

revista **NaDiR**

Nº 45 II-2021

**ASTRONOMÍA Y ÓPTICA:
¿QUÉ SIGNIFICA "VER EL
RAYO VERDE"?**

**MODELOS ON LINE CON
PLANETAS Y
EXOPLANETAS**

**CÁLCULO DE LA
DISTANCIA DE LA TIERRA
A LA LUNA A PARTIR DE
UNA FOTO**

**TRÁNSITO DE MERCURIO
VS TRÁNSITO DE VENUS**

**GANADORES DEL
CONCURSO SOBRE LA
GRAN CONJUNCIÓN**

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



**ASOCIACIÓN
PARA LA ENSEÑANZA
DE LA ASTRONOMÍA**

ApEA

NADIR es una revista de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA)
www.a pea.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

Comité de Redacción:

Manu Arregi y Joaquín Álvaro

Depósito Legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Febrero 2021

Foto de portada: Simulando el efecto Doppler.
Ricardo Moreno. [NASE](#).

SUMARIO

DIDÁCTICA

ASTRONOMÍA Y ÓPTICA: ¿QUÉ
SIGNIFICA "VER EL RAYO VERDE"?
Juan Tomé 3

MATERIALES

MODELOS ON LINE
CON PLANETAS Y EXOPLANETAS
Ricardo Moreno 12

EXPERIENCIAS

CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE LA
TIERRA A LA LUNA A PARTIR DE
UNA FOTO
Anicet Cosials 16

EXPERIENCIAS

TRÁNSITO DE MERCURIO VS
TRÁNSITO DE VENUS
Anicet Cosials 20

CONCURSO

GANADORES DEL CONCURSO
SOBRE LA GRAN CONJUNCIÓN 24

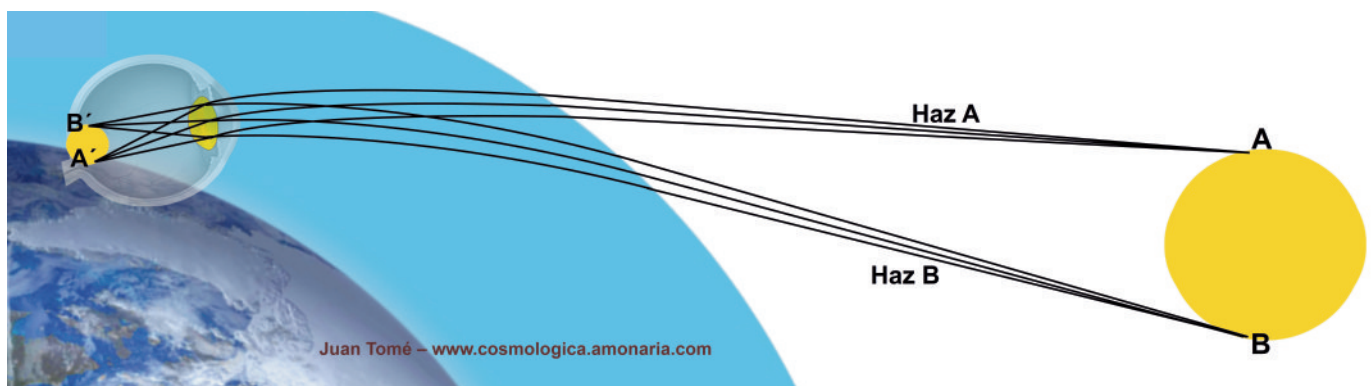
Nadir no se hace responsable de las opiniones expresadas en los artículos. Si no se indica otra cosa, las imágenes son propiedad de los autores de los artículos.

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.

ASTRONOMÍA Y ÓPTICA: ¿QUÉ SIGNIFICA "VER EL RAYO VERDE"?

Juan Tomé; www.cosmologica.amonaria.com



Los fenómenos de refracción atmosférica que ocurren a la salida y a la puesta del Sol pueden ofrecer magníficas oportunidades de introducir contenidos de astronomía en la enseñanza de la óptica, oportunidades que no deberían desdeñarse cuando la enseñanza de la astronomía está tan relegada. El provecho posible es máximo si se plantea la enseñanza de la óptica como búsqueda de respuestas al problema general “en qué consiste ver”.

Ese planteamiento tiene ventajas para el aprendizaje de la óptica y para el de la astronomía. Por un lado, los fenómenos de refracción y de formación de imágenes se estudian en un contexto estimulante para los alumnos; por otro, relacionar los procesos de salida y puesta del Sol con “lo que se va viendo” mientras duran es muy útil para clarificar el significado de términos astronómicos como altura real y altura aparente del Sol, orto y ocaso, horizonte astronómico y horizonte geométrico.

Este artículo es una introducción a un trabajo más amplio que se titula “Sobre el significado de la frase *ver el rayo verde*”^[1]. El trabajo incluye muchas ilustraciones originales que pueden facilitar el trabajo con los alumnos. En todas ellas, el Sol y el ojo son protagonistas, de forma que las cuestiones astronómicas, las de refracción atmosférica y las de la visión resultan siempre integradas.

^[1] Puede verse en Amonaria cosmológica – Ver el rayo verde.

Enseñar “en qué consiste ver”

“Ver algo” es el resultado de la combinación de fenómenos físicos, biológicos, neurológicos y cerebrales. El ojo como sistema óptico, la retina como tejido fotosensible, el nervio óptico como transmisor al cerebro de respuestas de la retina a los fotones que en ella inciden y el cerebro como elaborador e identificador de patrones resultantes de todo lo anterior, todos esos, ojo, retina, nervio óptico y cerebro, son los órganos que nos permiten “ver algo”. El resultado de “ver algo” es una representación mental del “algo”, una representación que adquiere sentido al ser compartida: evolutivamente compartida entre especies de mamíferos y, además, culturalmente compartida en el caso de los humanos.

Considerado en conjunto, “ver algo” es, desde luego, un fenómeno complejo. Sin embargo, la cosa es mucho más sencilla si se atiende sólo a su faceta física: siempre que se “ve algo” es porque hay fotones que parten (bien sea por emisión, bien por reflexión) de “lo que se ve” y que, después de un recorrido más o menos largo y más o menos tortuoso, entran por la pupila, atraviesan cristalino y humores y llegan a la retina. Desde el punto de vista estrictamente físico, la explicación de “ver algo” tiene que consistir en determinar cuáles son esos fotones, por qué esos y no otros de los muchos procedentes de “lo que se ve”, cuáles son sus trayectorias y cómo interaccionan con el cristalino para formar en la retina la imagen óptica teórica de “lo que se ve”. Pero luego, la explicación física debe completarse analizando si las características biológicas de la retina pueden o no materializar esa imagen teórica en todos sus detalles.

Todo lo anterior, que está claro para cualquier profesor, no puede darse por supuesto para los alumnos. Los siguientes resultados están tomados de un trabajo de investigación didáctica con alumnos de secundaria, de ESO y Bachillerato, en la Comunidad de Valencia. Los alumnos de ESO, curso 2º, fueron encuestados después de participar en entre 12 y 18 sesiones de enseñanza dedicadas a la óptica; los de bachillerato, después del tema de óptica geométrica del 2º curso de ese nivel. Según los autores, los resultados son consistentes con los de otras investigaciones en diversos países^[2].

Proposiciones referidas a los alumnos	Porcentajes correspondientes entre los alumnos encuestados	
	ESO	BACH
No consideran necesario que para ver algo llegue luz al ojo procedente del objeto	72	39
No consideran a los objetos iluminados fuentes luminosas	77	53
No consideran las fuentes extensas de luz como conjuntos de emisores puntuales	87	53
No representan haces de luz emitidos desde cada punto del objeto	98	92
Creen que la imagen se traslada «ya hecha» desde el objeto o que los rayos son portadores de cada uno de los puntos de la imagen	95	83
No consideran al ojo como un instrumento óptico formador de imágenes	94	75

^[2] Osuna, L. y otros, “Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria”, p 286–287. Los autores del trabajo elaboraron en 2007 una propuesta didáctica que concibe el estudio de la óptica como investigación sobre “en qué consiste ver”. Años después presentaron los resultados de su aplicación en el aula. (Ver Osuna, L. y otros, “Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria”).

Las tres primeras filas del cuadro muestran que más de un 70 % de alumnos de la ESO y alrededor del 50 % de los de Bachillerato no disponen de la suposición más básica para explicar “en qué consiste ver”, a saber, que todo empieza por la emisión, o el reflejo, de fotones en todos los puntos de “lo que se ve”. Y las tres últimas muestran que más de un 90 % de alumnos de la ESO y más del 80 % de Bachillerato, no dispone de las herramientas básicas para explicar cómo se forman las imágenes en la retina.

En general, resultados como esos reflejan que la enseñanza tradicional de la óptica se dedica a los fenómenos ópticos (reflexión, refracción, formación de imágenes en espejos y lentes delgadas) sin encuadrarlos en una teoría de la visión, del “en qué consiste ver”. Al contrario, en las propuestas que centran la enseñanza de la óptica en la investigación del problema general “en qué consiste ver”, los fenómenos ópticos no aparecen como objetos de estudio en sí mismos, sino como elementos necesarios para resolver problemas que atañen directamente a los alumnos. Por ejemplo, para comprender en qué consiste “ver el Sol”, “ver salir o ponerse el Sol” o “ver el rayo verde” es necesario estudiar el papel que juegan el cristalino y la refracción atmosférica. Este es el potencial didáctico de la enseñanza de la óptica centrada en el problema general “en qué consiste ver” y aplicada a hechos astronómicos que pueden conservar todavía algo de magia y atractivo.

El modelo de visión de Kepler

Enfocar la enseñanza de la óptica hacia el problema general “en qué consiste ver” requiere un modelo teórico de la visión. Kepler, en su obra *“Ad Vitellionem Paralipomena”*, publicada en 1604, estableció el modelo de visión más sencillo de todos los que tienen capacidad explicativa y predictiva suficiente sobre los fenómenos de óptica geométrica que se estudian a nivel de secundaria.

