

**USANDO LA TIERRA
PARALELA**

**UNA TIERRA
PARALELA
COMPRADA EN UN
CHINO**

**LAS SOMBRAS, UN
RECURSO PARA
ENSEÑAR
ASTRONOMÍA EN
SECUNDARIA**

EL RAYO VERDE

ApEA

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

Presidente:

Carolina Clavijo Aumont

Vicepresidente:

Sebastián Cardenete García

Secretario:

Fernando Sánchez

Tesorero:

Xavier Benlliure i Perales

Vocal de Publicaciones:

Ricardo Moreno Luquero

Vocal página web:

Eva Dominique Ibarra

Vocal FAAE:

Ángel Gómez Roldán

Vocal Encuentros:

M, Carmen Botella

Vocal Encuentros:

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,

Joaquín Álvaro y Ricardo Moreno

Depósito Legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Junio 2020

Fotos de portada: Federico Fernández Porredón

SUMARIO

EDITORIAL

3

MODELOS

UNA TIERRA PARALELA COMPRADA EN UN CHINO

Ricardo Moreno Luquero

4

DIDÁCTICA

USANDO LA TIERRA PARALELA

Anicet Cosialls Manonelles

9

EXPERIENCIAS

LAS SOMBRAS, UN RECURSO PARA ENSEÑAR ASTRONOMÍA EN SECUNDARIA

Esteban Esteban Peñalba

15

MODELOS

EL RAYO VERDE

David Galadí, M. Carmen Botella,
y Encarna Angosto

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.

EDITORIAL

Seguimos en una situación excepcional, saliendo por fases del confinamiento al que nos ha obligado el virus Covid-19. Mientras confiamos plenamente en la ciencia para que nos proporcione un tratamiento y una vacuna eficaz que nos permita hacer una vida normal, nos toca a cada uno algo que la ciencia no nos proporciona: dar un sentido a esta situación, sabiendo encontrar lo negativo y sobre todo lo positivo que todo esto conlleva.

En el caso de los socios de ApEA, dos cosas me parece que son claras: por una parte el avance tecnológico que ha supuesto para los profesores, que han debido adaptarse a nuevas metodologías en la enseñanza, inventando y buscando nuevos contenidos o nuevas actividades que sus alumnos puedan hacer desde casa. Pienso que esa nueva forma de enseñar ha venido para quedarse, aunque probablemente habrá que organizarlas mejor, con más tiempo y más medios.

Otro aspecto positivo para nuestra Asociación ha sido la revitalización de la revista Nadir, que desde febrero está saliendo con una periodicidad mensual, gracias a que muchos socios han dispuesto de tiempo para poder escribir y transmitir sus experiencias. Esperemos que esta tendencia también haya venido para quedarse. Dependerá de vosotros.

Ricardo Moreno
Vocal de Publicaciones

UNA TIERRA PARALELA COMPRADA EN UN CHINO

Ricardo Moreno Luquero



En este artículo se comparten algunas experiencias sobre cómo adquirir una Tierra paralela de acero en el mercado chino.

Los alumnos de mi centro, el Colegio Retamar, en Madrid, cuando acaban sus estudios de 2º Bachillerato, tienen la costumbre de hacer un regalo de promoción que quede como recuerdo en el centro: un árbol, una maqueta, un adorno, un reloj de Sol analemático, etc. Convencí a la promoción de 2018 que regalaran una Tierra Paralela que pudieran ver todos los alumnos durante los

descansos. En este artículo comparto algunas experiencias, por si sirven a otros.

Los alumnos del último año de Bachillerato están muy centrados en el examen de selectividad, lo que hace que el curso sea más corto y muy intenso, y no disponían de mucho tiempo. Por tanto no se trataba de construirla, sino de comprar algo que sirviera. Por otra parte, debía ser de un material que aguantara a la

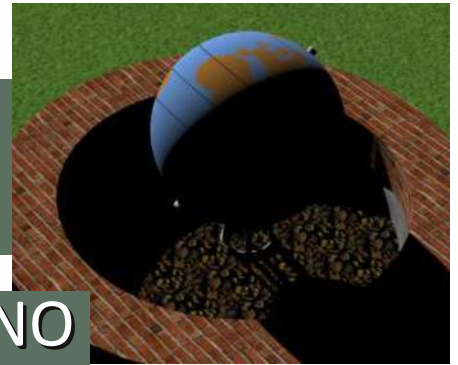
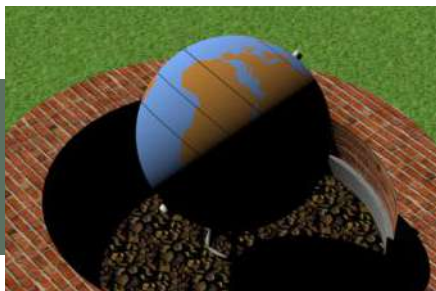


¿QUÉ ES LA TIERRA PARALELA?

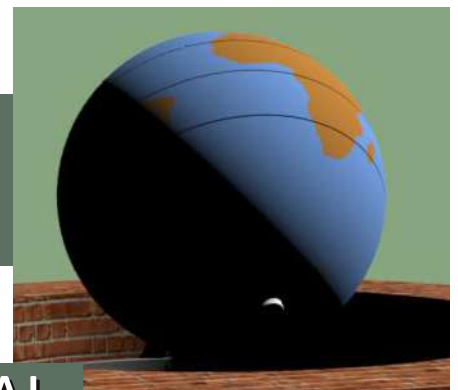
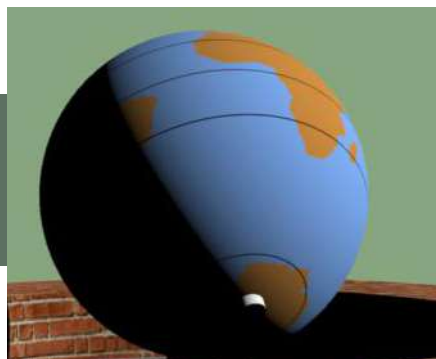
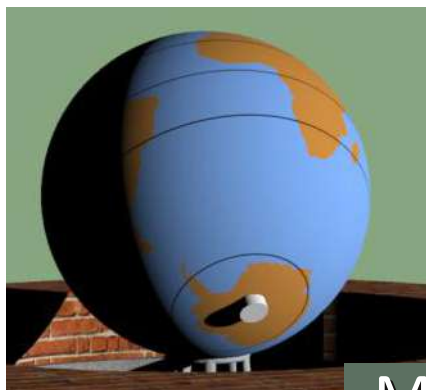
Si pones un globo terráqueo al aire libre, con tu ciudad arriba, y orientado en la dirección Norte-Sur, tienes una esfera paralela a la Tierra. Al ser iluminadas por el Sol, las sombras en el globo terráqueo reproducen las sombras en la Tierra real. Al globo terráqueo así orientado se le llama Tierra Paralela.

El terminador es la línea que separa la zona iluminada por el Sol de la que está en sombra. A lo largo del día va avanzando y en la Tierra Paralela se puede ver en cada momento dónde es de día y dónde es de noche (movimiento diurno o de rotación).

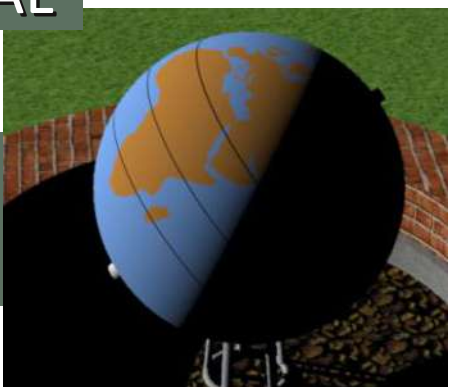
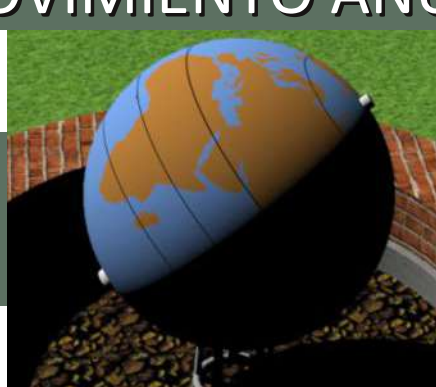
También se puede ver cómo el terminador se va inclinando a lo largo del año (movimiento anual o de traslación): pasa por los polos en los equinoccios, y es tangente a los círculos polares en los solsticios.



MOVIMIENTO DIURNO



MOVIMIENTO ANUAL



intemperie y resistiera los balonazos propios de un colegio. Después de explorar varias opciones que o bien se salían del presupuesto, no eran suficientemente fuertes, o requerían mucho mantenimiento, nos decidimos por una esfera de chapa de acero inoxidable que venden en Alibaba.com. Igual que ocurre con otros productos en Amazon, las esferas las venden muchas empresas y hay muchos tipos, que se usan en parques, edificios, etc. Son huecas, de chapa de 1 mm de espesor. La mayoría son lisas y pulidas, pero algunas llevan impresas los continentes. Esas son las que nos interesaban.



Fig. 1: En China se usan estas esferas en jardines

Unas preocupaciones que tenía al principio, motivadas por la lejanía del proveedor, eran: ¿llegaría en buenas condiciones?, ¿tardaría mucho?, ¿hay garantías con el pago de esa cantidad de dinero? Tengo que decir que todo funcionó bien: tardó un mes, vino en un embalaje de caja de madera, y el pago ofrece



garantía de devolución, pues aunque se ingresa por adelantado a Alibaba, ellos no lo liberan hasta que el cliente de el visto bueno después de la recepción del material, y se puede hasta devolver.

Contactamos a través de Alibaba.com con la

empresa Shenzhen Pretty Decor Industrial Co., Ltd, que nos dio presupuesto, tanto de la fabricación como del transporte. Aquí viene la primera aplicación didáctica: el precio de la fabricación es aproximadamente proporcional al área de la esfera ($4\pi\cdot r^2$), o sea, aumenta con el cuadrado del radio. Sin embargo, el precio del transporte es proporcional al volumen de la esfera ($4/3\cdot\pi\cdot r^3$), o sea, al cubo del radio. Por ejemplo:

Diámetro (cm)	Precio €	Portes €
40	183	95
60	365	396
80	633	695
100	1144	1025

Están fabricadas en chapa de acero inoxidable, de 1 mm de espesor. La parte de los océanos están pulidos como un espejo, y la zona de los continentes, bien dibujados, es mate, con apariencia de chorro de arena. Son realmente decorativas tal como vienen, pero tiene un serio problema para usarlas como Tierra Paralela: en la parte pulida, o sea, en los océanos, no se nota el terminador, la línea que separa la zona iluminada por el Sol y la zona en sombra. Antes de adquirirla, hicimos pruebas en un embudo esférico, y llegamos a la conclusión de que había que pintar al menos la zona de los océanos. Para que la pintura agarrase bien, había que eliminar en lo posible el pulido con una lija, lo que no es muy complicado. Para la pintura usamos pintura normal, tipo esmalte, de color claro y mate, para que se vea bien el terminador. Para las grandes áreas usamos rodillos pequeños, y perfilamos los bordes con pincel. En una mañana estaba terminado.



Fig. 2 Usamos pintura mate y clara para poder ver el terminador

Quedó tan bien que nos animamos a pintar también los continentes de color marrón, y la Antártida de blanco.

Para anclar la esfera al suelo, un herrero fabricó un pie en el mismo material, acero inoxidable, para evitar la corrosión en las uniones. Era un cilíndrico con un casquete esférico en un extremo, que se suelda a la esfera (al principio usamos unas lengüetas, pero no aportaban suficiente rigidez a la unión). En el



otro extremo del cilindro había unos agarres para empotrar el pie en un gran dado de hormigón enterrado en el suelo. Hay que aclarar que la soldadura de acero inoxidable es un poco especial, y debe hacerla un herrero que sepa y tenga el material necesario.



Para señalar los polos soldamos dos pequeños cilindros de acero inoxidable.

