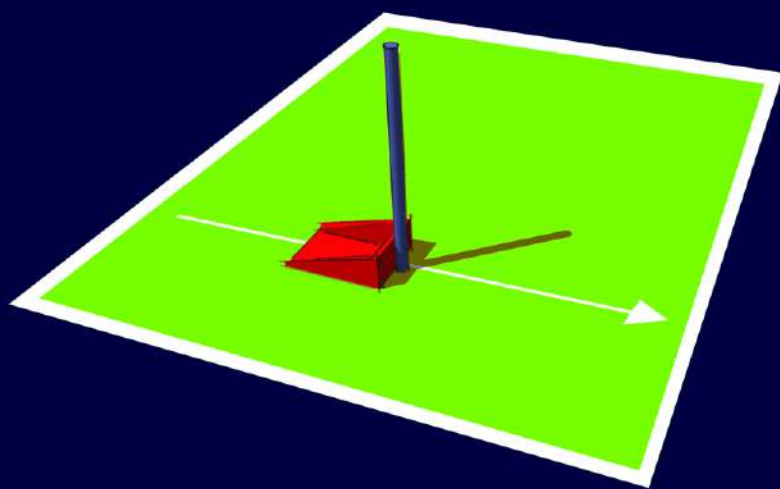


El Meridiano y la Meridiana

Manuel Canseco
Pere Closas



Publicaciones de ApEA nº 24

El Meridiano y la Meridiana

**Manuel Canseco
Pere Closas**

Publicaciones de ApEA
Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

No. 24 (Secundaria) – Junio 2012

Publicaciones de ApEA
Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

Dirección:

Rosa M. Ros (Vocal Editora de Publicaciones de ApEA)

Edición 2012

Comisión de redacción:

Antonio Acedo del Olmo

Ederlinda Viñuales

Ricardo Moreno

Simón García

Edita: Antares Producción & Distribución, S.L.

ISBN: 978-84-937604-1-0

AUTORES



Manuel Canseco Caballé

Catedrático jubilado de Matemáticas del IES "Francisco Ribalta" de Castellón. Ex asesor de Ámbito Científico del Centro de Formación, Innovación y Recursos Educativos de la provincia de Castellón. Autor y coautor de varios libros, comunicaciones y artículos de Matemáticas, Astronomía, Mineralogía y Didáctica de las Ciencias. Socio fundador de diversas asociaciones dedicadas a la divulgación y conocimiento de las Ciencias.



Pere Closas Hil

Licenciado en Ciencias Físicas y con Estudios de Magisterio. Se ha dedicado a la docencia y a la vida profesional en el ámbito de la informática. Aficionado a la Astronomía, socio de Aster desde 1981, con dedicación activa a la observación de estrellas variables. Coordinador del proyecto de ámbito nacional Medida del Radio de la Tierra con motivo del Año Internacional de la Astronomía 2009.

Índice

Presentación	7
Objetivos	9
Las coordenadas geográficas, latitud y longitud	11
El problema de la longitud geográfica. El meridiano de Greenwich	12
Sistema métrico decimal. El meridiano de París	15
Castellón y los meridianos de Greenwich y París	16
Actividad 1: Cálculo de la medida métrica de un grado de meridiano según la definición	19
Actividad 2: Determinar la distancia de Castellón al meridiano de París	20
Determinación de la meridiana del lugar	22
Actividad 3: Realización de la meridiana.	23
Actividad 4: Determinación de la dirección Norte-Sur	25
Actividad 5: Determinación del paso del Sol por el meridiano	27
Observaciones en un mismo lugar en días distintos del año	30
Variación de la forma de la trayectoria	30
Variación de la hora del tránsito del Sol por el meridiano	31
Observaciones en un mismo día y en diferentes lugares	35
Comparación de la altura del Sol según la hora	35
Actividad 6: Determinación del Radio de la Tierra por Eratóstenes	35
Actividad 7: Determinación de la altura de un objeto	36
Meridianas y otros instrumentos. Turismo astronómico	38
Bibliografía	41

Presentación

Esta publicación se estructura en dos partes. En la primera se propone hacer un repaso de los conceptos geográficos de longitud y latitud, relacionándolos con la determinación e introducción de la unidad más importante del Sistema Métrico Decimal, el metro.

La medida y establecimiento del metro se realizó con triangulaciones desde Dunkerque, en el Norte de Francia, hasta Barcelona y se terminó en 1799. En 1802 se pretendió extender las mediciones hasta las Islas Baleares, con nuevas triangulaciones hacia el Sur siguiendo la costa mediterránea.

La doble coincidencia de estar Castellón situada exactamente sobre el Meridiano de Greenwich (que a final del siglo XIX se convirtió en el meridiano de referencia) y de ser la ciudad donde al final de sus días trabajó y murió Pierre Méchain, uno de los científicos que dirigieron los trabajos de determinación del metro, le confieren una relación especial con estos temas de nuestra cultura científica.

En la segunda parte de esta publicación se introduce la construcción de la meridiana y se proponen un conjunto de actividades que se pueden seguir de la misma con la ayuda de un gnomon.

La observación del discurrir de los días y las noches, del recorrido diario y cambiante del Sol y de la evolución de las sombras posiblemente está en el origen de la configuración mental y de la comprensión inicial del Universo entre nuestros antepasados remotos.

Aún hoy la observación y toma de medidas de la evolución de las sombras y la reflexión y discusión de las razones de los cambios puede ser un ejercicio escolar ameno, interesante e instructivo.

En este apartado se proponen una serie de actividades escolares centradas en la observación de la sombra del gnomon.

Una sesión de trabajo permite la actividad de observación de la evolución de la sombra y la determinación de la dirección Norte-Sur del lugar de observación.

La repetición de las medidas en días y lugares distintos permite profundizar en nuevos contenidos:

- Las medidas hechas en un mismo lugar y distintas fechas permiten observar la constancia de la dirección Norte-Sur y la variación de la hora del tránsito del Sol por el meridiano del lugar (y por tanto la variación de la duración del día astronómico a lo largo del año).
- La comparación de las medidas hechas un mismo día en distintos lugares muestra la variación de la hora del mediodía local y la variación de la altura del Sol sobre el horizonte en el momento del tránsito.

Objetivos

Los principales objetivos de esta publicación consisten en:

- Situar un lugar en el globo terráqueo.
- Analizar el problema de la longitud geográfica y su resolución.
- Resaltar la importancia de tener unidades de medida universales.
- Reforzar las habilidades de toma de medidas con distintos instrumentos.
- Trazar una línea meridiana que pase por el lugar de observación.
- Repasar conceptos básicos de distintas materias: conceptos de día y año, líneas y puntos importantes en la superficie de la Tierra (ecuador, polos, meridianos y paralelos).

Las coordenadas geográficas, latitud y longitud

Hace unos días estábamos paseando con unas personas por un bosque y casualmente encontramos un lugar en que había abundantes setas comestibles. Como estábamos bastante apartados de las zonas urbanas, aprovechando que uno de nosotros llevaba un GPS, tomamos las coordenadas de latitud y longitud para situarlo en el mapa y encontrarlo en otra ocasión con facilidad. Pero ¿qué quiere decir que el lugar estaba a tantos grados de latitud y de longitud? Intentaremos aclararlo.

Las coordenadas geográficas suponen la Tierra una esfera perfecta, en donde cada punto de su superficie viene determinado por el corte de una circunferencia que llamamos "paralelo" que determina su latitud y una semicircunferencia que llamamos "meridiano" que determina su longitud. Tanto la latitud como la longitud se miden en grados sexagesimales.

Los "paralelos" son las circunferencias que resultan de cortar la superficie de la esfera terrestre por planos perpendiculares al eje de giro del planeta. El mayor de ellos es el ecuador, cuyo radio es el de la Tierra. Es el que se toma como origen de la latitud y convenimos que tiene latitud 0° . A partir de él y conforme nos acercamos a los polos y por tanto nos alejamos del ecuador, las circunferencias son cada vez de radio más pequeño, hasta llegar a los polos en que éste vale cero. En esos puntos decimos que la latitud es de 90° norte (90° N), si es el polo norte y de 90° sur (90° S), si es el polo sur. Cualquier punto intermedio tendrá de latitud entre 0° y 90° norte, si está por encima del ecuador y entre 0° y 90° sur, si está por abajo.

Por ejemplo si decimos que un punto tiene de latitud 40° N, quiere decir que está en una circunferencia, que se encuentra a 40° por encima del ecuador y paralela a éste. Todos los puntos de esa circunferencia tendrán la misma latitud (figuras 1a y 1b).

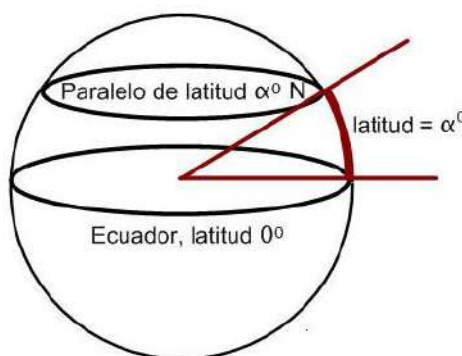


Figura 1a: Paralelos

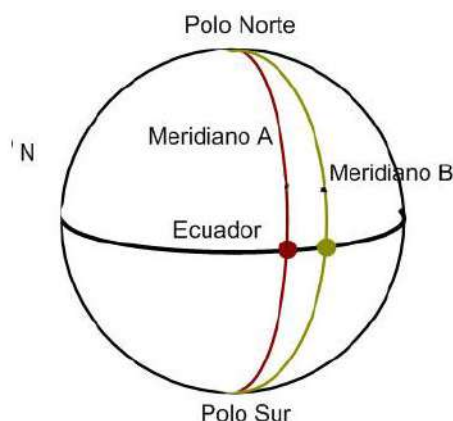


Figura 1b: Meridianos

Para calcular la latitud con bastante exactitud, los antiguos marinos medían la altura de la estrella polar o la altura del Sol a su paso por la meridiana del lugar (mediodía).

En el norte de Europa era muy corriente tener el cielo nublado o brumoso varios días seguidos. Esto era un problema para la navegación de los vikingos, pues en esos días no podían encontrar su latitud ni se podían orientar, pues no conocían la brújula. Según recientes investigaciones los vikingos resolvieron el problema utilizando un mineral llamado "la piedra del Sol" con el que podían saber en qué dirección se encontraba el astro a pesar de estar nublado o debajo del horizonte, aprovechando la polarización de la luz dispersada por las nubes, pues cuando el mineral estaba alineado con el Sol, se observaba un aumento de brillo en la piedra. Utilizaban dos minerales según el lugar de donde procedían, la cordierita en su variedad transparente (dicroíta o iolita), por su pleocroísmo y la calcita que cuando es transparente se llama espato de Islandia, por su birrefringencia.

