



NASE

Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas -  
Mendoza, Argentina

[YouTube channel NASE-Virtual](#)

Editors: Rosa M. Ros & Beatriz García



International  
Day of Light

16 May



## 2o Puentes entre Culturas

*Latitud para viajar y navegar*

### NASE

Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas  
Mendoza, Argentina

20 de Marzo 2022

[YouTube channel NASE-Virtual](#)



Editors: Rosa M. Ros & Beatriz García



International  
Day of Light

16 May

Créditos:

Autores: Rosa M. Ros and Beatriz García et al.

Editorial: Antares

ISBN: 978-84-15771-93-7



## ÍNDICE

<b>Bienvenida</b>	
Beatriz García y Rosa M. Ros	13
<b>Introducción</b>	
Steven R. Gullberg	15
<b>Viajar y navegar usando astronomía</b>	
Rosa M. Ros, Beatriz García, Eder Viñuales y Ricardo Moreno, NASE	17
<b>LA RUTA DE LA SEDA, FUENTE DE INTERCAMBIO CULTURAL DURANTE SIGLOS</b>	<b>29</b>
<b>Observatorios astronómicos medievales a lo largo de la ruta de la seda</b>	
Carlos Dorce, Barcelona University	31
<b>Determinando la Latitud Local en el Planetario de Beijing</b>	
Dongni Chen, China	42
<b>Mapeando la ruta del intercambio cultural que ocurrió a lo largo de la Ruta de la Seda</b>	
Tsolmon Renchin and Altangerel Balgan, Mongolia	44
<b>Ruta de la Seda y Latitud Local</b>	
Parham Eivvandi, Mahdi Rokni, Rahimeh Foroughi, Fatemeh Salimi, Samaneh Tafazolnia, Siavash Eivvandi, Fatemeh Baghbani y Anahita Zadsar, Iran	48
<b>LA VUELTA AL MUNDO DE FERNANDO MAGALLANES Y JUAN SEBASTIÁN ELCANO</b>	<b>51</b>
<b>La Determinación de la Latitud en tiempos de la expedición de Magallanes y Elcano</b>	
César Esteban, Universidad de La Laguna e Instituto Astrofísico de Canarias	53
<b>Obtención de la Latitud en Benin</b>	
Pide Aristide Ahanhanzo, Benin	63
<b>Diseño de un reloj de Sol ecuatorial y un cuadrante sencillo para determinar la latitud</b>	
Doh Koffi Addor	66

<b>Actividades divertidas para introducir la navegación y la determinación de coordenadas geográfica usando el Sol</b>	
Aditya Abdilah Yusuf, Indonesia	69
<b>LOS CUATRO VIAJES DE CRISTOBAL COLON</b>	<b>73</b>
<b>Colon y sus instrumentos de navegación</b>	
Enrique Aparicio Arias, Universidad de Alacant	75
<b>Determinación de la Latitud local</b>	
Edgar Cifuentes, Guatemala	109
<b>Importancia astronómica del cuarto viaje de Cristóbal Colon y su paso por Panamá</b>	
Madelaine Rojas, Panama	111
<b>Buscando mejorar las observaciones</b>	
Juan A. Prieto Sánchez y M <sup>a</sup> Pilar Orozco Sáenz, Spain	116
<b>PUBLICACIONES DE NASE</b>	<b>123</b>

## Bienvenida

**Beatriz García y Rosa M. Ros**

CONICET-Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Argentina  
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain

Bienvenidos a la segunda edición de “**Puentes entre Culturas**”, una iniciativa de la Red de Educación Escolar en Astronomía, NASE, para el Día Internacional de la Luz (16 de marzo) de la UNESCO, cuyo primer encuentro fue en 2021, en medio de los durísimos días de pandemia y como una forma de seguir estableciendo vínculos entre las personas de todo el mundo.

En 2022, un nuevo proyecto es el centro de atracción para establecer el “puente”, el uso de la Astronomía para determinar la latitud, abriendo nuevas posibilidades para los humanos: viajar y navegar más allá de los caminos muy conocidos o tener la costa permanentemente visible. Una de estas aproximaciones entronca con el descubrimiento de América y la vuelta al mundo, hacia Occidente, y por otro lado, el diseño de la antigua Ruta de la Seda, hacia Oriente.

Como mencionamos, esta propuesta se basa en el Día Internacional de la Luz, propuesta por la UNESCO con el propósito de recordar el primer uso exitoso del láser, pero también, ilustrar los usos generales de la luz para mejorar la vida cotidiana. En 2022 proponemos utilizar la luz del sol para, a través de su altitud al mediodía, establecer la latitud local mediante un simple cuadrante. Esta es también la oportunidad de remarcar el poder del trabajo colaborativo en ciencias, diseñando actividades con un marco teórico, que necesitan mediciones y resultados claros, como un proyecto global.

**Puentes entre Culturas** es también una propuesta de Ciencias Ciudadanas que persigue tres objetivos principales: compromiso de docentes, profesores, estudiantes y audiencias en general, promoción de las ciencias en general e innovación.

En general, los alumnos conocen la fantástica empresa de Colón en sus viajes a América, y la expedición planeada y dirigida por el explorador Fernando Magallanes, que partió de España el 20 de septiembre de 1519 y culminó con la primera circunnavegación del mundo de Juan Sebastián Elcano, que volvió a España el 6 de septiembre de 1522. ¡Este año se cumplen 500 años de esta aventura! Y además, como la “Ruta de la Seda Moderna” es un tema actual, estos eventos pueden ser parte no solo de la invitación de NASE, sino también de los estudios anuales en todas las escuelas del Planeta, actuando como tracción para realizar la actividad pero también como atracción, en un momento en que estos temas forman parte de la cotidianidad.

Queremos dar nuestro agradecimiento especial a los presentadores del día del taller, a los asistentes, teniendo en cuenta que necesitábamos coordinar el cronograma de la reunión para permitir la participación de todas las Zonas Horarias de la Tierra, desde América hasta Asia, y los futuros participantes, que desarrollarán la actividad propuesta entre los equinoccios de 2022.

¡Gracias, bienvenidos y disfrutad de esta nueva edición de Puentes entre Culturas!



## Introducción

**Steven R. Gullberg**

Director for Archaeoastronomy and Astronomy in Culture  
College of Professional and Continuing Studies  
University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, USA

Este libro es una maravillosa colección de artículos de todo el mundo que describen métodos de navegación para viajar y muestran cómo los estudiantes pueden realizar actividades similares de las cuales aprender.

Puentes entre Culturas comenzó en 2021 con un taller virtual en marzo. Ahora, un año después, la Red para la Astronomía en la Educación Escolar (NASE) de la Unión Astronómica Internacional continuó este exitoso evento con una segunda sesión.

Las siguientes páginas comienzan con Rosa M. Ros, Beatriz García, Eder Viñuales y Ricardo Moreno de NASE preparando el escenario para los artículos en las secciones que siguen al presentar el uso de la astronomía para la navegación con viajes. Presentan buenos conceptos básicos sobre la determinación de la latitud y luego describen cómo construir cuadrantes y relojes de sol ecuatoriales que se pueden usar en el salón de clases o en casa.

El libro está dividido en tres secciones que se trataron en el taller Puentes entre Culturas de este año: la Ruta de la Seda, la Vuelta al Mundo de Magallanes y Elcano, y los Cuatro Viajes de Colón.

### **La ruta de la seda**

Carlos Dorce de España comienza con una descripción de los observatorios medievales a lo largo de la Ruta de la Seda y destaca los primeros astrolabios y la determinación de la latitud. Da buenos ejemplos de tales observatorios.

Dongni Chen de China es mucho más directa con un experimento adecuado como actividad estudiantil con respecto a la latitud con instrumentación de fabricación propia. Al estar Mongolia a lo largo de la Ruta de la Seda, Tsolmon Renchin y Altangerel Balgan nos cuentan brevemente la historia mongola relacionada y luego describen la actividad de los estudiantes de NASE que utilizaron para demostrar el hallazgo de la latitud para la navegación de viaje.

La Unión de Profesores de Astronomía de Irán (ITAU) continúa en esta misma dirección. Parham Eivsvandi, Mahdi Rokni, Rahimeh Foroughi, Fatemeh Salimi, Samaneh Tafazolnia, Siavash Eivsvandi, Fatima Baghbani y Anahita Zadsar describen a estudiantes que participan en programas NASE usando cuadrantes para encontrar la altitud del Sol al mediodía solar local. Agregaron que este ejercicio fue muy adecuado para los estudiantes durante la pandemia de Covid 19.

### **La Vuelta al Mundo de Fernando de Magallanes y Sebastián Elcano.**

Cesar Esteban abre el apartado sobre los viajes por el mundo de Magallanes y Elcano. Proporciona una buena introducción histórica y luego analiza dos métodos para determinar la latitud y luego continúa con su importancia para la navegación de esta expedición.

Pide Aristide Ahanhanzo luego menciona los experimentos de la escuela primaria y secundaria en Benin, donde los estudiantes aprendieron a construir un reloj de sol y un cuadrante y luego exploraron su uso para la altitud y la latitud.

En Togo, Doh Kof fi Addor continuó en la misma línea con una descripción de la construcción y el uso de un reloj de sol ecuatorial para ser empleado junto con un cuadrante para determinar la latitud durante un recorrido astronómico para estudiantes y profesores que se denominó “Togo bajo las estrellas”.

Aditya Abdilah Yusuf describe la historia marítima de Indonesia y cómo sus navegantes utilizaron las estrellas para orientarse. El Institut Teknologi Sumatera (ITERA) se esfuerza por mantener vivas estas tradiciones culturales en los estudiantes y el autor también muestra aquí la construcción y el uso de cuadrantes y relojes de sol NASE.

### **Los cuatro viajes de Cristóbal Colón**

Enrique Aparicio Arias de España comienza la sección sobre Colón describiendo la necesidad percibida de una ruta marítima para el comercio como alternativa a la Ruta de la Seda. Describe la cartografía relacionada y entra en detalles considerables sobre la instrumentación para determinar la latitud utilizada por Colón.