El resultado está siendo muy bueno: después de dos años, ha resistido muy bien a la intemperie, hay que retocar muy poco la pintura, es realmente rígida a golpes, y a los alumnos les llama mucho la atención.

Es un recurso permanente para algunos profesores, y también para el autoaprendizaje de los propios alumnos: geografía, dónde es de día y de noche en cada momento, cómo se va moviendo el terminador, las noches o días perpetuos en los polos, etc. Por otra parte, al ser metálica, comprueban las estaciones simplemente tocandola con la mano: en verano en el hemisferio norte se nota bastante caliente, y en el hemisferio sur mucho más frío.



Con el programa gratuito Sketchup, hicimos un video para explicar qué es y cómo funciona una Tierra Paralela. El vídeo está disponible en estos enlaces:

[en castellano](#)

[en inglés](#)

[versión para el hemisferio sur \(Brasil\)](#)

Por otra parte, hechos los cálculos, salía que la Luna a esa escala sería como un balón de fútbol situado a 20 m. El Sol sería del tamaño de un campo de fútbol situado en el centro de la ciudad de Madrid, o sea, en el propio estadio Santiago Bernabeu. Y todo el sistema solar, del tamaño de España. Eso me dio pie para hacer un video, con Google Earth Pro, también gratuito, en el que, a partir del tamaño y posición de esa Tierra Paralela, se situaba en un mapa el resto del Sistema Solar, a escala. El video está disponible en:

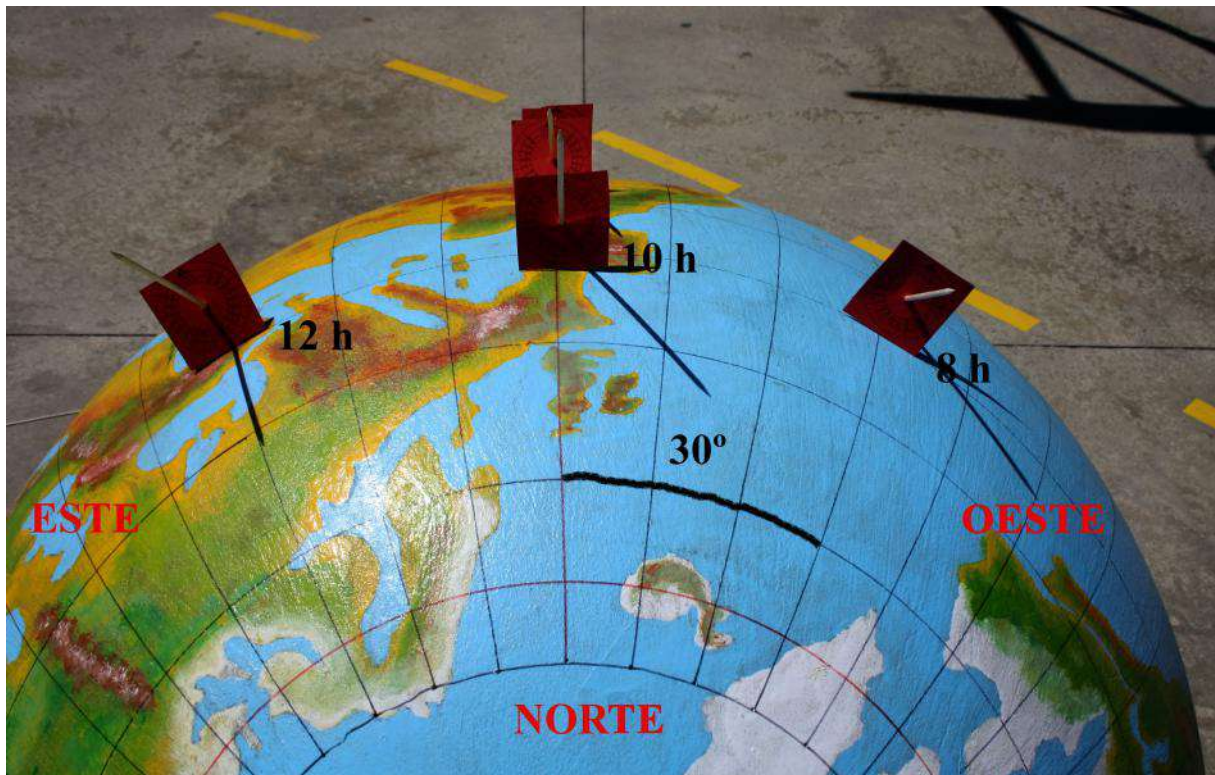
[enlace del video en castellano](#)

[enlace del video en inglés](#)



USANDO LA TIERRA PARALELA

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



Sabemos que la Tierra Paralela sirve para observar la evolución de la sombra sobre la Tierra a lo largo del día y en diferentes épocas del año, y conocer así en tiempo real, en qué zonas del planeta es de día y de noche. En este artículo vamos a ver cómo hacer actividades con ella, por ejemplo observar las sombras en los solsticios y en los equinoccios, determinar experimentalmente el tiempo solar local en diferentes longitudes o determinar el mediodía solar en diferentes puntos de la Tierra con la ayuda de un gnomon.

La Tierra Paralela^{1,2} (Imágenes 1 y 2) es una maqueta que sirve para observar la incidencia de la luz del Sol en cualquier lugar de la Tierra.

Se debe situar nuestra posición en la parte superior de la esfera de modo que quede paralela al suelo que pisamos, y luego sin perder esa

posición debe girarse de manera que el eje del modelo quede en dirección de nuestra meridiana, con su polo norte hacia el norte. De esta manera, el eje quedaría con una inclinación igual a la latitud del lugar donde se hace la observación, en nuestro caso en el Instituto Guindàvols de Lleida (41'5° N).

¹ Rosa M. Ros, "Tierra paralela". <http://sac.csic.es/unawe/cuentos/tierra.pdf> (consultado el 30 de mayo de 2014);

² Esteban, Esteban (2014): "El globo terráqueo, una bola casi mágica", *Publicaciones ApEA nº 28*, disponible en [este enlace](#).



Imagen 1. Maqueta de la Tierra paralela. Los ejes de rotación de las dos tierras son paralelos. Nosotros (Lleida) estamos a la parte más alta de la esfera.

Diremos que nuestro modelo está puesto en estación. Entonces la maqueta se mueve igual que la Tierra y ambas (Tierra y maqueta) las ilumina el Sol por igual. Se pueden hacer observaciones en diferentes horas del día, en



Imagen 2. Explicando el equinoccio de otoño en 2014 con alumnos de 1º de ESO del Institut Guindàvols.

diferentes épocas del año, hacer girar el modelo y ver la evolución de las sombras a lo largo del día, conocer en qué zonas del planeta es de día y en cuáles de noche, en qué lugares sale el Sol y en qué lugares se pone, observar las sombras en los solsticios y equinoccios, comprobar el diferente calentamiento en la maqueta de distintas zonas según la incidencia de los rayos solares en diferentes latitudes, etc.

Hemos puesto nuestro modelo de Tierra paralela en estación (Imagen 3) y hemos observado lo siguiente:

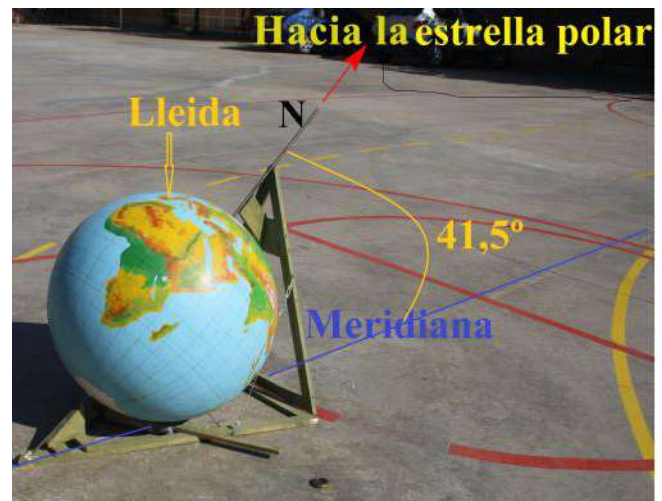


Imagen 3. Modelo de "Tierra paralela" puesta en estación.

OBSERVACIÓN 1: EL DÍA Y LA NOCHE

En la Imagen 4, la línea que separa la zona iluminada de la oscura del modelo (terminador) nos indica los lugares del planeta donde está amaneciendo en tiempo real. La foto es del 8 de julio de 2014.

La parte iluminada se corresponde con la zona del planeta donde es de día, y la parte oscura se corresponde con la noche. En una zona del terminador se hace de noche, y en la opuesta amanece. Si observemos cómo evoluciona la sombra a lo largo del día veremos que avanza de Este a Oeste. Esto es debido al hecho de que la Tierra gira al revés. Cada hora, la línea que separa la noche del día recorre 15° . En un día, 24 horas, la Tierra da una vuelta girando 360° .

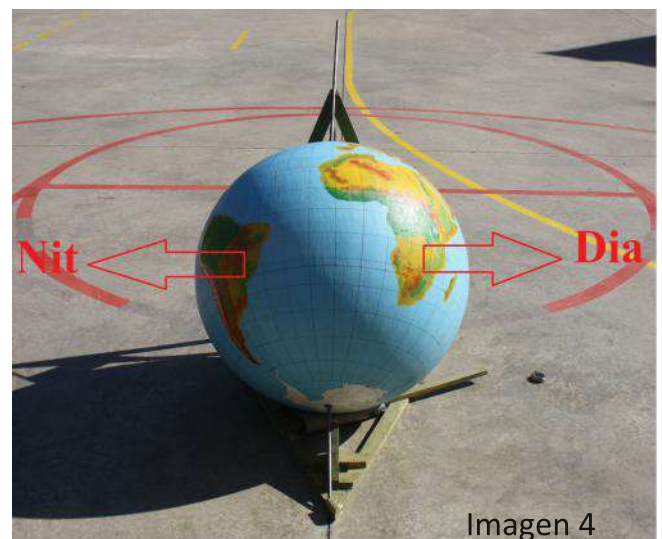


Imagen 4



Imagen 5. Se hace de noche en el Este. (CRP del Segrià, Lleida, 19 de septiembre de 2014). La fecha es muy próxima al día del equinoccio, por lo cual, la línea de separación entre el día y la noche coincide con un meridiano.

Otra cosa que vemos es que cuando es verano en Lleida (hemisferio norte) el Sol ilumina todo el día la región polar ártica (allí siempre es de día), y no ilumina la región polar antártica (en ese lugar siempre es de noche).

OBSERVACIÓN 2: EVOLUCIÓN DE LA SOMBRA DE UN GNOMÓN EN EL HEMISFERIO NORTE

Si ponemos los gnomones en un mismo meridiano observamos:

1. Que las direcciones de las sombras a lo largo del meridiano van cambiando poco a poco con la latitud. (Imagen 6). Por este motivo los relojes de sol se deben diseñar para cada lugar.

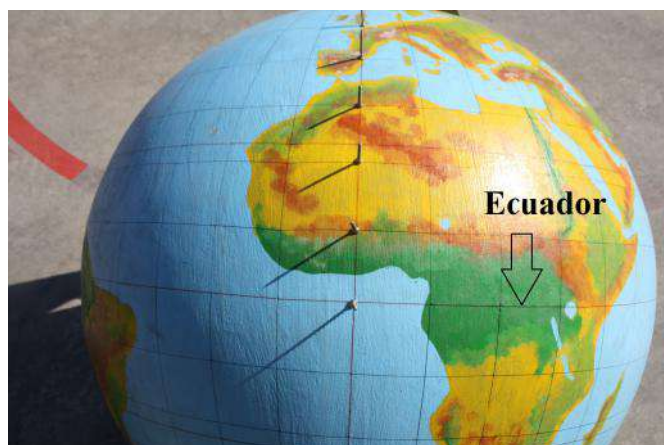


Imagen 6: Sombra de los gnomones colocados en un mismo meridiano antes del mediodía solar. Las sombras por la mañana apuntan al Oeste



Imagen 7: Sombra de los gnomones colocados en un mismo meridiano después del mediodía solar, el 8 de julio de 2014. Las sombras por la tarde apuntan hacia el Este

2. Que las sombras por la mañana apuntan al Oeste (Imagen 6), por la tarde hacia el Este (Imagen 7), y al mediodía siguen la dirección del meridiano local (Imágenes 8 y 9).