En el modelo de Kepler, las imágenes se forman mediante la luz proveniente de los objetos que llega al ojo y entra por la pupila. Kepler esquematizó el ojo y la pupila como una esfera acuosa y un diafragma, estableció la correspondencia de cada punto del objeto con un punto de la imagen formada sobre una pantalla colocada en la parte posterior de la esfera ocular, mostró la marcha de los rayos refractados por el cristalino para formar la imagen retiniana invertida respecto al objeto visto, y dejó para los «físicos» (los estudiosos de la anatomía y funciones de los órganos del cuerpo humano) definir el proceso de elaboración de la imagen definitiva^[3]. Para su explotación didáctica, el modelo de Kepler puede reformularse así:

1. Desde todos los puntos de algo que “se ve” parten fotones en todas las direcciones posibles.



Fig. 1

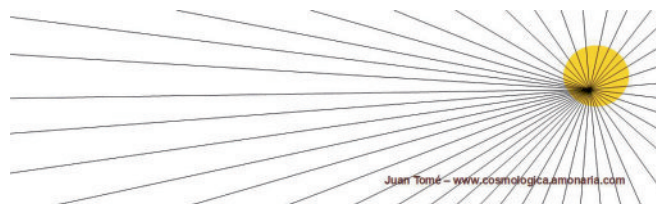


Fig. 2

Las figuras 1 y 2 representan las emisiones de dos puntos cualesquiera de la superficie del Sol. Para todos los rayos dibujados se podrían encontrar fotones que los siguieran. Y dibujos similares se podrían hacer para cada uno de los puntos de la superficie.

^[3] Maitte, B., “La lumière”, p 43-44.

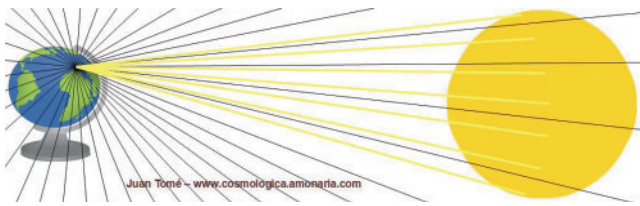


Fig. 3

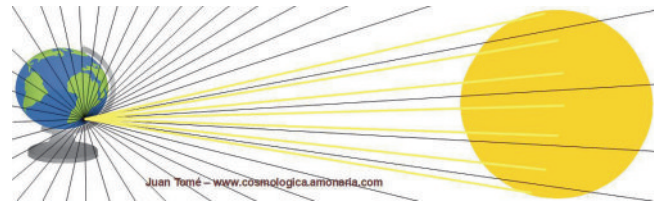


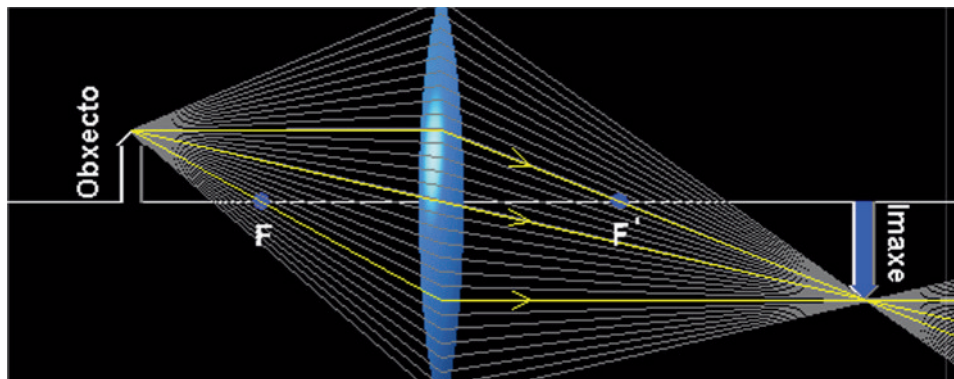
Fig. 4

Si lo que “se ve” no es un objeto emisor, sino uno iluminado por otro, sucede lo mismo, pero los fotones que parten de él serán fotones difusamente reflejados o reemitidos. En las figuras 3 y 4, fotones procedentes de cualquier punto de la superficie del Sol llegan a puntos de un globo terráqueo donde están España y Madagascar. De esos puntos del globo, como de cualquier otro iluminado, parten fotones en todas direcciones.

2. Los fotones que parten de “lo que se ve” pueden ser de todas las frecuencias del espectro visible, y así será en la mayoría de los casos, salvo focos monocromáticos o de espectro discontinuo.

En el caso del Sol, en cada uno de los rayos de las figuras anteriores podrían identificarse fotones de todas las frecuencias del visible. En el caso del globo terráqueo, las frecuencias de los fotones que parten de cada punto dependerán de las propiedades reflectoras o reemisoras de cada punto del globo.

3. El cristalino del ojo, que es una lente convergente de curvatura variable, tiene la propiedad de hacer corresponder a cada punto de “lo que se ve” (objeto en el lenguaje de la óptica geométrica) un punto de la imagen que forma.

Fig. 5. [http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisica Interactiva](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisica%20Interactiva)

La figura 5 muestra que todos los fotones procedentes del extremo superior del objeto y que atraviesan la lente convergente son desviados de tal manera que vienen a confluir en un punto, el *punto imagen* del extremo superior del objeto. La lente hace esto no solo con todos los rayos procedentes del punto superior sino con todos los procedentes de cualquier otro punto del objeto, haciéndolos confluir en los correspondientes *puntos imagen*. De este modo, punto a punto, “manejando” tantos haces de rayos como puntos de los que parten fotones, la lente construye la imagen completa del objeto. Esta es la extraordinaria propiedad de las lentes que debiera ser siempre señalada^[4], [5].

^[4] No son habituales los dibujos como el de la figura 5. En una inmensa mayoría de los dibujos explicativos de la formación de imágenes en sistemas ópticos sencillos (espejos y lentes delgadas) se consideran sólo dos o tres rayos que parten del extremo superior del objeto, los llamados principales, los que aparecen resaltados en amarillo en la figura. El papel, e incluso la existencia, de la multitud de rayos de los que esos tres forman parte se obvia en las explicaciones. Pero si la lente formara cada *punto imagen* sólo con dos o tres rayos, su debilidad sería tal que no podría activar respuestas de retinas, papeles fotográficos o superficies fotosensibles. La diferencia entre cámaras estenopeicas y cámaras con lente objetivo es que en las estenopeicas cada punto imagen se forma con “un solo rayo” (en la idealización de estenope puntual) mientras que en las que tienen objetivo la imagen se forma con todos los rayos que desde un punto dado inciden en la lente. La poca luminosidad de las imágenes estenopeicas respecto de las otras demuestra esto.

^[5] En términos del Principio de Fermat, esa propiedad de las lentes puede parecer todavía más extraordinaria. El Principio establece que el

4. En el ojo, la imagen se forma en la retina, la “pantalla” del fondo del globo ocular, a partir de estrechos haces de fotones que parten de cada punto del objeto y aciertan a entrar por la pupila, el angosto paso que el iris abre más o menos según la luminosidad del momento. La imagen se forma invertida respecto de “lo que se ve”.

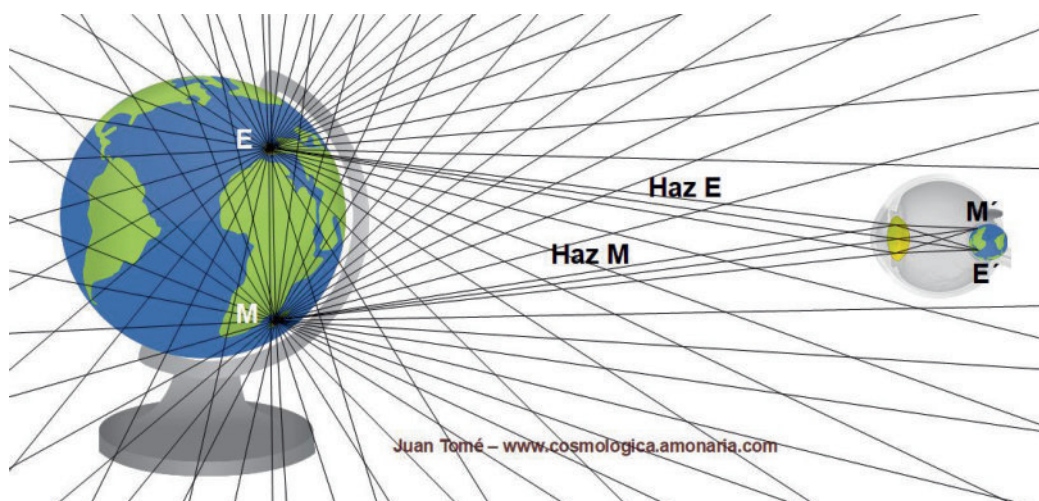


Fig. 6

De todos los fotones que parten de E y M (figura 6), dos puntos del globo terráqueo iluminado, sólo los estrechos haces E y M entrarán por la pupila y atravesarán el cristalino, que los hace converger en E' y M', los puntos imagen de E y M. De otros puntos del globo terráqueo, haces similares darán lugar a los puntos imagen correspondientes. El conjunto de todos ellos es la imagen invertida del globo terráqueo en la retina. El “software” cerebral le da la vuelta para que la percepción visual del globo terráqueo se ajuste a su posición respecto al resto de objetos del entorno del ojo y a la del cuerpo mismo.

En resumen, según el modelo de Kepler adaptado que se ha descrito, la imagen de los objetos “que vemos” se forma en la retina con una fracción de los fotones de cualquier frecuencia del visible que parten en todas direcciones desde cada uno de los puntos de “lo que se ve”. La fracción que contribuye a la formación de la imagen es la de los estrechos haces que entran por la pupila divergiendo a partir de cada punto de “lo que se ve”. El cristalino hace converger cada uno de esos haces en un punto distinto de la retina, componiéndose así la imagen. El cerebro trata esa imagen para incorporarla al paisaje visual de forma consistente.