En Nicaragua se llevó a cabo un taller para estudiantes sobre la determinación de la latitud, según lo descrito por Ligia Areas Zavala y Ricardo Canales Salinas. El experimento tuvo lugar cerca de la hora del equinoccio vernal el 21 de marzo de 2022 en Managua, una vez más usando un reloj de sol y un cuadrante hechos a sí mismos. Posteriormente, los estudiantes repitieron el experimento el 21 de abril de 2022 para registrar datos solares en el momento del cenit del Sol.

Edgar Cifuentes relata otro ejemplo más de la determinación de la latitud por estudiantes que usaron un reloj de sol y un cuadrante, esta vez en Guatemala.

Madelaine Rojas de Panamá comenzó describiendo la carrera de Colón en el momento de su cuarto viaje; en ese momento sus privilegios estaban en declive. Cuenta buena historia y continúa con su astronomía y uso de instrumentación para la navegación.

Finalmente, Juan A. Prieto Sánchez y Ma Pilar Orozco Sáenz de España describieron un taller para estudiantes de secundaria realizado en Algeciras. Los estudiantes hicieron y usaron cuadrantes mientras aprendían cómo los marineros los empleaban para navegar por el Sol y las estrellas. Los estudiantes también tuvieron la oportunidad de explicar su trabajo al público en general en una feria de ciencias local.

Estos artículos que siguen son esclarecedores e inspiradores en sus descripciones de la historia y con muchos ejemplos de cómo se pueden construir cuadrantes y relojes de sol para fascinar a los estudiantes con este tipo de astronomía. Los disfrutarán mucho mientras los lean.

## Viajar y navegar usando la astronomía

Rosa M. Ros, Beatriz García, Eder Viñuales y Ricardo Moreno

NASE

En 2022 NASE propone volver a los orígenes, invitando a todos a comprender como surge “la ruta de la seda” (figura 1) entre dos paralelos, siguiendo las ciudades que están más o menos en la misma latitud para avanzar de forma rápida de este a oeste. La ruta unía Europa y China desde Estambul a 41°N (Turquía), Hecatompylos a 36°N (Irán), Samarcanda a 40°N (Uzbekistán), Kashgar 39°N (China) hasta Xi'an a 34°N (China).



Figura 1. Ruta de la Seda que unía China con Europa partiendo de Xian pasando por Kashgar, Samarcanda, la antigua Hecatompylos al final del mar Caspio hasta Estambul.

Así mismo vamos a descubrir cómo pudo Colón llegar a América (figura 2) al navegar en el mar sin referencias e intentando mantenerse en el mismo paralelo. Para ello, no disponía de instrumentos complicados, sólo un cuadrante, y determinaba la altura de la estrella Polar para poder seguir un mismo paralelo. En el primer viaje se movió entre los paralelos de Canarias (29° N) y San Salvador (25°N) y la altura de la polar les servía para determinar su latitud en el hemisferio norte.

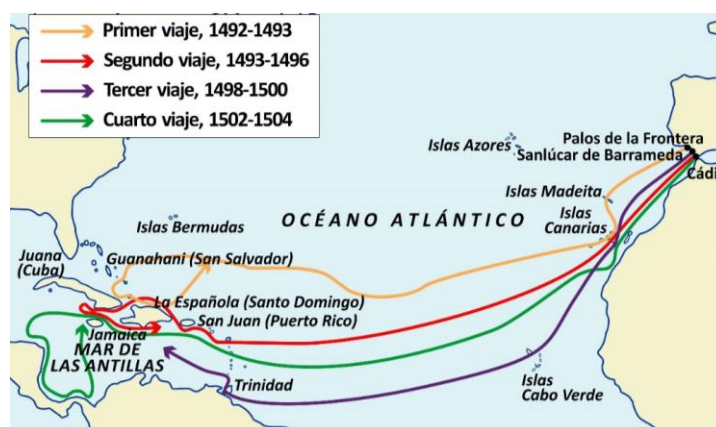


Figura 2. Los cuatro viajes de Colón. Cruzan el Océano Atlántico. En el primer viaje Colón se mueve entre los paralelos de Canarias 29°N y San Salvador 25°N

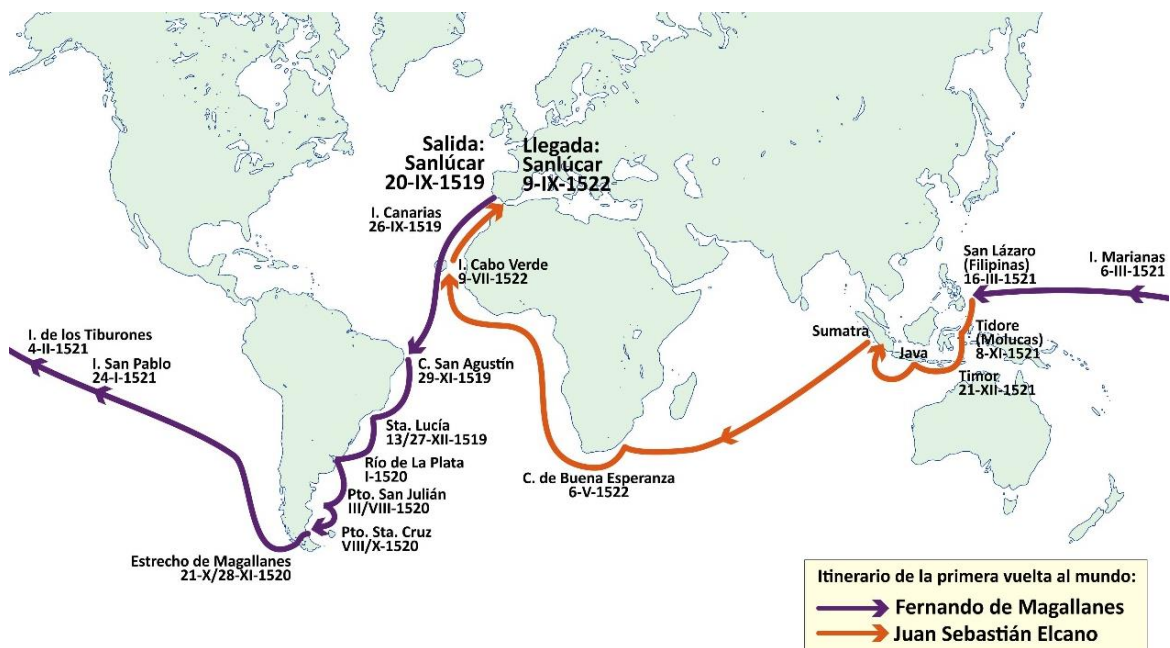


Fig. 3: Primera vuelta al mundo de Magallanes y Elcano. Además del Océano Atlántico y le Océano Indico, deben cruzar el Océano Pacífico entre los paralelos del Estrecho de Magallanes (53° S) y el paralelo de las Filipinas (14°N).

En la primera vuelta al mundo (figura 3), Magallanes y Elcano, deben cruzar varios océanos y navegar por la zona ecuatorial donde no pueden ver la estrella polar. En este viaje que duró tres años (20 septiembre de 1519 al 6 de septiembre de 1522) deben manejar sus conocimientos astronómicos. Usan entonces el cuadrante y las tablas de declinaciones solares para poder determinar la latitud observando la altura del Sol. Vamos a proponer a los grupos de estudiantes y profesores que deseen participar en el proyecto NASE del 2022 que realicen la determinación de su latitud usando el mismo método que los antiguos marineros que dieron la primera vuelta al mundo en el siglo XVI.

Este es un proyecto asociado con el día de la Luz de la UNESCO, que corresponde a la fecha del 16 de Mayo, el día que recordamos cuando se usó un láser, de manera exitosa por primera vez. El láser permite, entre sus múltiples usos, medir distancias, por lo tanto, es un instrumento de medición, como el cuadrante. Así pues, vamos a dar un plazo más generoso, en lugar de solo el día 16, para poder calcular la latitud del lugar de cada uno de los grupos de alumnos que colaboren en el proyecto.

Siguiendo unas simples instrucciones, que se detallaran seguidamente, es posible determinar la latitud del lugar donde nos encontramos de forma similar a como lo pudo hacer hace siglos Colon en sus viajes cruzando el Atlántico. Si el grupo de observadores es numeroso será más divertido y con muchas medidas se podrá establecer un valor promedio de la latitud, calcular la dispersión de los datos y, finalmente compartir de manera global la experiencia, en un evento internacional que tendrá lugar en octubre de 2022. El día 4 de octubre de 2022 tendrá lugar la final online con un grupo de cada país participante (se espera contar con 20 o 30 países) y el 7 de octubre de 2022 la final

presencial (con unos 10 países invitados) tendrá lugar en Viladecans (Barcelona, España) como cierre de la gran convocatoria de Ciencia en Acción.

## ¿Cómo se puede determinar la latitud?

La latitud del lugar L se define como el ángulo sobre el meridiano terrestre desde el ecuador hasta el lugar de observación, esto es desde el ecuador a la plomada vertical en el lugar donde está el observador. La figura 4 no está a escala, ya que el radio de la esfera celeste es infinito y el radio de la Tierra es solo poco más de 6000 km, por lo tanto la Tierra realmente es solo un punto. Así el horizonte del observador, se reduce al horizonte que pasa por el centro de la esfera celeste. La altura del polo sobre el horizonte es también la latitud porque este ángulo está determinado por el eje de rotación (que es perpendicular al ecuador) y el horizonte (que es perpendicular a la plomada).

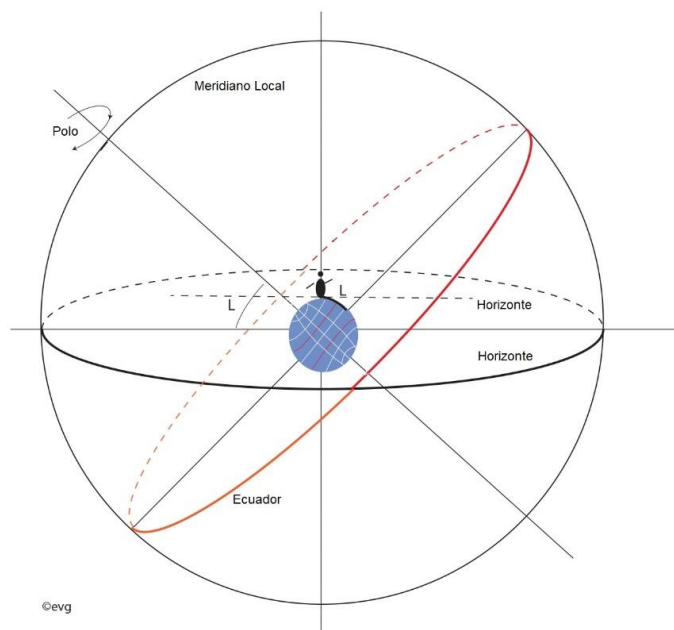


Figura 4. La latitud coincide con la altura de la polar y la colatitud es la altura del ecuador al mediodía solar el día del equinoccio.