Imagen 8: Sombras en un meridiano al mediodía solar en una fecha muy próxima al equinoccio de otoño (CRP Segrià, 19 de septiembre de 2014). Las sombras siguen la dirección del meridiano local: en el hemisferio norte se dirigen hacia el Norte, y en el hemisferio sur hacia el Sur. En el Ecuador, el gnomon no proyecta sombra porque la luz del Sol incide sobre la Tierra con un ángulo de 90° : $\text{Altura del Sol (h)} = 90^\circ - \text{Latitud } (\phi) + \text{Declinación del Sol}$. $\rightarrow h = 90^\circ - 0^\circ + 0^\circ = 90^\circ$. La línea que divide el día y la noche coincide con un meridiano

3. Que las sombras al mediodía señalan la línea del meridiano: mientras en el hemisferio norte apuntan hacia el Polo Norte, en el hemisferio sur apuntan hacia el sur (ver Imágenes 8 y 9).

4. En los equinoccios no hay sombra al mediodía en el ecuador (Imagen 8).

5. En los equinoccios, la línea que separa el día y la noche coincide con un meridiano (Imagen 8).



Imagen 9. Mediodía solar. Las sombras siguen la dirección de la línea meridiana (azul).

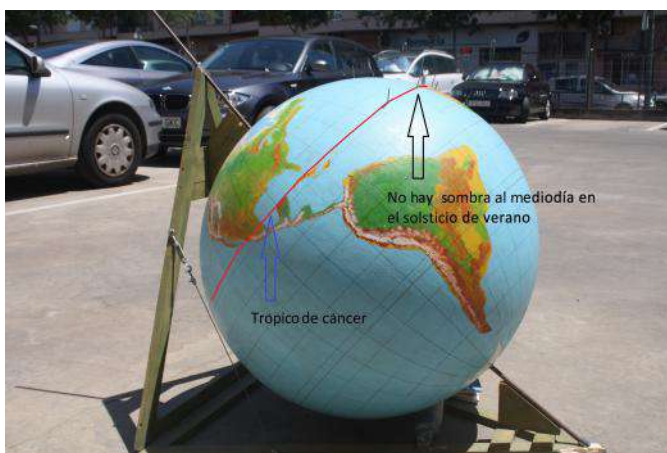


Imagen 10. Solsticio de verano (26-06-2015). Al mediodía solar no hay sombras en los puntos situados sobre el Trópico de Cáncer (latitud = $23,5^\circ$). Altura del Sol (h) = 90° - Latitud (ϕ) + Declinación del Sol. $\rightarrow h = 90^\circ - 23,5^\circ + 23,5^\circ = 90^\circ$



Imagen 11. En el hemisferio Norte, se observa que el terminator está inclinado respecto a los meridianos y roza el círculo Polar Ártico produciendo el Sol de medianoche. Es de día en toda la zona comprendida por el Círculo Polar Ártico. En el hemisferio Sur es de noche en toda la zona comprendida por el Círculo Polar Antártico.

6. En los solsticios no hay sombra al mediodía en los puntos situados en los trópicos (Imagen 10).

7. En el solsticio de verano no hay noche en el casquete polar Ártico (se da el llamado Sol de medianoche), ni hay día en el casquete polar Antártico (Imagen 11).

Si observamos los gnómones en un mismo **paralelo**: (Imagen 12) observamos que:



Imagen 12. Sombra de los gnómones situados en un paralelo

1. Las sombras, a lo largo del día van de Oeste a Este pasando por el Norte (Imagen 13).

2. Viendo hacia dónde va la sombra del gnomon podemos saber más o menos la hora solar del lugar. Cuanto más corta sea, más cerca estamos del mediodía solar. En este momento el Sol está atravesando el meridiano local y su sombra se proyectará siguiendo el meridiano del modelo.

3. En los equinoccios, el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Los extremos de las sombras de los gnómones siguen la dirección del paralelo local. (Imágenes 14 y 15).

³Equació del temps i analemes. Disponible en

<http://www.astroosona.net/web/Apunts/Equaci%F3%20del%20temps%20i%20analemes.pdf> . Consultado el 30 de abril de 2020.

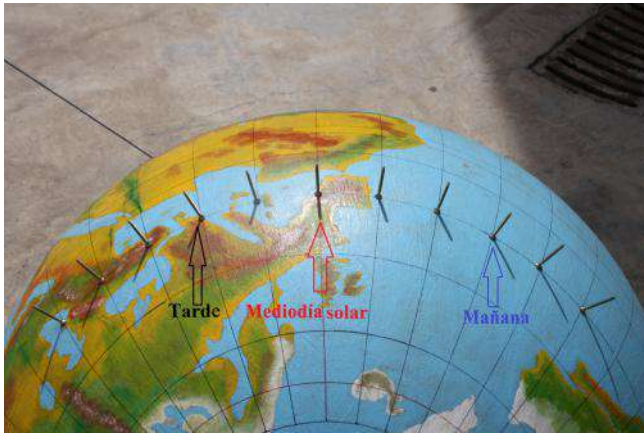


Imagen 13. Dirección de la sombra de los gnomones en diferentes momentos del día. Por la mañana la sombra apunta hacia el Oeste, al mediodía al Norte, y por la tarde al Este



Imagen 14. Equinoccio de otoño. Lleida 23 de septiembre de 2019. En el ecuador, las sombras siguen la dirección del paralelo



Imagen 15. Puesta de Sol en el equinoccio de primavera. El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Esta foto fue tomada el día 28 de marzo de 2017, cerca del equinoccio, a las 17:50 (UT) desde la Avenida del Paralelo de Barcelona. Se observa que la dirección de los rayos solares coincide con la dirección de la calle, puesto que, como su nombre indica, sigue la dirección del paralelo local.

OBSERVACIÓN 3: RELOJES DE SOL ECUATORIALES

Para entender el funcionamiento de un reloj solar ecuatorial es interesante plantar unos cuantos, en distintos lugares de nuestro modelo, y observar la hora solar que marcan, teniendo en cuenta que la hora solar nunca coincide con la hora.



Imagen 16. La hora solar local (12 h) no coincide con la hora civil (13:45 h)

Los relojes ecuatoriales se deben colocar de modo que el estilo sea paralelo al eje del mundo (eje de rotación de la Tierra) (Imágenes 17, 18 y 19). De este modo se consigue que el plano del reloj sea paralelo al plano del ecuador celeste.

Si colocamos los relojes a lo largo de un meridiano y nos fijamos en las sombras, nos damos cuenta que todos los relojes marcan la misma hora: las 9 h (Imagen 19).



Imagen 17. Relojes de sol ecuatoriales situados en diferentes puntos del mismo meridiano. Se observa que los planos de los relojes situados en diferentes latitudes son paralelos entre sí, y paralelos al ecuador celeste.



Imagen 18. Relojes ecuatoriales situados en el mismo meridiano



Imagen 19. Todos los relojes indican la misma hora solar (las 9 h). La hora solar en los diferentes lugares de un meridiano es la misma

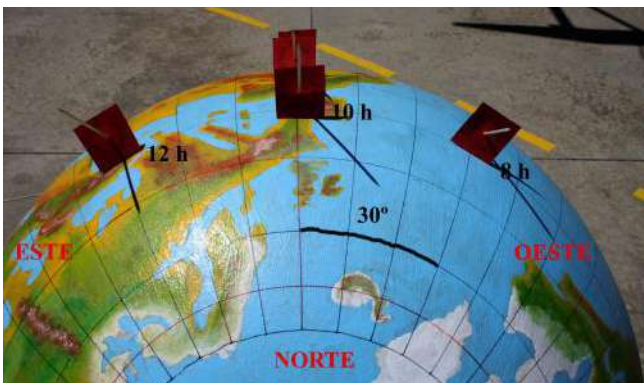


Imagen 20. La hora solar es diferente a lo largo de un paralelo, aumenta de Oeste a Este. La diferencia horaria entre lugares separados 15° es de 1 hora

Vamos a ver ahora cómo funcionan los relojes ecuatoriales colocados a lo largo de un paralelo.

Nuestro modelo de “Tierra paralela” se ha diseñado de tal modo que se han dibujado 36



Imagen 21. Mediodía solar. La sombra del estilo coincide con la dirección del meridiano local.

meridianos separados 10° entre ellos. Hemos colocado 3 relojes ecuatoriales en diferentes lugares de un mismo paralelo, separados 30° entre el primero y el segundo, y también 30° entre el segundo y el tercero. Si observamos las sombras de los relojes vemos que señalan las 8, las 10 y las 12 horas respectivamente. Llegamos a la conclusión que la diferencia horaria entre dos lugares de un mismo paralelo es de dos horas por cada 30° de separación y eso es equivalente a una hora por cada 15° (Imagen 20).

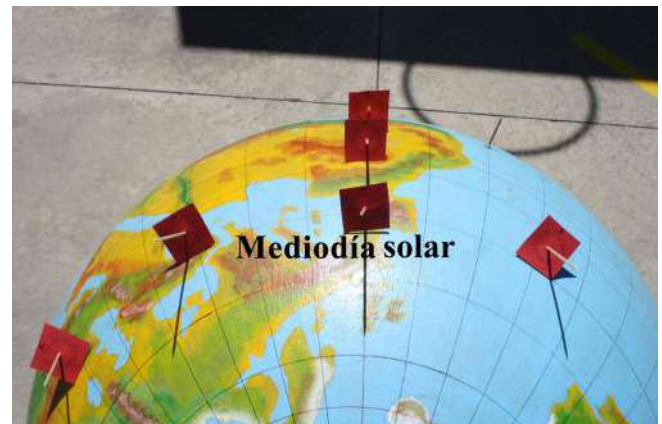


Imagen 22. En todos los lugares del meridiano del centro de la imagen es mediodía

La hora solar en un paralelo aumenta de oeste a este. El mediodía solar es más temprano en el Este que en el Oeste.

Cuando la sombra del gnomón tiene la dirección del meridiano es el mediodía solar (Imágenes 21 y 22). En la imagen anterior se puede observar que en el lugar donde está situado el reloj de la izquierda es mediodía.

LAS SOMBRAS, UN RECURSO PARA ENSEÑAR ASTRONOMÍA EN SECUNDARIA

Esteban Esteban Peñalba



En este trabajo se recoge el contenido de una ponencia de los encuentros de Úbeda, que por necesidades de tiempo decidí no desarrollarla de la manera más adecuada. Se trata de una serie de actividades que se realizaban todos los años en la asignatura optativa de Astronomía en el Instituto de Sestao, desde 1993 en EATP de 2º de BUP, y con la implantación de la reforma educativa en el “Taller de astronomía” de 4º de ESO.

En estas actividades el alumnado obtenía unos datos experimentando con las sombras. En principio se le guiaba para programar las actuaciones y recogida de datos, sin aportarle apenas información técnica o teórica, ni recursos externos. Solo, en algunos casos, se les pasaba previamente algún cuestionario para que ellos

mismos dedujesen, según su propia lógica, algunas metodologías en esa toma de datos. A partir de las mediciones obtenidas se le animaba a plantear propuestas que le sugirieran esos datos, que en unas puestas en común de todo el grupo se discutían y se sacaban conclusiones.

Actividad 1: Determinación de los puntos cardinales y trazado de la línea meridiana

El objetivo era que el alumnado se plantease el reto de poder orientarse exactamente por sus propios medios y obtuviese un método para el trazado de la meridiana en el patio.

Comienza la actividad en el aula. Mediante un cuestionario que van rellenando de manera individual o en pequeños grupos, el alumnado deduce que en el momento del mediodía el Sol está exactamente en dirección Sur y la sombra es la más corta de todo el día.

