

ESTIMACIÓN DE LA DISTANCIA DE LA TIERRA AL SOL

Anicet Cosialls Manonelles, Institut Guindàvols, anicetc@gmail.com



Determinar una magnitud astronómica con medidas tomadas por uno mismo, de una manera sencilla y utilizando materiales que estén al alcance de todos es una buena actividad con alumnos. La sencillez lleva incluida basarnos en otra magnitud conocida. En este artículo proponemos un método que utilizamos con el alumnado de ESO y Bachillerato para hacer una estimación experimental de la distancia de la Tierra al Sol, conociendo el radio de nuestra estrella.

1. Introducción

El conocimiento que tenemos del universo se ha ido construyendo gracias a las aportaciones científicas de multitud astrónomos, que a partir de observaciones, y de recogida de datos, elaboraron las leyes que rigen el movimiento de

los cuerpos celestes. Conocer el universo es conocer sus medidas, tarea nada fácil que se ha llevado adelante a lo largo de la historia con la ayuda de los datos numéricos experimentales obtenidos, y la aplicación de cálculos matemáticos.

La determinación de magnitudes astronómicas, iniciada por Eratóstenes en el s. III a. C. con la medida del radio de la Tierra, ha sido siempre uno de los grandes retos de los astrónomos. Dicho objetivo sigue vigente en la actualidad, ya que cada día se descubre un exoplaneta, el cual hay que caracterizar, determinando sus parámetros astronómicos: masa, radio, distancia a la estrella, velocidad orbital, etc.

Quizá la constante astronómica más fundamental sea el radio medio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol: la Unidad Astronómica (UA). La importancia de esta determinación radica en que es la llave que abre las puertas del cosmos. Dicha distancia, no es sólo una medida del Sistema Solar, sino que también lo es del espacio: apoyándonos en su valor, determinamos la distancia a las estrellas por paralaje, y también se pueden medir propiedades astrofísicas de planetas y estrellas. A título de ejemplo, la tercera ley de Kepler permite la determinación de la masa del Sol, tan solo conociendo el valor de la Unidad Astronómica, el periodo de traslación de la Tierra, y la constante de gravitación universal.

Medir la distancia de la Tierra al Sol ha sido un cometido difícil que se ha intentado resolver con mayor o menor durante más de 2000 años utilizando diferentes métodos^[1].

Aristarco de Samos (siglo II a. C) fue el primero en obtener una medida relativa de dicha distancia, aunque su valor estaba mucho del que hoy en día conocemos debido a la precariedad de los instrumentos que utilizó. La distancia Tierra-Sol no se logró medir con valores semejantes a los actuales, hasta mediados del siglo XVII por Cassini y Richer.