Aplicar el modelo de Kepler a los fenómenos de salida y puesta del Sol

En la figura 7, A y B son puntos extremos del limbo solar, emisores de fotones del visible en todas direcciones. Pero de todos ellos, solo los estrechísimos haces A y B aciertan con la pupila y contribuyen a la formación de la imagen del Sol. El cristalino los concentra en A' y B', los extremos de la imagen

recorrido de un rayo de luz que vaya de un punto a otro, viajando por el mismo o varios medios, es el que supone duración mínima para el viaje. Pues bien, todos los rayos que conectan un punto objeto con su punto imagen pasando por la lente cumplen ese principio: todos ellos suponen la misma duración de viaje para los fotones que los recorren y es, para todos, la mínima posible. (Tarássov, L. y Tarásova, A., “Charlas sobre la refracción de la luz”, p 96).

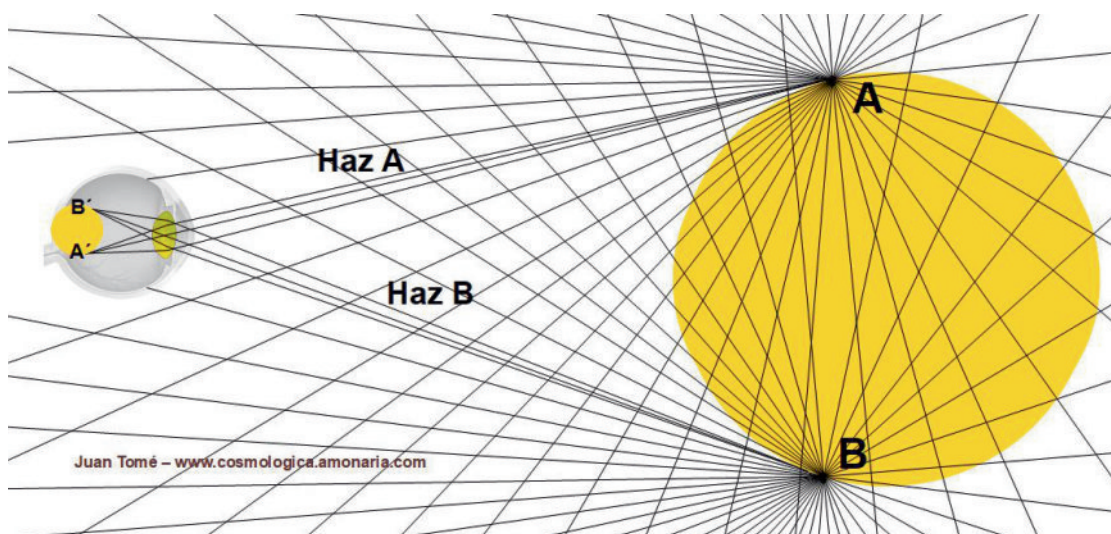


Fig. 7

invertida. De cualquier otro punto del limbo solar se podría dibujar haces semejantes, que el cristalino concentraría en algún punto entre A' y B'. La imagen se completaría punto a punto así ^{[6],[7]}.

Lo que muestra la figura 7 es que las imágenes del Sol en el ojo, o en una cámara fotográfica, se forman como cualquier otra. Sin embargo, el hecho de que los rayos solares tengan que pasar la atmósfera antes de llegar al cristalino o al objetivo de la cámara obliga a tomar en consideración los diversos efectos que la atmósfera produce en la luz solar que la atraviesa:

1. Los rayos de luz solar que atraviesan la atmósfera se curvan a causa de la refracción. Las trayectorias de los haces que forman las imágenes serán rectilíneas hasta que lleguen a la atmósfera; luego, a través de ella, tendrán que dibujarse curvas, como se muestra en la figura del comienzo del artículo.
2. La curvatura de los rayos causada por la refracción depende de las frecuencias. Por tanto, cualquier haz de luz solar que llegue a la atmósfera, que contendrá siempre fotones de todo el espectro del visible, se separará en haces de distintas frecuencias, de distintos colores.
3. La atmósfera absorbe y dispersa la luz solar, y lo hace en distinto grado para distintas frecuencias. Eso debe ser tenido en cuenta para discutir la composición espectral de la luz solar que llegue al cristalino o al objetivo de una cámara.

^[6] Aunque los haces de luz solar que entra por la pupila son muy estrechos, la potencia del Sol es suficiente para causar daños en la retina si se le mira directamente. Sólo en los momentos finales de la puesta o en los iniciales de la salida se puede mirar al Sol directamente, y aun así con precaución.

^[7] El diámetro del Sol es de casi $1,4 \cdot 10^6$ km y está a una distancia aproximada de $150 \cdot 10^6$ km, de forma que el diámetro angular del Sol es de unos 32 minutos de arco. Ese es el ángulo que forman los rayos que lleguen a la pupila de un ojo desde los extremos del limbo solar. Aunque el ángulo sea tan pequeño, ninguna explicación de “ver el Sol”, “ver salir o ponerse el Sol” o “ver el rayo verde”, o más general, ninguna explicación de cómo se forman imágenes del Sol en la retina (o en sistemas ópticos equivalentes) puede basarse en la aproximación de que los rayos que nos llegan del Sol son paralelos. Esa aproximación es muy útil para explicar diversos fenómenos astronómicos (inclinaciones de rayos del Sol y estaciones climáticas por ejemplo) pero no sirve para explicar la formación de imágenes del Sol. La formación de imágenes en cámaras estenopeicas demuestra que los rayos que pasan por el estenope para formar la imagen no son paralelos. Si no fuera así, no se podría explicar la formación de imágenes invertidas del Sol eclipsado que se consiguen usándolas (ver “Tubos negros: construcción y usos”, en este enlace a [Amonaria cosmologica – Tubos negros](#)). Por otra parte, la aproximación de rayos paralelos no podría explicar las imágenes completas que se forman cuando se tapa una parte del objetivo en sistemas ópticos como telescopios reflectores o refractores.

La consideración de todos esos factores puede complicar las explicaciones de cómo se forman las posibles imágenes del Sol en la retina o en la superficie fotosensible de una cámara fotográfica, pero el esquema explicativo básico de en qué consiste “ver el Sol”, “ver salir o ponerse el Sol” o “ver el rayo verde” se mantiene:

1. Reconocer qué fotones de todos los emitidos por el Sol en todas direcciones y desde todos los puntos de su superficie pueden seguir trayectorias que lleguen a la pupila en las distintas posiciones relativas del Sol, la Tierra y el ojo.

2. Dibujar sus trayectorias desde el Sol hasta la retina.

3. Dibujar las imágenes teóricas que puedan formar en la retina.

4. Discutir si esas imágenes teóricas pueden tener respuesta fisiológica que las hagan inteligibles.

Eso es lo que se intenta, con profusión de imágenes, en “Sobre el significado de la frase *ver el rayo verde*”, que reúne los elementos de astronomía, de óptica atmosférica y de fisiología de la visión que son pertinentes para explicar fenómenos de salida o puesta del Sol en el contexto del problema general “en qué consiste ver”.

Un resumen de “Sobre el significado de la frase *ver el rayo verde*”

Con el fin de que quienes hayan llegado leyendo hasta aquí puedan decidir si “Sobre el significado de la frase *ver el rayo verde*” merece su interés, se resumen a continuación sus argumentos y conclusiones principales ^[8]:

1. Cuando para un observador es “de día”, la posición relativa de Sol, Tierra y observador es tal que ningún obstáculo se interpone en el camino de los rayos de luz solar hasta el ojo del observador. Cuando es “de noche” la Tierra se interpone entre el Sol y el ojo del observador como obstáculo que impide la llegada de luz solar al ojo.

2. Los fenómenos de salida o puesta suceden en la transición de día a noche o al revés. Su análisis tiene que determinar en qué posiciones relativas de Sol, Tierra y ojo del observador tiene lugar esa transición, es decir, en cuáles de esas posiciones relativas la Tierra empieza a ser obstáculo para los rayos solares que llegan al ojo, eso en las puestas, o en cuáles deja de serlo en las salidas.

3. Si no hubiera atmósfera, la definición de tales posiciones relativas sería muy sencilla: la Tierra no sería obstáculo y un punto del Sol sería visible si se pudiera trazar una recta que fuera del punto al ojo sin cortar la Tierra. El límite de separación entre Sol visible y no visible lo establecería el horizonte astronómico para un ojo a altura cero sobre la superficie terrestre. Y para un ojo elevado una altura h sobre la superficie terrestre, el límite entre Sol visible y no visible sería el horizonte geométrico, una recta

^[8] Del intento de simplificar este resumen resultan algunas carencias que “Sobre el significado de la frase *ver el rayo verde*” no tiene: una, que se habla aquí de rayos aislados aunque la formación de imágenes en la retina requiere siempre colecciones de ellos, los haces que entran por la pupila; dos, que se usan aquí conceptos (línea límite entre partes visibles y no visibles del Sol, franja visible extrema) cuya definición precisa habría que buscar en el trabajo resumido; tres, que no aparecen aquí los datos numéricos (sobre amplitud angular del Sol, ángulo de desviación por refracción, ángulos de refracción diferencial, amplitud angular de la franja visible extrema) que justifican los argumentos; cuatro, que no se presentan aquí ninguna de las muchas figuras en las que se apoyan las explicaciones y que incluyen el dibujo de las imágenes del Sol formadas en la retina en distintos momentos de la salida o puesta; y cinco, que se han omitido en este resumen las referencias que apuntalan el trabajo resumido. “Sobre el significado de la frase *ver el rayo verde*” puede verse completo en [Amonaria cosmológica – Ver el rayo verde](#).

trazada desde el Sol al ojo que fuera tangente a la Tierra. Los fotones que siguieran esa recta pasarían el obstáculo Tierra “por los pelos”.