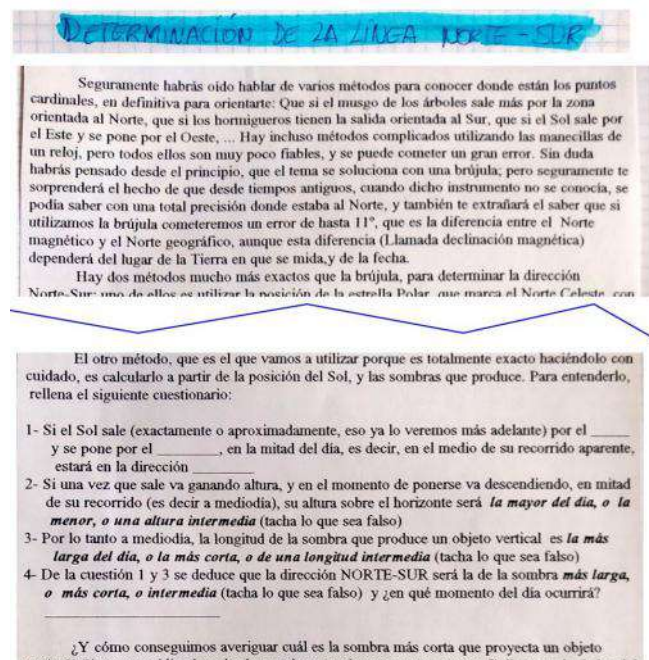


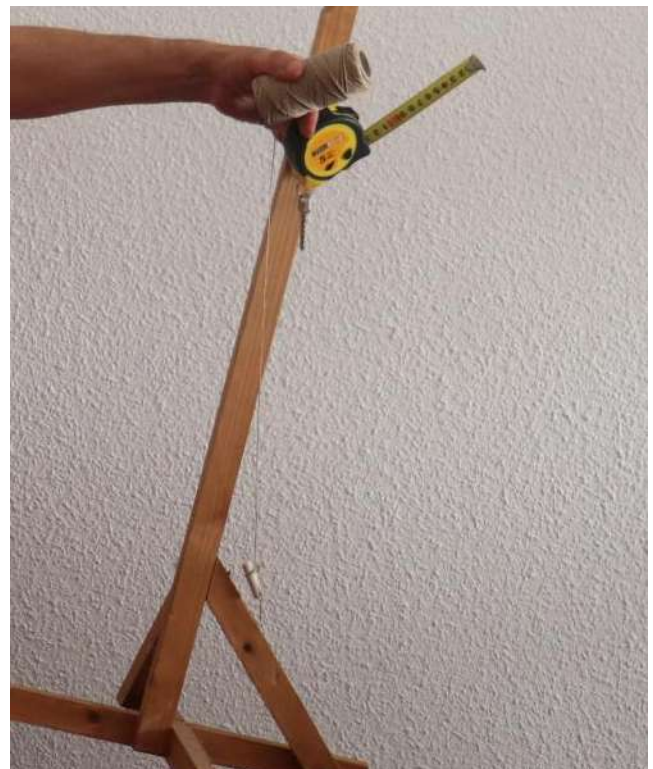
Figura 1 Extracto del cuestionario.

Sin instrumentos técnicos como la brújula ni uso del reloj (porque eso del mediodía no está nada claro cuándo es) el grupo de manera cooperativa (trabajando por parejas en la toma de datos de manera sucesiva que luego se comparten) se lanza a la aventura de determinar exactamente dónde están los puntos cardinales. Hay que observar las sombras, hacer anotaciones y luego pensaremos.

Para evitar el problema del momento exacto del mediodía, el profe les convence de que hay que marcar el extremo de la sombra de un gnomon periódicamente a lo largo de varias

horas durante un día. Como eso supone salir periódicamente en la hora de clase de diferentes asignaturas, primero se obtiene el permiso del profesorado correspondiente para que dos personas se ausenten 5 minutos, y todos felices por la coartada de su "escapada" de aquella asignatura rollo...

Los primeros años se utilizó un gnomon portátil de madera que se colocaba en un lugar preciso marcado con pintura en el suelo, y posteriormente un poste fijo situado en el patio trasero de acceso restringido. Por parejas, cada 15 o 20 minutos, se van pasando la tiza (o el



Materiales que utilizábamos.

rotulador indeleble) y la llave de acceso insertada en un llavero que es un metro, que todavía no utilizarán. Marcan el extremo de la sombra del gnomon y, racaneando un poco, vuelven a su aula.

Al día siguiente en clase de Astronomía (o de matemáticas) baja todo el grupo al patio a observar el resultado. Medimos las sombras, a ver cuál es la dirección de la más corta ... muy difícil porque hay un tramo, precisamente el de las más cortas, con muy poca variación en longitud pero mucha en dirección.



Figura 2. Trazando un arco con centro en la base del gnomon cortará en dos puntos a la trayectoria del extremo de las sombras, y uniendo el punto medio entre de esos dos con la base del gnomon se obtiene la meridiana. Para mejorar la precisión o confirmar la exactitud del resultado puede repetirse el trazado con arcos de otros radios.

¿Qué hacemos? Surgen algunas propuestas, la mayoría descabelladas. En un par de ocasiones a alguna chica se le ocurrió el método geométrico adecuado (es posible que en la asignatura de dibujo les hubieran contado algo), pero normalmente el profe les va dando sugerencias: “Las longitudes de las sombras por la mañana fueron acortando, luego ... fijaros en la simetría de esa línea, ...”, dejando siempre el último paso (que ya se hace casi evidente) a que algún alumno lo diga y se sienta orgulloso de haber descubierto ese método (que podéis encontrar en muchos libros o webs).

Se pinta la dirección Norte-Sur prolongando la línea donde estuvo la sombra más corta, precisamente en dirección norte, y esa línea de pintura (nuestra meridiana) será la base de trabajo para siguientes actividades.

También se puede pintar al lado una rosa de los vientos, utilizando la referencia de la línea meridiana. En los primeros cursos trazábamos cada año una nueva meridiana con diferente colocación del gnomon. Cuando se tuvo un gnomon fijo la línea quedaba pintada, pero no se les decía lo que era hasta hacer el trazado descrito y ver que coincidía con ella.

Actividad 2: Traslado de la meridiana a varios mapas

El objetivo fundamental de esta actividad es reforzar la autoestima del alumnado con la comprobación de la corrección del trabajo realizado, pero además se obtiene un elemento que se utilizará en otra actividad posterior.

“Bueno, nosotros ya hemos trazado nuestro meridiano, pero ¿Los que hacen los mapas lo habrán hecho bien?” Por supuesto el tono con que habla el profesor debe ser el adecuado.

El grupo baja al patio con un plano de la zona, y con una plomada que casi toca el suelo en el extremo de la línea meridiana que ha quedado allí pintada, una persona la alinea visualmente con el gnomon (situado en el otro extremo) y toma una referencia en el horizonte u otro lugar alejado, que se pueda identificar en el plano.



Figura 3. Pie: El paso de la meridiana de un mapa a otro se hace tomando dos referencias lejanas en el mapa detallado, que sean identificables en el de la siguiente escala. Originariamente el primero era un plano de la zona.

De vuelta al aula se les proporcionan mapas a diferentes escalas, a los que se va trasladando la línea meridiana pintada en el patio. Se hace por orden de mayor a menor detalle, hasta el último de toda la península Ibérica que contiene

algunos meridianos. El resto de los mapas no tiene líneas de referencia, y se han fotocopiado girándolos para que no queden orientados Norte Sur y no haya trampas en el proceso.

Actualmente estos planos o mapas pueden obtenerse fácilmente con www.Google.es/maps

Aunque siempre puede haber algún grupo que se perderá por el camino al tomar alguna referencia errónea, la mayoría comprueban, orgullosos, que la línea que ellos trazaron en el patio tiene exactamente la misma dirección (es paralela) que el meridiano del mapa de la península más cercano a nuestra localidad.

El resultado fue muy útil cuando en una actividad muy posterior calcularon el tamaño de la Tierra por el método de Eratóstenes, y hubo que contactar con un instituto de nuestro mismo meridiano. Fue interesante en el sentido de la motivación ya que por sus propios medios (una vez más) y sin recurrir a otros mapas, pudieron conocer cuáles eran las localidades más adecuadas.

Actividad 3: Toma de datos del extremo de la sombra a mediodía.

En una fecha posterior sin nubes, unos minutos antes del mediodía solar (el profesor ya sabe cuándo será porque tiene recursos para averiguarlo, o incluso lo comprueba mirando la sombra en días previos) baja todo el grupo al patio y espera al momento en que la sombra se sitúa exactamente sobre la línea meridiana:

Puede surgir la sorpresa, desconfianza..., del alumnado que mira al reloj, pero se les explica que el término “mediodía” tal como se utiliza habitualmente no se corresponde con su significado original de “mitad del día”. Antiguamente sí, y es cuando rezaban el Ángelus (todavía se hace en alguna emisora a una hora cambiada) pero actualmente no concuerda porque la hora oficial es muy diferente de la hora solar verdadera local que es la que regía hasta final del siglo XIX.

En ese momento se mide la longitud de la sombra y se anota la hora.

Posteriormente, una vez por semana, y cada semana una pareja diferente de alumnos-as, bajan al patio unos minutos antes y repiten la acción. Se va rellenando un cuadrante (una copia queda pinchada en el corcho del aula), con la hora en que la sombra estaba exactamente en la meridiana, y su longitud. Nosotros lo intentábamos los lunes que en aquel primer año coincidía con las horas de la asignatura de Astronomía, que el profe había solicitado (las dos últimas de la mañana de los lunes) al elaborar los horarios. Si estaba nublado se volvía a intentar, cada uno de los días siguientes con el permiso del profesorado correspondiente, hasta poder hacerlo, y casi todas las semanas se conseguía obtener el dato.

No conservo ninguna de aquellas tablas de datos (solo la lista del cuaderno de notas de los alumnos del 93-94, cuyos nombres reproduzco en reconocimiento a su labor), pero con nuestro gnomon de un metro de longitud podría haber sido algo así a mediados de noviembre:

DATOS DE LA HORA Y LONGITUD DE LA SOMBRA AL MEDIODÍA SOLAR VERDADERO

Semana prevista y encargados	Fecha real de la medición	Hora	Longitud sombra	Altura del Sol
Todo el grupo	04-oct	13:01	1.09 m	42° 32'
11 al 15 oct. Angela y Marta	11-oct	12:59	1.20	39° 48'
18 al 22 oct. Iván y Roberto	18-oct	12:57	1.32	37° 9'
25 al 29 oct. Alex y Javier	26-oct	12:56	1.46	34° 24'
2 al 5 nov. Esther y Mónica	02-nov	12:55	1.60	32°
8 al 12 nov. Mary y Manu	10-nov	12:57	1.76	29° 36'
15 al 19 nov. Iñigo y Edu				
22 al 26 nov. Marta y Ana				
29 nov al 3 dic. Iñaki y Oscar				

La última columna (altura del Sol) quedaba vacía hasta realizar la actividad 4, momento en que se completaba.

La hora se indicaba con una precisión de minutos. No era conveniente afinar más porque no es fácil determinar con mucha más precisión el momento en que la sombra del gnomon se sitúa sobre la línea de pintura, y aunque se les insistía en que llevaran los relojes en hora buena, quizás fuese mucho pedir y el profe solo lo podía comprobar (antes de que bajaran a medir) los lunes, que es cuando en aquel primer año como se ha dicho, coincidía con la clase de astronomía.

Nota: A partir de 1996 el cambio de hora estacional, que antes se hacía en septiembre, se empezó a realizar en octubre, lo que producía un salto en la hora del mediodía que había que tener en cuenta. Algún año al profe se le pasó el avisarles, la pareja que le tocó medir la sombra después del cambio no se dio cuenta, le echaron cara y estuvieron más de una hora en el patio “esperando que la sombra llegara a la raya”.