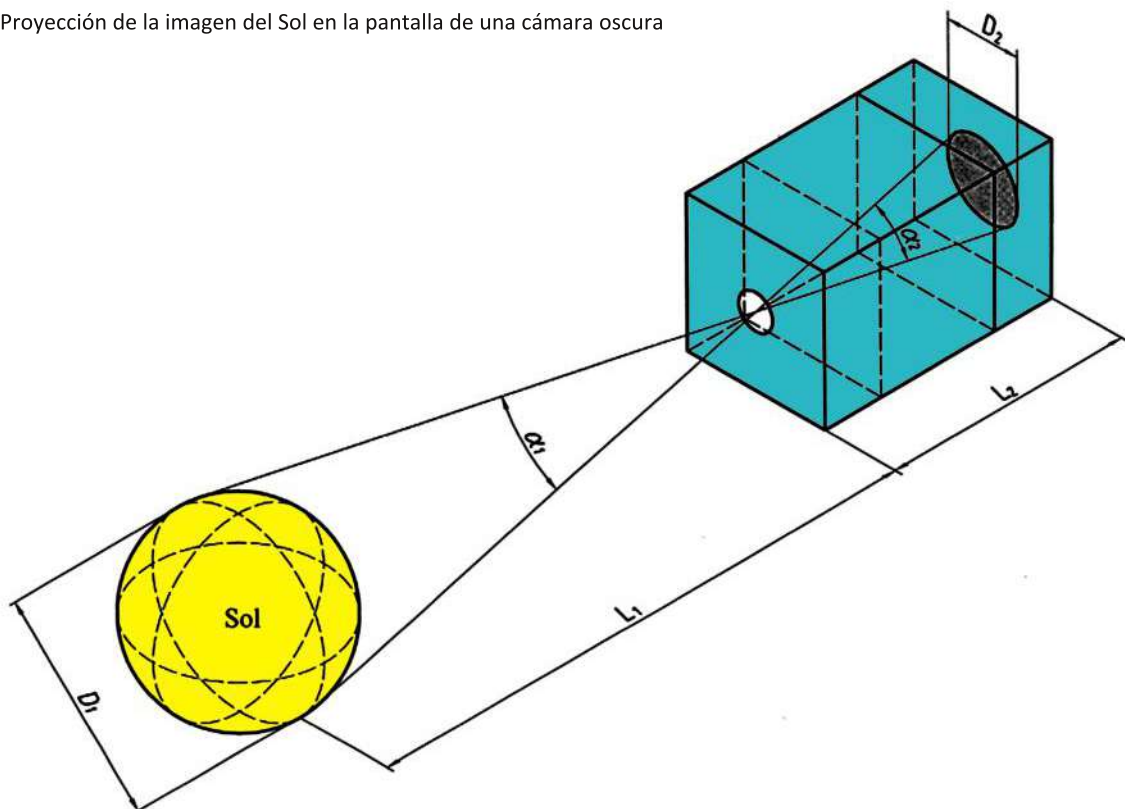
2. Diseño experimental

Se proyectará la imagen del Sol sobre la pantalla de una cámara oscura de longitud variable conocida (L_2) (Fig. 1), y se medirá el tamaño de la imagen (D_2). Como los ángulos α_1 y α_2 son iguales, se puede aplicar el teorema de Tales:

$$\frac{D_1}{L_1} = \frac{D_2}{L_2} \rightarrow \boxed{L_1 = \frac{L_2 \times D_1}{D_2}}$$

