

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.

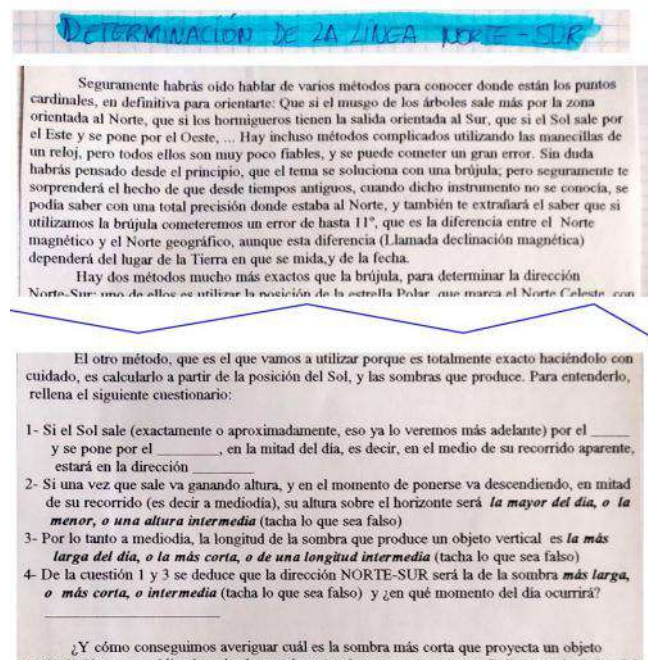


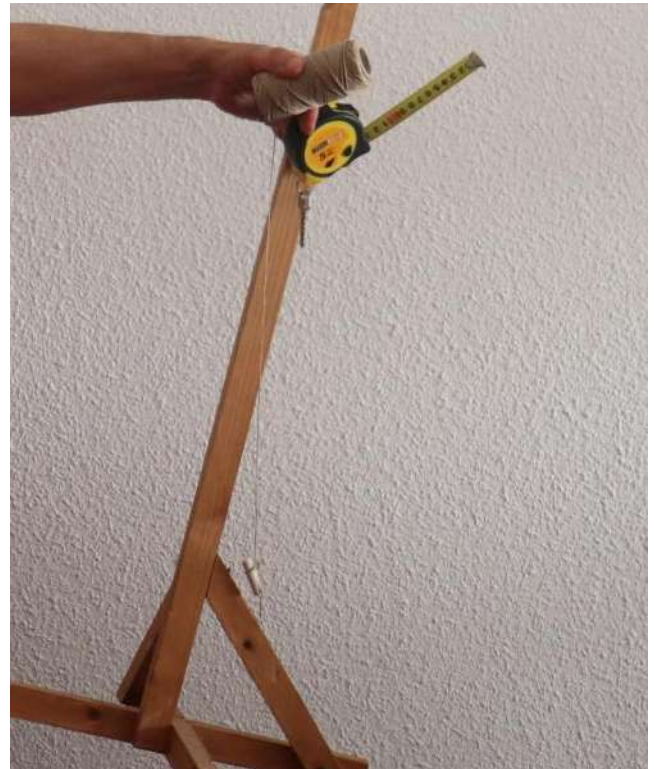
Figura 1 Extracto del cuestionario.

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.