Actividad 4: Cálculo de la altura meridiana del Sol

En esta actividad se utilizaban los datos recogidos en cada semana y mediante un cálculo matemático se determina la altura del Sol al mediodía en cada fecha.

Hay dos opciones: Utilizando la semejanza de triángulos y midiendo con un transportador de ángulos o por trigonometría si ya la han visto en matemáticas. Ambos métodos se recogen en el

gráfico. Nosotros la hacíamos por el segundo método (el profe de Mate era el mismo que el de Astro y se organizaba el temario) y obteníamos el ángulo mediante el arco tangente de la longitud del gnomon entre la longitud de la sombra.

Puede explicarse el método en clase y hacerse inmediatamente después de la primera medición con el encargo de que lo repitan con los nuevos datos, o mejor una vez que ya han pasado varias semanas para analizar la evolución de la situación. En cualquier caso el alumnado lo seguirá calculando en cada una de las siguientes semanas e irán añadiendo estos resultados en la tabla que cada uno guarda en su cuaderno, además de la copia en el tablón del aula.

Como todo esto se hacía a principio de curso (en otoño) veían como cada semana la altura meridiana del Sol era menor.

En la primera medición después de Navidad, enseguida se dan cuenta de que la tendencia ha cambiado, y del motivo; pues ya ha pasado el solsticio de invierno. En ocasiones en que no se han fijado hay que hacérselo notar.

Actividad 5: Determinación aproximada de las coordenadas geográficas de nuestra localidad.

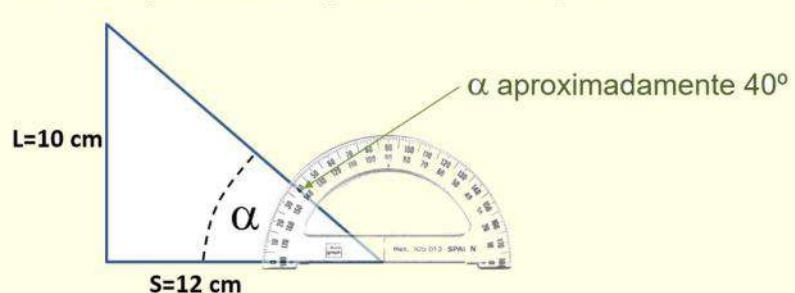
Esta actividad puede hacerse después de obtener el primer dato de la altura meridiana del Sol a partir de la sombra pero, más incluso que en la anterior, es aconsejable esperar 3 ó 4 semanas para obtener varios valores y calcular la media que minimice errores, sobre todo en la longitud geográfica, por la imprecisión de los relojes de quienes

Cálculo de la altura meridiana del Sol

Por ejemplo, si un gnomon de longitud 1 metro proyecta una sombra de 1 metro y 20 centímetros a mediodía, la altura meridiana del Sol puede calcularse por dos métodos:

a) Utilizando triángulos semejantes:

Se dibuja un triángulo rectángulo proporcional (de catetos 10 y 12 cm por ej.) y con un transportador de ángulos se mide el ángulo α



b) Por medio de la trigonometría

$$\alpha = \text{Arc tg} (L/S) = \text{Arc tg} (1/1.2) = 39^\circ 48'$$

tomaron los datos o de la determinación exacta del momento de la culminación (un error de un minuto de tiempo implica 0.25° de error en la longitud).

Algún año he preferido dejarla incluso para más adelante, para no eliminar la “magia” de todo lo que podemos hacer por nuestros propios medios porque, ahora sí, hay que usar datos de efemérides astronómicas.

Cálculo de la longitud

Tomando la hora de culminación del Sol (el momento en que la sombra estaba exactamente sobre la línea meridiana pintada en el suelo) y la hora en que ha culminado en el meridiano de Greenwich que se toma de las efemérides, obtienen fácilmente el valor de la longitud geográfica de la localidad: Si el Sol tarda 24 horas en su recorrido aparente de 360° y entre el paso por el meridiano de Greenwich y por el nuestro han pasado ____ minutos, estaremos a ____ grados (al Este/Oeste de él).

Cálculo de la latitud

Teniendo en cuenta el valor que han obtenido de la altura meridiana del Sol y la declinación del

Sol ese día, que se toma de las efemérides, se obtiene la latitud mediante una sencilla operación, tal como se deduce del gráfico.

Por supuesto, el gráfico se les proporciona y se les explica, pero los resultados en ambos casos los obtiene el alumnado.

Actividad 6: La ecuación del tiempo

Este concepto es algo que normalmente no sería adecuado a niveles de ESO, porque la explicación no es sencilla, y tampoco es algo necesario en la programación.

Sin embargo casi te lo piden, una vez que han visto que la hora del mediodía cambia, de manera tan grande (hasta media hora en los valores extremos).

Con esa motivación es mucho más sencillo que atiendan la explicación y entiendan, al menos alguno de los factores que influyen.

A partir del cuadrante donde han recogido cada semana la hora de culminación del Sol se ven las variaciones y se explican someramente los motivos.

CÁLCULO DE LA LONGITUD

SOL

Fecha dº TT	Longitud Equinoccio medio fecha	Notación en Longitud	Aberación	Latitud Eclíptica fecha	Altitud verdadera Eclíptica	Notación en Altitud	Para meridianos efemérides
Oct. 1	187 41 11.62	+	1.80	- 20.470	- 0.56	27.801	9.512 11 49 42.02
2	188 40 10.89	1.215	20.476	0.51	27.832	9.545 11 49 22.78	
3	189 39 11.90	1.246	20.482	0.41	27.881	9.594 11 49 04.41	
4	190 38 14.67	1.216	20.488	0.29	27.935	9.648 11 48 45.21	
5	191 37 19.24	1.122	20.494	0.16	27.976	9.697 11 48 26.99	
6	192 36 25.68	+ 0.982	- 20.499	- 0.04	27.991	+ 9.708 11 48 8.99	

Nosotros redondeábamos a minutos, que era la precisión de nuestras medidas

La sombra estaba en nuestra línea meridiana a las 13:01 (12:01 T.U.), 12 minutos (0.20 horas) después que en Greenwich (11:49 T.U.)

La longitud será: $0.20 \times 360^\circ/24 = 3.0^\circ$ Oeste

CÁLCULO DE LA LATITUD

SOL

Fecha dº TT	Ascensión recta Aparente	Declinación Aparente	Distancia verdadera	Coordenadas rectangulares Ecuador y Equinoccio medio J2000.0		
				X	Y	Z
Oct. 1	12 28 12.93	- 3 2 53.0	1.001 2896	- 0.992 5116	- 0.121 3772	- 0.052 6228
2	12 31 50.11	- 3 26 8.9	1.000 9966	- 0.989 8059	- 0.136 9432	- 0.059 3709
3	12 35 27.57	- 4 00 32.2	1.000 7037	- 0.986 8091	- 0.152 4674	- 0.066 1006
4	12 39 5.33	- 4 12 32.9	1.000 4113	- 0.983 5221	- 0.167 9455	- 0.072 8103
5	12 42 43.42	- 4 24 45.3	1.000 1199	- 0.979 9460	- 0.183 3730	- 0.079 4979
6	12 46 21.85	- 4 38 44.4	0.999 8297	- 0.976 0818	- 0.198 7457	- 0.086 1618
7	12 50 0.66	- 5 21 44.6	0.999 5410	- 0.971 9305	- 0.214 0595	- 0.092 8001
8	12 53 39.87	- 5 44 40.8	0.999 2540	- 0.967 4931	- 0.229 3192	- 0.099 4111

$\alpha = \beta - \gamma$

Si estuviéramos en el ecuador, el 3 de octubre el Sol habría culminado en dirección sur con una altura de $85^\circ 47'$ (redondeando a minutos de arco): $90^\circ - 4^\circ 13'$

Como aquí su altura de culminación fue de $42^\circ 32'$, nuestra latitud será: ...

Latitud = $90^\circ - 42^\circ 32' - 4^\circ 13' = 43^\circ 15'$

Una opción, que se llevó a la práctica un año, fue el marcar en el suelo con rotulador indeleble el extremo de la sombra del gnomon a las 13 en punto (a las 14 con el horario de verano) y así se pudo dibujar y completar aproximadamente el analema de la ecuación del tiempo (excepto el tramo de las vacaciones de verano). Ello permite visualizar la consecuencia de este “curioso” tema.

Actividad 7: Recorridos del Sol en diferentes fechas. Calendario solar.

En distintos momentos a lo largo del año (cuando era posible al comienzo de cada mes zodiacal) se marcaban los extremos de las sombras durante sucesivas horas, como en la actividad 1, pero intentando hacerlo a lo largo de todo el día, ya que incluso solía haber voluntarios para las tardes, habitualmente quienes acudían al centro para actividades extraescolares.

En las fechas en que no se habían obtenido los datos vespertinos se comprobaba la simetría en otras fechas en que sí se tenían, y se deducían de las matutinas.

De esta manera se iban obteniendo las marcas para trazar las hipérbolas indicadoras de las fechas en los calendarios solares.

Aunque el espacio de trabajo se siguió utilizando como siempre prescindiendo de lo que hubiera quedado pintado en cursos anteriores, después de varios años decidimos trazar las líneas del recorrido del extremo de las sombras en solsticios y equinoccios



Figura 6. 22 de junio de 2001. Listos para pintar la línea del solsticio de verano (ya delimitada con cinta de perfilar) a partir de los datos del día anterior, confirmado incluso por la sombra de esos momentos. Abajo, trazado finalizado y calendario completado en años posteriores.

e incluso posteriormente se elaboró un llamativo calendario solar con franjas de colores, utilizando siempre datos experimentales que habían ido quedando marcados.

Estos datos se utilizaban además, cada año, para elaborar un gran panel en el aula, donde se

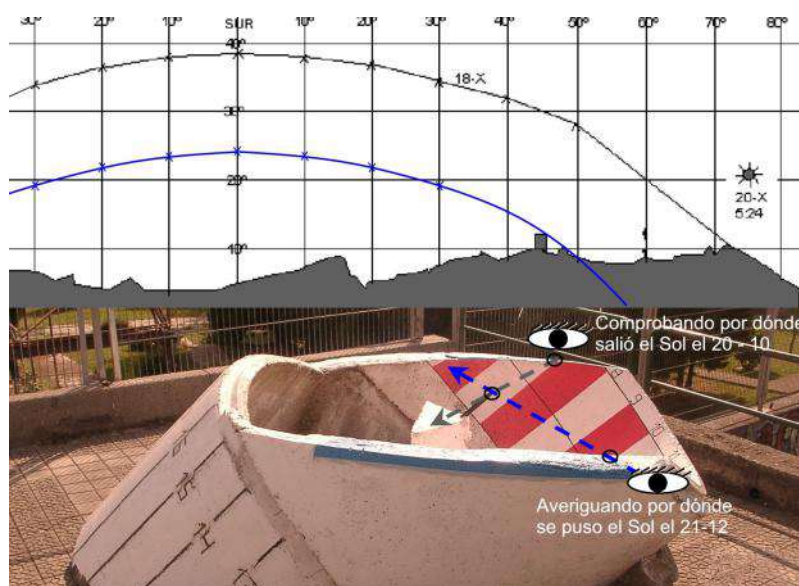


Figura 7. Trazado de la trayectoria del Sol en un par de fechas en el panel (no es una imagen real, y habitualmente se trazaban muchas más trayectorias), y foto del reloj solar con el que se determinaban lugares de orto y ocaso si no había datos observacionales.

trazaban las trayectorias del Sol en distintas fechas: A partir de la trayectoria diaria del extremo de la sombra en el suelo, se tomaban medidas de las longitudes de dichas sombras en distintos azimuts, valiéndose de un transportador de ángulos de gran tamaño.

Utilizando la trigonometría calculaban las diferentes alturas del Sol, y la trayectoria se completaba con el lugar del orto y ocaso solar si alguien del grupo lo había observado (lo cual era muy frecuente porque sabían que era valorado en las notas), o la deducíamos conjuntamente todo el grupo a partir de la observación en un gran reloj cilíndrico que teníamos en el patio.