Y si se conoce el valor del diámetro del Sol (D_1), se puede calcular la distancia Tierra-Sol (L_1).

Fig. 1: Proyección de la imagen del Sol en la pantalla de una cámara oscura



Los materiales que necesitamos son

Cartulina negra

1 hoja de papel semitransparente (vegetal o papel de seda)

Regla

Tijeras

Compás

Trípode/soporte

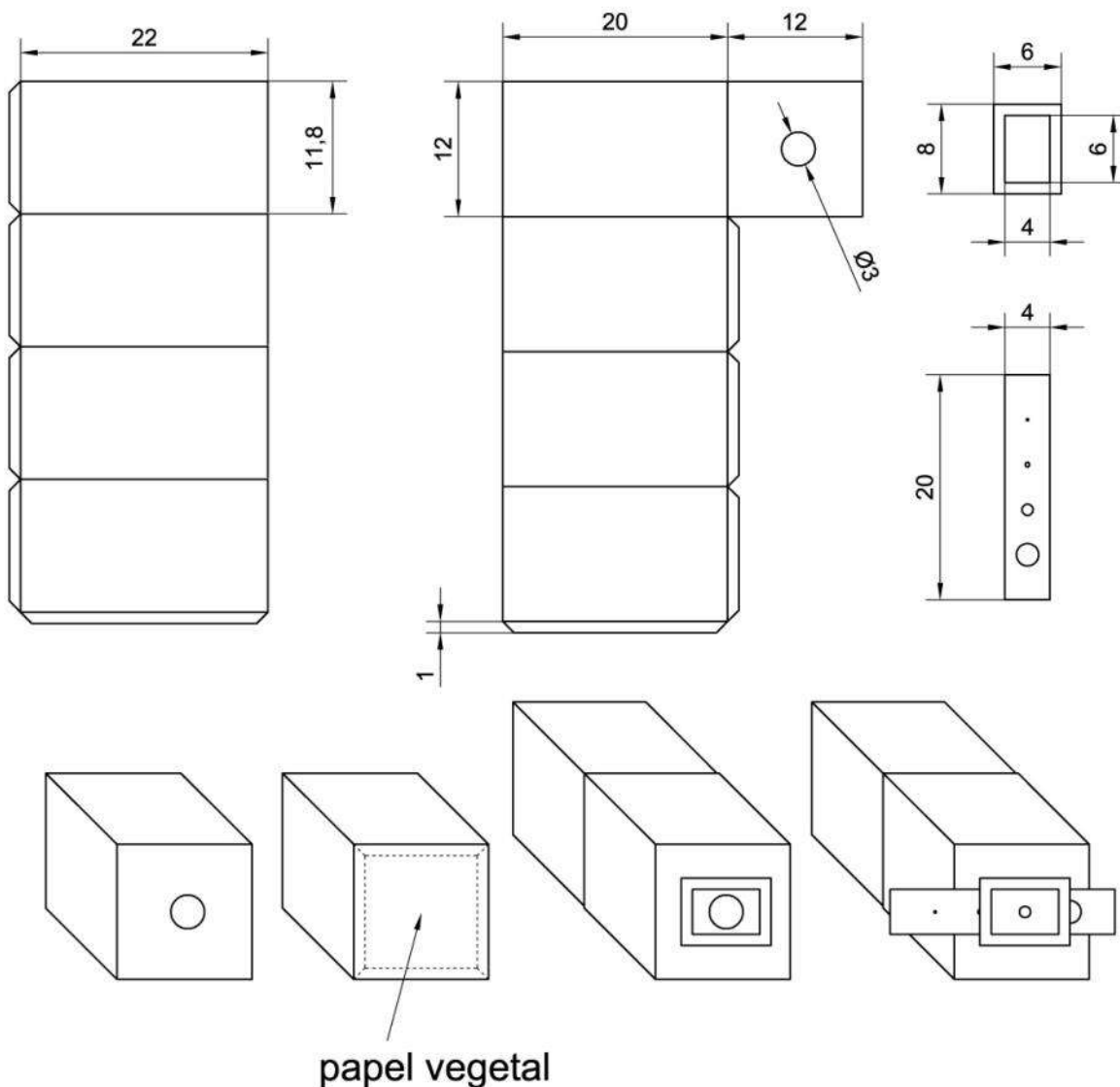
Pie de rey (con precisión de 0,1 mm)

