telescopios.

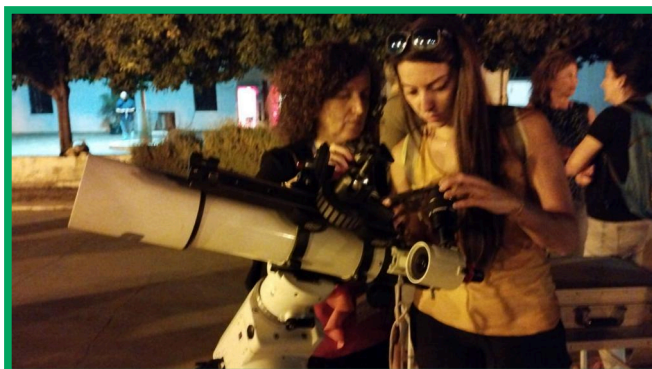
El dato de asistencia fue destacable, probablemente intensificado por el deseo de volver a reunirnos después de la pandemia. Hemos tenido 103 inscritos, de los cuales 52 eran socios de ApEA. Otros 20 eran alumnos de la Facultad (cifra que habla del acierto en la elección de la sede), 13 miembros de las asociaciones locales (Astronomía Sevilla y Astromares), que han colaborado con la plantada de telescopios en El Alamillo. Por último, hubo otras 18 personas más, externas a ApEA, atraídas por el contenido y actividades paralelas del programa. Además han participado 17 acompañantes, por lo que ciframos la participación total en 120 personas.

Como actividades paralelas, hay que mencionar la visita al centro minero de Riotinto (Huelva), con la exposición denominada “Marte en la Tierra”. En ella se nos expusieron las razones por las que esa zona es estudiada por el Centro de Astrobiología del CSIC como un “análogo marciano” en la búsqueda de vida en el Universo. Igualmente, y de forma alineada con eje temático del Encuentro, el último día tuvimos un recorrido turístico por distintos puntos de la ciudad, en un recorrido denominado “La Sevilla de Magallanes”.



Otro hecho reseñable en estos Encuentros ha sido la entrega en papel a los socios de cuatro volúmenes con las 18 revistas Nadir y las 7 publicaciones monográficas de ApEA, que han salido desde los anteriores Encuentros. Han despertado interés también entre los no socios, alguno de los cuales será pronto recibido como nuevo miembro de la Asociación. Además se repartieron 560 cuadernillos de NASE, con varios títulos.

Los Encuentros también contaron con actividades para “hacer piña”. Por ejemplo, al caer la tarde del primer día, hicimos un recorrido fluvial por el Guadalquivir, con cena incluida, tal como hizo Magallanes 500 años antes desde el mismo punto. Los cafés y almuerzos en el entorno de la Facultad, la cena en el Parque del Alamillo, y la cena de despedida en una terraza junto a la Giralda, contribuyeron a ese mismo objetivo.



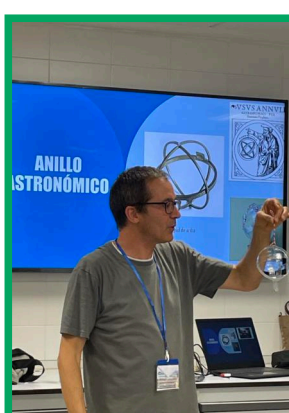
No sería justo dejar de mencionar el gran apoyo recibido por la Facultad de Física, desde su Decano, que participó en el acto inaugural (presidido por el Rector de la Universidad), pasando por profesores que dedicaron horas de trabajo a los preparativos de los Encuentros y hasta los encargados del funcionamiento del Aula Magna y los laboratorios donde se desarrollaron los talleres. También forman parte de la Facultad el equipo de 12 alumnos voluntarios, pertenecientes a la Asociación de Estudiantes de Física, que nos facilitaron enormemente diversas tareas necesarias para el buen desarrollo de los Encuentros. Contamos también con el apoyo institucional del Ayuntamiento de Sevilla, que igualmente quedó expresado por su representante en el acto de inauguración.

Estos Encuentros han contado con diversos patrocinios, en forma de aportaciones económicas, como el de la empresa Espacio Celeste o el de la propia Facultad, que además nos cedió de forma gratuita todos los espacios necesarios, o con entrega de material astronómico y libros, que se sortearon entre los asistentes, por parte de las firmas Telescopiomanía y Astroilusión.

A partir de ahora, nuestros Encuentros tendrán lugar los años pares, y en la Asamblea de Sevilla celebrada tras la clausura del Encuentro quedó designado el lugar de los próximos Encuentros de 2024: la isla canaria de La Palma. ¡Allí nos veremos!