4. La atmósfera curva los rayos solares y eso complica el trazado de la línea límite entre Sol visible y no visible en los momentos de salida o puesta. Pero, en lo esencial, la definición de ese límite es la misma que antes: una curva ajustada a las leyes de la refracción atmosférica que vaya desde el Sol hasta el ojo siendo tangente a la Tierra en un punto. Los fotones que siguieran esa trayectoria límite pasarían el obstáculo Tierra “por los pelos”.

5. Los rayos curvados por refracción pueden llegar del Sol al ojo desde puntos que estén por debajo del horizonte geométrico. Puede pensarse en los fotones que llegan al ojo entonces como balones que pretenden alcanzar la canasta que está tras el obstáculo de las manos de un defensor: tienen que ser lanzados por elevación para que pasen por encima de ellas. De hecho, cuando “se ve el Sol tocar el horizonte” (todos los puntos del Sol son visibles en ese momento) el Sol entero está ya por debajo del horizonte geométrico y, por tanto, la Tierra se interpone completamente entre el ojo y él: todas las rectas trazadas desde cualquier punto del Sol hasta el ojo se topan con la Tierra. Si en esa posición relativa de Sol, Tierra y ojo se puede “ver el Sol tocar el horizonte” es, precisamente, porque los fotones que forman la imagen del Sol en la retina siguen trayectorias curvas que pasan por encima del “obstáculo” Tierra, trayectorias que son posibles por la refracción atmosférica.

6. Con la rotación de la Tierra, la trayectoria límite que separa los puntos visibles del Sol y los no visibles irá barriendo el limbo solar de abajo arriba en las puestas y de arriba abajo en las salidas. La duración del barrido será la duración de la puesta o de la salida.

7. Habrá una estrecha franja superior del limbo solar desde la que se emitan los últimos fotones que lleguen al ojo en las puestas del Sol, o los primeros que lleguen al ojo en las salidas. Aunque los puntos de esa franja, como cualquier otro del limbo solar, emiten fotones de todas las frecuencias del visible, sólo los del rango de los verdes y los azules pueden llegar al ojo. La razón es que la curvatura de los rayos solares en la atmósfera depende de la frecuencia (los rayos del extremo rojo del espectro visible son los que menos se curvan y los del azul los que más), y en esos momentos extremos sólo los rayos más curvos pueden superar el obstáculo Tierra y llegar al ojo. Los rayos de luz roja, emitidos desde la franja extrema en todas direcciones, o bien se toparán con la Tierra o bien la pasarán sin incidir sobre ella, pero ninguno podrá llegar al ojo. En el símil baloncestístico de antes, mientras que un lanzamiento “rojo” bien dirigido a canasta se topará con las manos del defensor, uno lanzado para superarlas por arriba no tendrá la curvatura suficiente para llegar a canasta y pasará por encima de ella. Con lanzamientos “rojos” no se puede encestar.

8. La absorción y dispersión atmosféricas completan la selección de los fotones que pueden llegar al ojo en los momentos extremos de la puesta o la salida. Fotones de los rangos de verdes y azules pueden superar el obstáculo Tierra y llegar al ojo, pero los azules son más absorbidos y más dispersados que los del rango del verde. Resulta entonces que los fotones del rango del verde predominan entre los últimos fotones que pueden llegar al ojo en las puestas de Sol, o entre los primeros que pueden hacerlo en las salidas.

9. La llegada de fotones al ojo no garantiza la formación de imágenes, como sucede con la luz de las estrellas: nos llegan a los ojos fotones emitidos por ellas pero no podemos formar imagen porque la magnitud angular de la estrella excede la resolución de la retina. Esto sucede con la franja visible extrema: es tan estrecha (su magnitud angular es tan pequeña) que el ojo no puede formar imagen de ella salvo que se produzcan fenómenos de refracción atmosférica no estándar que la amplíen. El más sencillo es el de espejismo inferior de la franja visible extrema ^[9].

10. Siempre que se “vea el rayo verde” habrán llegado a la retina fotones del rango del verde procedentes de la franja visible extrema. Si no median fenómenos de refracción no estándar, tales fotones no podrán formar imagen en la retina y su llegada se percibirá como destello, ráfaga o resplandor en el rango que va de los verdes a los azules. Si median fenómenos de refracción no estándar que amplifiquen la franja visible extrema, podrá formarse imagen de ella en la retina y la llegada de los fotones se percibirá como un rasgo más (un óvalo aplastado o un trazo más o menos grueso, entre el verde amarillento y el azulado) de la imagen del paisaje de puesta o salida del Sol. En definitiva, siempre que se diga “he visto el rayo verde” habrán llegado a la retina fotones del rango del verde procedentes de la franja visible extrema pero no siempre se “habrá visto” lo mismo.

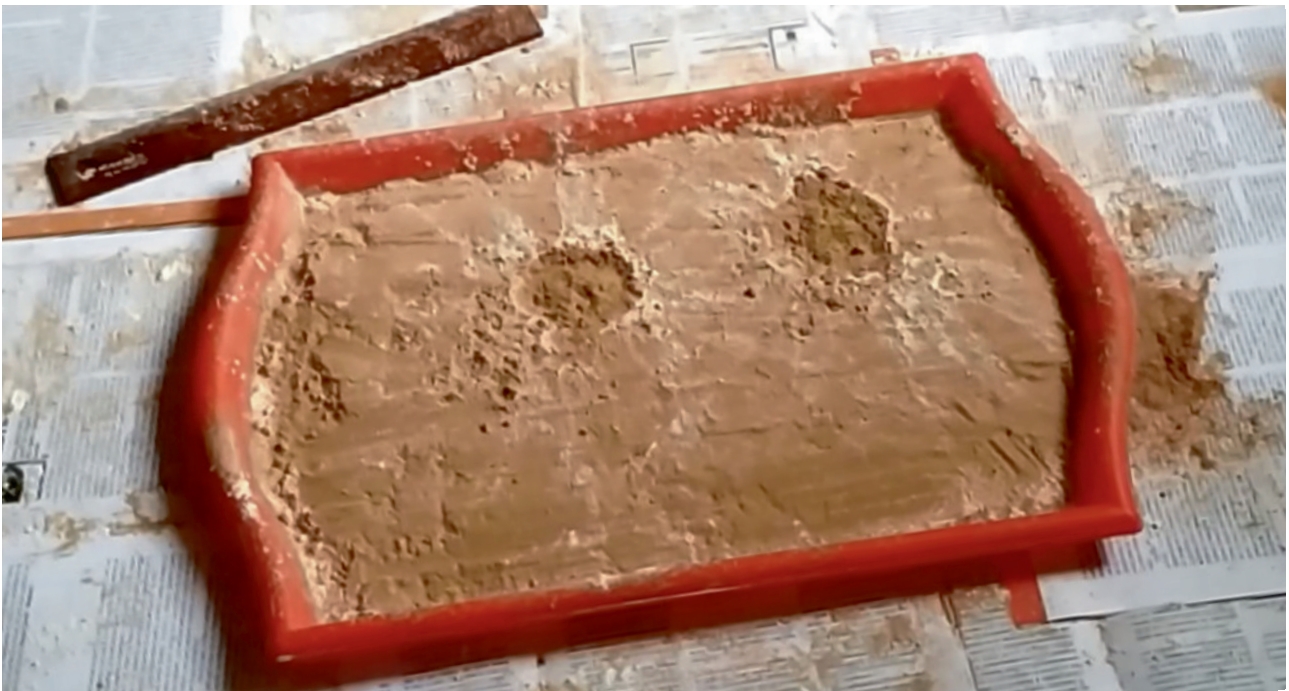
Referencias

- Maitte, B., 1981, “La lumière”, Éditions du Seuil, París.
- Osuna, L., Martínez Torregrosa, J., Carrascosa J., Verdú, R., 2007, Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria, Revista de Enseñanza de las ciencias, 25(2), p 277–294.
- Osuna, L., Martínez Torregrosa, J., Menargues, A., 2012, Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria, Revista de Enseñanza de las ciencias, 30 (3), p 295-317.
- Tarásov, L. y Tarásova, A., 1882, “Charlas sobre la refracción de la luz”, Ed Mir, Moscú, 1985.
- Young, A.T., 2012 a 2020, <https://aty.sdsu.edu/index.html>, web San Diego State University.

^[9] Ver Young, “Sunset science. III. Visual adaptation and green flashes” en <https://aty.sdsu.edu/papers/JOSA/GF-vis.html> , y Young, “Inferior-Mirage Simulations” en <https://aty.sdsu.edu/mirages/mirsims/inf-mir/inf-mir.html>.

MODELOS ON LINE CON PLANETAS Y EXOPLANETAS

Ricardo Moreno Luquero



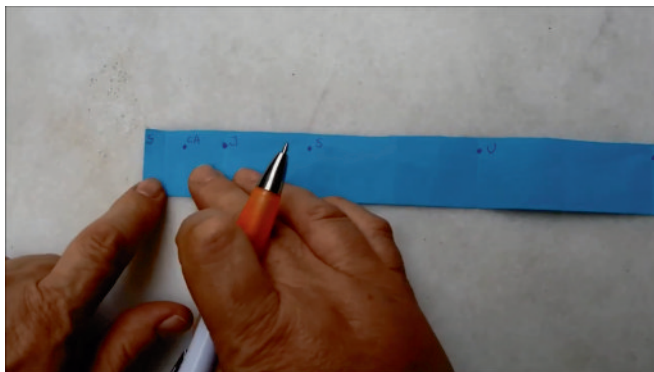
El Taller nº 9 del curso de NASE para profesores trata de planetas y exoplanetas. Y se incluyen bastantes modelos sencillos de tamaños, distancias, densidades, gravedades, etc, de los planetas de nuestro sistema solar, e incluso de algunos sistemas extrasolares. Conocerlos puede ser útil.

El contenido completo del Taller está disponible en la web de NASE, pero en este artículo quería presentar los videos cortos (1 a 3 minutos) en los que se muestran esos modelos, que pueden servir para la enseñanza on line. Están hechos sin audio, para que el que lo presenta en el curso on line haga las explicaciones que vea oportunas.