Actividad 8: Cálculo de la inclinación del eje terrestre (inclinación de la eclíptica)

Siguiendo nuestra metodología y los criterios de utilizar los mínimos datos teóricos posibles, esta actividad hay que realizarla después del solsticio de verano (20 ó 21 de junio).

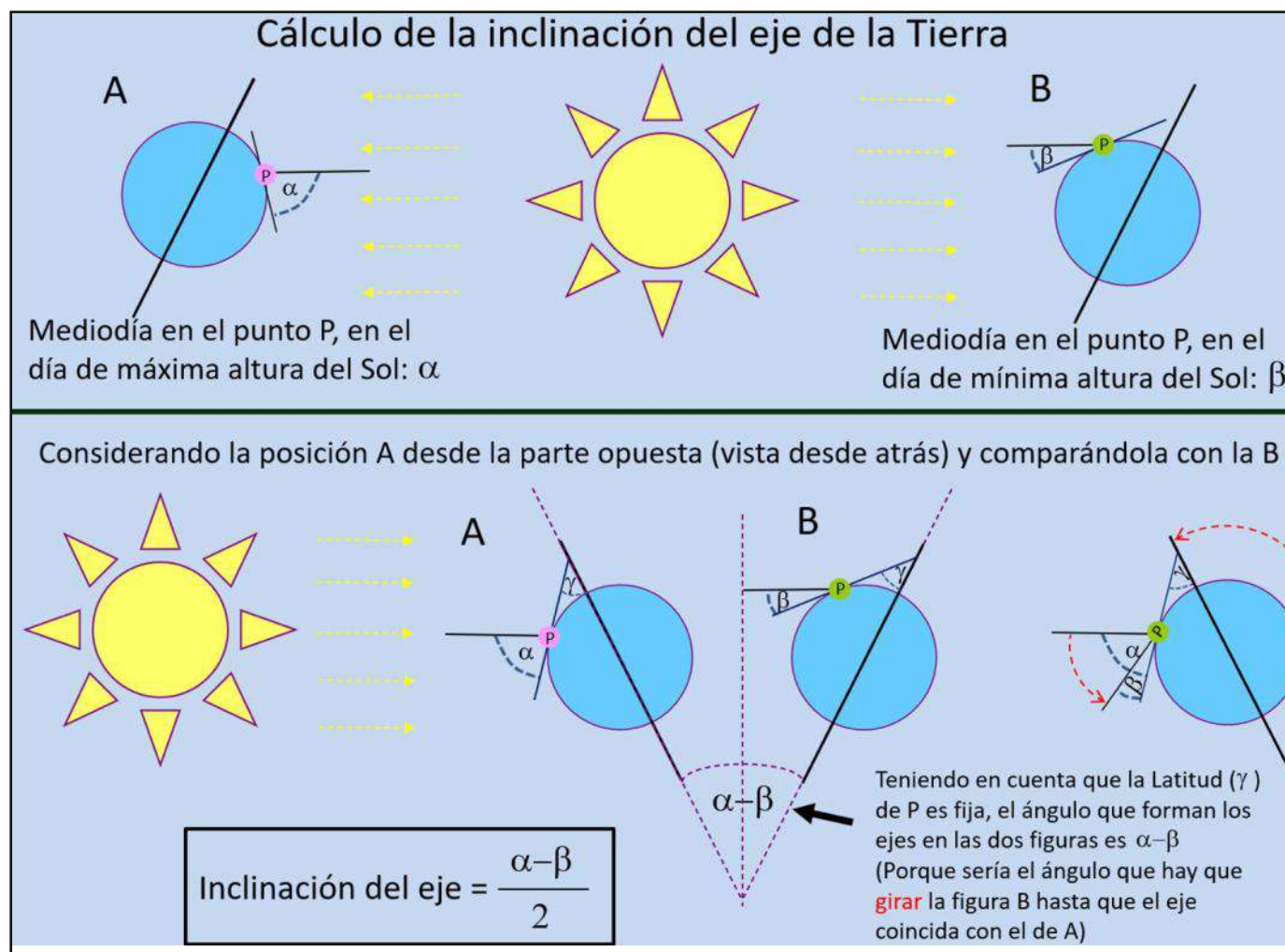
Se utilizaban los datos tomados a lo largo del curso de la actividad 4 y se hacía la última medición en fechas posteriores al solsticio para comprobar que la altura meridiana del Sol ya no aumentaba más.

El primer año en 1993 (mucho antes de la LOGSE), muchos alumnos ya tenían el curso aprobado y no tenían que ir al centro, pero como estaban “enganchados” casi todos acudieron voluntariamente a tomar los últimos datos y

realizar esta actividad. Algún otro año lo que hemos hecho es ir añadiendo a nuestros datos, algunos de los registrados en cursos anteriores que fuesen imprescindibles y por diversos motivos (incluido los meteorológicos) no se hubiesen podido obtener.

Revisando todos los datos de la altura meridiana del Sol a lo largo del curso se calculaba la inclinación del eje (o la inclinación de la eclíptica respecto al ecuador, que obviamente es lo mismo) como la mitad de la diferencia de los dos valores extremos (que lógicamente ocurrieron en los solsticios).

Como siempre hay alguien que no lo ve claro, Se utilizaba esta deducción geométrica de la figura que, aunque rigurosa, es muy fácil de comprender por alumnado de estos niveles al ser muy intuitiva.



Otras actividades

Además de las recogidas aquí, se realizaban otras actividades relacionadas con las sombras, como el uso del globo terráqueo paralelo, la elaboración y manejo de relojes de sol con sus múltiples aplicaciones didácticas, o la medición del tamaño de la Tierra. Esta última a veces la hacíamos contactando con otros institutos del sur de la península de nuestro meridiano y algunos años, en que no conseguimos colaboración, por otro método más similar al de Eratóstenes con solo nuestra medición y la determinación del punto subsolar en el globo terráqueo paralelo.

Finalmente, calculábamos el tamaño de la Luna y su distancia utilizando una foto de un eclipse lunar en fase parcial, que podría incluirse dentro de estas actividades ya que también aquí se utilizaba una sombra: la de nuestro planeta sobre la superficie de la Luna.



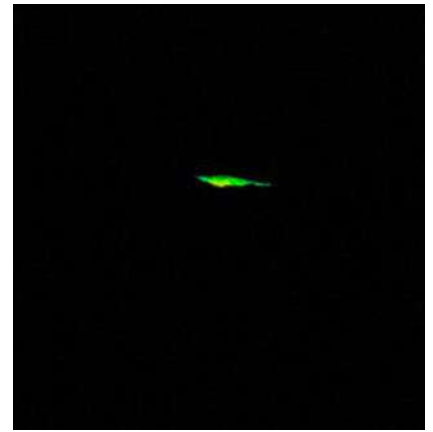
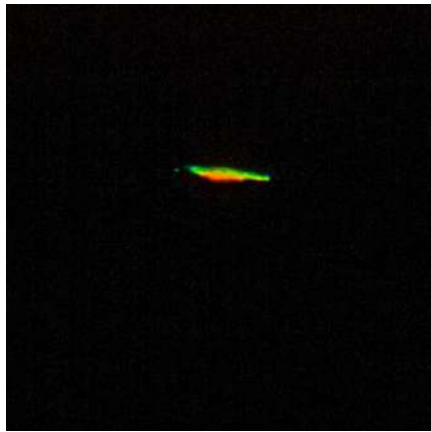
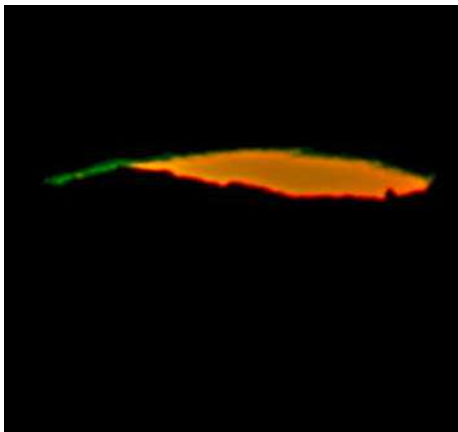
En estas actividades los contenidos matemáticos estaban presentes en gran medida, pero no lo detallo aquí por no alargar demasiado este artículo y ya los recogí en publicaciones monográfica de ApEA (Nº 18 y 28) y en otro artículo de NADIR (Nº 35).

En el corcho del aula se reflejaban las tareas y noticias. Éste es el del primer curso que se realizaron todas estas actividades, en 1993 en un aula de 2º de BUP.

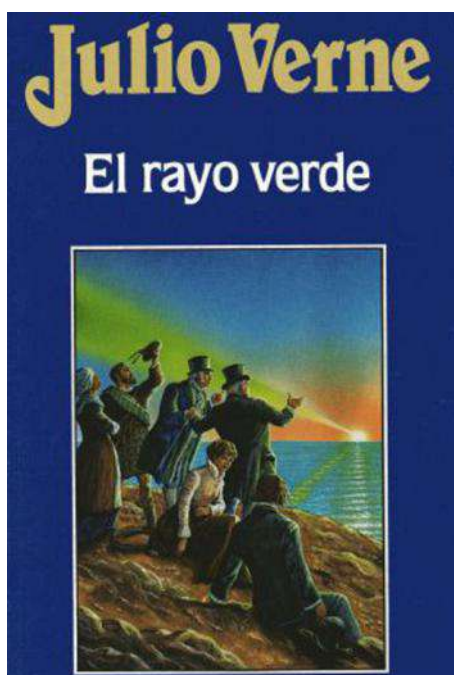


EL RAYO VERDE

David Galadí, M. Carmen Botella, Encarna Angosto y R. Moreno



En este artículo se explica qué es el rayo verde, se propone un modelo para entenderlo, y se discute el orden de los colores en la refracción y dispersión que se produce en la atmósfera. Al final hay unas indicaciones de Federico Fernández Porredón sobre las fotos suyas que se incluyen en el artículo.



Julio Verne publicó una novela en 1882 titulada El rayo verde. En ella se popularizó y se comenzó a mitificar este fenómeno que se describe como “un verde maravilloso que ningún pintor puede obtener en su paleta, el verdadero verde de la Esperanza”

Una vieja leyenda escocesa decía que este rayo tiene la virtud de hacer que aquel que lo ha visto no pueda jamás equivocarse en las cosas del corazón, de ahí que la protagonista de la novela afirme que no se casará nunca hasta haberlo visto.

Entonces, ¿es real el rayo verde? Por supuesto, aunque parte de su mitificación simplemente reside en que no es fácil verlo y que es un fenómeno que dura como máximo unos segundos.



¿QUÉ NECESITAMOS PARA PODER VERLO?

En primer lugar, es importante no tener ninguna alteración en la visión que nos impida ver el color, nuestros ojos deber ser capaces de distinguir el color verde. No es ninguna nimiedad, ya que una persona daltónica podría ver una puesta de Sol con un intenso rayo verde y no apreciar ninguna diferencia con cualquier otra.

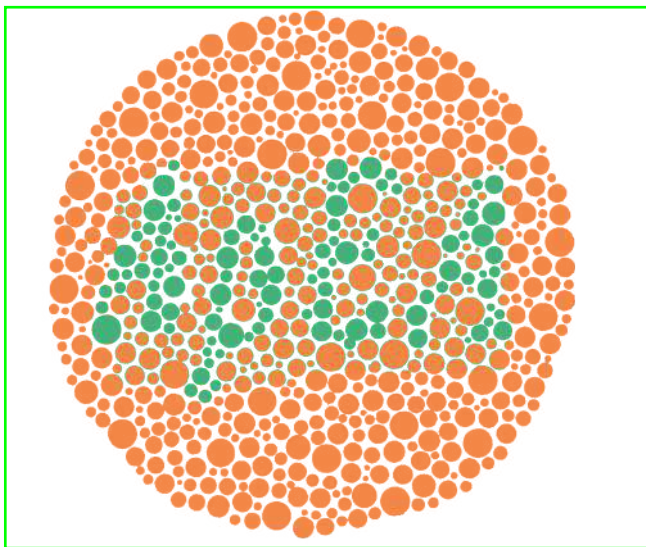


Fig 1 Si no consigues leer las 4 letras, no podrás ver el rayo verde

Nuestra retina tiene unas células fotorreceptoras llamadas conos que solo responden a longitudes de ondas específicas que corresponden al rojo, verde y azul. La combinación de ellos nos hace ver todo el espectro cromático.