La determinación de la latitud del lugar, se puede hacer de día o de noche.

- 1) De noche se puede determinar la altura del polo sobre el horizonte buscando la altura de la estrella Polar, en el hemisferio norte, y para el hemisferio sur la altura del punto correspondiente al polo sur con la ayuda de la Cruz del Sur, pero en ese punto no hay ninguna estrella visible sin telescopio (en este segundo caso el resultado es más inexacto).
- 2) De día se puede determinar la altura del Sol al mediodía, cuando pasa por el meridiano del lugar (cuando está en el punto más alto). El día del equinoccio, el Sol recorre exactamente el ecuador, así pues, la altura del Sol ese día es la colatitud,  $90-L$

El Sol se mueve siempre en paralelos al ecuador (figura 5). Así pues, los meses de primavera y verano recorre paralelos por encima del ecuador y los meses de otoño e invierno recorre paralelos por debajo del ecuador. Del ecuador hasta el día que se mueve a menor altura (primer día de invierno) hay  $-23,5$  y desde el ecuador al día que alcanza la altura máxima  $+23,5$  (primer día de verano). El ángulo desde el ecuador al paralelo donde está el Sol cualquier día del año se llama declinación solar.

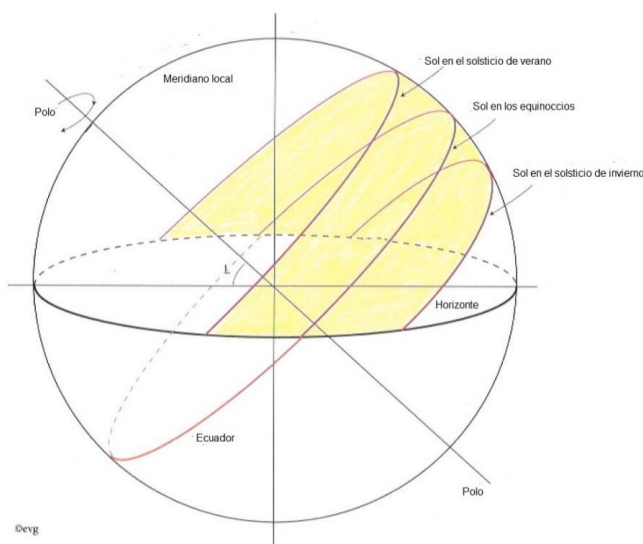


Figura 5. El Sol se mueve en paralelos al ecuador donde la declinación del Sol varía desde  $+23,5$  grados por encima del ecuador hasta  $-23,5$  grados por debajo del mismo, dando lugar a los dos solsticios.

En cualquiera de los dos hemisferios, en primavera o verano el Sol lo vemos por encima del ecuador (figura 6) y su altura  $h$  cumple:

$$h - |D| = 90 - |L|$$

(donde la  $D$  es positiva o negativa entre  $0^\circ$  y  $+23,5^\circ$  ó entre  $0^\circ$  y  $-23,5^\circ$  según sea hemisferio norte o sur respectivamente, por convención). De la misma manera, y también por convenio, la latitud  $L$  se toma positiva entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  para el hemisferio norte y negativa entre  $0^\circ$  y  $-90^\circ$  para el hemisferio sur.

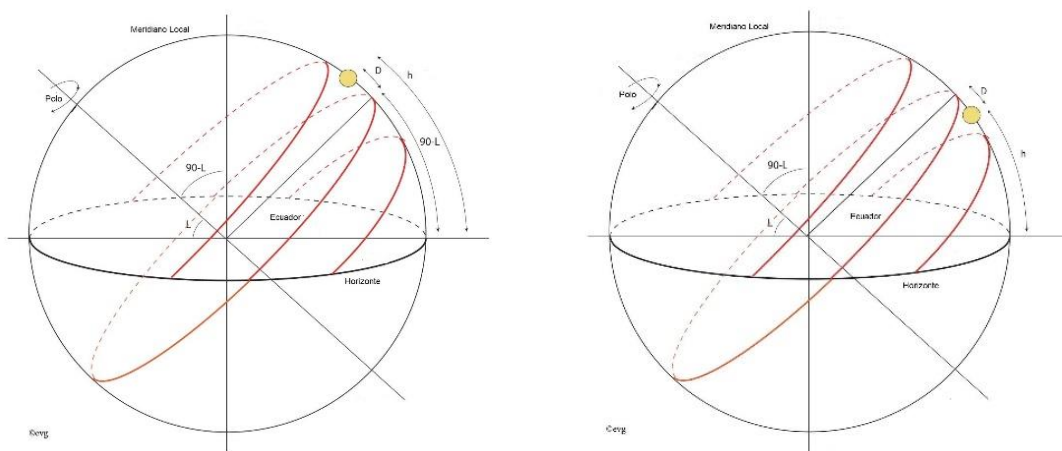


Figura 6. En primavera o verano el Sol se mueve en paralelos por encima del ecuador y su altura cumple  $h - |D| = 90 - |L|$ .  
 Figura 7. El Sol se mueve en paralelos por debajo del ecuador y su altura verifica  $h + |D| = 90 - |L|$ .

En ambos hemisferios, en otoño o invierno el Sol se ve por debajo del ecuador (figura 7) y su altura h verifica:

$$h+|D| = 90-|L|$$

(donde la D es negativa o positiva entre 0 y -23,5° ó entre 0 y +23,5° según sea hemisferio norte o sur respectivamente, por convención).

Latitud, N o S, según corresponda al hemisferio donde se ha tomado la altura h del Sol, se despeja:

$$L= 90-h+|D| \text{ si es primavera o verano}$$

$$L= 90-h-|D| \text{ si es otoño o invierno}$$

Así pues, conociendo la declinación del Sol tabulada, basta obtener la altura del Sol con un cuadrante cuando el reloj solar nos indique el mediodía del Sol (no es válido el reloj del móvil con el tiempo oficial). En consecuencia, hay que construir un cuadrante y un reloj solar para que nos indique en que momento está el Sol en el mediodía solar y en ese momento hay que medir la altura del Sol con el cuadrante.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octabr	Noviem	Diciemb
1	-23 03 09	-17 17 10	-07 50 19	+04 16 57	+14 52 25	+21 57 37	+23 08 56	+18 10 51	+08 31 15	-02 55 32	-14 12 39	-21 41 35
2	-22 58 17	-17 00 09	-07 27 33	+04 40 07	+15 10 36	+22 05 50	+23 04 58	+17 55 49	+08 09 31	-03 18 49	-14 31 54	-21 50 59
3	-22 52 58	-16 42 51	-07 04 40	+05 03 11	+15 28 32	+22 13 39	+23 00 36	+17 40 28	+07 47 40	-03 42 03	-14 50 56	-21 59 58
4	-22 47 11	-16 25 14	-06 41 41	+05 26 11	+15 46 13	+22 21 05	+22 55 50	+17 24 51	+07 25 41	-04 05 15	-15 09 43	-22 08 32
5	-22 40 57	-16 07 21	-06 18 37	+05 49 04	+16 03 38	+22 28 08	+22 50 39	+17 08 56	+07 03 34	-04 28 24	-15 28 15	-22 16 40
6	-22 34 16	-15 49 11	-05 55 27	+06 11 52	+16 20 48	+22 34 47	+22 45 05	+16 52 45	+06 41 21	-04 51 30	-15 46 32	-22 24 23
7	-22 27 08	-15 30 44	-05 32 13	+06 34 33	+16 37 41	+22 41 02	+22 39 08	+16 36 17	+06 19 01	-05 14 33	-16 04 34	-22 31 39
8	-22 19 34	-15 12 02	-05 08 53	+06 57 08	+16 54 17	+22 46 54	+22 32 46	+16 19 33	+05 56 34	-05 37 31	-16 22 19	-22 38 28
9	-22 11 33	-14 53 04	-04 45 30	+07 19 35	+17 10 37	+22 52 21	+22 26 01	+16 02 34	+05 34 02	-06 00 25	-16 39 48	-22 44 52
10	-22 03 06	-14 33 51	-04 22 03	+07 41 55	+17 26 39	+22 57 25	+22 18 53	+15 45 19	+05 11 24	-06 23 15	-16 56 60	-22 50 48
11	-21 54 14	-14 14 23	-03 58 33	+08 04 08	+17 42 24	+23 02 04	+22 11 22	+15 27 48	+04 48 40	-06 45 59	-17 13 55	-22 56 17
12	-21 44 55	-13 54 42	-03 34 59	+08 26 12	+17 57 51	+23 06 19	+22 03 28	+15 10 03	+04 25 52	-07 08 38	-17 30 32	-23 01 19
13	-21 35 12	-13 34 46	-03 11 23	+08 48 08	+18 13 01	+23 10 09	+21 55 11	+14 52 04	+04 02 59	-07 31 12	-17 46 51	-23 05 54
14	-21 25 03	-13 14 37	-02 47 45	+09 09 56	+18 27 51	+23 13 35	+21 46 32	+14 33 50	+03 40 02	-07 53 39	-18 02 51	-23 10 02
15	-21 14 29	-12 54 14	-02 24 05	+09 31 34	+18 42 24	+23 16 37	+21 37 30	+14 15 22	+03 17 01	-08 15 59	-18 18 32	-23 13 41
16	-21 03 31	-12 33 40	-02 00 23	+09 53 03	+18 56 37	+23 19 14	+21 28 07	+13 56 41	+02 53 57	-08 38 13	-18 33 55	-23 16 53
17	-20 52 09	-12 12 53	-01 36 40	+10 14 22	+19 10 31	+23 21 26	+21 18 21	+13 37 46	+02 30 49	-09 00 19	-18 48 57	-23 19 37
18	-20 40 23	-11 51 54	-01 12 56	+10 35 31	+19 24 06	+23 23 13	+21 08 14	+13 18 39	+02 07 38	-09 22 17	-19 03 39	-23 21 53
19	-20 28 13	-11 30 45	-00 49 13	+10 56 29	+19 37 21	+23 24 36	+20 57 45	+12 59 19	+01 44 25	-09 44 07	-19 18 01	-23 23 40
20	-20 15 41	-11 09 24	-00 25 29	+11 17 17	+19 50 16	+23 25 34	+20 46 55	+12 39 46	+01 21 09	-10 05 48	-19 32 02	-23 24 60
21	-20 02 45	-10 47 53	-00 01 45	+11 37 53	+20 02 50	+23 26 07	+20 35 44	+12 20 02	+00 57 52	-10 27 21	-19 45 41	-23 25 51
22	-19 49 27	-10 26 12	+00 21 57	+11 58 18	+20 15 04	+23 26 15	+20 24 12	+12 00 06	+00 34 33	-10 48 44	-19 58 59	-23 26 14
23	-19 35 47	-10 04 21	+00 45 39	+12 18 31	+20 26 57	+23 25 58	+20 12 20	+11 39 -59	+00 11 13	-11 09 58	-20 11 55	-23 26 09
24	-19 21 45	-09 42 21	+01 09 19	+12 38 31	+20 38 29	+23 25 17	+20 00 08	+11 19 40	-00 12 08	-11 31 01	-20 24 29	-23 25 36
25	-19 07 21	-09 20 13	+01 32 57	+12 58 19	+20 49 39	+23 24 11	+19 47 35	+10 59 11	-00 35 30	-11 51 54	-20 36 40	-23 24 34
26	-18 52 37	-08 57 56	+01 56 32	+13 17 54	+21 00 28	+23 22 40	+19 34 43	+10 38 32	-00 58 51	-12 12 36	-20 48 28	-23 23 04
27	-18 37 32	-08 35 31	+02 20 05	+13 37 16	+21 10 55	+23 20 44	+19 21 32	+10 17 43	-01 22 13	-12 33 06	-20 59 54	-23 21 06
28	-18 22 06	-08 12 58	+02 43 35	+13 56 24	+21 21 01	+23 18 24	+19 08 01	+09 56 44	-01 45 34	-12 53 26	-21 10 55	-23 18 40
29	-18 06 21		+03 07 01	+14 15 19	+21 30 43	+23 15 39	+18 54 11	+09 35 35	-02 08 55	-13 13 33	-21 21 33	-23 15 46
30	-17 50 16		+03 30 24	+14 33 59	+21 40 04	+23 12 30	+18 40 03	+09 14 17	-02 32 14	-13 33 28	-21 31 46	-23 12 24
31	-17 33 52		+03 53 43		+21 49 02		+18 25 36	+08 52 50		-13 53 10		-23 08 34