Hay tres videos sobre modelos de distancias. El [primero](#) es con un rollo de papel de calculadora. El [segundo](#) es en tamaño folio, aplicando la Ley de Bode. El [tercero](#) es con un rollo de papel de baño, tomando como una Unidad Astronómica la medida que viene precortada. Especial para los excedentes de papel higiénico de la pandemia.



Modelo de distancias en cinta de calculadora



Modelo de distancias en un folio, aprovechando la Ley de Bode



Modelo de distancia con papel de baño

En el [video](#) de la Actividad 2 se hace un Sol de 2 m en tela amarilla, y los planetas a escala se sitúan sobre él. Sirve para comparar los diámetros.



Modelo de tamaños

En este otro [video](#) se hace otro modelo de diámetros, comparando al Sol con un balón de baloncesto.



Modelo de tamaños. El Sol es el balón de basket

La siguiente actividad es situar los planteas sobre el plano de la ciudad, para entender las distancias. Es este [video](#) se muestra, con GoogleEarth, un sistema solar en el que la Tierra tiene 80 cm. A esa escala el Sol es del tamaño de un campo de fútbol, y el sistema solar del tamaño de España.



Tamaño del Sistema Solar sobre un mapa de Google-Earth

En este otro [modelo](#), hecho con una plantilla de dibujo, se representa algo no muy frecuente de encontrar en los libros: el tamaño del Sol visto desde los diferentes planetas.



Tamaño del Sol visto desde los planetas

El modelo de las densidades de los planetas es difícil de transmitir en un video, pues lo interesante es “sentir” las densidades. Pero la idea está en el [video](#).



Sintiendo las densidades de los planetas

El giro de los planetas produce el achatamiento por los polos, muy notable en Saturno. Se explica con este [video](#). En [este otro](#) se imita la formación esférica de los planetas.



Dos modelos: del achatamiento y de la formación esférica

La velocidad orbital de los planetas, mayor cuanto más cerca del Sol, se reproduce en este [video](#).



La vVelocidad depende del radio de la órbita



Pesándote en varos planetas

En las balanzas analógicas de baño no es difícil modifica su escala, pegando un disco graduado de forma proporcional a la gravedad superficial de otro planeta. Así puedes experimentar con el peso de tu cuerpo en otros planetas. Se ve en este [video](#).

La superficie de la Luna y de otros cuerpos del sistema solar están llenos de impactos. En este [video](#) se muestra un modelo de los cráteres de impacto con harina y cacao. Y en [este otro](#), también.

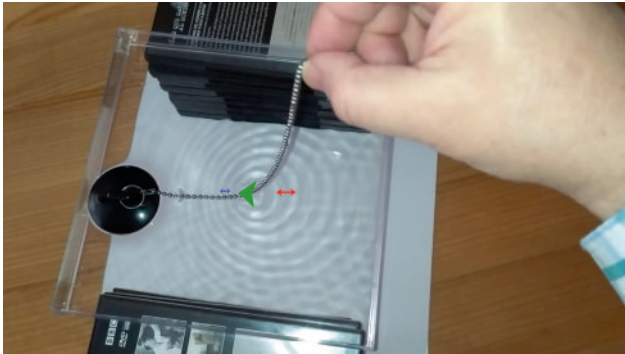


Modelo de cráteres de impacto

La exploración planetaria se hace con cohetes, y en este [video](#) se muestra cómo hacer uno con una pastilla efervescente.

Para descubrir planetas fuera del Sistema solar hay varios métodos. Uno es usar el efecto Doppler de la luz de la estrella, que se





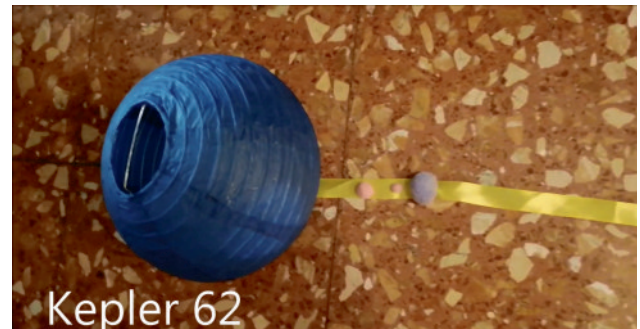
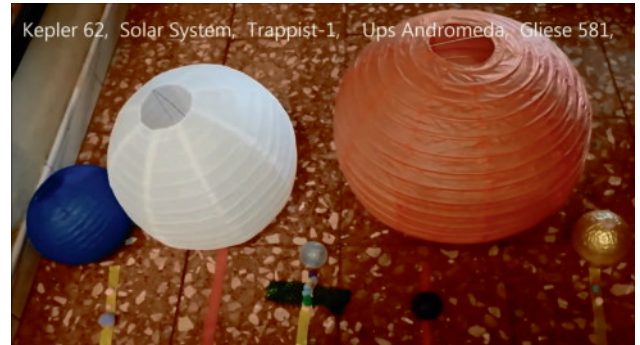
Cubeta de ondas casera para visualizar el efecto Doppler

modeliza en este [video](#) de una cubeta de ondas casera. Otro método es con microlentes gravitacionales, que se simula en este otro [video](#).



Simulando las microlentes gravitacionales

Se han descubierto ya muchos sistemas planetarios extrasolares. En este [video](#) y también en [este otro](#) se muestran unos modelos de tamaños y distancias de varios, e incluso están representadas las zonas de habitabilidad.



Modelos de sistemas extrasolares

Esperamos que estos videos os sirvan y os den ideas para la enseñanza de la Astronomía.

Referencias:

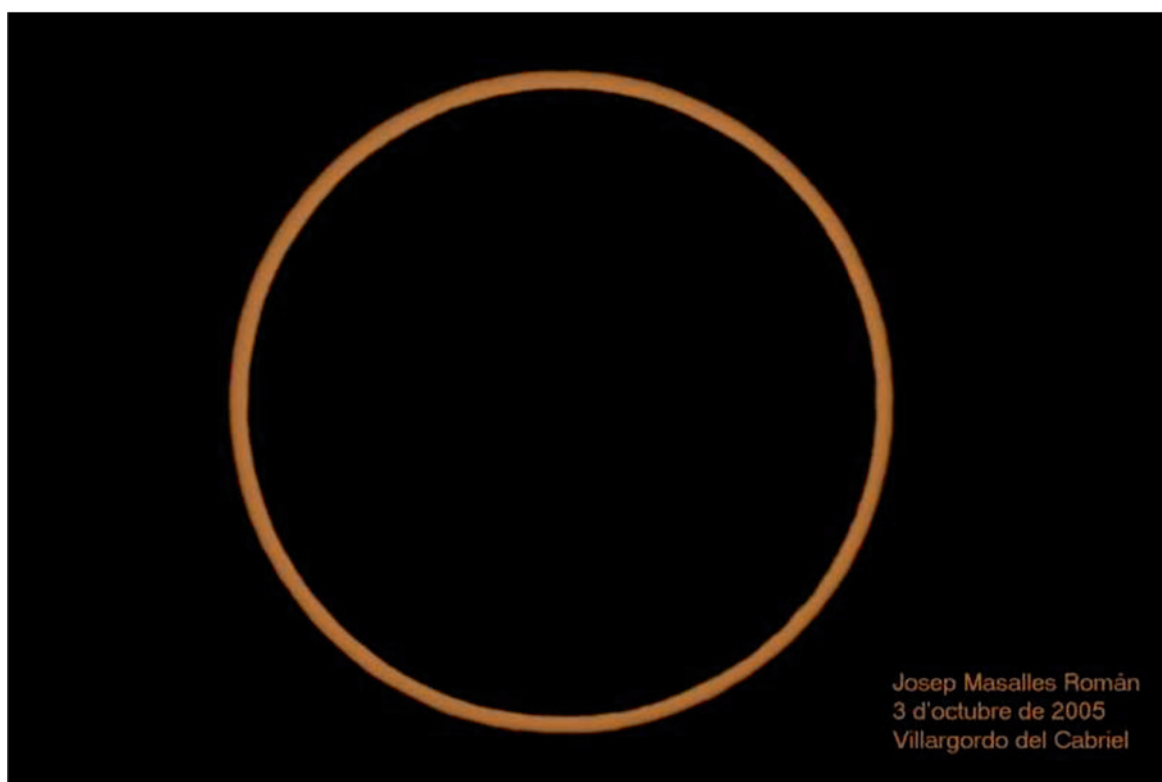
Web de NASE: <http://sac.csic.es/astrosecundaria/es/Presentacion.php>

Canal de YouTube de NASE: https://www.youtube.com/channel/UCIhE_31rV-895n_fm069PgA/



CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE LA TIERRA A LA LUNA A PARTIR DE UNA FOTO

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



En este artículo, vamos a calcular la distancia de la Luna a la Tierra el día del eclipse anular de Sol del 3 de octubre de 2005, a partir de una foto del eclipse y de consideraciones geométricas basadas en el teorema de Tales.

Se sabe que la órbita de la Luna alrededor de la Tierra no es circular, sino elíptica, y por este motivo, la distancia Tierra - Luna cambia constantemente en su movimiento orbital. La distancia mínima se alcanza en el perigeo (363.300 km) y la máxima en el apogeo (405.500 km).

Para que se produzca un eclipse total de Sol

se deben cumplir simultáneamente tres condiciones:

1. Que la Luna se interponga entre la Tierra y el Sol.
2. Que la Luna esté en el plano en el que la Tierra gira alrededor del Sol (plano de la eclíptica).
3. Que la Luna se encuentre a una distancia crítica de la Tierra.

Vamos a calcular primero la distancia máxima (distancia crítica) a la que debe encontrarse la Luna de la Tierra para que eclipse totalmente al Sol.

Al propagarse luz del Sol en línea recta, se establecen relaciones geométricas sencillas entre los tres cuerpos celestes que posibilitan visualizar triángulos semejantes, que permiten la aplicación del teorema de Tales (Imagen1).