Cinta métrica (con precisión 1 mm)

Cinta adhesiva

Construimos la cámara oscura (Fig. 2, 3, 4, 5, y 6). Consiste en dos cajas, una se inserta en la otra, similar pero algo más ancha, de tal forma que deslizando una entre la otra, se obtiene una longitud total variable. En un extremo hay una pantalla de papel semitransparente (papel cebolla o de seda). En el otro extremo hay un orificio de 3 mm de diámetro. Delante de él se puede deslizar una cartulina con orificios de distintos diámetros (todos menores de 3 mm, los dos más pequeños hechos con la punta de una chincheta y con un alfiler). Así tenemos una cámara oscura de longitud variable y de varios diafragmas.

Fig. 2: Planos con las medidas para construir la cámara oscura



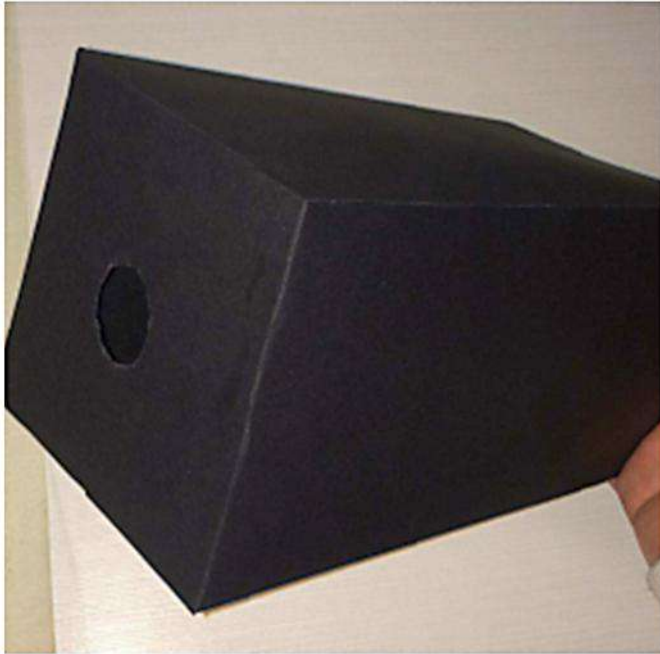


Fig. 3: Montaje de la caja 1

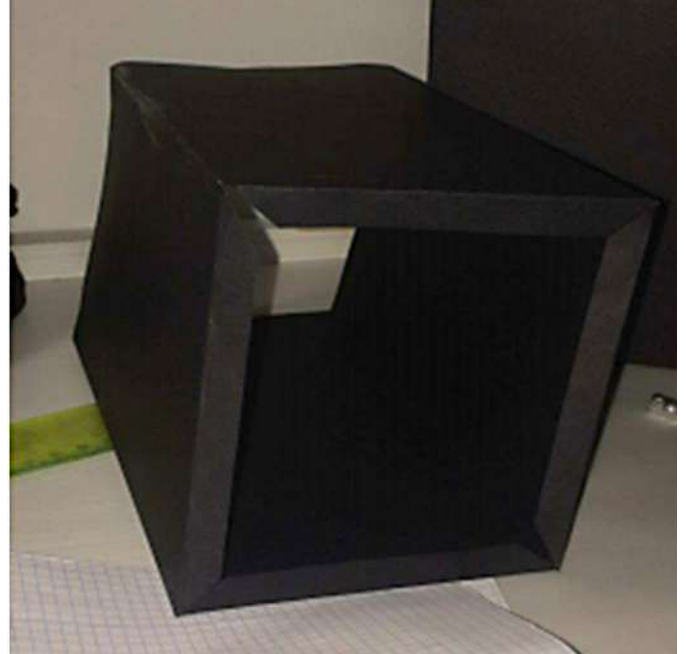


Fig. 4: Montaje de la caja 2



Fig. 5: Caja 2 con el papel vegetal

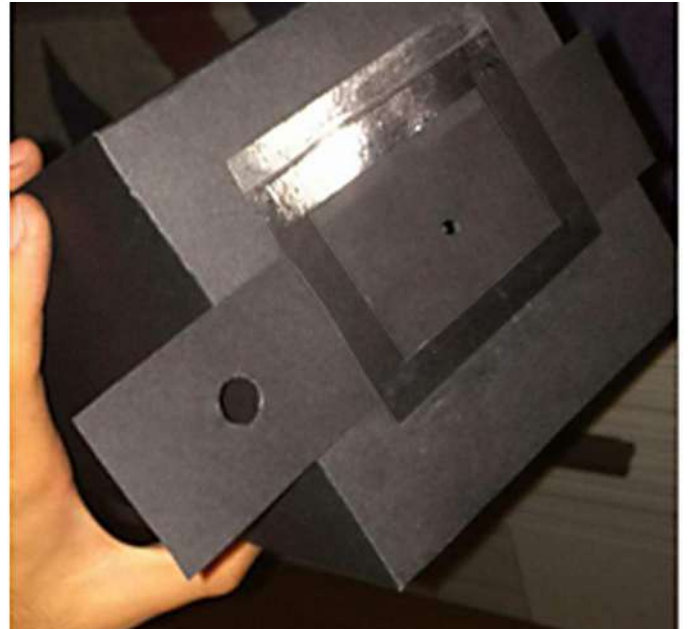
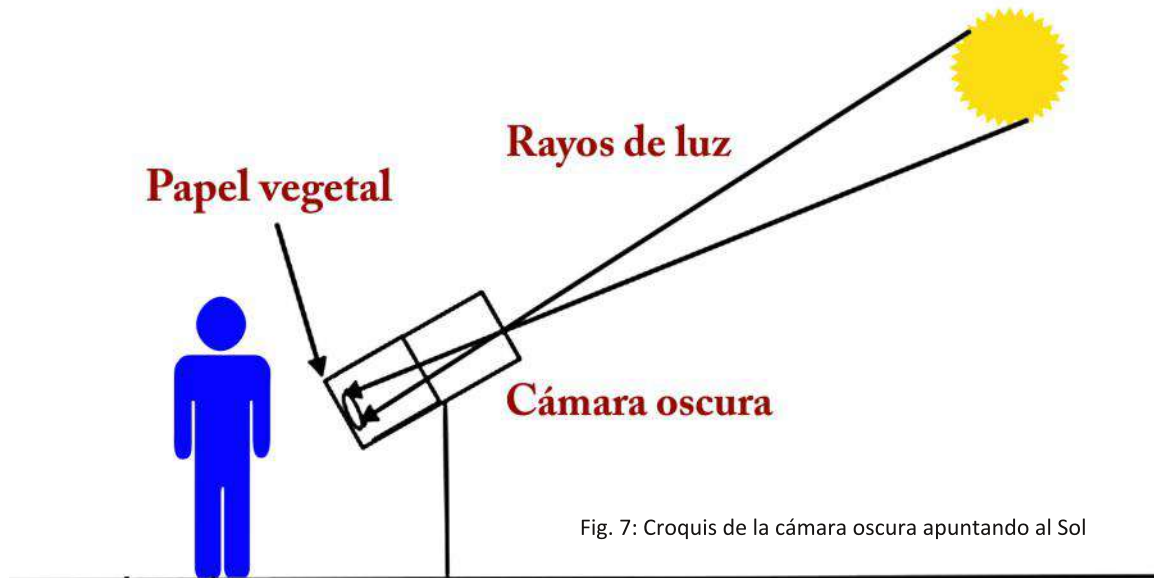