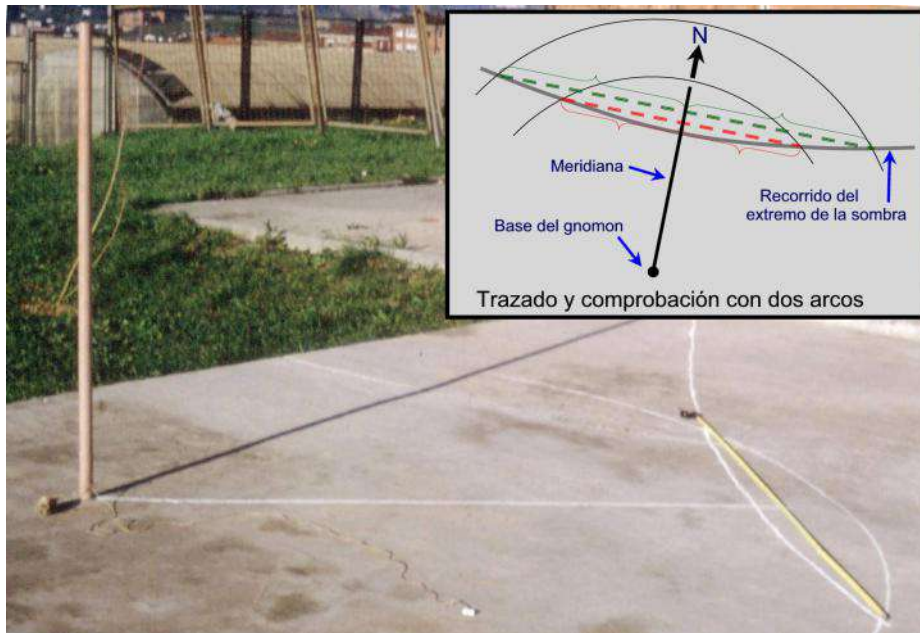


Figura 2. Trazando un arco con centro en la base del gnomon cortará en dos puntos a la trayectoria del extremo de las sombras, y uniendo el punto medio entre de esos dos con la base del gnomon se obtiene la meridiana. Para mejorar la precisión o confirmar la exactitud del resultado puede repetirse el 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 media fecha	Notación en Longitud	Aberreción	Latitud Eclíptica fecha	Distancia verdadera Eclíptica	Notación en Distancia	Paso meridiano efemérides	
							h	m
Oct. 1	187 41 11.62	+ 1.80	- 20.470	- 0.56	27.801	+ 9.512	11 49	42.92
2	188 40 10.89	1.215	20.476	0.51	27.832	9.545	11 49	22.78
3	189 39 11.90	1.206	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	42.21
5	191 37 19.24	1.122	20.494	0.16	27.976	9.712	11 48	49.21
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 12.03	- 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	7 46 32.2	1.000 7037	0.986 8091	0.152 4674	0.066 1006
4	12 39 5.33	11 12 33.9	1.000 4113	0.983 5221	0.167 9450	0.072 8103
5	12 42 43.42	15 35 45.5	1.000 1199	0.979 9460	0.183 3730	0.079 4979
6	12 46 21.85	19 58 44.4	0.999 8297	- 0.976 0818	- 0.198 7457	- 0.086 1618
7	12 50 0.66	24 14 4.6	0.999 5410	- 0.971 9305	- 0.214 0595	- 0.092 8001
8	12 53 39.87	28 24 40.8	0.999 2540	- 0.967 4931	- 0.229 3102	- 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

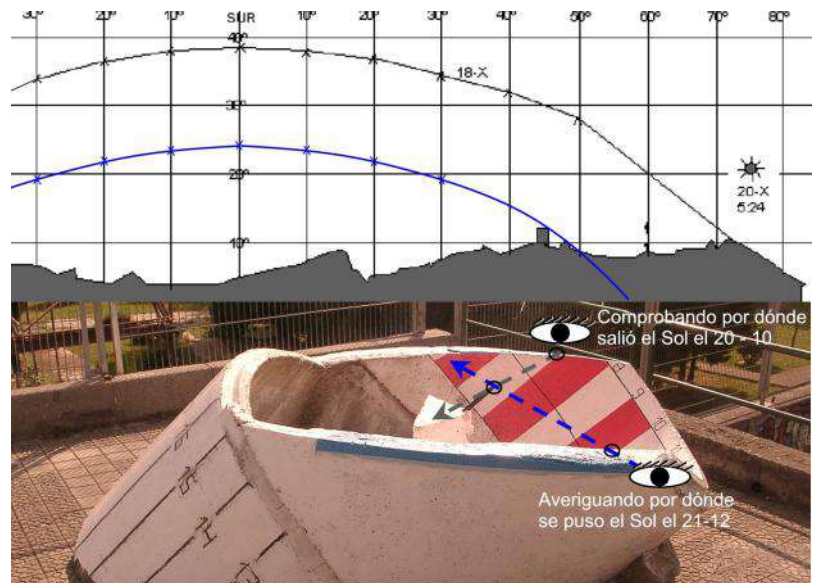


Figura 7. Trazado de la trayectoria del Sol en un par de fechas en el panel (no es una imagen real, y habitualmente se trazaban muchas más trayectorias), y foto del reloj solar con el que se determinaban lugares de orto y ocaso si no había datos observacionales.

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).