Sean:

S = diámetro del Sol = $1,393 \cdot 10^6$ km;

L = diámetro de la Luna = 3.472,2 km

d_s = distancia de la Tierra al Sol = $1,496 \cdot 10^8$ km^[1];

d_L = distancia de la Tierra a la Luna

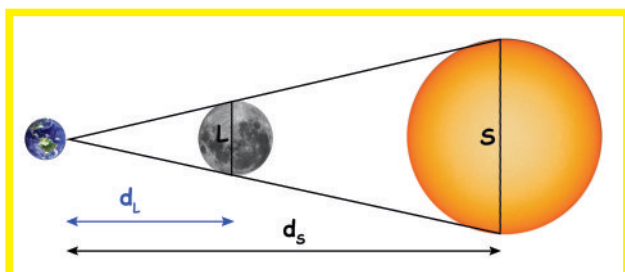


Imagen 1. Posición relativa Tierra-Luna-Sol en un eclipse de Sol.

Aplicando el Teorema de Tales:

$$\frac{S}{d_s} = \frac{L}{d_L} \rightarrow d_L = \frac{d_s \cdot L}{S} \quad \text{Fórmula 1}$$

Sustituyendo valores:

$$d_L = \frac{d_s \cdot L}{S} = \frac{1,496 \cdot 10^8 \cdot 3,472,2}{1,393 \cdot 10^6} = 372.894 \text{ km}$$

Para que la Luna eclipse totalmente al Sol debe encontrarse como máximo a 372.894 km.

Si el día del eclipse la Luna se encuentra a una distancia superior, no cubrirá totalmente el disco solar y se producirá un eclipse anular que podrá observarse como un anillo de fuego en algunas zonas de la Tierra. Esto es lo que sucedió el día 3 de octubre de 2005 (Imagen 2).

La foto de Josep fue tomada acoplando una cámara réflex al foco primario de un telescopio

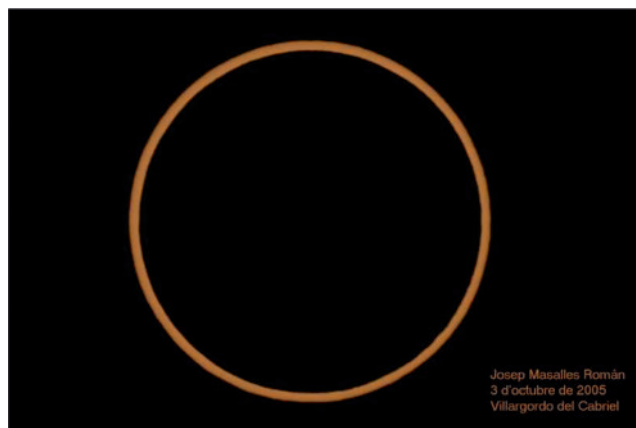


Imagen 2. Eclipse anular del Sol 03/10/2005, 11 h (hora local). Villagordo del Cabriel. (39°33'10 "N, 1°28'26" W; 699 m).

Cortesía de Josep Masalles^[1].

Meade (D: 125 mm, F: 1250 mm) provisto de un filtro solar.

Para poder calcular a qué distancia se encontraba la Luna de Tierra el día del eclipse haremos las siguientes consideraciones:

Si la Luna se encuentra una distancia d_{L1} de la Tierra (distancia crítica), eclipsa totalmente al Sol de diámetro S_1 (Imagen 3).

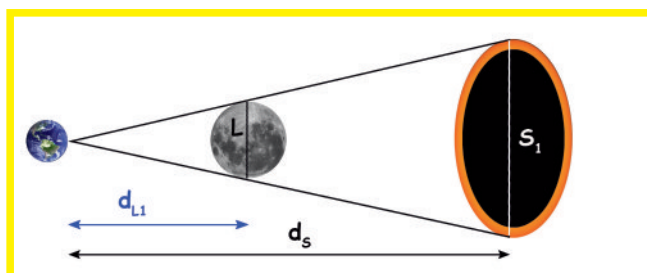


Imagen 3. La Luna eclipsa totalmente el Sol.

Si la Luna se encuentra a una distancia tal que $d_{L2} > d_{L1}$, eclipsa tan solo el disco interno del Sol, quedando visible solamente el anillo exterior (anillo de fuego) de diámetro interno S_2 y externo S_1 (Imagen 4).

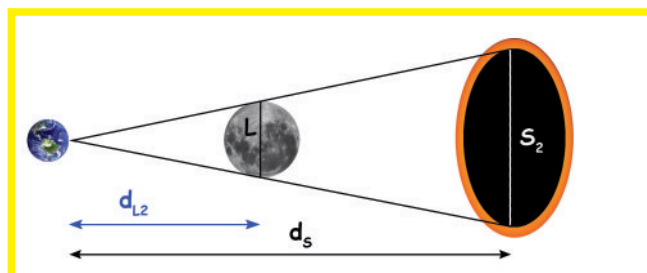


Imagen 4. La Luna no logra eclipsar todo el disco solar y se produce un eclipse anular

^[1] Realmente varía entre 147 y 152 millones de km. Hemos tomado la distancia media, que además era muy próxima a la del día del eclipse.

Con los triángulos semejantes imaginarios de las Imágenes 3 y 4 se pueden establecer las siguientes relaciones matemáticas:

$$\frac{S_2}{d_s} = \frac{L}{d_{L2}} ; \frac{S_1}{d_s} = \frac{L}{d_{L1}}$$

$$\frac{\frac{S_1}{d_s}}{\frac{S_2}{d_s}} = \frac{\frac{L}{d_{L1}}}{\frac{L}{d_{L2}}} \rightarrow \frac{S_1}{S_2} = \frac{d_{L2}}{d_{L1}} \rightarrow d_{L2} = \frac{S_1 \cdot d_{L1}}{S_2} \text{ Fórmula 2}$$

De la Fórmula 2, se deduce que es posible conocer la distancia de la Tierra a la Luna d_{L2} el día del eclipse anular; tan solo falta saber los diámetros externo e interno del anillo, y la distancia crítica d_{L1} .

Medida del diámetro del anillo

La medida del diámetro externo e interno del anillo se realizará con la fotografía tomada el día del eclipse, utilizando la cinta métrica del programa gratuito Tracker^[2]. Primeramente, hay que abrir el archivo con la Imagen 2, y calibrar la cinta métrica con la vara de calibración; esto lo hacemos asignándole al diámetro del Sol (segmento azul) el valor de 1,393E6 km (Imagen 5).

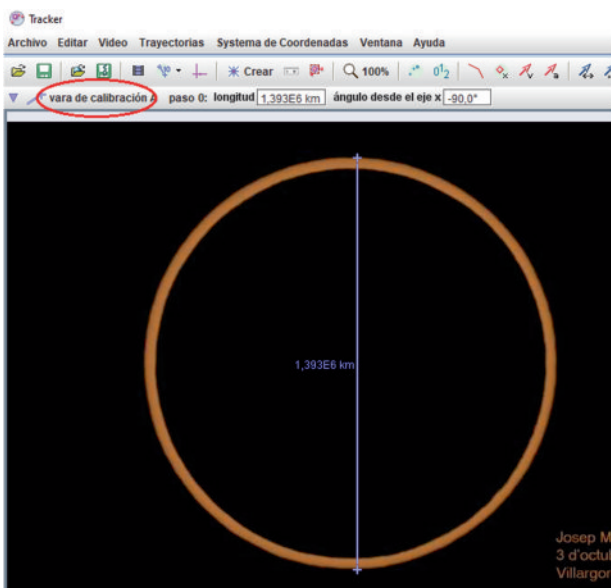


Imagen 5. Vara de calibración

A continuación, utilizando la cinta métrica del programa, se miden los diámetros externo e interno del anillo (Imágenes 6 y 7).

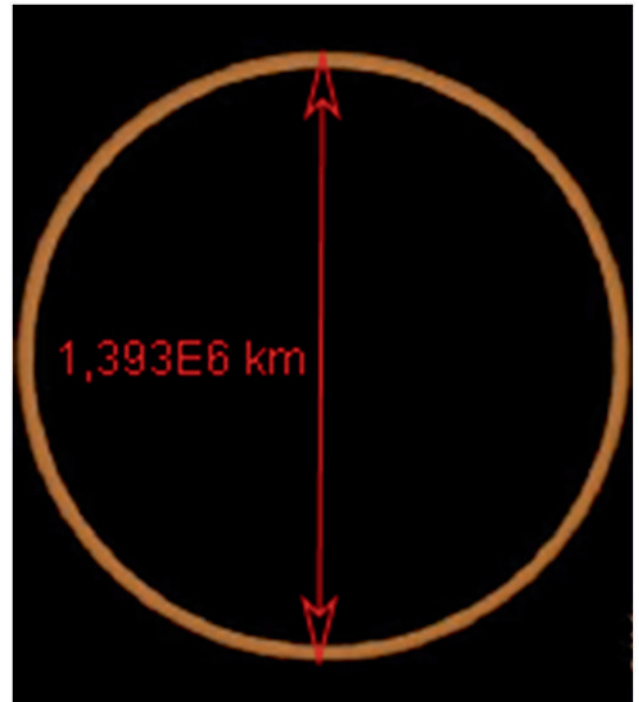


Imagen 6. Diámetro externo S_1

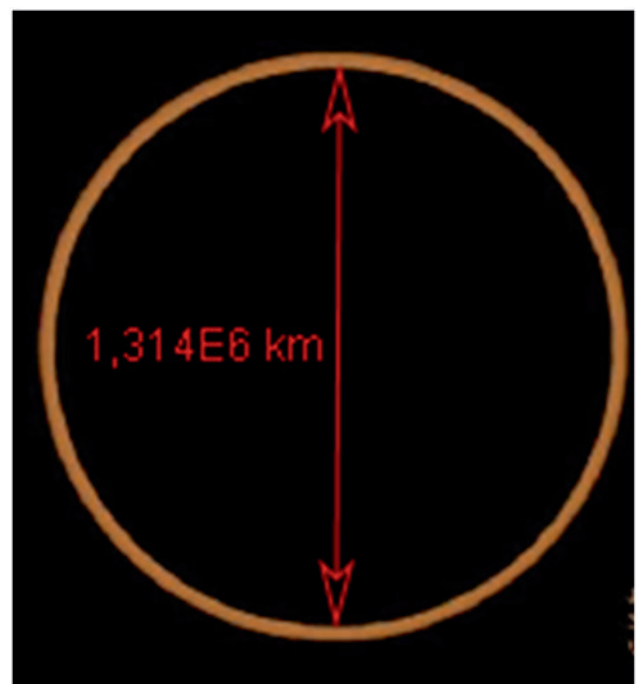


Imagen 7. Diámetro interno S_2

Aplicando la fórmula 2:

$$d_{L2} = \frac{S_1 \cdot d_{L1}}{S_2} = \frac{1,393 \cdot 10^6 \cdot 372.894}{1,314 \cdot 10^6} = 395.313 \text{ km}$$

La distancia de la Tierra a la Luna el día 3 de noviembre de 2005 a las 11 h (hora local), según nuestros cálculos, fue de 393.313 km.