El problema de la longitud geográfica. El meridiano de Greenwich

Los "meridianos" son las semicircunferencias resultantes de cortar la superficie de la esfera por planos que pasan por los polos y son perpendiculares al ecuador. Cada corte da lugar a dos meridianos. El radio de cualquier meridiano es por lo tanto el radio de la Tierra. Todos los puntos situados en el mismo meridiano tienen la misma hora local.

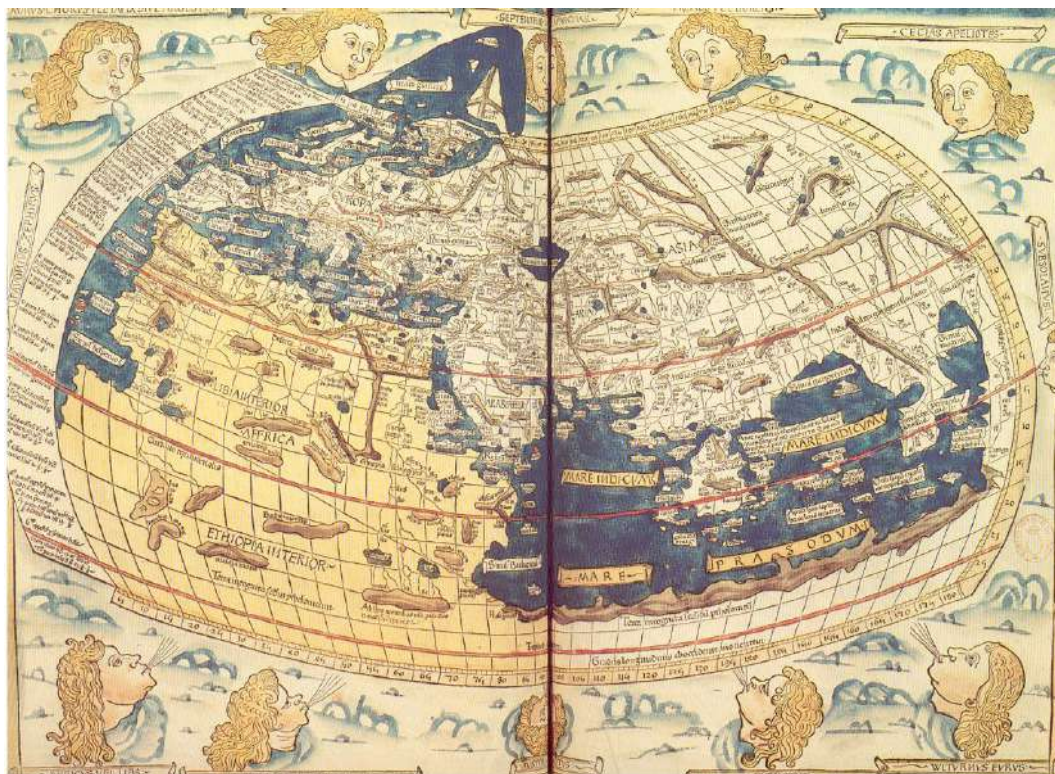


Figura 2 Mundo de Ptolomeo, por Johannes de Armschein (1482)

Cuando hablamos de la latitud, tenemos claro que es el ecuador el lugar que tenemos que tomar como origen de medida, pues es la única circunferencia máxima y está perfectamente localizado, pero no ha sido fácil encontrar un meridiano consensuado, a partir del cual medir la longitud.

En el siglo II antes de nuestra era, Hiparco de Nicea director de la Biblioteca de Alejandría, que fue el primero en utilizar en sus mapas las coordenadas geográficas, situó como origen de longitud o meridiano 0°, la isla de Samos. Claudio Ptolomeo, en el siglo II de nuestra era, lo situó en el límite occidental de las islas Canarias, última tierra conocida entonces.

Hasta el siglo XIX cada país utilizó diversos meridianos origen, según su conveniencia, como el de Madrid, París (Meudon) y Londres (Greenwich), y cada mapa o carta de navegación se realizaba tomando como origen dichos meridianos. Era necesario llegar a un acuerdo y éste llegó resolviendo un problema crucial, el problema de la longitud en el mar.



Figura 3: Meridiano de Greenwich



Figura 4: Harrison IV

Saber la longitud de un lugar en tierra era relativamente sencillo. El inconveniente residía en el mar, pues cuando no había ninguna tierra de referencia a la vista, sólo se sabía de manera aproximada cuánto al este u oeste se encontraban un navío de un lugar determinado. Ello dio origen a numerosos naufragios. El problema fue tan importante que en 1714 el Parlamento Británico ofreció un premio de 20 mil libras (que actualmente equivaldrían a cerca de 4 millones de euros) a quien encontrara un método fiable y preciso de encontrar la longitud en alta mar, con un error menor de medio grado. La solución la dio en 1759 un carpintero inglés llamado John Harrison que construyó un cronómetro marino con una precisión desconocida hasta la fecha y que no se paraba ante los embates del mar, ni se desajustaba con los cambios de temperatura, como hacían los relojes de péndulo de entonces.

Los relojes de Harrison prescindían del péndulo, por lo tanto de la gravedad. Estaban contruidos por un sistema de muelles que se compensaban y con

materiales casi exentos de fricción, por lo que no necesitaban lubricarse. El primer reloj, el H1, lo construyó entre 1730 y 1735, tenía forma de caja y pesaba treinta y cuatro kilos. Se probó en un viaje a Lisboa y se comportó correctamente. El segundo, el H2, lo terminó en 1740 y pesaba treinta y nueve kilos. El tercero, el H3, lo presentó en 1759 pero no consiguió la precisión necesaria para obtener el premio. Éste lo consiguió con el H4 al año siguiente, un cronómetro de diseño nuevo, un reloj redondo de 13 cm de diámetro y sólo 1,45 kg de peso. Con él consiguió una precisión muy superior a la que se pedía en las bases del concurso, pues en 47 días de navegación sólo se retrasó 39,2 segundos. A pesar de ello tuvo que luchar con los astrónomos de la comisión para recibir el premio. Finalmente después de muchas vicisitudes le fue concedido en 1773, gracias a la intervención del Rey Jorge III. En la actualidad los relojes de Harrison se encuentran expuestos en el Museo Marítimo de Londres.

Para conocer la longitud respecto de Greenwich, antes de hacerse a la mar los navíos ajustaban la hora del reloj a dicho meridiano. En cualquier punto del recorrido restaban a la hora local, la que marcaba el reloj, que era la de Greenwich y como a cada hora le correspondían 15°, determinaban la longitud con exactitud.

En octubre de 1884, se celebró en Washington la Conferencia Internacional del Meridiano con el fin de fijar un meridiano de referencia mundial tanto para la cartografía como para funciones astronómicas y de origen de tiempos. Como en ese tiempo la mayoría de las cartas de navegación estaban referidas al meridiano de Greenwich, fue sencillo tomarlo como referencia. A partir de entonces el meridiano de Greenwich se toma como meridiano origen de longitud o meridiano cero, meridiano base o primer meridiano. Todos los lugares situados al este o al oeste tendrán longitud este u oeste hasta llegar a 180°. También se convino que el día universal comenzase a medianoche (hora solar en Greenwich) y tuviese una duración de 24 horas. La línea internacional de cambio de fecha coincide con el meridiano 180°. La Tierra se divide en 24 husos horarios de 15° cada uno. El primero está centrado en el meridiano 180°. Esta división marca la misma hora en cada uno de los países pertenecientes a ese uso, aunque por convenios no coincide exactamente y hay países que por su extensión pertenecen a varios husos horarios.

En España, a efectos civiles, se aplica la hora del Meridiano de Greenwich desde el 1 de enero de 1901 (establecido por Real Decreto de 26 de julio de 1900). Antes de esa fecha, cada municipio tenía su propia hora local. Así, mientras en Castellón eran por ejemplo las 11 de la mañana, en Madrid eran las 10:45 y en La Coruña las 10:30.

En España, se añadió al horario oficial una hora de adelanto con la hora legal desde 1940 (adoptando la hora de centro Europa GMT+1h), con lo cual, el adelanto de la hora oficial con respecto a la legal en la actualidad es de una hora en invierno y dos en verano.

Sistema métrico decimal. El meridiano de París

En la actualidad encontramos natural que en las carreteras haya anuncios que indiquen los km que nos faltan para llegar a un lugar determinado, que nuestro cuentakilómetros señale que vamos a ochenta km por hora, que en los aeropuertos nos digan que no podemos cargar más de veinte kg o poder comprar en los supermercados una botella de agua de un litro. Lo más interesante de ello es que es así en casi todo el mundo. Pero eso que parece sencillo apenas tiene 200 años de vigencia. Hasta finales del siglo XVIII cada país o lugar tenía sus propias unidades de medida lo que hacía que pasar de unas a otras resultara muy engorroso. Se necesitaba una unificación universal, idea que ya venía de muy antiguo.

En 1790 la Asamblea Nacional Francesa planteó que el patrón de medida se basara en la naturaleza, para que no pudiera relacionarse con ninguna nación y propuso como unidad de longitud la diezmillonésima parte de un cuadrante de meridiano. La medida del meridiano se encargó en 1791 a los astrónomos Pierre François André Méchain y Jean Baptiste Joseph Delambre. Eligieron medir el meridiano que pasa por el observatorio de París y ante la imposibilidad de llegar al polo Norte, midieron el arco que empieza en Dunkerque y termina en Barcelona, ambas ciudades a nivel de mar. Delambre midió desde Dunkerque a Rodez y Méchain desde Rodez a Barcelona. Carlos IV, rey de España, asignó para ayudar a Méchain a dos matemáticos: José Chaix, vicedirector del observatorio de Madrid, y Juan de Peñalver. A ellos se unieron los marineros José González, capitán del bergantín "Corzo", también puesto a disposición de los científicos, y los oficiales Francisco Planes, Miguel Bueno y Miguel Álvarez. La técnica utilizada fue la de la triangulación, pues en un triángulo basta conocer tres de sus elementos, donde al menos uno sea un lado, y los restantes quedan determinados. Para medir los ángulos utilizaron el círculo de Borda y para la longitud provisional la toesa francesa. La idea fue trazar una cadena de triángulos cuyos vértices fueron las montañas situadas a lo largo del meridiano.