En el paseo fluvial por el Guadalquivir, al caer la tarde del domingo



Acto inaugural.

Conferencia de Rainer Schödel, a la que asistió hasta su pequeña hija de 7 años.



Ponencias de los socios, y Talleres del primer día.



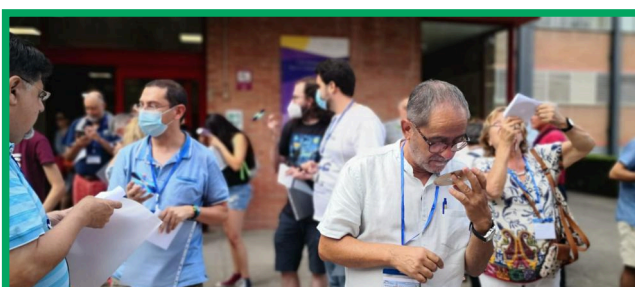
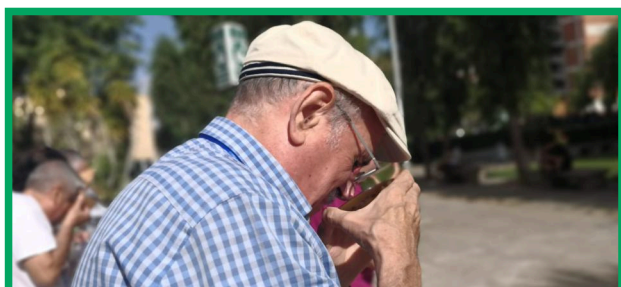
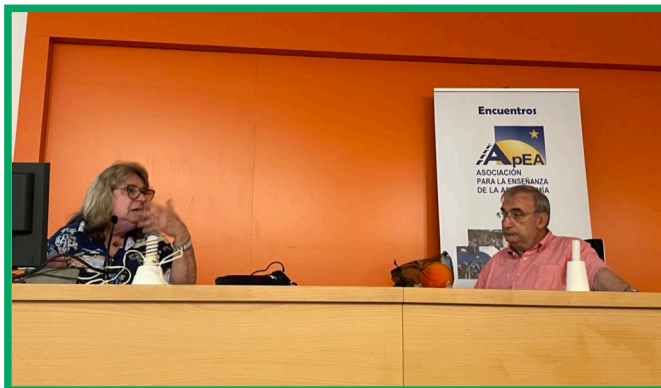


En el Parque del Alamillo tuvimos talleres, cena, plantada de telescopios y hasta quemada de Chema.



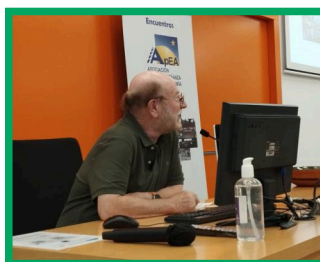


¿Qué buscaban estos socios? Ver las líneas de Fraunhofer del Sol con un DVD. En un día nublado, lo tenían bastante difícil. Era en el primero de los tres Talleres de Astrobiología.





Visita a Ríotinto: Marte en la Tierra. Con moros en la costa.

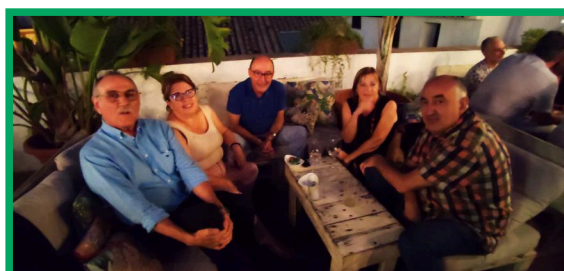




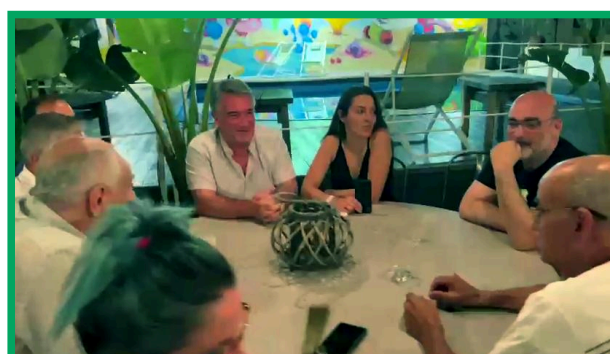
Y llegamos a la clausura: la conferencia con Javier Santaolalla...



... y la cena final, junto a la Giralda. Todos muy jóvenes y muy guapos.







Y, para terminar, la visita a la Sevilla de Magallanes.