Tabla 1: Declinaciones del Sol. El signo “+” significa que el Sol está hacia el hemisferio norte celeste y el signo “-” que está hacia el hemisferio sur

Resulta evidente que cualquier de los dos equinoccios son los días en que resulta más sencillo calcular la latitud. Los días del equinoccio, el Sol está en el ecuador y por lo tanto su declinación es nula, dando lugar a que la altura del Sol sea exactamente la colatitud 90-L al mediodía solar, así pues:

**L= 90-h      en los equinoccios**

Y no es necesario usar las tablas de declinación (tabla 1).

## ¿Cómo se puede construir un cuadrante?

La invitación consiste entonces en fabricar un cuadrante sencillo (figura 8). Para construir la cuadrante pistola de NASE (taller 4), solo es necesario:

1. cortar un trozo de cartón de 20x10 cm con un mango como se ve en la figura 7.
2. pegar la graduación de la figura 8
3. fijar un hilo de 20 cm en el origen de la graduación
4. atar al final del hilo una arandela o tuerca (para mantener tensa la cuerda).
5. ubicar un sorbete, pajita de sorber o cilindro de papel en la parte superior; usar cinta de papel para mantenerlo fijo (figura 8)

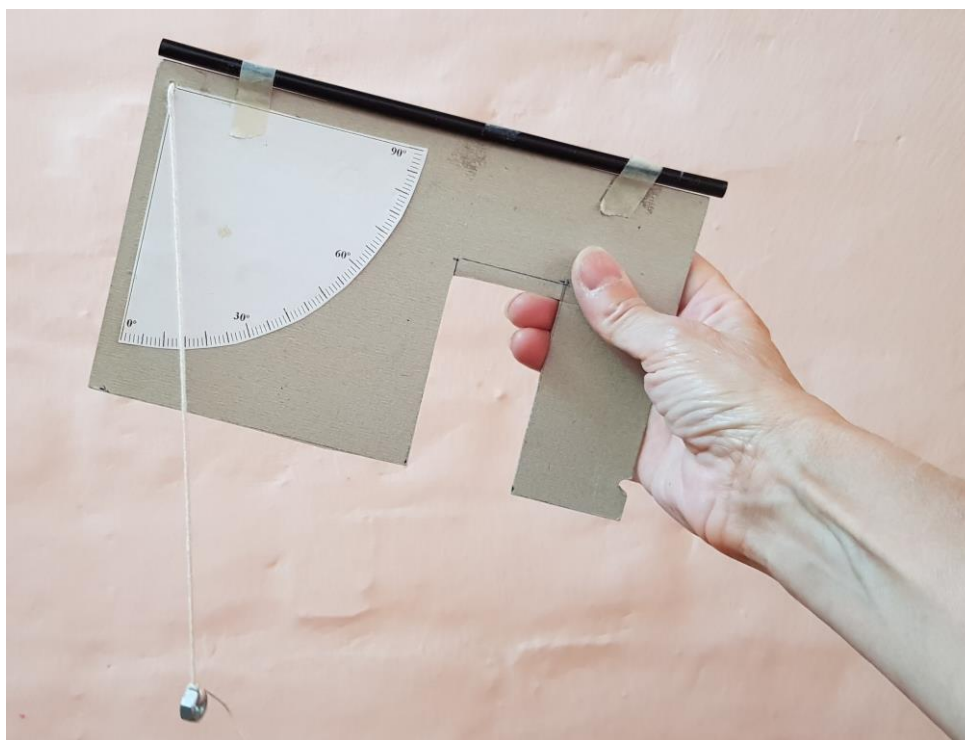


Figura 8: Cuadrante NASE terminado.



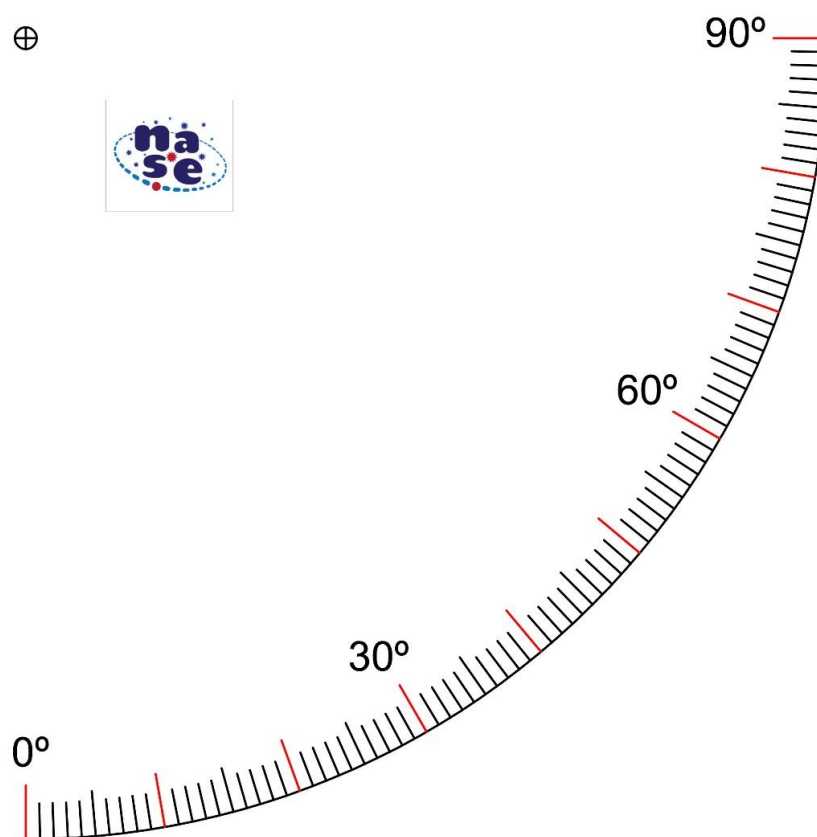


Figura 9: Graduación para pegar la cuadrante.

Una segunda opción más sencilla para construir un cuadrante (taller 1) consiste en:

1. usar una regla de 20 o 30 cm.
2. fijar un transportador con blue-tac como se ve en la figura 10
3. fijar un hilo de 20 cm en el origen de la graduación del transportador
4. atar al final del hilo una arandela o tuerca (para mantener tensa la cuerda).
5. ubicar un sorbete, pajita de sorber o cilindro de papel en la parte superior de la regla con cinta adhesiva (figura 10)

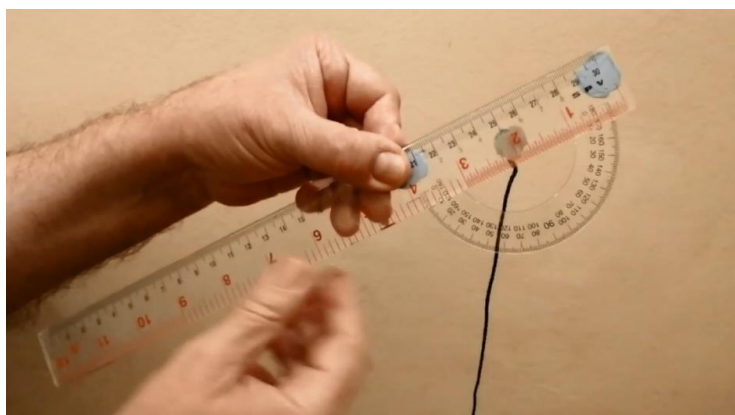


Figura 10: Cuadrante con regla y transportador

#### Uso del cuadrante (Taller 4)

Para determinar la altura de un objeto, debes apuntar y mirar a través del sorbete o de la pajita que actúa de mira (figura 11). El ángulo, que leemos en el cuadrante nos da la altura del objeto sobre el horizonte, ya que la plomada es perpendicular al horizonte y el visor es perpendicular al borde 0 de la graduación.