Fig. 6: Tira de cartulina con orificios de distintos diámetros en la boca de la caja 1



Se introduce la caja 2 dentro de la 1 de tal manera que la pantalla de papel vegetal quede al exterior, y se ensambla al trípode-soporte con cinta adhesiva. Se orienta la cámara de tal manera que los rayos del Sol incidan perpendicularmente en la cara frontal de la caja 1 (Fig. 7).

Dejamos que los alumnos se familiaricen con la cámara oscura: que vean cómo se apunta y qué pasa al variar la longitud y el diafragma. Se darán cuenta de que la imagen del Sol en la

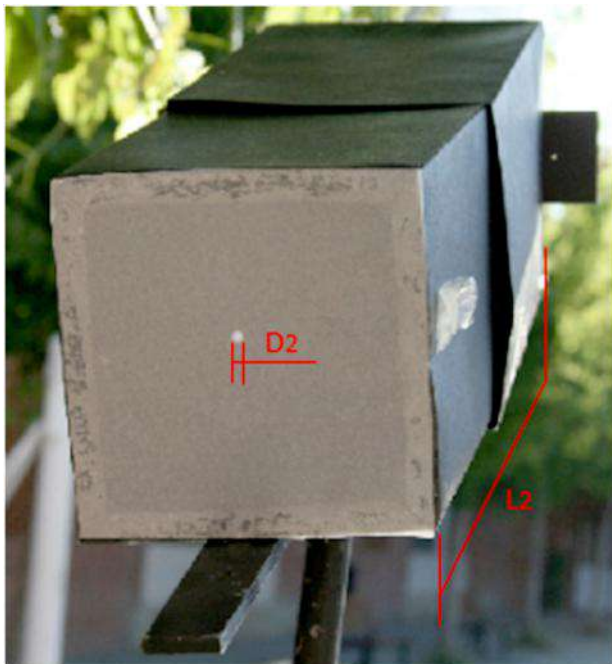


Fig. 8: Imagen del Sol proyectada en la pantalla de la cámara oscura



Fig. 9: Medida de la longitud de la cámara (L_2)

pantalla de papel cebolla es más nítida si se utilizan los orificios más pequeños de la tira, aunque quizá con el más pequeño casi no se vea y sea difícil medir el diámetro del Sol. Por otra parte, con longitudes grandes, las imágenes son más grandes pero menos brillantes. Las ventajas de elegir unos valores u otros es algo que los alumnos deben pensar y decidir (p. ej. para apuntar al Sol, es mejor usar un diafragma grande y una longitud pequeña, mientras que para medir la imagen del Sol, viene bien diafragmas pequeños para minimizar la zona de penumbra).

Se fija una longitud de la cámara y un diafragma. Se mide con un pie de rey el diámetro de la imagen proyectada del Sol (D_2), y con una cinta métrica la longitud de la cámara (L_2) (Fig. 8 y 9).

Se varía la longitud de la cámara oscura varias veces, desplazando la caja 2 de la caja 1, y se hacen nuevas medidas de D_2 y L_2 .

Se debe hacer notar que, como el pie de rey tiene una precisión de 0,1 mm, las medidas de D_2 en mm serán con un decimal. Sin embargo la cinta métrica tiene una precisión de 1 mm, por lo que L_2 en mm no tendrá decimales.