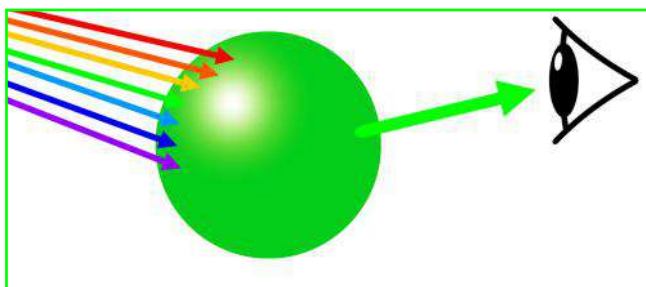


Fig 2 La luz blanca contiene todos los colores

Si un objeto refleja la longitud de onda correspondiente al verde hasta un ojo normal, ese ojo verá el objeto de color verde (Fig 2).

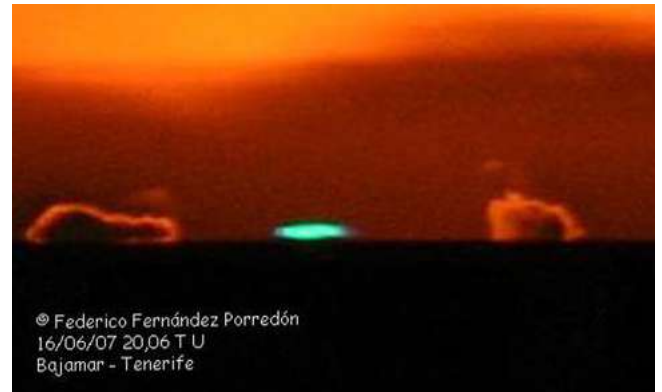


Fig 3 En este caso, rayo azul

En segundo lugar, necesitamos unas condiciones atmosféricas adecuadas, un horizonte despejado y un poco de suerte. Al ser un fenómeno tan fugaz, cualquier mínimo imprevisto puede hacer que nos lo perdamos.

En resumen, para poder ver un rayo verde solar, debe llegar hasta nuestros ojos una “luz verde” procedente del Sol.

Como sabemos, la luz del Sol contiene todos los colores del espectro visible, así que veamos qué debe ocurrir para conseguir aislar el verde del resto de colores.

Vamos a realizar un experimento que simule las condiciones que nos permiten contemplar este fenómeno y ayudar a su comprensión, aumentando así nuestras posibilidades de éxito en las observaciones.

MONTAJE DEL MODELO

Necesitamos una fuente de luz blanca que simule la luz solar (proyector o linterna). Para conseguir un haz fino haremos pasar la luz por un pequeño agujero. En nuestro ejemplo utilizamos un proyector de diapositivas y una diapositiva opaca con un pequeño agujero en el centro (Fig 4). También se puede hacer con una ranura, pero el efecto se parecerá menos al real.



Fig 4 Diapositiva con orificio

Posteriormente dispersaremos la luz blanca con un prisma, que proyectará en una pantalla todos los colores del espectro visible (Fig 5).

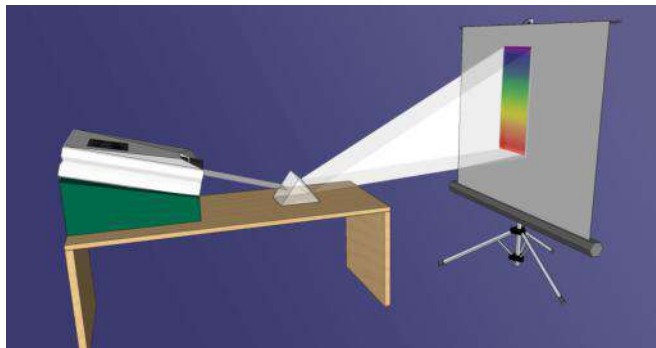


Fig 5 Dispersamos la luz blanca con un prisma

La parte superior del espectro, correspondiente a los azules, es esparcida de forma natural por nuestra atmósfera. Esos fotones azules parecen llegar a nuestros ojos desde todas direcciones y es la razón por la que vemos el cielo diurno de ese color.

Para simular el esparcimiento (*scattering*), interpondremos un recipiente de paredes transparentes con agua (Fig 6), a la que

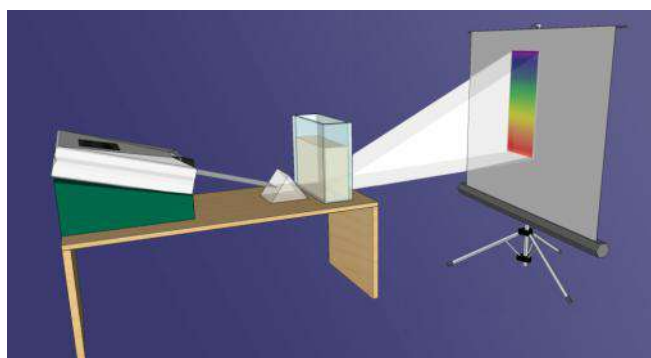


Fig 6 Ponemos un recipiente con agua

añadiremos unas gotas de leche (Fig 7). Esto nos permitirá observar dos efectos. Por un lado, veremos que el líquido se torna azulado, algo similar a lo que ocurre en el cielo y por otro lado, comprobaremos que los fotones azules desaparecen de la pantalla. Si siguiéramos añadiendo gotas de leche apreciaríamos que también desaparecerán los verdes. Esto es lo que usualmente ocurre en una puesta de Sol en la que no se vea el rayo verde.

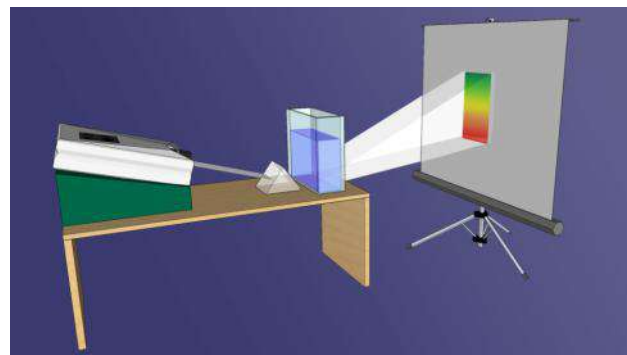


Fig 7 Añadimos al agua unas gotas de leche y el azul desaparece

Por tanto, si las condiciones atmosféricas son las adecuadas para que solo se hayan esparcido los azules, lo único que necesitamos para aislar el color verde del resto de colores del espectro electromagnético es esperar a que la Tierra los “tape” con su rotación.

Para conseguir este efecto, subiremos lentamente un globo terráqueo (Fig 8), simulando la puesta de sol, y comprobaremos que, durante los instantes finales, la luz verde queda aislada produciendo nuestro ansiado rayo verde.

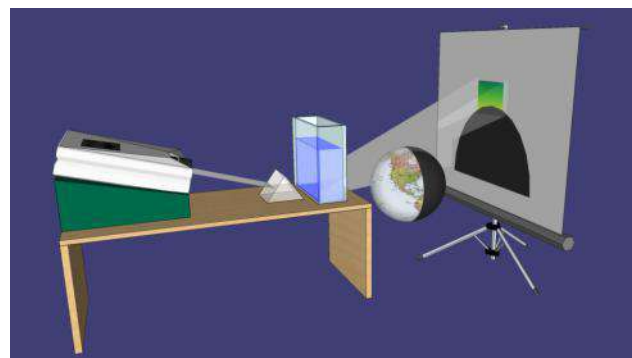


Fig 8 La Tierra tapa parte del espectro aparece el rayo verde

Exactamente el mismo efecto ocurre al amanecer. Podemos simularlo tapando completamente la luz y deslizando nuestra Tierra hacia abajo. El primer rayo de luz que se verá es un rayo verde.

Y ahora, ¿a qué esperas para salir a observarlo?

REFRACCIÓN ASTRONÓMICA, LOS COLORES ¡BOCA ABAJO!



A consecuencia del experimento anterior del rayo verde, se despertó un debate muy interesante. Cuando la luz procedente del Sol, de los planetas o de las estrellas se dispersa en nuestra atmósfera, los azules quedan arriba y los rojos abajo. Esto es un hecho empírico. Si esto no fuera así sería imposible ver el fenómeno del rayo verde pero ¿a qué se debe?

Siempre que buscamos imágenes sobre la dispersión de la luz nos muestran los rojos

arriba, correspondientes a las longitudes de onda que menos se curvan (Fig. 9). ¿No cabría esperar en un atardecer o amanecer que los azules se curvaran más y por tanto, se vieran más abajo?

Como sabemos, la luz de los astros al incidir sobre la atmósfera cambia de medio de propagación y se desvía, se refracta hacia abajo, y esto hace que la posición aparente de las estrellas o de cualquier otro astro esté siempre algo más levantada, por encima de la posición real o verdadera.

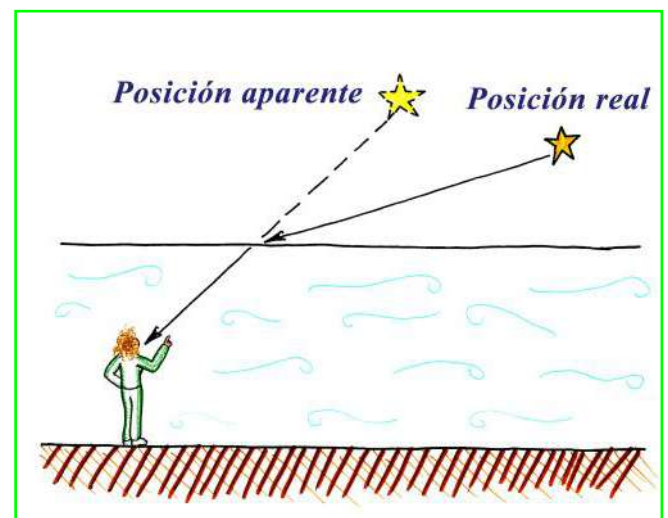
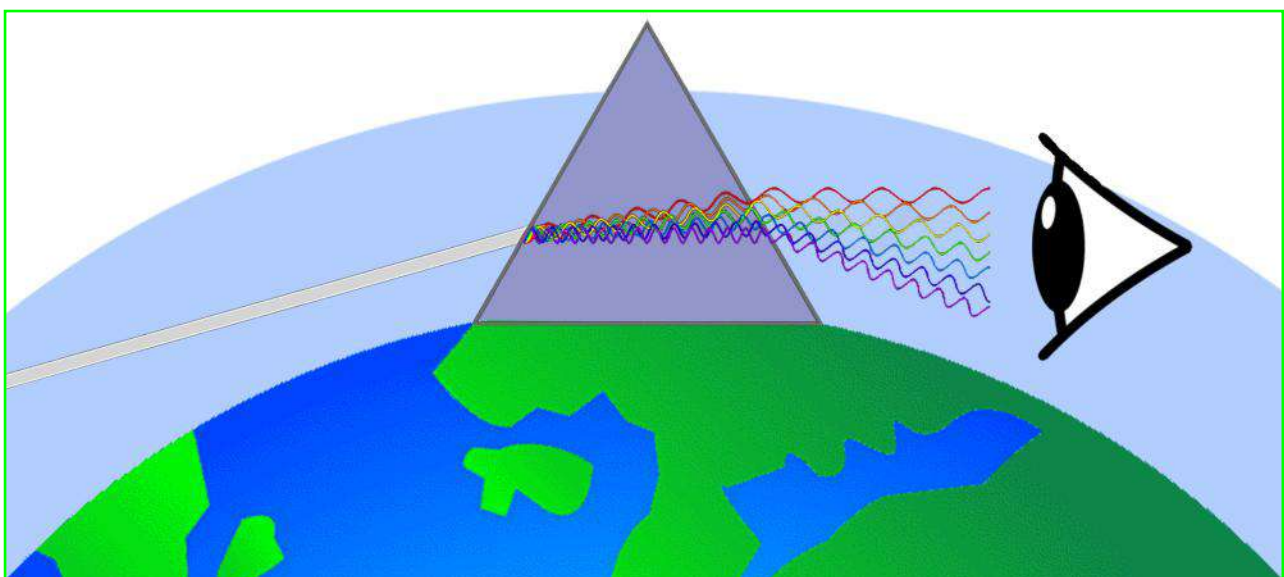


Fig. 10 La posición aparente de una estrella y su posición real

Fig. 9 La dispersión de la luz pone a los rojos encima, y los azules debajo. Parece contradecir nuestro modelo.