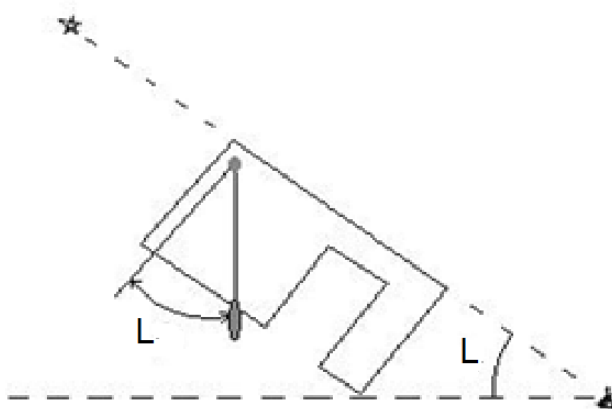


Figura 11: El ángulo que se lee en el cuadrante coincide con la altura del objeto sobre el horizonte.

Si el objeto a considerar es la estrella Polar, se observa directamente a través del visor. Pero si se trata del Sol, es peligroso mirar directamente a él y la observación debe ser por proyección tal como se ve en la figura 12.



Figura 12. Uso del cuadrante por proyección.

#### ¿Cómo se construye un reloj ecuatorial? (taller 1)

El Sol se mueve en paralelos al ecuador dando una vuelta completa de  $360^\circ$  en 24 horas, así pues dividiendo ambos se deduce que cada hora recorre  $15^\circ$ . Como el movimiento aparente del Sol gira entorno al eje de rotación terrestre, usaremos como estilete un gnomon en la dirección del eje de rotación terrestre. Cuando el Sol pasa exactamente por el meridiano local, corresponde al mediodía solar, así la línea horaria de las 12 debe proyectarse sobre la línea norte-sur. En consecuencia, necesitamos usar una brújula para

orientar el reloj ecuatorial y situar el estilete o gnomon en la dirección de la línea norte-sur.

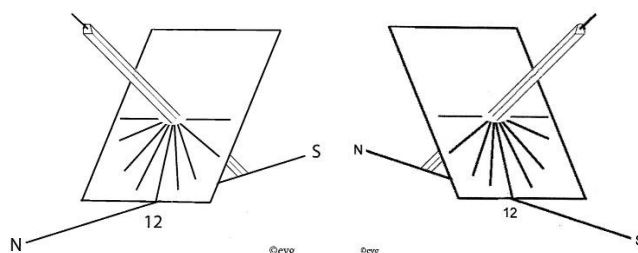


Figura 13: Orientación de un reloj ecuatorial en el hemisferio norte (izquierda) y en el hemisferio sur (derecha)

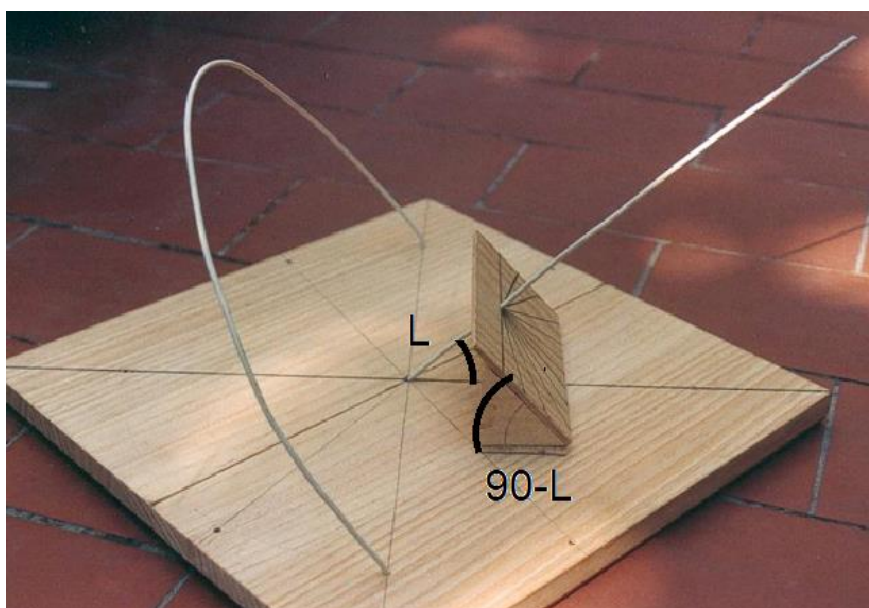


Figura 14: Un reloj ecuatorial tiene el estilete en la dirección del eje de rotación terrestre y el plano debe ser paralelo al ecuador. Así el ángulo de la altura del polo es la latitud del lugar  $L$ , y la inclinación del plano (perpendicular al estilete) es la colatitud del lugar.

Para construir el reloj, basta usar el modelo de las figuras 15 y 16. Para ello se debe:

1. doblar el plano del reloj (figura 15) por la línea de puntos
2. pegar ambos lados e introducir un estilete (puede ser un palillo de madera) por el orificio central
3. cortar el estilete según la figura 16, dejando la parte en amarillo por encima del plano y dejar en la zona inferior el trozo según sea la latitud del lugar.
4. fijar el plano del reloj perpendicular al estilete
5. controlar que el plano forme un ángulo igual a la colatitud con el suelo
6. orientar la proyección del estilete sobre el suelo según la línea norte-sur que indica la brújula (figura 13).

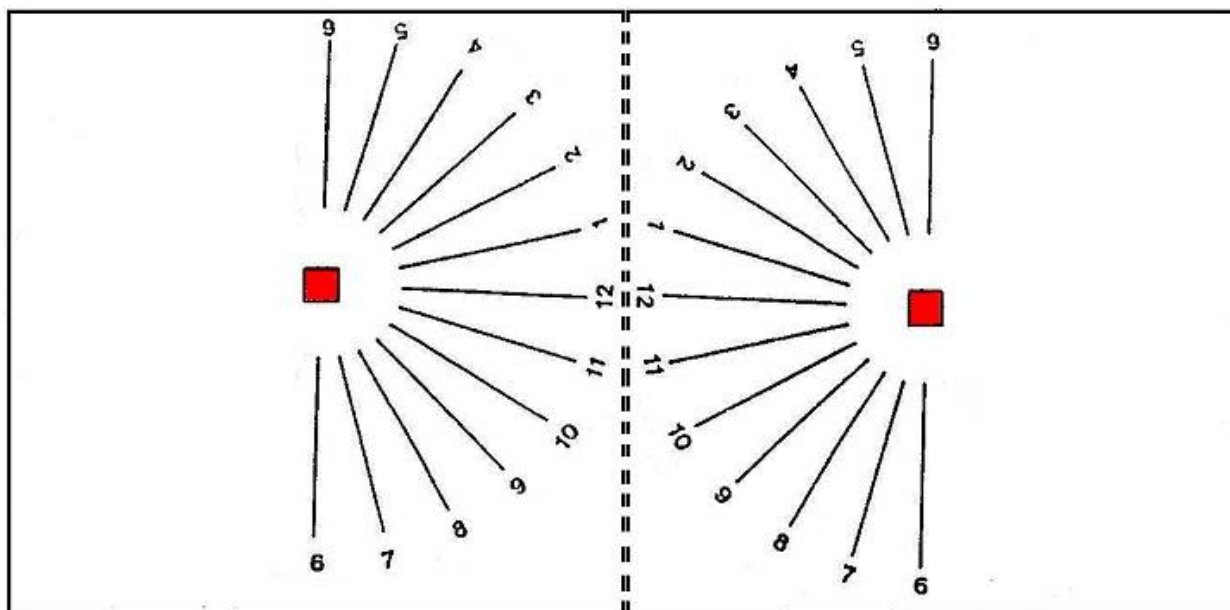


Figura 15. Plano del reloj ecuatorial

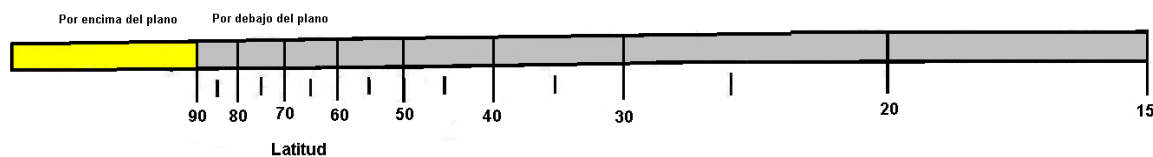


Figura 16. Referencia para cortar el estilete según sea la latitud del lugar

## Registrar la latitud y los demás datos

Lugar Ciudad, país	Día, mes	Hora	Declinación solar	Latitud obtenida usando polo	Latitud obtenida usando Sol	Latitud real

Tabla 2: Recolección de datos y obtención de la Latitud del lugar

## Conclusiones

Esta experiencia da la posibilidad de usar un instrumento antiguo y demostrar que para obtener resultados de importancia, no siempre se necesita tecnología novedosa o sofisticada.

Piensa ahora en los marinos y aventureros de siglos pasados. Que puedes concluir respecto de:

- a) El camino de la seda:  
¿Se desplegó siguiendo exactamente un mismo paralelo?

- ¿Por qué piensas que fue como lo vemos o detectamos en los mapas?
- ¿Qué cosas notables podrías describir de este camino antiguo?
- ¿Has escuchado o leído noticias recientes sobre el Camino de la seda?

b) Los diferentes viajes de Colón:

- ¿Todos ellos fueron siguiendo la misma trayectoria?
- ¿Qué singularidad tiene la trayectoria del 1er viaje?
- ¿Por qué piensas que fueron cambiado las trayectorias en las distintas expediciones?

c) La vuelta al mundo de Magallanes y Elcano:

- ¿Qué cosas singulares podrías mencionar respecto de este viaje más allá de su duración?
- ¿Esta propuesta, te ayudó a entender como lograron estos verdaderos aventureros circunnavegar el planeta?
- ¿Te animarías a proponer tu propia travesía y explicar cómo usarías el cuadrante?