Tras innumerables problemas y cálculos el 10 de diciembre de 1799 se proclamó la medida del patrón universal de longitud con la leyenda "para todos los pueblos y para todos los tiempos". Se le llamó metro (medida), palabra derivada del griego "metron" y se realizó un modelo de platino aleado con iridio, de esa longitud, para que cualquier persona o institución pudiese tomar referencia. Se definieron los múltiplos y submúltiplos multiplicando o dividiendo esa longitud por diez. Al mismo tiempo se propusieron las medidas de capacidad, el litro, como el contenido de un cubo de un decímetro de lado y la de peso, el gramo, como el peso del agua contenida en un cubo de un centímetro cúbico de lado. El agua tiene que ser destilada y a una temperatura de 4º centígrados. Fue el nacimiento del Sistema Métrico Decimal que todos conocemos.

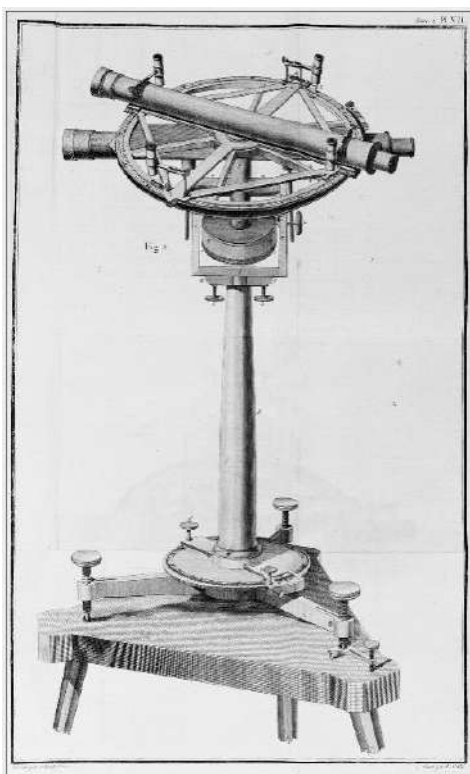


Figura 2: Círculo de Borda

En España, el Sistema Métrico Decimal se implantó legalmente por Real Orden de 15 de abril de 1848 y se hizo obligatorio para todos los españoles el primero de enero de 1860.

Castellón y los meridianos de Greenwich y París

La ciudad de Castellón está relacionada con el meridiano de Greenwich porque pasa por su término. Para conmemorarlo en el año 1988, el Instituto Geográfico Catastral de España, en colaboración con el Ayuntamiento de Castellón, construyó un monolito que señala el vértice donde se cortan el meridiano de Greenwich y el paralelo de 40 ° N. En su entorno, se adecuó el Parque del Meridiano, una zona representativa de la ciudad de gran belleza paisajística, con una importante riqueza en flora y fauna.

La relación de Castellón con el meridiano de París es histórica. En 1802 Méchain se propuso continuar la medida del meridiano hasta la isla de Cabrera en las Baleares. En esta nueva empresa contó con la ayuda de un noble ilustrado de Castellón, Fausto Vallés y Vega, XII Barón de la Poble Ternes y la Serra d'en Galcerán, astrónomo aficionado, que puso a su disposición sus propiedades y le acompañó en sus mediciones. Para ello decidió unir con un gran triángulo los picos de El Puig Major de Mallorca, el Montsià en Tarragona y el pico del Desierto de las Palmas en Castellón, terreno que pertenecía al Barón de la Poble. Viajó a Ibiza y desde allí se dio cuenta de la dificultad de ver con claridad la costa catalana. Decidió entonces realizar una serie de triangulaciones siguiendo las establecidas

hasta llegar al Montgó. Establecidas las estaciones empezó a efectuar las mediciones. En el Puig de Santa María donde buscaba un lugar idóneo llano para medir la base de su triangulación se contagió de paludismo. En la sierra de Espadán se agravó y a pesar de los cuidados del Barón de la Pobra, murió en la casa de este noble en Castellón el 20 de abril de 1804. Esta casa solariega se conserva en la actualidad y está situada en la plaza Cardona Vives. En su fachada se puede leer una placa que recuerda este hecho.

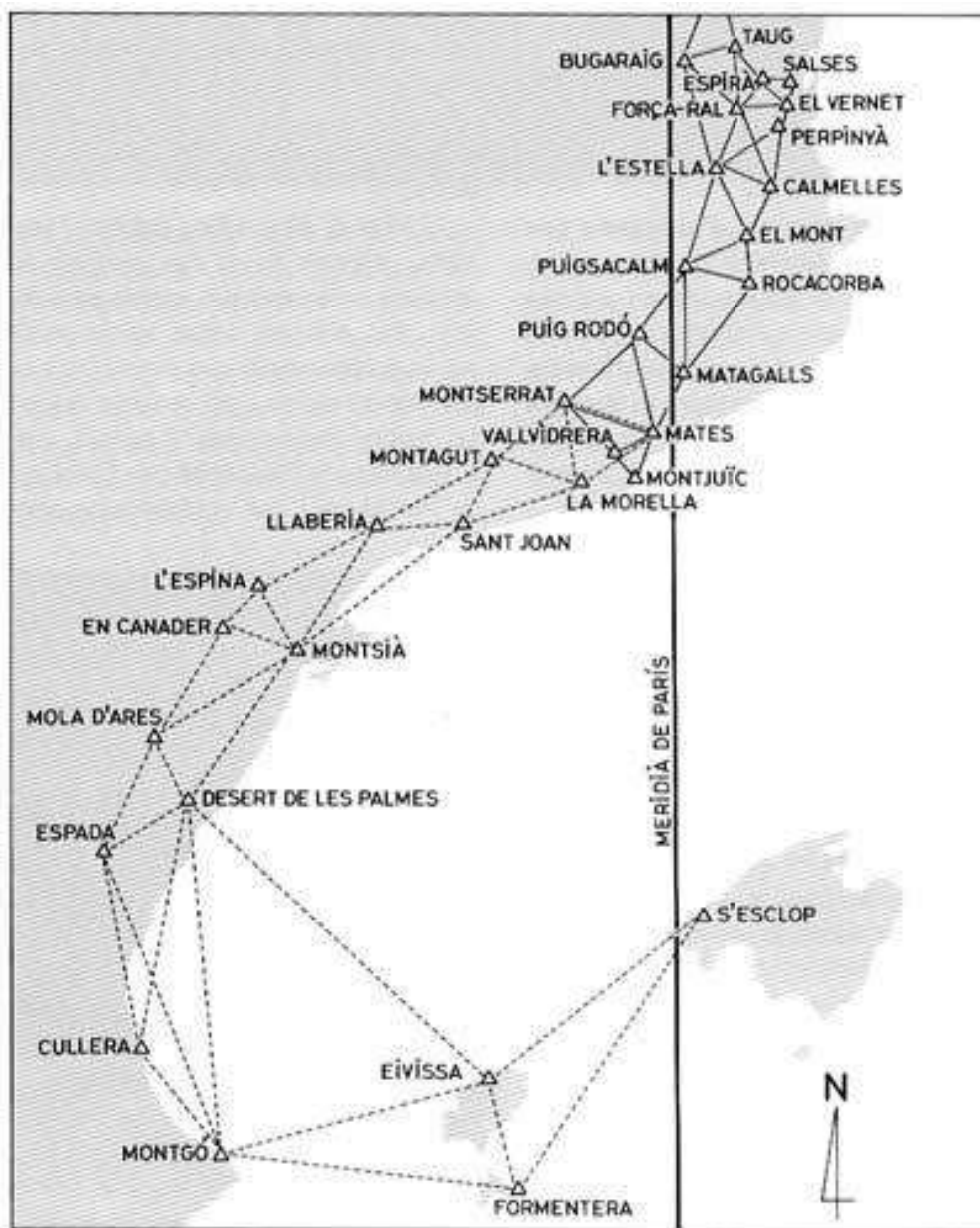


Figura 3: Triangulaciones propuestas por Pierre Méchain para continuar la medida del meridiano de París

En la actualidad al meridiano de París ($2^{\circ} 20' 14''$ E) se le llama Meridiano Verde y en algunos tramos se han plantado árboles para señalar su recorrido.

Valencia 18 de diciembre de 1804

La muerte de Méchain fue para mí un sentido golpe. Sus méritos sobresalientes y sus excelentes cualidades morales, la tolerancia y paciencia con que acogía mis débiles esfuerzos literarios habían templado mi corazón hacia una estrecha y precisa amistad hacia él.

Los primeros síntomas de su enfermedad se manifestaron en las montañas de Espadán. No prestó atención a las primeras apariciones de fiebre, continuó con sus trabajos y no quiso abandonar el lugar hasta concluir sus observaciones. Desde allí llegó a Castellón, donde tuve el honor de recibirle en mi casa. Tras tres o cuatro días su fiebre comenzó a ser maligna. Durante esos días se recuperaba algo, a veces hacia el mediodía otras hacia la medianoche. En cuanto las manifestaciones febriles cesaban encontraba placer en las conversaciones sociales, y hablaba sobre todo de sus propios negocios.

Haciendo poco caso a su malestar, esperaba poder continuar sus trabajos tras cuatro o cinco días. Con esa intención solicitó bajar las "reverberas del Pico del Desierto de las palmas" hacia el Montsià. Con la intención de, una vez alcanzado el pico, medir los triángulos de la tierra firme que aquí se juntaban, junto con el ángulo entre Ibiza y Cullera, que en su cadena de triángulos era el más importante.

Pero la fiebre intermitente, que hasta el momento parecía benigna, se transformó y comenzó a ser maligna. Aparecieron convulsiones y todos los remedios contra la fiebre así como todos los medicamentos no aportaron ningún alivio. Perdía la conciencia de vez en cuando. En sus fantasías hacía referencias de sus observaciones.

No puedo hacer referencia a estos últimos acontecimientos sin sentirme emocionado. No me costaba poco hacer de observador y darme cuenta de lo infructuoso de los esfuerzos de la ciencia y la tenacidad de su naturaleza para resistirse a los medicamentos.

A todo esto puso fin la muerte. El gran hombre ya no está, y todos nosotros hemos perdido en él a un excelente amigo. Este erudito era muy accesible. Su mente era admirable. Cayó como víctima de su ciencia.

Los bajos objetos no ocupaban su conciencia. Vivía en sus amigos. Su disgusto duraba poco. Era abierto y tolerante. Los trabajos de quienes fueron sus alumnos, y nunca tuvieron queja alguna por ello, los recibió complaciente y tolerante.

Déjanos por ello, a quienes tuvimos la suerte de disfrutar de su trato, llorar por esta pérdida irremplazable.

Su Patria que puede estar orgullosa de él, seguro que no lamentará en menor medida esta pérdida.

XXXVIII Apéndice a la Biografía de Méchain (Monatliche_Correspondenz_zur_Beförderung . Tomo XII. 1805)

Escrito del Barón de la Puebla Tornesa a Lechevalier.