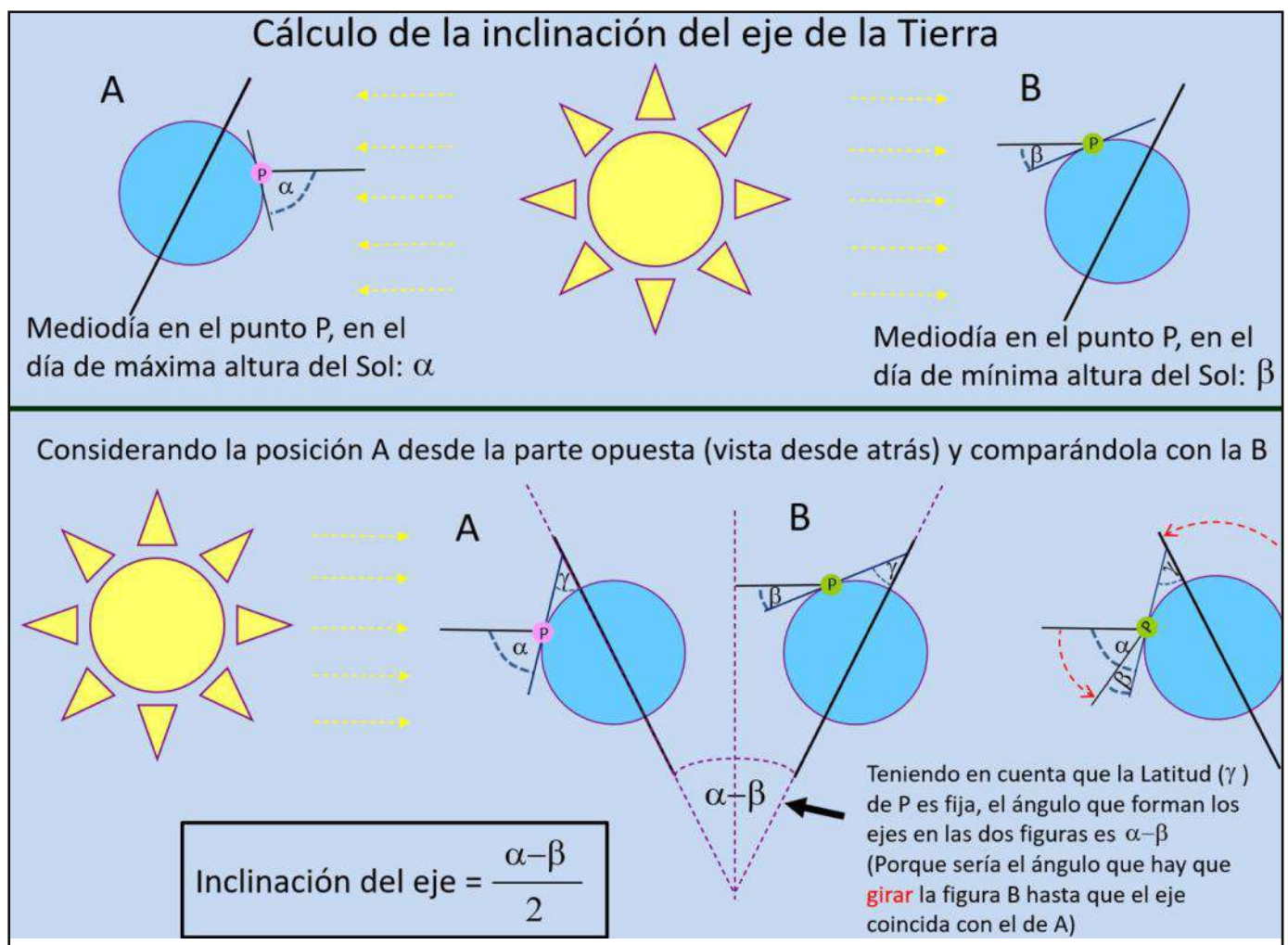
Se utilizaban los datos tomados a lo largo del curso de la actividad 4 y se hacía la última medición en fechas posteriores al solsticio para comprobar que la altura meridiana del Sol ya no aumentaba más.

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).

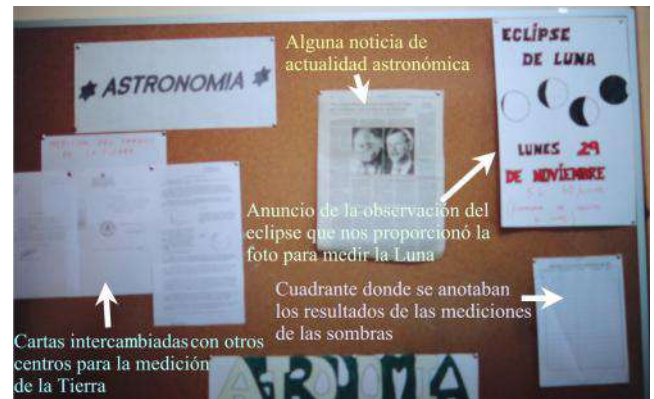
Como siempre hay alguien que no lo ve claro, Se utilizaba esta deducción geométrica de la figura que, aunque rigurosa, es muy fácil de comprender por alumnado de estos niveles al ser muy intuitiva.



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 monográficas 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.