Si deseas, escribe un relato corto que inspire a otras personas!

Te invitamos a que investigues, discutas con tu docente y compañeros y que envíes tus resultados y conclusiones a: [newsletter.nase@gmail.com](mailto:newsletter.nase@gmail.com)

## Referencias

- 14 Pasos hacia el Universo, 2nd. Edition. Eds. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.



## **La Ruta de la Seda, fuente intercambio cultural durante siglos**





## Observatorios astronómicos medievales a lo largo de la Ruta de la Seda

Carlos Dorce

Universitat de Barcelona

La Ruta de la Seda es una de las rutas comerciales más largas y famosas que jamás haya existido. Desde China hasta el mar Mediterráneo, muchos comerciantes viajaban ganando dinero en los mercados de las ciudades que, a lo largo de casi 8.000 kilómetros, facilitaban las interacciones políticas y económicas entre diferentes reinos e imperios. La primera actividad comercial se inició en el siglo II a. C. con la producción china de tejidos de seda, muy apreciados en el Imperio Romano. De Oriente a Occidente, el Imperio Parto en Asia Central suministró el puente necesario para conectar ambos territorios y pronto todos los mercados comenzaron a llenarse de otros productos como porcelana, miel, vino, té o perfumes. Por lo tanto, no es casualidad notar que algunas de las ciudades y reinos asiáticos más importantes y pujantes florecieron a lo largo de esta red comercial a lo largo de la historia. El marco de la Ruta de la Seda permitió que ciudades como Damasco, Bagdad, Nishapur, Samarcanda o Kashgar jugaran un papel importante en el desarrollo político, religioso y cultural que permitió que también tuviera lugar una gran actividad científica y matemática.

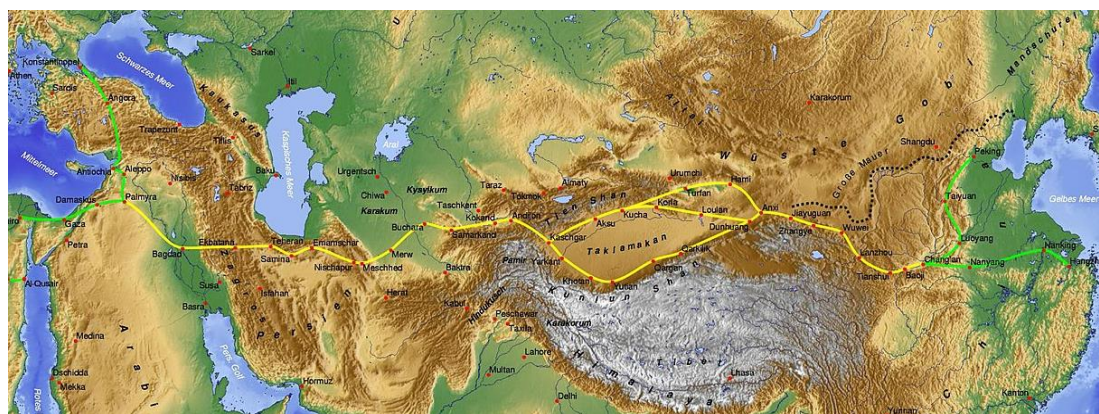


Fig. 1: Mapa de las principales rutas de la Ruta de la Seda

Es obvio que todos estos comerciantes que viajaban de Este a Oeste o de Oeste a Este necesitaban instrumentos astronómicos para saber la latitud exacta de su ubicación. Podemos ver en el mapa de las principales rutas de la Ruta de la Seda (fig. 1) que todas las ciudades principales están más o menos alineadas porque las latitudes todas ellas

están entre los 33° y los 43°. Para saber la latitud de un lugar, es necesario determinar la altura exacta del Sol al mediodía y esta determinación se puede hacer por ejemplo con un astrolabio. Se dice que los primeros astrolabios se fabricaron en la antigua Mesopotamia, pero una de las primeras descripciones de este dispositivo fue realizada por Hiparco de Nicea (fl. 150 a. C.) y registrada por Ptolomeo (fl. 150 d. C.) en su gran *Almagesto*. Por lo tanto, desde la época de la Antigua Grecia, deberían ser artesanos expertos en la fabricación de astrolabios para proporcionar a los astrónomos y astrólogos el dispositivo necesario para calcular las efemérides planetarias. En el siglo IV, Teón de Alejandría escribió un riguroso tratado sobre la construcción y el uso del astrolabio, por lo que el contenido de las cartas que Sinesio de Cirene envió a la hija de Teón, Hipatia (m. 412 d. C.), no sorprende: Sinesio le preguntó a su maestra Hypatia por su consejo sobre la construcción de un astrolabio, entonces esta maravillosa mujer científica no solo sabía cómo usar este tipo de instrumento astronómico, sino que sabía cómo hacerlo. En definitiva, podemos decir que en la Escuela de Alejandría estaban perfectamente asentadas las bases astronómicas y matemáticas del astrolabio, y no podemos pensar que todos estos conocimientos no fueran aprovechados por los sabios y las sabias que les sucederían.

### **La actividad astronómica en la Casa de la Sabiduría de Bagdad:**

Una de las primeras actividades astronómicas documentadas en este largo camino fue en Bagdad. Durante el reinado del califa abasí Al-Ma'mun (del 813 al 833 d. C.), Bagdad fue el centro de una de las actividades intelectuales, culturales y científicas más importantes de la Edad Media. Al-Ma'mun fundó la Casa de la Sabiduría, y una gran biblioteca pública se convirtió en uno de los focos de la conocida Edad de Oro Islámica. Al-Ma'mun también ordenó la fundación del Observatorio Shammasiyyah, y la actividad astronómica comenzó en el 828 d.C. Sanad ibn cAli (d. c. 864 dC) fue la persona elegida para construir las casas de culto en la periferia de Bagdad y también todos los instrumentos astronómicos del observatorio. Casi todos los científicos importantes de la primera mitad del siglo IX trabajaron en esta institución, como Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi (c. 780-c. 850 dC), al-'Abbas ibn Sacid al-Jawhari (c. 800 -c. 860 dC) o el destacado Yahya ibn Abi Mansur (fl. 820 dC). Al-Khwarizmi, cuyo libro sobre Álgebra y Muqabala cambió la historia de las matemáticas, también fue el autor de la versión árabe de los textos astronómicos indios, compilando su famoso *Zij al-Sindhind*. Yahya ibn Abi Mansur llevó a cabo observaciones astronómicas en el Observatorio Shammasiyyah y también en Damasco desde el 823 al 833 dC, probablemente en el Observatorio Qasiyun, y el resultado fue la compilación de las *Zij al-Mumtahan* (Tablas Probadas) que fueron ampliamente utilizadas por los astrónomos islámicos y astrólogos en los siglos siguientes. El Observatorio Qasiyun también fue fundado por al-Ma'mun a fines del 830 d. C. y se ordenó a cAbd al-Malik al-Mawrudhi que preparara nuevos instrumentos astronómicos y más exactos para reemplazar a los anteriores. Ambos observatorios declinaron con la muerte de al-Ma'mun en 833 d. C. y otras actividades astronómicas surgieron de estas instituciones.

Todas las referencias a ambas instituciones dicen que los instrumentos astronómicos ptolemaicos se fabricaron para los observatorios Shammasiyyah y Qasiyun. Por ejemplo, el astrónomo persa Habash al-Hasib (c. 775-c. 870 d. C.) y el historiador Ibn

Khaldun (1332-1406) hablan de una esfera armilar para Shammasiyyah aunque no tenemos mucha información al respecto. Parece que fue propiedad de Yahya ibn Abi Mansur y lo usó, y su escala contenía divisiones para cada diez minutos. Fue construido por Ibn Khalaf al-Marwudhi, quien también construyó un astrolabio. El gran astrónomo, historiador y matemático persa al-Biruni (973-1048 dC) habla de un cuadrante mural realizado en mármol en Qasiyun cuyo radio era de unos 5 metros de largo. A También había un gnomon de hierro de 5 metros de largo que estaba parado verticalmente. Otra importante mejora llevada a cabo en Qasiyun fue la invención de un cuadrante acimutal para la medida de acimutes y elevaciones. Por tanto, podemos observar que en Bagdad y Damasco se produjeron importantes innovaciones científicas con los trabajos de los astrónomos más destacados de la época y, aunque ambos observatorios estuvieron vinculados a la vida de al-Ma'mun, son un referente especialmente importante en la Historia de la Edad Media. Astronomía.

En la segunda mitad del siglo IX, Bagdad todavía era la capital del califato y la corte seguía atrayendo a científicos de todos los rincones del reino. Por ejemplo, al-Khwarizmi continuó sus estudios y escribió algunos tratados astronómicos y matemáticos después de la muerte de al-Ma'mun. Otro ejemplo interesante es el caso de los hermanos persas Banu Musa: Muhammad (m. 873 dC), Ahmad y al-Hasan. Su padre, Musa ibn Shakir, era astrólogo en la corte de al-Ma'mun y, después de su muerte, al-Ma'mun se hizo cargo de ellos. Los tres hermanos se inscribieron en la Casa de la Sabiduría y estudiaron con Yahya ibn Abi Mansur y después de la muerte de al-Ma'mun se convirtieron en buenos astrónomos y también en mecenas de traductores y científicos. Al-Biruni cita sus observaciones astronómicas del 858 al 869 dC y el egipcio Ibn Yunus (c. 950-1009 dC) menciona seis de sus observaciones. Algunas de estas observaciones se realizaron desde su casa cerca de un puente sobre el río Tigris cerca de la puerta de la ciudad Bab al-Taqa en Bagdad, como una determinación de la latitud de la ciudad.