Traducido del alemán por Rosa María Fauvell

Figura 4: Comunicación del Barón de la Pobra sobre la muerte de Pierre Méchain



Figura 9: Monolito que muestra el lugar de corte del meridiano 0° con el paralelo 40°N , fotografiado el día del equinoccio de primavera a las 12 horas



Figura 10: Placa que indica el lugar donde se cortan el meridiano de Greenwich y el paralelo 40°N



Figura 11: Fachada de la casa del Barón de la Pobra, en la Plaza Cardona Vives de Castellón



Figura 12: Placa explicativa en la fachada de la casa del Barón de la Pobra

Actividad 1: Cálculo de la medida métrica de un grado de meridiano, según la definición

Un cuarto de meridiano, según la definición de metro, mide 10.000.000 metros y tiene 90° . Por tanto un grado de meridiano mide 111,11... km.

Como la Tierra está achatada por los polos, el grado de latitud varía entre 110,57 km en el ecuador y 111,70 km en los polos. Se suele tomar un valor intermedio de 111,12 km. Un minuto de latitud mide 1852 metros y un segundo de latitud 30,86 metros. La milla náutica es la medida de un minuto de latitud y equivale a 1852 metros. La milla terrestre (statute

mille), que siguen utilizando algunos países de influencia inglesa, equivale a 1609,44 metros. La palabra proviene de milla romana que era la distancia recorrida con mil pasos (un paso era el espacio que se cubría hasta volver a tocar tierra con el mismo pie con el que se empezaba) y en la actualidad equivaldría a 1480 metros.



Figura 5: Placa de mármol representando un metro con decímetros y centímetros en la Plaza de La Vendôme de París en 1795. Es una de las dos que se conservan de las 16 que se colocaron inicialmente. Foto Víctor Alonso

Actividad 2: Determinar la distancia de Castellón al meridiano de París

Basándote en las definición del metro y los datos anteriores, encuentra la distancia de Castellón (40° N, 0° E) al meridiano de París.

Desarrollo

1. Calcula primero el radio R de la Tierra: $2 \times \pi \times R = 40000000$

$$\text{Solución: } R = \frac{40000000}{2 \times \pi} = 6366197,72 \text{ m} = 6366,19772 \text{ km}$$

2. Calcula el radio r del paralelo de 40°

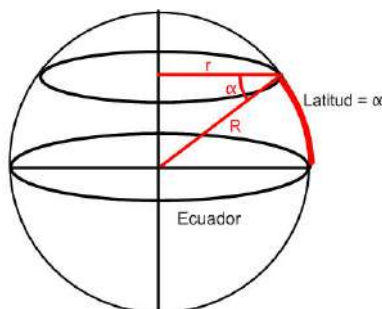


Figura 13.-Relación entre el radio de la Tierra R y el radio del paralelo de latitud α

Solución: De la figura 13 se deduce que $r = R \times \cos \alpha$ y como en este caso $\alpha = 40^\circ$, entonces $r = 4876790,39 \text{ m} = 4876,79039 \text{ km}$

3. Finalmente para encontrar la distancia, calcula la medida del arco que empieza en la longitud 0° y termina en la longitud $2^{\circ} 20' 14''$ E, o sea un arco aproximado de $2,3372^{\circ}$

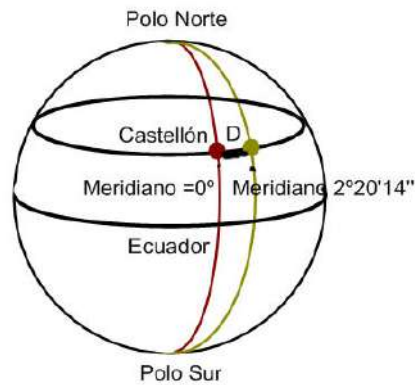


Figura 14: Arco del paralelo entre Castellón y el meridiano de Greenwich

Solución:

$$D = \frac{2 \times \pi \times r \times \beta}{360} \quad \beta = 2,3372$$

Luego la distancia de Castellón al meridiano de París es:

$$D = 198933,23 \text{ m} = 198,93323 \text{ km}$$

Determinación de la meridiana del lugar

En este apartado se propone un primer ejercicio consistente en la determinación de la dirección del meridiano que pasa por el lugar de observación, denominado a veces línea meridiana o simplemente meridiana.

La línea meridiana de un lugar se determina por la posición del Sol en el momento que alcanza su máxima altura sobre el horizonte y coincide con la dirección de la sombra del gnomon en el momento en que esta sombra es más corta.

El Sol sale “aproximadamente” por el este y a medida que transcurre el día va alcanzando mayor altura sobre el horizonte. En un momento determinado pasa por su punto más alto, y en este momento señala “exactamente” la dirección sur. A partir de ahí inicia su descenso hasta ponerse aproximadamente por el oeste.

El punto de salida y puesta del sol varían a lo largo del año. La salida y puesta de Sol coinciden exactamente con las direcciones este y oeste solamente en los días de los equinoccios. En los meses de verano (entre los equinoccios de marzo y septiembre), época de días largos, el sol sale y se pone un poco hacia el norte de estos puntos este y oeste. En los meses de invierno (entre los equinoccios de septiembre y marzo), época de días cortos, el sol sale y se pone algo hacia el sur de estos puntos.

La observación de estas variaciones es fácil, sobre todo si la salida o puesta del Sol tienen lugar por detrás de un horizonte de montañas u otros accidentes de fácil identificación. Esta observación se puede hacer dibujando la línea del horizonte y señalando el punto de salida o puesta del sol en distintos días del año o bien tomando fotografías cuando el Sol esté muy bajo (recién salido o a punto de ponerse) sobre el horizonte. Las observaciones deberán realizarse desde un mismo lugar. Hay que tener en cuenta que en muchos lugares y en la mayor parte del año son observaciones que quedan fuera del horario escolar.

En cambio la dirección norte-sur, en un determinado lugar, es absolutamente fija. El punto del horizonte sobre el cual el Sol alcanza la máxima altura es siempre el mismo.

Elementos necesarios para la determinación

- El elemento más importante es el gnomon, un palo vertical que proyecta su sombra sobre una superficie horizontal. En algunas imágenes relacionadas con el proyecto aparece un recogedor de barreduras usado como gnomon. Es una posibilidad, pero no la única. Quienes encuentren el recogedor excesivamente simple (tal vez un poco cutre) sabrán combinar la imaginación y habilidad manual para construir un instrumento sustituto.

Es importante que proyecte una sombra bien definida, que el extremo de la sombra no se desdibuje excesivamente en la penumbra, sobre la superficie horizontal. Esta condición está relacionada con las medidas del gnomon. Un gnomon de entre 60 cm y un metro de altura y un diámetro de unos 3 ó 4 cm da buenos resultados.

Si la experiencia se hace en invierno, tal vez debería acortarse algo la altura del gnomon. La zona de penumbra es más extensa cuando es grande la distancia entre el punto que proyecta la sombra y este punto de sombra.

- Papel de embalaje (Papel Kraft)
Se aconseja disponer un lienzo de papel de embalaje sobre el suelo (o superficie donde se proyecte la sombra). Sobre este papel se señalará la posición del gnomon y se irá marcando la posición del extremo de la sombra a lo largo de la experiencia. La ventaja de esta forma de proceder es la conservación de un registro que permitirá repetir las medidas y cálculos cuantas veces sea necesario, tal vez por distintos grupos de personas. Para esta forma de operar es ventajoso el gnomon de quita y pon. En el caso de gnomon fijo se aconseja dejar un sobrante de papel y tomar las notas necesarias para marcar la posición del gnomon una vez se haya retirado el papel y que el gnomon deje de ser un obstáculo.
- Nivel (para el control de horizontalidad y verticalidad)
- Cinta adhesiva tipo precinto
- Brújula
- Reloj o cronómetro con precisión del segundo.

Montaje del material

Es aconsejable que la persona responsable de la actividad observe unos días antes la evolución de la sombra en el lugar previsto para la experiencia para asegurarse de que no hay obstáculos que se vayan a interponer a lo largo de la misma y para ver la orientación más adecuada del lienzo de papel y decidir su tamaño y orientación.

Deberá elegirse un lugar de suelo perfectamente horizontal. Una superficie con una ligera pendiente para evacuar las aguas pluviales (terrazas, balcones, etc.) no dará medidas correctas de la longitud de la sombra. Es recomendable el suelo de una cancha deportiva.

Si fuese imposible encontrar una superficie con el suelo completamente horizontal, podría ser una solución utilizar una mesa un poco grande. En este caso se deberían calzar adecuadamente las patas para conseguir la horizontalidad de la superficie y trabajar con un gnomon de dimensiones reducidas para que la sombra no se salga de la superficie de la mesa.

Actividad 3: Realización de la meridiana. Registro de la trayectoria de la sombra

Se empieza por extender el papel sobre la superficie de proyección, sujetándolo firmemente en el suelo con cinta adhesiva o unos pesos en los extremos. Se debe ser especialmente cuidadoso en días de viento.

Se coloca a continuación el gnomon.

- Es importante la verticalidad del gnomon; en caso necesario se conseguirá mediante unas pequeñas cuñas en el lugar adecuado.
- Otra condición importante es la estabilidad del gnomon. En el caso del recogedor esta estabilidad se logra con un peso (caja, garrafa de agua, ladrillo, etc.) sobre la pala del mismo.
- Se ajusta la verticalidad y estabilidad del gnomon y, acto seguido, se marca el perfil del mismo sobre el lienzo de papel.

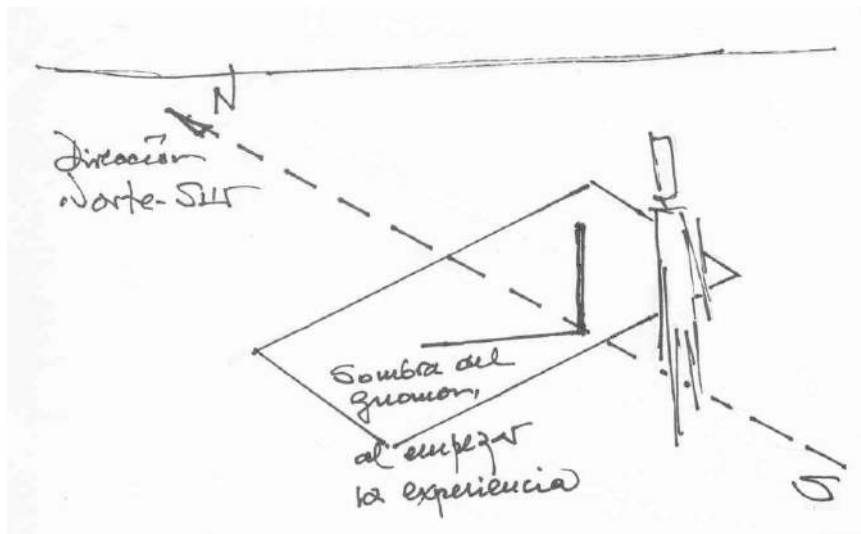


Figura 15.- Sombra del gnomon al principio de la experiencia

La figura 15 indica la orientación aproximada del conjunto, al inicio de la experiencia, una o dos horas antes del mediodía solar local. Para un observador en el hemisferio norte, que se sitúe mirando el gnomon desde el sur, la sombra ha de quedar a su izquierda, teniendo suficiente espacio el papel a la derecha del observador para ir describiendo su recorrido.