## XV Asamblea de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

Fernando Sánchez Gil

Siendo las 19:15 del 6 de julio de 2022 comienza la XV Asamblea de la ApEA con el siguiente orden del día:

### 1. Lectura y aprobación del Acta de la Asamblea anterior.

Carolina comienza recordando que el acta se envió por correo electrónico tras la asamblea realizada de forma telemática el 1 de julio de 2021, y posteriormente se ha adjuntado a la convocatoria de esta Asamblea, por lo que no será leída. Se aprueba el acta anterior por unanimidad.

### 2. Informe de secretaría

Fernando Sánchez informa que se han incorporado cinco nuevos socios después de los pasados encuentros de Úbeda por lo que en la actualidad la asociación cuenta con 128 socios. También comunica que, para cumplir con la Ley de Protección de Datos, se incorporará en la página web un nuevo formulario de datos y que se solicitará que la rellenen todos los socios.

### 3. Informe de tesorería

Xavier informa sobre los problemas que hemos tenido a la hora de operar con la cuenta bancaria de Liberbank y la necesidad de regularizar esta situación antes de cargar las cuotas de este año.

Tenemos 12000 euros de remanente, cantidad que se actualizará cuando se cierren los encuentros de Sevilla.

Juan Carlos plantea que con un acta de junta extraordinaria de la junta directiva se podría abrir una nueva cuenta. Carolina se compromete a poner en orden los papeles de la asociación para poder realizar estas gestiones bancarias.

### 4/5. Informe de publicaciones y de la revista NADIR

Ricardo informa que en estos 3 años han salido un total de 18 números de la revista Nadir. Durante la pandemia salió mensualmente, y posteriormente el comité de la revista acordó sacarla cada tres meses (septiembre, diciembre, marzo y junio). En cuanto a las Publicaciones monográficas, han salido un total de 7, manteniendo aproximadamente la periodicidad habitual de dos publicaciones al año. La Junta Directiva decidió repartir en estos Encuentros a los socios una recopilación en papel de estas publicaciones digitales.

### 6. Informe de la página web

Eva informa que la página está dando problemas ya que algunos enlaces no funcionan. Se está haciendo una página nueva con un formulario reformado.



Anima a los socios a aportar material para colgar en la página. Ricardo comenta que se han subido libros de texto de socios. De momento hay 5 libros publicados.

Recuerda que el apartado de socios se abrió al público durante la pandemia y plantea si deberíamos cerrarlo de nuevo. Se realiza una votación que tiene como resultado por 28 votos a favor y 14 en contra que se reactive el acceso privado a socios de forma que todo lo que se publique a partir de julio de 2022 quede cerrado al público hasta los próximos encuentros, en los que se liberarán esos contenidos.

## **7. Balance de los encuentros de Sevilla**

Fernando Ordóñez presenta un documento con el balance de los encuentros de Sevilla que se adjunta a esta acta.

## **8. Sede de los XV Encuentros ApEA 2024**

Carolina agradece el ofrecimiento de varios socios para organizar los próximos encuentros de ApEA en sus localidades e informa que la sede de los XV Encuentros ApEA 2024 será la isla de la Palma, agradeciendo especialmente a Juan Antonio González Hernández su candidatura.

## **9. Observación en primavera de 2023**

Carolina comunica que la observación astronómica de primavera de 2023 se realizará en Ciudad Rodrigo, agradeciendo el ofrecimiento de Nicolás Cohen para organizarla.

## **10. Renovación de la junta directiva y cambio de domicilio social**

Se informa del cambio prescriptivo, según estatutos, de los vocales de anterior y próximos encuentros, quedando de la siguiente manera:

Vocal encuentro anterior: Fernando Ordóñez Monteagudo

Vocal próximos encuentros: Juan Antonio González Hernández

Esteban Esteban Peñalba manifiesta su deseo de abandonar la junta directiva como vocal, y propone a Joaquín Álvaro Contreras para sustituirle. Se aprueba este cambio por unanimidad.

Carolina solicita la confianza de los socios para la junta directiva actual durante los dos próximos años, anunciando la celebración de elecciones en los encuentros de 2024. Se aprueba por unanimidad la continuación de la actual junta directiva hasta los próximos encuentros.

Carolina comunica que, dado que actualmente la sede social está en el museo Principia de Málaga, se ha considerado necesario realizar un cambio de sede social al Aula de Astronomía de Fuenlabrada.

## **11. Ruegos y preguntas**

No hay ruegos ni preguntas.

Sin nada más que tratar, se levanta la sesión a las 20:00 h del 6 de julio de 2022.



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](http://www.apea.es)