Pero al cambiar de medio, la luz no solo se refracta sino que también se dispersa. El hecho de que el índice de refracción dependa de la longitud de onda, se traduce en que la luz blanca se descompone en colores.

Este efecto es mucho más acusado cuando el objeto observado se encuentra más cerca del horizonte y su luz tiene que atravesar más capas de atmósfera.

En medios de dispersión normal, como el vidrio, el agua o el aire, la luz violeta, azul y verde es la que más se refracta, mientras que los colores anaranjados y rojos se refractan menos.



Fig. 11 El violeta y el azul se desvían más que el rojo

Si la luz de los astros debe descomponerse en colores al pasar del espacio a la atmósfera, los cuerpos celestes se deberían mostrar no como un simple punto, sino como un espectro sobre el cielo.

Teniendo en cuenta que la luz violeta y azul es la que más se refracta, y la luz roja la que menos, ¿qué apariencia deberían tener esos espectros?

Un objeto puntual, como una estrella, se tiene que convertir en un pequeño espectro vertical sobre el cielo. Al ir la luz azul y violeta hacia abajo, ¿veremos estos colores abajo en la imagen estelar aparente, o serán los tonos rojos los que ocupen la posición inferior?

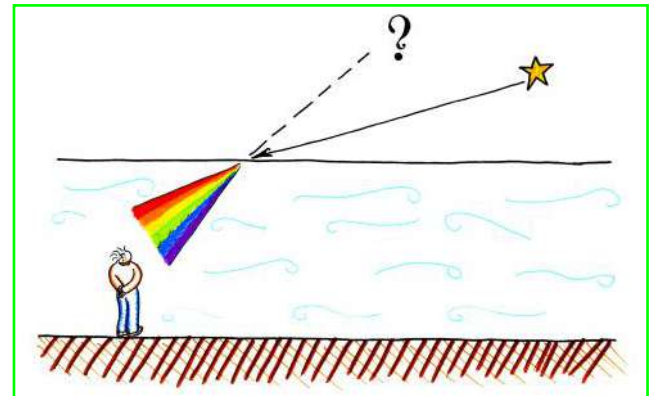
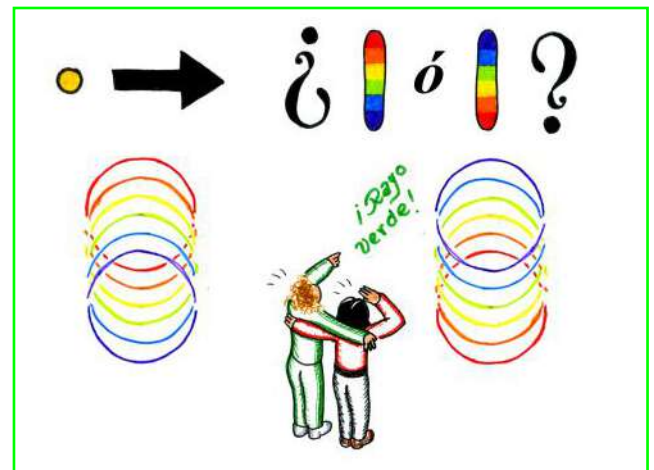


Fig. 12 ¿Cómo será el espectro de una estrella?

Lo mismo se puede decir del Sol. Podría pensarse que el azul debería verse abajo, mientras que el limbo solar superior debería mostrarse rojo.



Para que la explicación habitual del rayo verde funcione hace falta que los tonos rojos se sitúen abajo, y los de longitud de onda corta arriba. Al desaparecer el violeta y el azul por esparcimiento de Rayleigh, el limbo superior se volvería verde y, al ser el último trozo que se oculta al atardecer, causaría el rayo verde como hemos visto anteriormente.

Para salir de dudas, preparamos el siguiente experimento. Utilizamos una pecera inclinada que posteriormente llenamos de agua. Colocamos una cámara en la parte inferior que

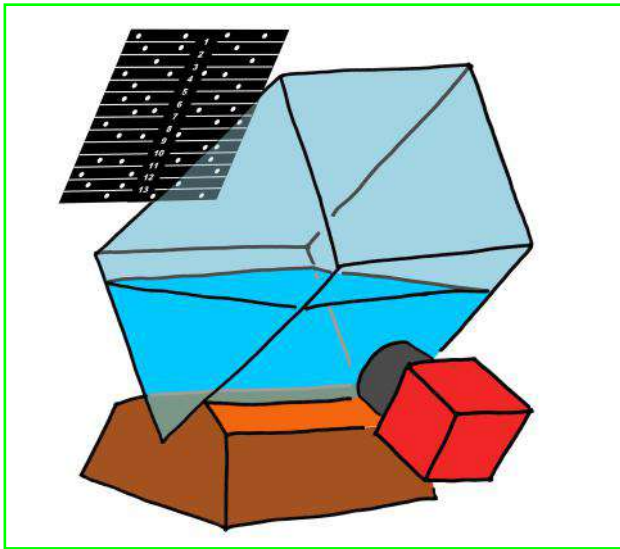


Fig. 14 Cámara, pecera con agua e imagen de alto contraste con números, rayas y círculos blancos.

simula un observador dentro de la atmósfera, y apuntando (Fig 14) a una imagen con números, rayas y círculos en blanco y negro, situada en la parte exterior, que simula la luz blanca que nos llega del Sol o de las estrellas desde fuera de la atmósfera.

Las imágenes obtenidas por la cámara antes y después de añadir el agua en la pecera (la atmósfera), son las siguientes:

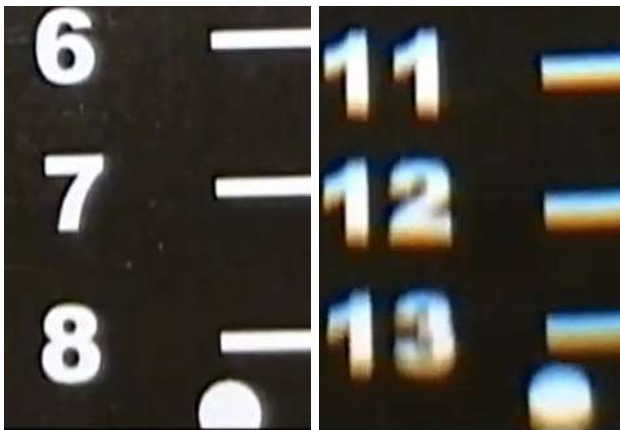


Fig. 15 Antes y después de echar agua en la pecera. Ni la cámara ni el papel se han movido. El orden en los colores en los bordes de las zonas blancas es arriba los azules, debajo los amarillos y rojos. Además, comprobamos que la posición aparente de los números ha cambiado: se han desplazado hacia arriba.

El experimento no deja margen para la duda: los bordes superiores de los objetos blancos se ven de tonos azulados, mientras que los bordes inferiores aparecen rojizos. En los astros vistos a través de la atmósfera, el azul y el verde están arriba y el rojo abajo.

La explicación es sencilla. La misma refracción astronómica que desvía la luz hacia abajo y hace que los astros se vean más altos (nótese en el experimento cómo sube la numeración que se observa), hace que los colores que se “tuercen” hacia abajo con más ángulo (violetas y azules) se vean más elevados, (Fig 16 y 17) por eso el azul nos aparece arriba en los espectros y el rojo abajo.

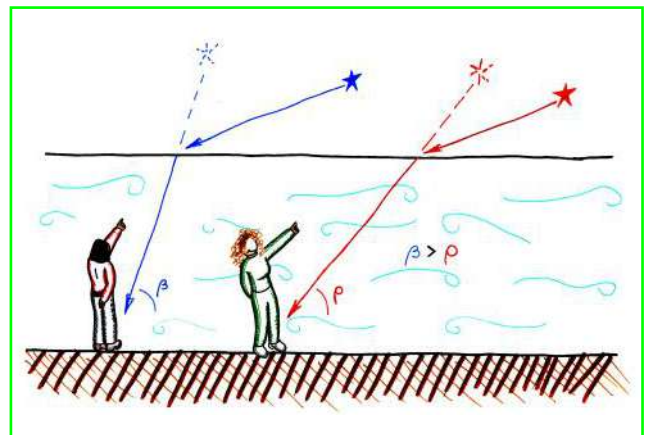


Fig. 16 Los azules se desvían más, y nos parecen venir de más alto que el rojo

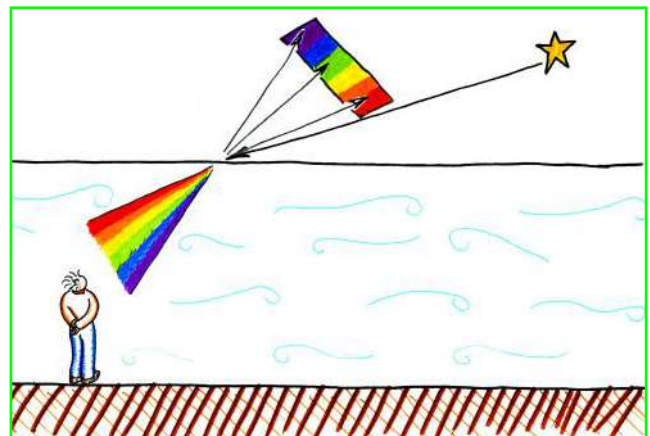


Fig. 17 El orden de los colores que vemos es azul arriba, y rojo abajo

En conclusión, la refracción astronómica eleva la posición aparente de todos los cuerpos celestes, pero a la vez la dispersión los convierte en “espectritos” con el azul y violeta arriba y el rojo abajo.

Volviendo al rayo verde, el limbo aparente del Sol tiene la luz roja abajo y la luz de

longitud de onda más corta arriba. De otra forma, sería imposible poder observar un fenómeno como el rayo verde.

Cuanto más se desvía la luz hacia abajo, ¡más arriba se ve! La refracción astronómica pone los colores ¡boca abajo!

LA VISIÓN DEL FOTÓGRAFO

El autor de todas las estupendas fotografías reales del rayo verde que aparecen en este artículo y en la portada de la revista, es Federico Fernández Porredón, socio y expresidente de ApEA. Ha usado una cámara Canon 60DA, con un objetivo Sigma de 500 mm de focal. Están tomadas desde Bajamar-Tenerife.

Su visión del fenómeno va en la línea de lo que se explica en el artículo:

"El Sol, al ponerse o al salir, atraviesa un enorme espesor de estratos atmosféricos a distintas temperaturas. Eso hace que su luz sufra múltiples refracciones. Los fotones de mayor longitud de onda (rojos) son los que se desvían menos, y por tanto se ocultan prácticamente cuando lo hace realmente el Sol, pero los de menor longitud de onda (verdes y azules) se desvían más y se ven incluso cuando el Sol ya está por debajo del horizonte. Así que, si se dan determinadas condiciones de transparencia atmosférica, es posible ver los fotones verdes, de menor longitud de onda, y en raras ocasiones los azules, menos abundantes aún porque la atmósfera se encarga habitualmente de esparcirlos, y que se ocultan una fracción de segundo más tarde".



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