Es una buena práctica anotar en una esquina del papel las informaciones siguientes:

- Fecha y lugar de la toma de medidas
- Altura del gnomon
- Indicación de la hora usada (Hora civil –preferible- o tiempo universal).

Para que se pueda observar bien el mínimo de la longitud de la sombra, el registro de la trayectoria ha de realizarse a lo largo de unas dos o tres horas alrededor del mediodía solar local. En el este de la península el mediodía solar local coincide aproximadamente con el GMT (Greenwich Mean Time) y al oeste de la península tiene lugar unos cuarenta minutos más tarde. Para tener el GMT hay que restar a la hora oficial una hora en invierno o dos horas en verano. Las fechas de cambio de hora se anuncian cada año a través de todos los medios de comunicación.

A lo largo de la experiencia el observador (los observadores) han de ir marcando el punto extremo de la sombra del gnomon. Al lado de cada

marca debe anotarse la hora en que se realizó la medida. Los intervalos entre dos marcas pueden ser entre cinco y diez minutos.

Se aconseja medir los tiempos con un mismo cronómetro o reloj, con la hora ajustada a un buen patrón poco antes de la experiencia.

El registro de las horas debe hacerse con precisión del minuto, haciendo la marca en los instantes de cambio de minuto, cuando la aguja segundero pasa por el cero. Esta precisión es especialmente importante en las medidas cercanas al mediodía solar local. Una buena práctica es el trabajo conjunto de dos observadores: uno va leyendo en voz alta los segundos y el otro traza la marca en el instante en que la lectura sea cero.



Figura 6.- Marcando el extremo de la sombra del gnomon

La realización de esta experiencia como actividad escolar puede dar lugar a la participación de un número grande de alumnos, tal vez de diferentes clases y edades. Es conveniente, en este caso, el control de una sola persona a lo largo de toda la experiencia para unificar criterios y evitar medidas discordantes.

Si un centro tiene varias clases que van a participar en la experiencia, podrían ponerse más de un gnomon. Permitiría comparar las medidas de varios grupos de observadores.

Actividad 4: Determinación de la dirección Norte-Sur

Al terminar la toma de medidas el lienzo de papel tiene una apariencia parecida a la figura 17.

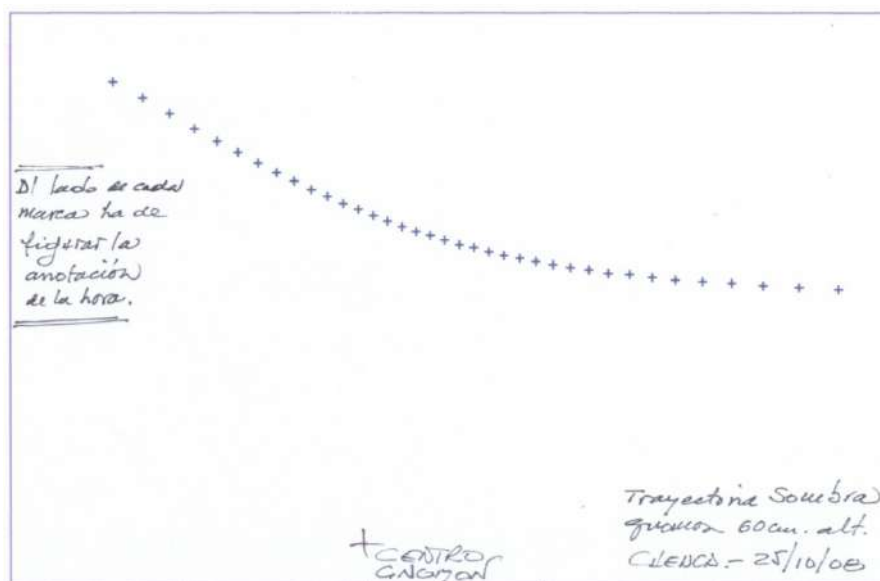


Figura 17: Lienzo de papel al término de la toma de medidas

El paso siguiente será identificar, sobre la curva de la trayectoria de la sombra, aquel punto cuya distancia al punto pie del gnomon sea de longitud mínima. El procedimiento geométrico es el siguiente (figura 18):

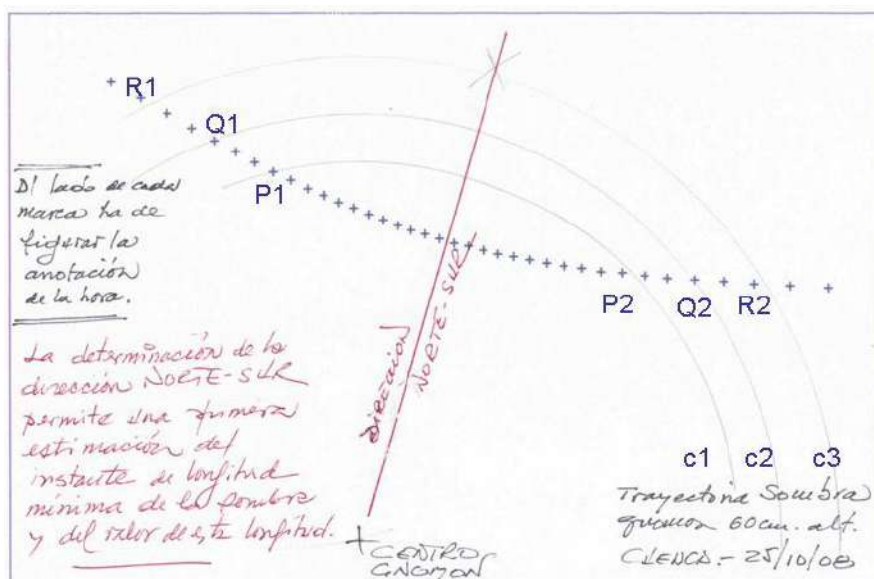


Figura 18: Resultado obtenido

- Trazar varias circunferencias concéntricas con centro en el punto proyección del centro del gnomon, de radio suficiente como para que corten en dos puntos la trayectoria del extremo de la sombra. En la figura 18 las circunferencias c1, c2 y c3, que cortan a la trayectoria del extremo de la sombra en los puntos P1 y P2, Q1 y Q2 y, finalmente, R1 y R2.

- Trazar la mediatriz de los segmentos P_1P_2 , Q_1Q_2 , R_1R_2 . La recta mediatriz de todos estos segmentos debería ser la misma, y pasar por el punto centro del gnomon y por los puntos medios de P_1P_2 , Q_1Q_2 y R_1R_2 .

Si no se dispone de un compás suficientemente grande puede usarse un rotulador sujeto con una cuerdecita. Un taco de madera con un orificio pasante del diámetro igual al del rotulador, al mantenerlo siempre perpendicular a la superficie de papel sin holguras, facilita el trazado de las circunferencias (figura 19).



Figura 19: Utensilio para usar como compás

Actividad 5: Determinación del instante de paso del Sol por el meridiano

A partir de los registros sobre el lienzo de papel puede obtenerse también la hora en que tuvo lugar el paso o tránsito del Sol por el meridiano del lugar.

Se proponen distintas formas de realizar este cálculo. Los profesores podrán elegir uno u otro. La determinación de más de una forma puede dar pie a un trabajo interesante de comparación de resultados.

Interpolación

En la figura 21 se ha representado la trayectoria del extremo de la sombra, las circunferencias para la determinación de la dirección Norte Sur y la línea meridiana.

El tránsito tuvo lugar en algún momento entre las 13h45 y las 14h:10. Se puede determinar por interpolación, midiendo la distancia de las marcas del extremo de la sombra a la dirección Norte-Sur.

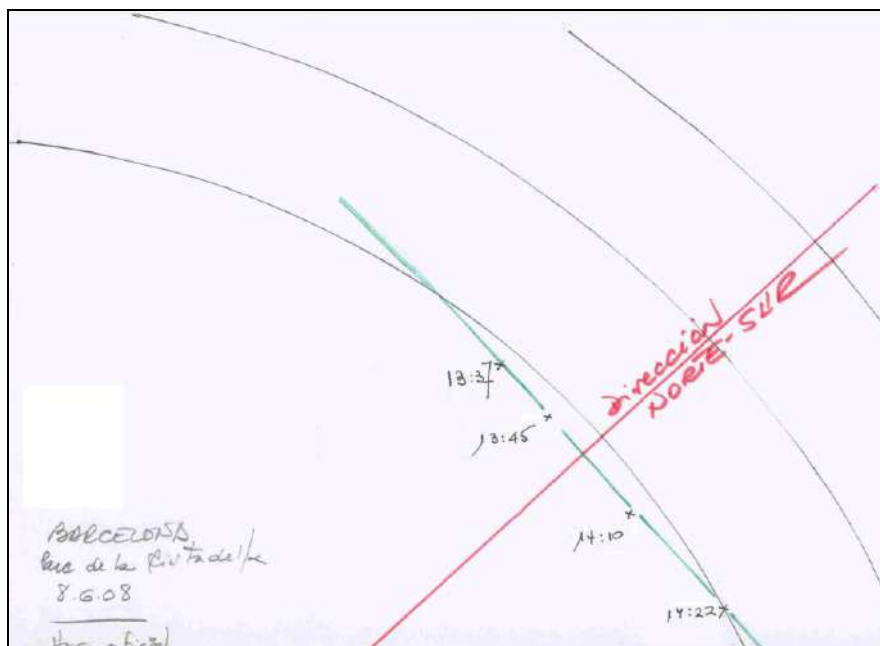


Figura 20: Determinación por interpolación del instante de paso del Sol por el meridiano

Determinación analítica

Con alumnos de cursos avanzados se puede hacer un estudio analítico de la longitud de la sombra en función de la hora. Se ajustan los puntos de la curva alrededor del mínimo a una función de segundo grado y se determina el punto mínimo de forma analítica.

Para ello se ha de medir y tabular la longitud de la sombra para cada uno de los puntos registrados durante la toma de medidas. La longitud de la sombra no se mide desde el punto central del gnomon sino desde el borde (que es el punto que realmente proyecta sombra). Puede ser cómodo medir directamente las distancias de las marcas al centro y posteriormente aplicar una corrección (restar el radio del gnomon).