Según el programa Stellarium^[3], la distancia real fue de 392.913 km (Imagen 8), lo que supone haber cometido un error del 0,61%.

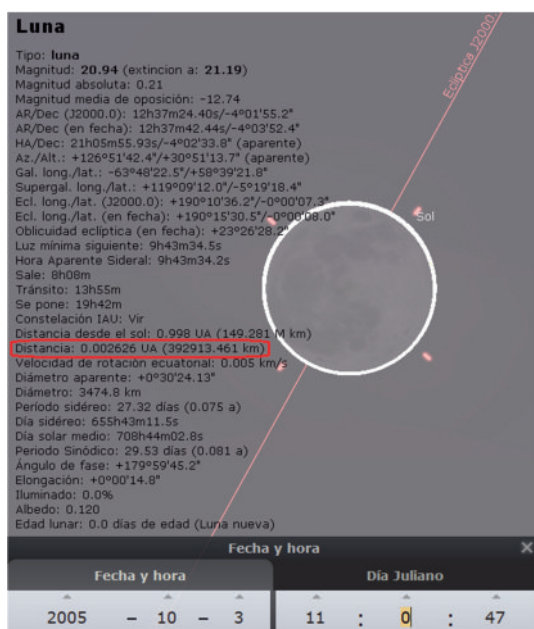


Imagen 8. Distancia Tierra-Luna el día 03/10/2005 a las 11 h (hora local) según Stellarium

Este artículo se basa en una parte del proyecto de investigación realizado el 2005, con motivo del eclipse de Sol, con las alumnas: Aïda Pallàs, Violeta Porta y Alicia Tiffon. El trabajo obtuvo el segundo premio en Catch a Star 2005, lo que nos permitió viajar a Munich y visitar la sede de la ESO y el observatorio de Wendelstein^[4] en los Alpes.

Referencias

1. Eclipse de Sol. Josep Masalles. Consultado el 04/01/2021. Disponible en: <http://astronomia.josepmasalles.cat/eclipsis-de-sol/>
2. Programa Tracker video analysis and modeling tool. Consultado el 04/01/2021. Disponible en: <https://physlets.org/tracker/>
3. Planetario Stellarium. Consultado el 04/01/2021. Disponible en <http://stellarium.org/>
4. Observatorium Wendelstein. Consultado el 04/01/2021. Disponible en: <http://www.wendelstein-observatorium.de/>

TRÁNSITO DE MERCURIO VS TRÁNSITO DE VENUS

Anicet Cosials, Albert Agraz, Óscar Puértolas y Kacper Wierzchos



¿Os habéis planteado cómo se puede determinar experimentalmente la relación entre los radios de Venus y Mercurio? La observación astronómica de los respectivos tránsitos nos da la respuesta. En este artículo partiremos de las imágenes tomadas durante las observaciones astronómicas de los tránsitos de Mercurio (07/06/2003) y de Venus (08-06-2004) que se muestran arriba. Las dos fotografías fueron capturadas por el exalumno Kacper Wierzchos.

A título de anécdota, cabe decir que hay muy pocas imágenes de ese tránsito de Mercurio realizadas desde la península, debido a las malas condiciones climatológicas de aquel día. Kacper tuvo la habilidad de poder hacer la foto en el instante en que se abrió un claro en el cielo. Su

fotografía fue portada de la revista Tribuna de Astronomía y Universo^[1].

Para poder comparar los radios de los dos planetas, lo primero que hicimos fue superponer las dos imágenes, de manera que sus respectivos discos solares formaran parte



Imagen 1. Redimensionamos la foto del tránsito de Mercurio y la superponemos a la del tránsito de Venus

de la misma circunferencia (Imagen 1). Para ello, se tendrá que redimensionar la imagen de Mercurio. En nuestro caso, lo hicimos con el programa Paint Shop Pro.

A continuación, medimos los diámetros de los planetas. Esto lo haremos con el programa gratuito Tracker^[2]. Abrimos con el programa la imagen 1, y con la vara de calibración asignamos al diámetro del Sol el valor de $1,393\text{E}9$ m (línea azul) (Imagen 2).

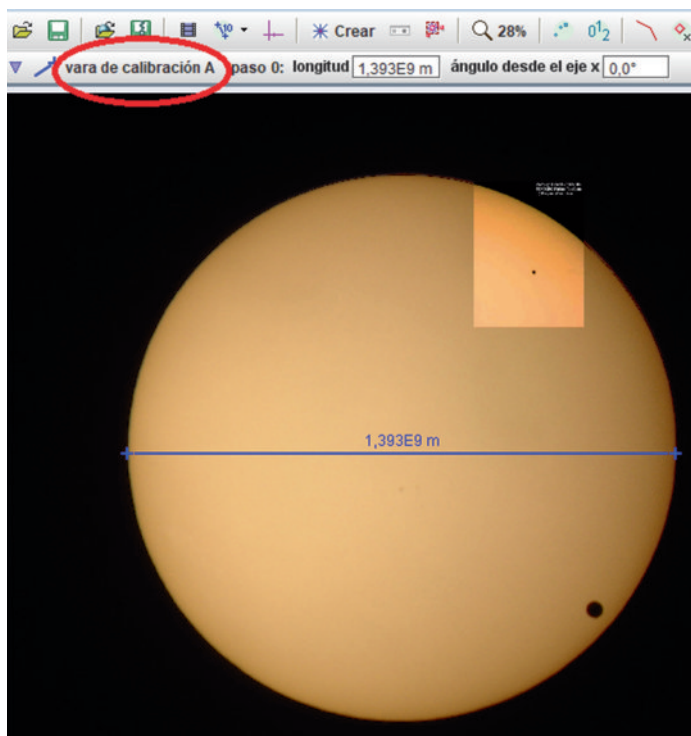


Imagen 2. Vara de calibración

Para medir, usamos la Cinta Métrica, que ya está calibrada: Crear /Herramientas de Medida/ Cinta Métrica. Con la rueda del ratón ampliamos las imágenes de los planetas y medimos (Imágenes 3 y 4).

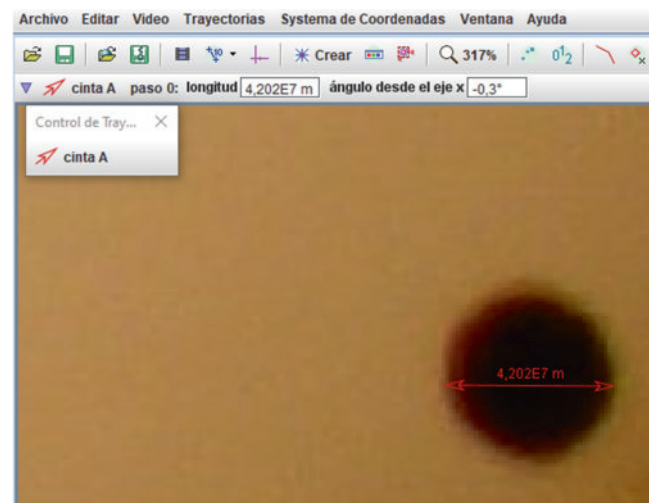


Imagen 3. Medida del diámetro aparente de Venus

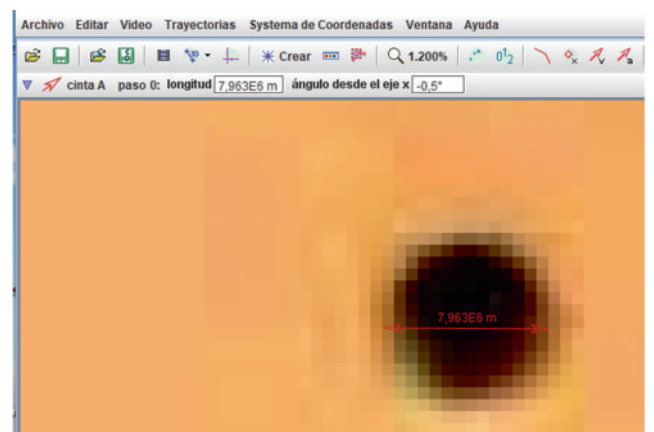


Imagen 4. Medida del diámetro aparente de Mercurio

Los resultados obtenidos son:

	Diámetro aparente (m)
Mercurio	$7,963 \cdot 10^6$
Venus	$42,02 \cdot 10^6$

Para obtener la relación real de los radios de los planetas hay que tener en cuenta que las dimensiones aparentes dependen, no solo de su tamaño real, sino que también de la distancia del observador al planeta: el tamaño aparente de Venus es mucho más grande que la de Mercurio, no solo porque el radio de Venus sea más del doble que el de Mercurio, sino porque Venus está más cerca de la Tierra que Mercurio.