Al-Dinawari (c. 815-c. 895 dC) fue también un célebre médico y astrónomo cuya actividad científica se desarrolló en esta segunda mitad del siglo IX. Vivió en Dinawar e Isfahan y escribió un tratado astronómico con observaciones realizadas en 849-850. Tenía un observatorio privado en Dinawar en el que realizó una importante actividad astronómica para recopilar su Zij, aunque no tenemos información de los instrumentos utilizados por él.

### **La construcción de los astrolabios:**

Abu cAbd Allah Muhammad ibn Jabir ibn Sinan al-Raqqi al-Harrani al-Sabi al-Battani (c. 858-929 dC) fue uno de los astrónomos más destacados de la primera mitad del siglo X. Tenía un observatorio privado en Raqqa donde realizó observaciones desde el 877 hasta el 918 d.C. Entre los instrumentos que utilizó se encontraba un gnomon dividido en 12 partes, una esfera armilar, un cuadrante mural, reglas paralácticas (el diámetro de una de ellas medía 5 metros de largo), astrolabios y relojes solares horizontales y verticales. Parece que al-Battani usó astrolabios solo para mediciones que no requerían un valor muy exacto y fue un diseñador particularmente bueno de este rey del

instrumento. Sin embargo, la mayoría de los talleres de artesanos capaces de fabricar astrolabios se concentraron en Bagdad. Por ejemplo, Muhammad ibn cAbd Allah Nastulus fue un prolífico astrolabista del siglo X cuyos astrolabios se encuentran en la lista de los supervivientes más antiguos en nuestros días. Uno de ellos se conserva en el Museo de Arte Islámico de Kuwait y tiene una placa única para las latitudes  $33^\circ$  y  $36^\circ$ . El valor  $33^\circ$  era estándar para Bagdad entre los fabricantes de instrumentos (la latitud de Bagdad es  $33^\circ 21'$ ) pero como instrumento portátil podría usarse también en Damasco, cuya latitud es  $33^\circ 31'$ , y la placa para la latitud  $36^\circ$  sería útil en Tiro ( $35^\circ 11'$ ), Rayy ( $35^\circ 36'$ ), Nishapur ( $36^\circ 12'$ ) y Mashhad ( $36^\circ 18'$ ), todas estas ciudades situadas a lo largo de la Ruta de la Seda no muy lejos de Bagdad. El trono del astrolabio lleva la inscripción “hecho por Nastulus en el año 315H” (927/928 dC) y falta la alidada. Su diámetro mide 17,3 centímetros, sólo 4 más que el segundo astrolabio conocido de Nastulus, del que sólo se conserva la materia. Probablemente se realizó en el año 925 dC y se exhibe en el Museo de Arte Islámico de El Cairo. El tercero (figura 2) también es “hecho por Nastulus” y su diámetro mide 7,6 centímetros. El borde de la materia se divide en el sentido de las agujas del reloj para cada  $5^\circ$  y se subdivide para cada  $1^\circ$  y se etiqueta para cada  $5^\circ$  hasta  $360^\circ$ . Tiene una pequeña muesca en la parte inferior para alojar las dos placas que sirven para las latitudes  $31^\circ/32^\circ$  y  $33^\circ/34^\circ$  (figura 3), respectivamente.



Fig. 2: El tercer astrolabio de Nastulus



Fig. 3: El plato de Nastulus para Bagdad

Ahora se podrían nombrar muchos fabricantes de astrolabios, pero como el propósito de este artículo no es hacer una lista exhaustiva de ellos, solo queremos mencionar a la mujer musulmana del siglo X Maryam al-'Ijliya, también conocida como Maryam al-Asturlabiyya. Era hija de otro fabricante de astrolabios llamado al-'Ijliyy y aprendió su oficio trabajando en el taller de su padre. Fue empleada por el emir Sayf al-Dawla de Alepo, que reinó desde el 944 hasta el 967 d.C. De su vida no se sabe nada más, pero si Maryam destacó en un mundo básicamente masculino es porque su talento matemático era incuestionable. Es sin duda una de las primeras científicas musulmanas conocidas de la historia.

Volviendo a Bagdad, también encontramos a Abu al-Wafa Muhammad ibn Ahmad al-Buzjani (940-997 dC) haciendo observaciones para la determinación de la oblicuidad de la eclíptica, que determinó en  $23^{\circ} 37'$ , el mismo valor obtenido por al-Biruni. Trabajó en el nuevo observatorio encargado por el emir Sharaf al-Dawla en Bagdad. Entre el instrumento astronómico fabricado para el observatorio, había un cuadrante de 6,5 metros y un cuadrante grande de unos 10 metros de diámetro.

Antes de continuar con nuestra revisión, debemos responder a la pregunta: ¿por qué el uso de astrolabios es tan importante para viajar a través de la Ruta de la Seda? Como podemos ver en la figura 1, la ruta principal de la Ruta de la Seda parece seguir paralelos terrestres entre  $33^{\circ}$  y  $43^{\circ}$ . Si imaginamos a un comerciante medieval yendo de Este a Oeste o de Oeste a Este, ¿cómo podría saber si estaba en el camino equivocado? En la Edad Media no se podía determinar la longitud de un lugar y la única pista posible que este comerciante podría tener en mente es su ubicación en latitud. Por ejemplo, si quería ir de Damasco a Bagdad, no tenía que moverse de una latitud cercana a los  $33^{\circ}$ . Entonces, ¿cómo podría ser útil el astrolabio?

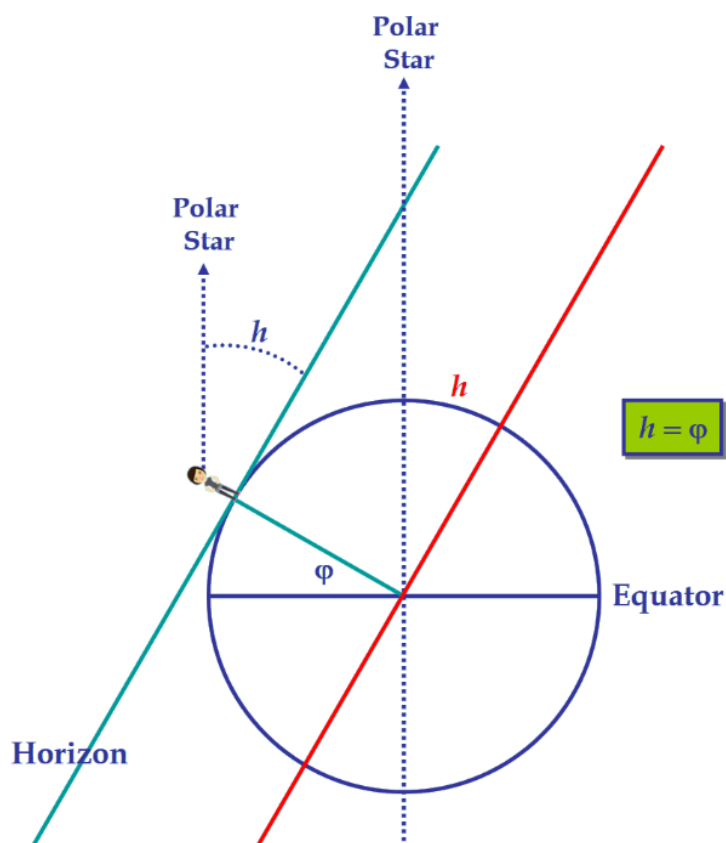


Fig. 4: El plato de Nastulus para Bagdad

Supongamos que el comerciante se encontraba en cualquier punto de la Tierra en el que se dibuja el Ecuador perpendicular al eje de la Estrella Polar. Entonces, el horizonte es la línea azul y si mirara a la Estrella Polar, podría determinar la altitud  $h$  de la Estrella Polar. Por lo tanto, pudo notar que este ángulo  $h$  es igual a la latitud  $\varphi$  del lugar donde estaba tomando la observación, por lo que se pudo determinar la latitud del lugar. Este comerciante tuvo que tener un astrolabio para determinar esta altitud  $h$  mirando a través de los dos agujeros de la alidada. Además, la araña y la mater servían para ubicar las estrellas fijas en el cielo para que también pudiera determinar las diferentes horas de la noche. Por ello, es difícil imaginar a algún comerciante viajero o de negocios sin un astrolabio entre sus pertenencias.

### Tres observatorios hasta el siglo XIII: Malikshah, Maragha y Gaocheng:

En el siglo XI, el sultán Saljuq Malikshah (1072-1092 dC) ordenó construir un nuevo observatorio como parte de su idea de establecer un sistema de madrasa como escuela de educación superior en su reino. La ubicación de esta nueva institución no es segura, y se ha especulado con las ciudades de Merv, Rayy y Nishapur, aunque actualmente se piensa que Isfahan fue la ciudad elegida. Entre la lista de astrónomos que trabajaron allí, el nombre de Omar Khayyam (1048-1131 dC) es probablemente el más importante. Fue un importante astrónomo que colaboró en la reforma del calendario persa y fue el primer matemático en resolver geoméricamente la ecuación cúbica. Khayyam notó que la ecuación cúbica podía resolverse mediante la intersección de dos secciones cónicas. Un círculo y una parábola, dos parábolas, una hipérbola y una parábola, dos hipérbolas,

... Hoy en día no tenemos ningún problema en considerar una ecuación cúbica de la forma  $x^3+px^2+qx+r=0$  sino sólo los números positivos existían en la época medieval, de modo que si  $x, p, q, r > 0$ , entonces una ecuación podría tener solución si cada término de la ecuación tuviera uno o dos monomios:  $x^3=r$ ,  $x^3+qx=px^2$ ,  $x^3+r=px^2+qx$ ,  $x^3=px^2+r$ , ... Khayyam determinó una solución geométrica particular para cada caso. Khayyam también compiló el llamado Zij Malikshah que probablemente contenía el resultado de un extenso programa de observación, aunque podría ser que solo contenía tablas astronómicas para el Sol y la Luna.