Se presenta un ejemplo de realización. Los datos medidos se han llevado a la tabla 1:

- La primera columna tiene la hora oficial del momento del registro.
- La segunda columna mide la distancia del extremo de la sombra al punto proyección del centro del gnomon.
- La tercera columna tiene la hora local, dos horas menos que la hora oficial, por tratarse del horario de verano.
- Finalmente la cuarta columna, Sombra corregida, tiene en cuenta el grosor del gnomon. Puesto que el diámetro del gnomon era de 3 cm, se resta 1,5 cm a cada medida de la sombra para tener la verdadera longitud de la sombra.

Hora oficial	Longitud de la sombra (cm)	Hora UT	Sombra corregida (cm)
11:28	57,0	9:28	55,5
12:00	47,0	10:00	45,5
12:20	41,5	10:20	40,0
12:34	38,5	10:34	37,0
13:03	33,0	11:03	31,5
13:31	31,5	11:31	30,0
13:36	30,5	11:36	29,0
13:37	29,5	11:37	28,0
13:45	29,5	11:45	28,0
14:10	29,0	12:10	27,5
14:22	31,5	12:22	30,0
15:24	42,5	13:24	41,0

Tabla 1: longitudes de las sombras

Con un programa informático se hace el ajuste a una función de segundo grado y por derivación se calcula el instante del mínimo.

Determinación geométrica

Teniendo en cuenta que la representación de la función que representa la longitud de la sombra respecto del tiempo es simétrica respecto al momento del mínimo, este valor puede determinarse en primera aproximación de forma bastante simple. En primer lugar se representa la gráfica en un papel un poco grande (A4). Cada punto de la trayectoria de la sombra se representa sobre unos ejes de coordenadas cartesianas, la hora en abscisas y la longitud de la sombra en ordenadas. Doblando la hoja y haciendo coincidir la gráfica, se puede determinar el instante del mínimo, como se hace en la figura 22.

Observaciones realizadas en un mismo lugar en días distintos del año

El registro de la trayectoria de la sombra de un gnomon, en un mismo lugar y en diferentes días del año, permite hacer observaciones interesantes. En un entorno escolar la repetición podría llevarse a cabo por distintos grupos de alumnos, conservando en cada determinación los resultados para hacer posteriormente las comparaciones.

Se enumeran algunas de las observaciones más significativas que deberían obtenerse a partir de estas repeticiones:

- La dirección Norte-Sur es constante, siempre la misma en las distintas realizaciones.
 - La forma de la curva varía a lo largo del año
 - La hora en que tiene lugar el tránsito no es constante a lo largo del año, aún teniendo en cuenta el horario de verano y el de invierno.
- En los apartados siguientes se presentan algunas sugerencias relacionadas con estas observaciones.

Variación de la forma de la trayectoria

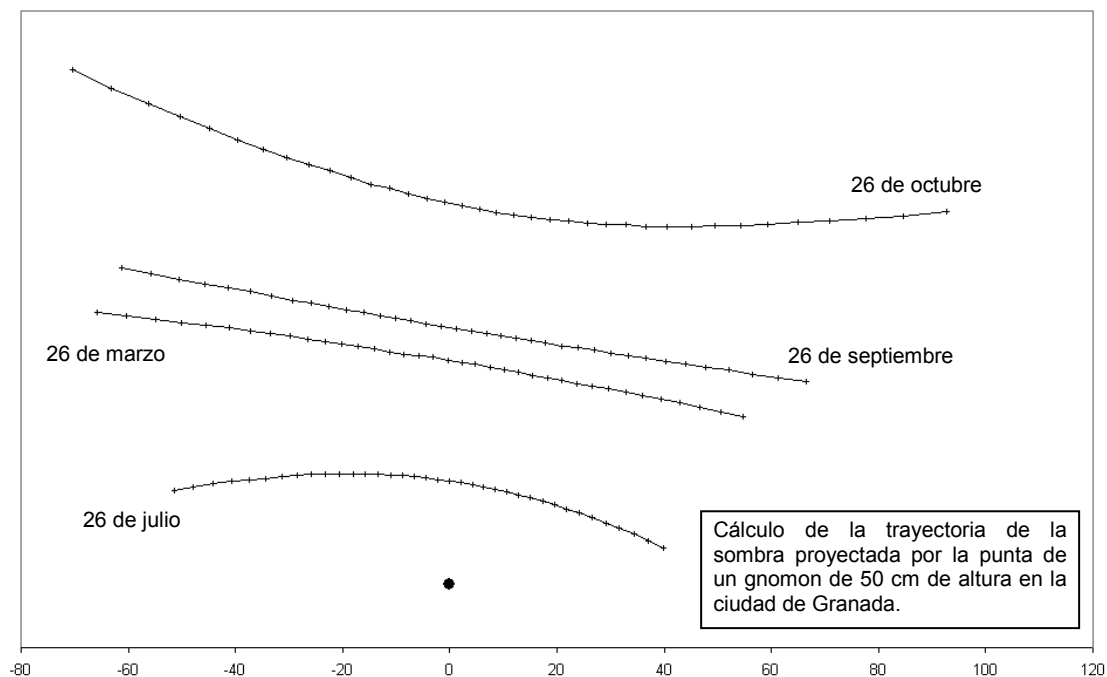


Figura 21: Trayectoria de la sombra de la punta del gnomon en distintos días del año.

- La sombra es más corta en los meses de verano, porque el sol va más alto, se acerca más al cenit.
- En los equinoccios la trayectoria de la sombra es una línea recta.

- En los meses de verano (sombra corta) la concavidad de la curva es hacia el interior, hacia la posición del gnomon; y en los meses de invierno (sombra larga) la concavidad es hacia el exterior.

La trayectoria de la sombra de la punta del gnomon es una cónica. Con alumnos que hayan estudiado el tema de las cónicas, se puede explicar que la forma de la curva, en nuestras latitudes, es una hipérbola, según explicamos a continuación.

Visto desde la Tierra el Sol describe en su movimiento diario una circunferencia. El plano que contiene esta circunferencia es perpendicular al eje de rotación de la Tierra. En los equinoccios este plano coincide con el plano del ecuador y corta al eje de rotación de la Tierra en el centro de la Tierra; en los meses de verano del hemisferio norte este plano está al norte del Ecuador y al sur en los meses de invierno.

Como la distancia de la Tierra Sol es mucho mayor que el radio de la Tierra, se puede considerar, sin error, que el extremo del gnomon está sobre este eje. Por tanto la línea recta definida por un rayo de Sol que pase por el extremo del gnomon engendra, en su movimiento diario, una superficie cónica de revolución, de vértice en el extremo del gnomon y de eje de revolución paralelo al eje de la Tierra. La intersección de esta superficie cónica con el plano superficie de la Tierra es una cónica.

Como ejercicios de concepción espacial se pueden planear preguntas sobre la forma de la trayectoria de la sombra de la punta del gnomon en distintos lugares de la Tierra. En los párrafos siguientes se enumeran algunos de estos hechos.

En puntos situados entre los trópicos algún día al año el Sol pasa exactamente por el cenit, de forma que el gnomon, en ese momento, no proyectaría sombra, o sea que la trayectoria de la sombra pasaría por el pie del gnomon.

En estos mismos puntos entre los trópicos una parte del año el Sol de mediodía pasa por el norte del cenit, y por tanto las sombras se proyectan hacia el sur, y otra parte del año el Sol pasa por el sur del cenit, y por tanto las sombras se proyectan hacia el norte.

En las zonas al norte del círculo polar ártico o al sur del círculo polar antártico, el Sol permanece por encima del horizonte, aunque a diferente altura, durante seis meses; y a continuación durante seis meses seguidos permanece debajo del horizonte. Durante el día polar, la trayectoria de la sombra de la punta del gnomon describiría una elipse, con la sombra corta coincidente con el mediodía de los puntos situados en el mismo meridiano y sombra larga por la noche (Sol de medianoche).

Variación de la hora del tránsito del Sol por el meridiano o instante del mediodía solar

La repetición de la determinación de la meridiana en un mismo lugar en distintas fechas a lo largo del año, permite observar la constancia de la dirección Norte-Sur y la variación de la hora en que tiene lugar el tránsito del Sol por el meridiano del lugar.

Esta variación de la hora del tránsito significa que la duración del día solar, definido como intervalo temporal entre dos pasos del Sol por el meridiano, no es constante a lo largo del año.

Esta variación, con independencia de sus causas, analizadas en el apartado siguiente, puede dar lugar a una reflexión interesante sobre cómo la Humanidad ha ido avanzando en ciencia y tecnología.

Durante muchos siglos el tiempo se midió con relojes de Sol. Más tarde se inventaron y perfeccionaron relojes mecánicos (los más antiguos conservados son del s. XIII; alcanzan precisión aceptable en el s. XVII con la adopción de regulación mediante péndulo). Y cuando se dispuso de dos tipos de relojes (de Sol y mecánicos, ambos aparentemente fiables) aparecieron diferencias en las medidas y por tanto la necesidad de determinar cuál de los dos instrumentos se consideraba más correcto. Puesto que las variaciones del día solar tienen una explicación satisfactoria y calculable se tomó como instrumento para medir el tiempo el reloj mecánico de péndulo, ajustándolo periódicamente con el movimiento del Sol, teniendo en cuenta el cálculo de ciertas correcciones. Cuando se establecieron los patrones de unidades la definición de segundo fue $1/86400$ del día solar medio.

La diferencia entre la hora civil (hora de los relojes mecánicos, *time O'clock*, de los ingleses y la hora solar) se denomina Ecuación del tiempo. Su explicación y cálculo queda fuera de los objetivos de este trabajo.

La historia se repitió en los años 60 del siglo XX: se construyeron relojes de un nuevo tipo, los relojes atómicos; estos relojes no se regulan por la oscilación de un péndulo (y eventual ajuste con el movimiento del Sol) sino por la oscilación de determinados átomos. Y de nuevo aparecieron diferencias y hubo que determinar cuál de los dos relojes se consideraba más exacto. Se tomó como patrón el reloj atómico y, por tanto, hubo que cambiar la definición de segundo. Actualmente el patrón de tiempo (UTC = Tiempo Universal Coordinado) se basa en 70 relojes atómicos de distintos laboratorios.

Una reflexión semejante se podría hacer sobre la dirección Norte-Sur: se puede determinar de varias formas, por la observación del tránsito del Sol o mediante una brújula. No hay coincidencia. La determinación mediante el movimiento del Sol es más exacta. El estudio de la declinación magnética (diferencia entre las medidas) tiene interés para el estudio de la Tierra (Geofísica).