Sean:

R_V = radio de Venus

R_M = radio de Mercurio

R'_V = radio aparente de Venus

R'_M = radio aparente de Mercurio

d_{TV} = distancia Tierra - Venus

d_{TM} = distancia Tierra - Mercurio

d_M = distancia Mercurio - Sol

d_V = distancia Venus-Sol

d_T = distancia Tierra-Sol

Aplicando la proporcionalidad en la Imagen 5, a los dos planetas, Venus y Mercurio:

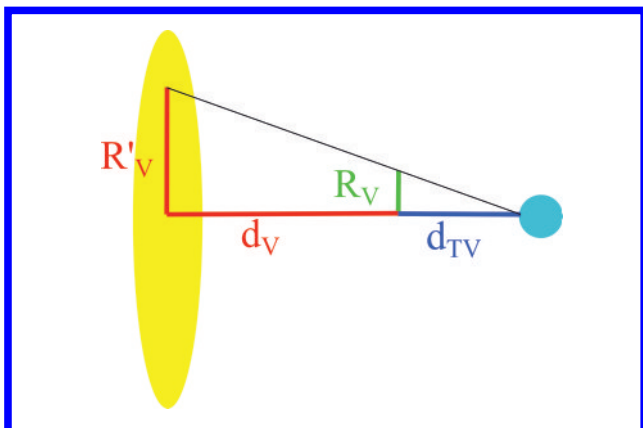


Imagen 5. Relación entre R' y distancia del planeta a la Tierra.

$$\frac{R_V}{R'_V} = \frac{d_{TV}}{d_{TV} + d_V} = \frac{d_{TV}}{d_T}$$

$$\frac{R_M}{R'_M} = \frac{d_{TM}}{d_{TM} + d_M} = \frac{d_{TM}}{d_T}$$

Y dividiendo las dos expresiones:

$$\frac{R_V}{R_M} = \frac{R'_V}{R'_M} \cdot \frac{d_{TV}}{d_{TM}} \quad (\text{Fórmula 1})$$

La fórmula 1 nos permite calcular la relación entre el Radio de Venus y el de Mercurio, si conocemos las distancias d_{TM} , d_{TV} y d_T (Imágenes 6 y 7).

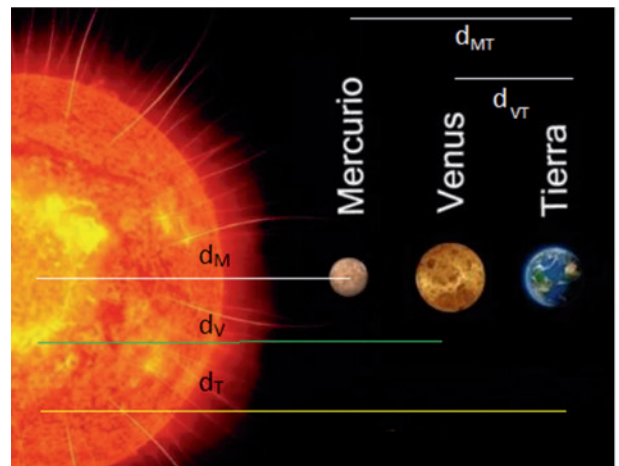


Imagen 6. Gráfico de distancias de los planetas al Sol.

	Distancia media al Sol (10^6 km)	Distancia media a la Tierra (10^6 km)
Mercurio	$d_M = 57,9$	$d_{TM} = d_T - d_M = 91,7$
Venus	$d_V = 108,2$	$d_{TV} = d_T - d_V = 41,4$
Tierra	$d_T = 149,6$	

Aplicando la fórmula 1:

$$\frac{R_V}{R_M} = \frac{R'_V}{R'_M} \cdot \frac{d_{TV}}{d_{TM}} = \frac{4,202 \cdot 10^7}{7,963 \cdot 10^6} \cdot \frac{41,4 \cdot 10^7}{91,7 \cdot 10^7} = 2,38$$

El valor real de esta relación es:

$$\frac{R_V(km)}{R_M(km)} = \frac{6052}{2440} = 2,48$$

El error relativo de la determinación es del 4,0%

Cálculo del periodo de traslación de Mercurio

El periodo de traslación de Venus es de 225 días. La tercera ley de Kepler permite calcular el periodo de traslación de Mercurio si se conocen las distancias medias al Sol de Mercurio y Venus:

$$\frac{T_V^2}{T_M^2} = \frac{d_V^3}{d_M^3}$$

$$\frac{225^2}{T_M^2} = \frac{(108,2 \cdot 10^8)^3}{(57,9 \cdot 10^8)^3} \rightarrow T_M = 88,1 \text{ días}$$

Este artículo forma parte del proyecto ganador del concurso internacional “Catch a Star 2004”, que supuso para mi y para los tres alumnos del grupo, viajar a Chile y visitar el observatorio Paranal (Imágenes 8 y 9).

Referencias

1. Tribuna de Astronomía y Universo, II Época Nº 59-mayo 2004.
2. Programa Tracker video analysis and modeling tool. Consultado el 031/12/2020. Disponible en: <https://physlets.org/tracker/>



Imagen 8. Kacper Wierzchos, Óscar Puertolas, Albert Agraz y Anicet Cosialls. Cerro Paranal. Chile. (2005)

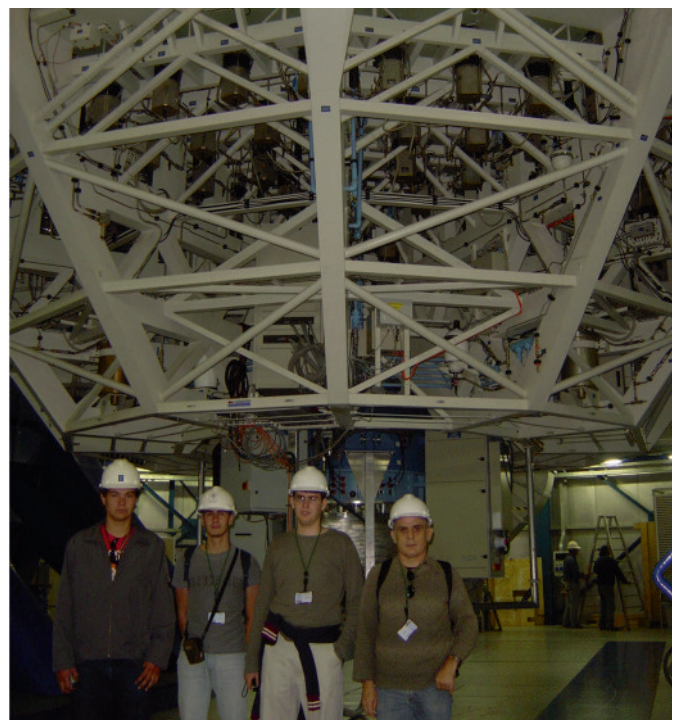
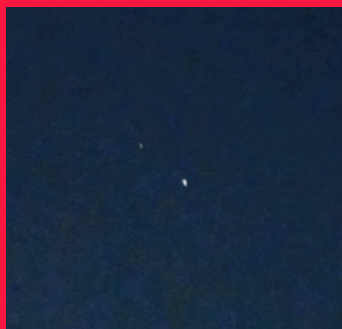


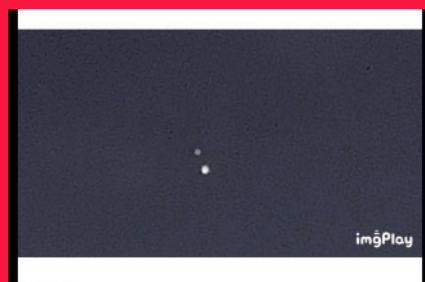
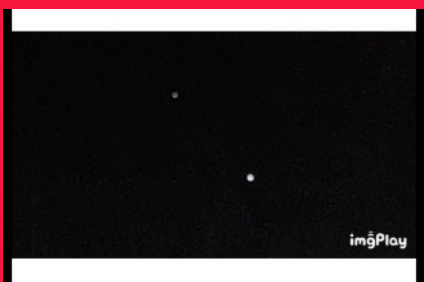
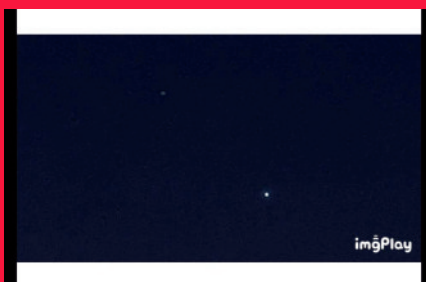
Imagen 9. Espejo primario del telescopio VLT. Paranal. Chile (2005)

GANADORES DEL CONCURSO SOBRE LA GRAN CONJUNCIÓN DEL 21.XII.2020

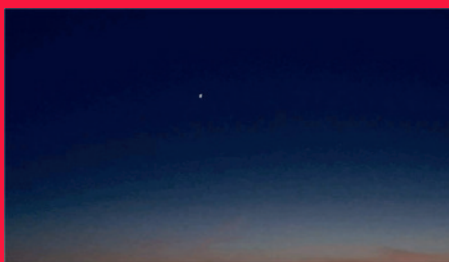
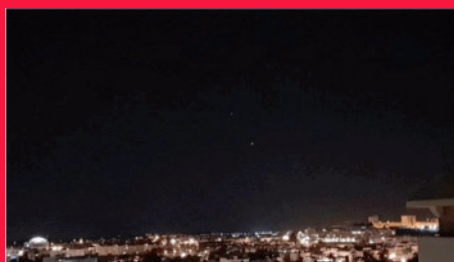
1er Premio: Blanca Garrido Barroso. 4º ESO IES Ítaca, Tomares, Sevilla. Profesor: Jaime Yagüe



2º Premio: Gonzalo Alonso Rodríguez. 4º ESO IES Ítaca, Tomares, Sevilla. Profesora: Carolina Clavijo.



3º Premio: Paula López Liébana. 4º ESO IES Ítaca, Tomares, Sevilla. Profesora: Carolina Clavijo.



Mención: Marina González Márquez. 4º ESO IES Ítaca, Tomares, Sevilla. Profesora: Carolina Clavijo.



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