Resultados obtenidos, análisis y discusión

Con el dato de partida del diámetro del Sol $D_1 = 1,39 \cdot 10^6$ km, y nuestras cinco medidas, obtenemos los valores de L_1 de la Tabla 1.

Al analizar los valores de los resultados, se observa que el primero se aleja mucho de los otros. Se puede discutir con los alumnos: ¿puede ser porque haya variado la distancia que estamos calculando mientras medíamos?, ¿será por descuido en la medida?, ¿por imprecisión de los aparatos de medida? Y se puede decidir de forma racional (no porque nos convenga) si desechar ese valor, mantenerlo o repetir la medición.

En este caso lo hemos mantenido. Por tanto, el error absoluto sería la mayor diferencia con la media, o sea, $0,20 \cdot 10^8$ km. Y la distancia Tierra-Sol obtenida la podríamos expresar de la siguiente manera:

$$(\bar{L}_1 \pm E_{abs. \max.}) = (1,42 \pm 0,20) \cdot 10^8 \text{ km}$$

Medida	L_2 (mm)	D_2 (mm)	$L_1 = \frac{L_2 \times D_1}{D_2}$ (km)
1	361	4,1	$1,22 \cdot 10^8$
2	359	3,4	$1,47 \cdot 10^8$
3	360	3,3	$1,52 \cdot 10^8$
4	356	3,5	$1,41 \cdot 10^8$
5	370	3,5	$1,47 \cdot 10^8$

Tabla 1

$$\bar{L}_1 = 1,42 \cdot 10^8$$

Como el valor real de la distancia media Tierra-Sol es de $1'50 \cdot 10^8$ km, vemos que cae dentro del intervalo de error de nuestra medida. Podemos calcular el error relativo:

$$L_r = 1'50 \cdot 10^8 \text{ km}$$

$$L_j = 1'42 \cdot 10^8 \text{ km}$$

$$E_{rel} = \frac{|L_1 - L_r|}{L_r} \cdot 100 = \frac{|(1,42 - 1,50) \cdot 10^8|}{1,50 \cdot 10^8} \cdot 100 = \frac{0,08}{1,5} \cdot 100 = 5,3\%$$

El error relativo es del 5,3 %, un error aceptable, medianamente importante pero no excesivo.

Nótese que si hubiéramos rechazado la primera medida, el valor de la media sería $1,47 \cdot 10^8$, con un error absoluto del $0,06 \cdot 10^8$. El valor obtenido lo expresaríamos como $(1'47 \pm 0'06) \cdot 10^8$ km, y el error relativo sería del 2 %, bastante más preciso.

Finalmente, la cámara oscura también nos permite hacer una estimación por el mismo procedimiento de la distancia de la Tierra a la Luna^[2]. Es preciso hacer las mediciones una noche de Luna llena (Fig. 10 y 11), y las imágenes son bastante más débiles.

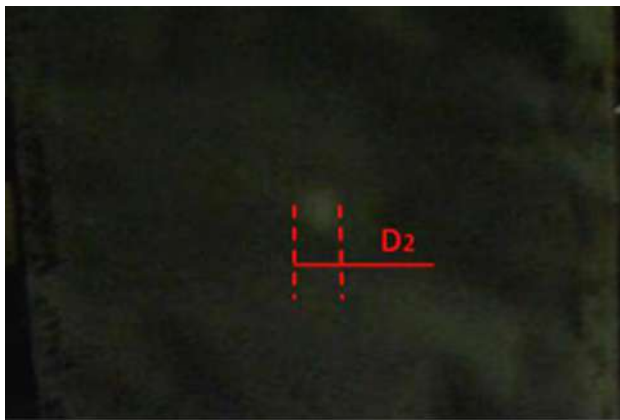


Fig. 10: Midiendo el diámetro de la imagen de la Luna



Fig. 11: Laura Latorre proyectando la imagen de la Luna en la pantalla de la cámara oscura

4. Referencias

[1]. Mesurant la distancia al Sol. Consultado el día 23/11/2029. Disponible en: <http://www.eso.org/public/outreach/eduoff/aol/market/collaboration/solpar/>

[2] Laura Latorre, 2009. Seguint les petjades còsmiques. Consultado el 29/11/2020. Disponible en <http://www.xtec.cat/iesguindavols/laura/treball.pdf>