¿Cómo se calcula la hora del tránsito del Sol por el meridiano de un lugar?

Para calcular la hora (GMT) del tránsito en cualquier lugar y día del año deben aplicarse las siguientes correcciones (la justificación queda fuera del alcance de este trabajo):

- Corrección por longitud: Tomar la longitud del lugar en segundos de arco, dividir entre 15. El resultado se expresa en segundos de tiempo. Este valor en segundos de tiempo, debe restarse de las 12h00 para lugares al Este del meridiano de Greenwich (el mediodía solar local tiene lugar antes que en Greenwich) o sumarse en lugares al Oeste de dicho meridiano (el mediodía solar local tiene lugar más tarde que en Greenwich).

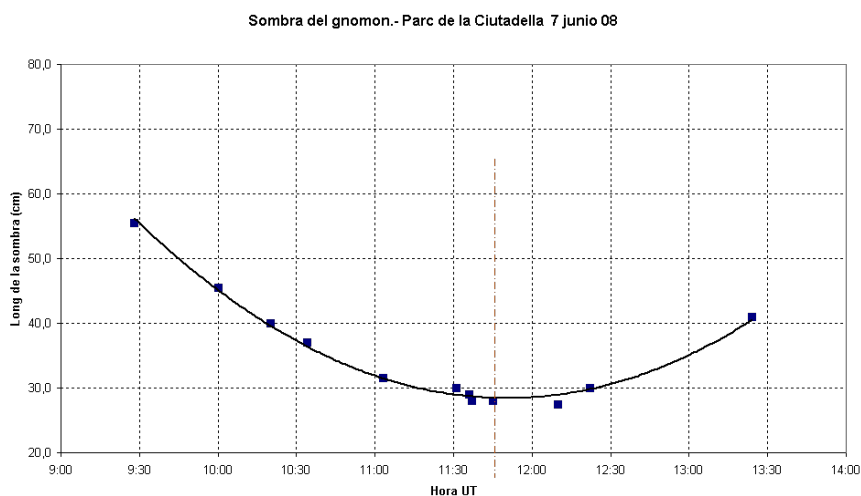


Figura 8.- Longitud de la sombra del gnomon como función del tiempo

La curva de la figura 22 es el resultado de esta representación gráfica.

A continuación se dobla el papel sobre sí mismo, por una línea paralela al eje de ordenadas, buscando que las dos ramas de la curva, al superponerse, coincidan de la forma más exacta posible. Una vez lograda esta coincidencia, se marca el doblez sobre la hoja.

- La línea roja vertical en la figura 22 representa este doblez.
- Sobre el eje de abscisas se lee el valor del instante de mínimo.
- El resultado puede ajustarse mediante un proceso de interpolación.

Análisis de los resultados

Finalmente un ejercicio de interés consistirá en la comparación del instante de paso del Sol por el meridiano obtenido por los distintos métodos propuestos en este apartado. Los resultados que se obtengan no deberían ser discrepantes en exceso.

$$\text{Hora del tránsito (GMT)} = 12 \text{ horas} + \text{Corrección Longitud} - \text{Ecuación del tiempo}$$

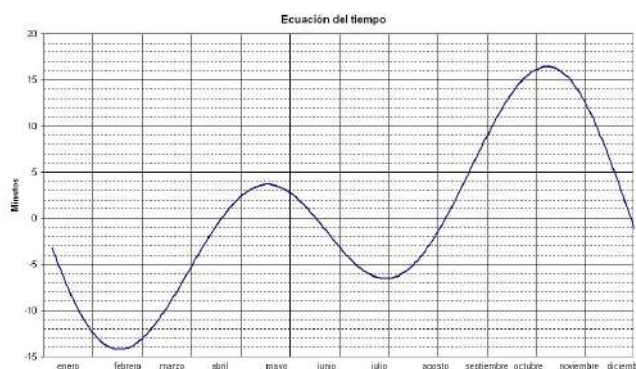


Figura 23: Corrección por Ecuación del Tiempo. Obtenida de un Anuario Astronómico o de esta gráfica

Aún sin necesidad de hacer cálculos, la diferencia de hora de tránsito del Sol por el meridiano en un determinado lugar en dos fechas diferentes será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre la Ecuación del tiempo correspondiente a estas fechas. Los profesores deberán tener en cuenta esta observación en el momento de seleccionar fechas para la repetición de la experiencia a fin de que las variaciones sean significativas.

Causa de la variación del día solar a lo largo del año

Puede parecer extraño que el tiempo invertido por la Tierra en dar una vuelta (un día) no sea rigurosamente constante. Incluso algún alumno de cursos de Bachillerato podría preguntar si se violan las leyes de conservación (en este caso del momento cinético).

Para estudiar cualquier movimiento (la rotación, en particular) hace falta siempre una referencia. En el caso de una rotación, una vuelta equivale al tiempo entre dos pasos consecutivos por la citada referencia.

Si para medir el movimiento de giro de la Tierra se toma una estrella lejana, el tiempo entre dos pasos consecutivos de la estrella por el meridiano de un lugar es absolutamente constante. A este intervalo temporal se le llama día sideral. Sin embargo, por razones de comodidad y por la adaptación de nuestra vida a los períodos de luz y oscuridad (día y noche) regidos por el Sol, es preferible tomar el Sol como referencia para la rotación de la Tierra. Y así se define un día solar como el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano del lugar.

Como consecuencia del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, éste tiene un movimiento aparente respecto a las estrellas fijas. Pero la órbita de la Tierra no es circular, sino elíptica, y por la segunda ley de Kepler, su velocidad alrededor del Sol no es uniforme. Esto, y la inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto a la eclíptica son las causas de que la velocidad aparente del Sol respecto a las estrellas fijas no sea constante y, por tanto, la duración del día solar medio sea ligeramente variable.

Los días siderales tienen exactamente la misma duración. Los días solares varían a lo largo del año. Por esta razón en la antigua definición de segundo se hablaba de día solar medio.

Observaciones realizadas en un mismo día y en diferentes lugares.

El trabajo coordinado y el intercambio de datos entre distintos centros escolares permiten realizar algunos ejercicios.

Comparación de las gráficas de la altura del Sol según la hora.

En el gráfico de la figura 25 se han superpuesto las dos gráficas de la altura del Sol en función del tiempo obtenidas un mismo día (18 de mayo 2008) en Alcalá de Guadaira (Sevilla) y Sant Feliu de Llobregat (Barcelona).

Observaciones:

- La altura del Sol no es la misma para los dos observadores. En Alcalá de Guadaira, más al sur, el Sol alcanza mayor altura.
- El momento de máxima altura o tránsito del Sol por el meridiano del lugar tiene lugar antes en Sant Feliu porque se encuentra más al Este.

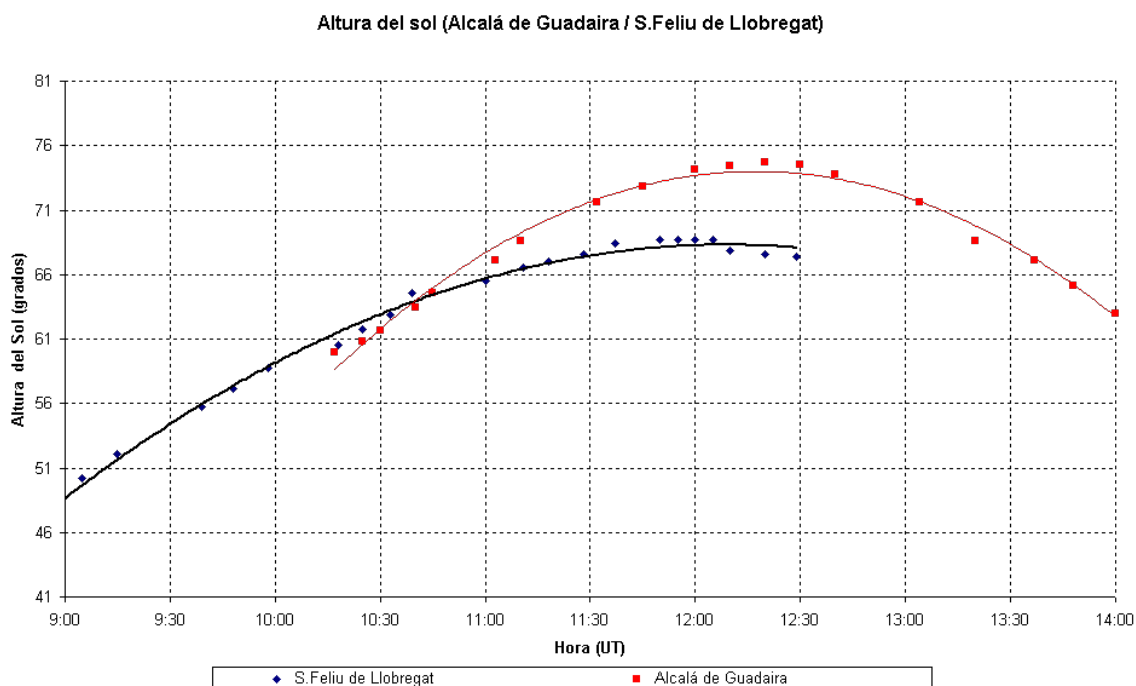


Figura 24.- Altura del Sol, en función del tiempo en un mismo día y en lugares distintos de observación

Actividad 6: Determinación del radio de la Tierra por el método de Eratóstenes

La medida del radio de la Tierra por el método de Eratóstenes fue posiblemente una de las primeras medidas realizadas de forma indirecta y uno de los primeros pasos en el intento de la Humanidad de medir y comprender el Universo.

El método se basa en la comparación de la altura del Sol en el momento del tránsito en dos lugares diferentes. La observación y medida de las diferencias de la altura del Sol (Eratóstenes se fijó en que en ciudades del Sur de Egipto los rayos del Sol llegaban a incidir perpendicularmente algunos días del año, cosa que no sucedía en Alejandría) corresponden a la medida angular del arco que separa los dos lugares de medida.

La distancia en dirección Norte-Sur entre ambos observadores corresponde a la medida angular de dicho arco.

Por una simple proporción se puede deducir la circunferencia y el radio de la Tierra.

El problema principal para la repetición de la medida de Eratóstenes en el entorno escolar radica en la dificultad de medir con suficiente precisión las alturas angulares del Sol. Y estas faltas de precisión son muy significativas puesto que, por regla general, las diferencias angulares son pequeñas. La diferencia de latitud entre las capitales de provincia más al Norte y más al Sur de la península (Santander y Cádiz) es del orden de 7° . Aún en este caso un error de 1° significa un error superior al 10%.

Una forma de mejorar los resultados es trabajar con observadores más alejados en dirección Norte-Sur. En este aspecto pueden ser interesantes las colaboraciones entre centros de la Península y de Canarias. La diferencia de longitud en este caso se compensa midiendo la distancia de cada uno de ellos a un mismo paralelo, para tener en cuenta solamente la distancia sobre un meridiano de la Tierra.

Otra forma de reducir el impacto de los errores de las medidas es la participación de un número elevado de observadores. En esta línea se realizó en el 2009, con ocasión del Año Internacional de la Astronomía, una medida conjunta en la que se recogieron y tabularon datos de más de 650 centros escolares de toda España, con un resultado con un error del orden de un 3%.

En la web www.astronomia2009.es se puede acceder a todo el material de preparación, a los resultados obtenidos y al informe final del proyecto.

Actividad 7: Determinación de la altura de un objeto, a partir de los triángulos semejantes que forman los objetos verticales y sus sombras

En esta actividad se propone la medida de un objeto vertical a partir de la longitud de su sombra. Por estar relacionada con las medidas de la sombra del gnomon esta actividad puede realizarse de forma simultánea a otras medidas con el gnomon descritas en este trabajo.

El mismo objeto se medirá por diferentes grupos de trabajo en diferentes horas del día. Aunque los datos de cálculo serán diferentes en cada ocasión, el resultado de todos los cálculos debería ser el mismo.

Material necesario:

Un palo vertical o gnomon, que proyecta su sombra sobre una superficie horizontal.

Cinta métrica.

Realización de la actividad

En un momento determinado el triángulo que forman un objeto vertical, su sombra horizontal y la línea imaginaria que une el extremo del objeto vertical y el extremo de su sombra es semejante al que forman la pared del edificio, su sombra y la línea imaginaria que une los puntos extremos. En la figura 26, los triángulos ABC y A'B'C' son semejantes. Esto permite calcular la altura A'B', que quizá no podemos medir de forma directa, a partir de otras medidas que pueden ser obtenidas mucho más fácilmente (medidas en el triángulo ABC y medida de la sombra B'C').

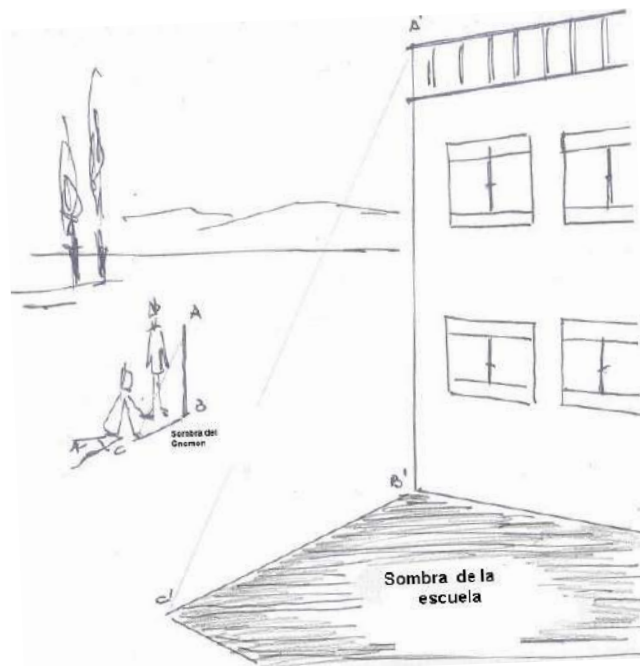


Figura 25: Medida de la altura de un edificio

La persona que organice la actividad comunicará cuál es el objeto elegido para hacer las medidas. Cada uno de los grupos que realice la actividad tomará las medidas y dará el resultado sin conocer los resultados de otros grupos.

Al final de la jornada se revisará la tabla obtenida con las medidas de todos los grupos participantes.

Meridianas y otros instrumentos. Turismo astronómico

El instrumento por excelencia de la Astronomía actual es el telescopio. Hay que señalar que el telescopio se inventó hace poco más de cuatrocientos años. Una parte importante de los saberes de Astronomía se obtuvo con instrumentos más simples.

En este apartado se enumeran algunos lugares de interés que pueden ser cercanos a algunos centros escolares y pueden merecer una visita. Otros pueden ser objeto de visita de profesores o de alumnos con sus familias en viajes de vacaciones. La lista es forzosamente incompleta y puede ser ampliada en nuevas ediciones de este trabajo gracias a las informaciones los lectores que puedan hacer llegar al autor.

Relojes de Sol

Cualquier reloj de Sol es por sí mismo un instrumento astronómico. Permite determinar el momento del tránsito del Sol por el meridiano. Cualquier reloj de Sol permite plantear y resolver el problema de la discrepancia entre su lectura y la hora civil. Son interesantes los encuadres fotográficos en que se capta simultáneamente un reloj de Sol (en que pueda realizarse la lectura) y un reloj mecánico.

Instrumentos antiguos

En algunos parques o museos de ciencias se ofrecen reproducciones de instrumentos antiguos. Es muy completa la colección del Jardín de la Astronomía que se puede visitar en el Parque de las Ciencias de Granada. <http://www.parqueciencias.com/>

Tierra paralela

Reciben este nombre los globos terrestres orientados de forma que el lugar del observador se encuentre en la parte más alta y el eje norte-sur sea paralelo al eje de rotación de la Tierra. En esta posición una Tierra paralela es una esfera semejante (en el sentido de los textos de Geometría) a la Tierra real, bajo nuestros pies. En particular, cuando la Tierra paralela es iluminada por el Sol, permite observar las regiones del mundo en que es de día o es de noche, en que amanece o anochece. Si es posible señalar estas zonas con pegatinas de distintos colores en dos momentos separados por un intervalo de al menos una hora es posible hacer una buena explicación sobre la sucesión de días y noches.

Para visitar una Tierra paralela se puede ir a: Santander, Jardines de Piquío. <http://www.astrocantabria.org/articulos/bolapiquio.html>

En CosmoCaixa de Barcelona hay una esfera llamada Esfera de las Estaciones. Los paneles informativos invitan a otras observaciones. Sin

embargo el dibujo de continentes y océanos correctamente orientados la convierte en una Tierra Paralela. Se puede ver en:

http://obrasocial.lacaixa.es/nuestroscentros/cosmocaixabarcelona/plazadela ciencia_es.html

Obeliscos y gnómones

Posiblemente algunos de los obeliscos egipcios hoy conservados en distintas ciudades fueron usados, en algún momento, como gnomon para observar el movimiento del Sol. En Roma se ha restaurado un obelisco en la Plaza Montecitorio. Unas marcas en el pavimento señalan la dirección Norte-Sur. Las dimensiones del obelisco confieren un movimiento muy rápido a la sombra de la punta, de forma que es posible determinar el mediodía solar con gran precisión. Y realizar una observación con un instrumento de más de 2000 años da un significado especial a la observación. Se puede ver en: <http://sobreroma.com/2010/10/19/el-obelisco-de-la-plaza-de-montecitorio/>

Meridianas

Durante muchos siglos la Iglesia Católica tuvo mucho interés la determinación exacta de la duración del año para poder fijar el calendario que, a su vez, condicionaba la fecha de la Pascua. Con el saber adquirido se estableció, en 1582, la reforma del calendario. En esta reforma se fijaron las reglas para determinar qué años son bisiestos. Para esta medida se utiliza una meridiana.

Una meridiana es simplemente un agujero en una pared o en el techo de un gran edificio (en aquel tiempo los mayores edificios eran las iglesias) por el que puede entrar un rayo de luz que incide en el suelo. En el suelo del edificio hay una línea que marca la dirección Norte-Sur. La observación repetida de los pasos de la proyección del Sol sobre dicha línea permitía determinar con gran precisión los instantes de equinoccios y solsticios.

Algunas meridianas se han perdido. La más impresionante de las conservadas se encuentra en la Basílica de San Petronio, de Bolonia. Sus grandes dimensiones y el hecho de haber sido restaurada a mediados del siglo XVII por el gran astrónomo Gian Domenico Cassini la convierten en lugar de visita obligada para toda persona interesada en la Astronomía. Ver: <http://www.bo.astro.it/universo/cassini/meridiana.htm>
<http://quadrantisolari.uai.it/articoli/gqsmmer1.htm>
Ambas páginas Web están en italiano.

En la primera mitad del siglo XIX se construyeron en Bélgica distintas meridianas a fin de que cada ciudad pudiese tener un servicio horario. La de la catedral de Bruselas ha sido objeto de restauración reciente. http://www.cathedralestmichel.be/fr/cult_archi_meridien.php?lang=fr

Bibliografía

- K. Alder. *La medida de todas las cosas. La odisea de siete años y el error oculto que transformaron el mundo*. Taurus. Bogotá. 2003.
- A. Arribas, V. Riviére. *Taller de Astronomía, temas y actividades*. Equipo Sirius. Madrid, 2002.
- J. Betts. *The Store of the Harrison Time keepers and R.T. Gould 'The Man who Knew (almost) Everything'*. NMM & Oxford. 2006.
- L. Broman, R. Estalella, R.M. Ros. *Experimentos de Astronomía*. Biblioteca de Recursos Didácticos Alambra. Madrid. 1988.
- F.S. Crawford. *Ondas*. Berkeley Physics Course. Volumen 3. Editorial Reverté S.A. Sevilla. 2003.
- G. Paltrinieri, *La Meridiana della Basilica di San Petronio in Bologna*, Bologna, 2001.
- G. Ropars, G. Gorre, A. Le Floch, J. Enoch and V. Lakshminarayanan. A depolarizer as a possible precise sunstone for Viking navigation by polarized skylight. *Proceedings of the Royal Society A*. November 2011.
- M. A. Seeds. *Fundamentos de Astronomía*. Ediciones Omega S.A. 1989.
- D. Sobel, *La longitud*, Edicions 62, Barcelona, 1997.
- A. E. Ten. Un astrónomo ilustrado: Fausto Vallés y Vega, barón y señor de la Puebla Tornesa y Sierra de Engarcerán y del feudo de Borriol. *Actes de les 2.^{es} Jornades de Matemàtiques de la Societat Castellonenca de Matemàtiques*. Castellón. 1987.
- *Astronomía. El Cielo en la Historia*. Ediciones Orbis S.A. 1992.
- *Monatliche Correspondenz zur Beförderung*. Tomo XII. 1805.
- WYP. World Year of Physics 2005. *Teachers's Guide: The Eratosthenes Project*.
<http://www.physics2005.org/projects/eratosthenes/TeachersGuide.pdf>
- AIA2009 Año Internacional de la Astronomía. Proyecto Medida del Radio de la Tierra.
http://www.astronomia2009.es/Proyectos_de_ambito_nacional/La_medida_del_Radio_de_la_Tierra.html.



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 colección.

Más información en www.apea.es