Sin duda, el Observatorio de Malikshah fue la institución astronómica más importante del siglo XI pero un siglo y medio después florecieron dos importantes astrónomos gracias a la fundación del Observatorio de Maragha, al norte de la Ruta de la Seda: Nasir al-Din al-Tusi (1201-1274 dC) y Muhyi al-Din al-Maghribi (m. c. 1283). La construcción del Observatorio de Maragha comenzó en abril-mayo de 1259 sobre una colina que se encuentra a lo largo del meridiano junto con algunas ruedas y dispositivos para llevar el agua a los edificios en la parte superior de las branquias, una mezquita y la residencia del príncipe y patrón Hulagu. Kan. El edificio del observatorio fue descrito como "enorme", con una torre alta, una "maravilla" y un "placer a la vista". También se construyó una cúpula y una maravillosa biblioteca que fueron mencionadas por muchos astrónomos, historiadores y viajeros que visitaron Maragha. En la parte superior de esta cúpula había un agujero por el que entraban los rayos del Sol para que los astrónomos pudieran determinar el movimiento medio del Sol, la altura del Sol, y algunos visitantes describieron las paredes del interior del edificio representadas con ilustraciones de el zodíaco, las fases de la Luna y representaciones de las esferas celestes con deferentes y epiciclos. También se dice que había varios globos y mapas celestes y terrestres. Entre estos instrumentos, tenemos noticias de un globo terrestre hecho de pasta de papel y un globo celeste metálico construido por Muhammad ibn Muayyad al-Din al-cUrđi en 1279. De hecho, al-cUrđi comenzó a fabricar instrumentos para el observatorio en 1261 y elaboró específicamente una lista de todos los instrumentos que debían fabricarse para Maragha y se aseguró de que la mayoría de ellos fueran construidos. El primero es un cuadrante mural con un radio de unos 4,3 metros graduado en minutos. Estaba equipado con alidades que ayudaban a determinar la oblicuidad de la eclíptica y la latitud de Maragha. También se describió una esfera armilar con una alidada y cinco anillos. Su radio del anillo meridiano era de unos 1,6 metros de largo. Al-cUrđi también pensó en una armilla solsticial formada por un círculo de 2,5 metros de diámetro, una armilla equinoccial similar, un anillo azimutal, una regla paraláctica, un instrumento de seno y seno verso y el "instrumento perfecto", que era como la regla paraláctica, pero no estaba fijo en el meridiano y podía girar alrededor de un eje vertical.

En el Observatorio de Maragha, se compilaron varios tratados astronómicos y zijes, como Ilkhani Zij de al-Tusi (1271) y Zij de Muhyi al-Din al-Maghribi. Muhyi al-Din fue un prolífico astrónomo y escribió obras sobre la construcción y el uso del astrolabio, dos zijes más y tres comentarios sobre el Almagesto de Ptolomeo. Sin embargo, Nasir al-Din al-Tusi fue probablemente el astrónomo más eminente desde el influyente trabajo de Nicolás Copérnico (1473-1543 dC). Sus tablas astronómicas para el movimiento de

los planetas fueron las más precisas jamás compiladas y el Ilkhani Zij se convirtió en un trabajo fundamental para otros futuros astrólogos y astrónomos.



Fig. 5: Observatorio de Gaocheng

Finalmente, un tercer observatorio importante del siglo XIII fue construido en 1276 en la ciudad china de Gaocheng. El hermano de Hulagu Khan, Kublai Khan, ha ampliado su Imperio mongol y establecido su poder en las nuevas ciudades conquistadas, se dio cuenta de la necesidad de una reforma del calendario que la gente podría ver como el mejor ejemplo de los beneficios políticos del nuevo régimen en comparación con el antiguo. Entonces, Kublai Khan abrió una nueva oficina especial cuyo objetivo era realizar la investigación específica para elaborar el nuevo calendario y enumerar todas las propuestas necesarias para implantarlo en la sociedad. Se pidió a Guo Shoujing (1231-1316 dC) y Wang Xun (1235-1281) que dirigieran este nuevo proyecto. Ambos astrónomos sabían que el éxito de su tarea estaba relacionado con tener datos de observación más precisos y Guo decidió fabricar un nuevo conjunto de diecisiete nuevos instrumentos astronómicos. Solo cuatro de ellos eran portátiles mientras que el resto se instalaron en el nuevo observatorio fundado por Kublai en su capital Dadu (Beijing) en 1279. Sin embargo, tres años antes, Guo y Wang diseñaron un nuevo edificio para el observatorio en Gaocheng, en el final de la Ruta de la Seda. El edificio principal tenía casi 13 metros de altura y se le anexó un shighi. Este shigui era una regla orientada al norte de más de 31 metros de largo y 0,5 metros de ancho para medir el cielo. Guo pudo determinar la altitud del Sol con una precisión de 2 milímetros en la regla y todos estos datos se usaron para el nuevo calendario de 1281 (se determinó que la duración del año tropical era de 365 días, 5 horas, 49 minutos y 20 segundos, valor consistente con el año tropical para el calendario gregoriano obtenido tres siglos después).



### Observatorio Ulugh Beg en Samarcanda:

En el siglo XV, el foco astronómico más influyente se trasladó a Samarcanda con el sultán timúrida Ulugh Beg (1394-1447 d. C.), que reinó entre 1447 y 1449. Cuando era niño, visitó los restos del Observatorio de Maragha y, como muy joven príncipe, fue el principal patrocinador de la idea de que Samarcanda debería convertirse en la escala más importante de la Ruta de la Seda. A fines de la década de 1410, ordenó construir una gran madrasa que pretendía ser el centro intelectual más destacado de aquellos tiempos y, por lo tanto, invitó a muchos astrónomos y matemáticos muy importantes a trabajar allí. A fines de la década de 1420, se construyó un nuevo observatorio y se le proporcionó los instrumentos más precisos jamás fabricados. Por ejemplo, el sextante gigante Fakhri tenía un radio de unos 36 metros para que la altitud del Sol y las estrellas sobre el horizonte se pudiera determinar con una precisión de 1 segundo sexagesimal. Por supuesto, para este observatorio se fabricaron otros instrumentos astronómicos como, por ejemplo, muchos astrolabios, una clepsidra y un reloj de sol muy grande cubierto con paredes exteriores en las que se pintó un fresco coloreado que representaba el zodíaco. El edificio del observatorio tenía tres plantas que alcanzaban más de 45 metros de altura, y la terraza superior era el lugar donde trabajaban los astrónomos.

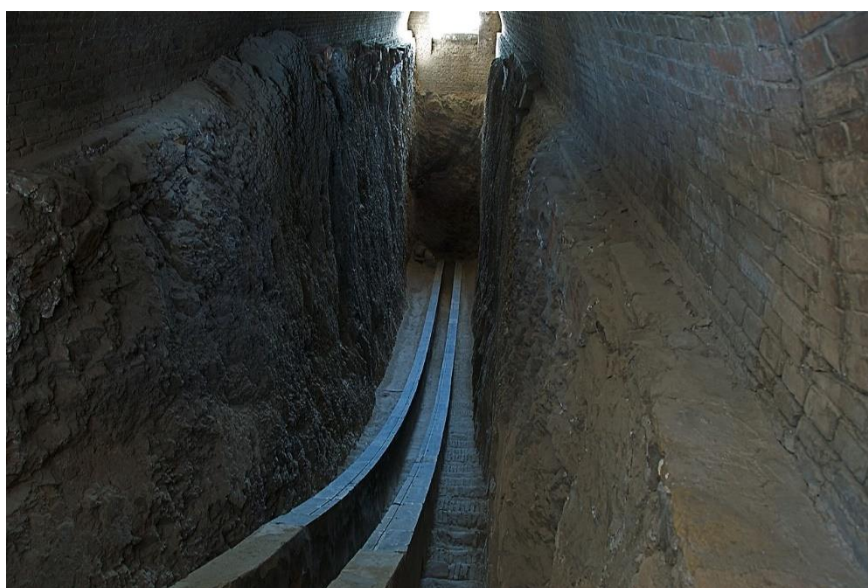


Fig. 6: El gran sextante del Observatorio de Samarcanda

Todos los datos de observación obtenidos en Samarcanda se utilizaron para compilar el llamado Zij-i Sultani de Ulugh Beg (1437). Estaba escrito en persa y enumeraba alrededor de mil estrellas. Esta lista de estrellas fue el primer catálogo completo desde la época ptolemaica (siglo II dC) mejorando las latitudes y longitudes del catálogo del Almagesto. Sin duda, el mérito de este nuevo catálogo fue la utilización del gran cuadrante de Samarcanda, y parece que el propio Ulugh Beg fue el director y guía de todas las observaciones, asistido por grandes astrónomos como Ali Qushji (1403-1474 d.C. ) y Jamshid al-Kashi (c.1380-1429 dC). Al-Kashi también compiló su Khaqani Zij basándose en las tablas de Ilkhani Zij de Nasir al-Din al-Tusi en Samarcanda, aunque

reconoció que su trabajo se completó gracias al apoyo de Ulugh Beg. Las tablas trigonométricas del Khaqani Zij fueron las más precisas hasta el momento, dando valores para la función seno con cuatro posiciones sexagesimales por cada minuto de arco.

### **Conclusión:**

La actividad astronómica en la Edad Media a través de la Ruta de la Seda estuvo ligada a todas las maravillosas ciudades y grandes imperios que existieron desde el siglo IX al XV. Por supuesto, hubo más ejemplos de actividad astronómica cerca de esta vía terrestre principal de la Ruta de la Seda. Por ejemplo, al-Khujandi hizo observaciones en Bagdad en 994 d. C. con un cuadrante muy grande de 60 grados inventado por él, al-Badi' al-Asturlabi (fl. c. 1130) fue famoso en la misma ciudad por diseñar un astrolabio que podría utilizarse en todas las latitudes, c Abd al-Rahman al-Khazini (fl. 1135 d. C.) calculó longitudes planetarias para la latitud de Merv, o Ibn al-Shatir (1304-1375 d. C.) trabajó mucho en instrumentos astronómicos para su propio observatorio, haciendo un cuadrante acimutal. En algunas de estas ciudades se construyeron grandes observatorios y reyes, sultanes y emires de todas las épocas se enorgullecían de ellos como símbolo de su poder. Por lo tanto, podemos decir que no solo el camino principal de la Ruta de la Seda fue una de las rutas comerciales medievales más productivas, sino que muchas de las ciudades a lo largo del camino tenían mucho poder político, comercial y cultural y se convirtieron en focos culturales con importantes mercados, madrazas y observatorios. A ellos asistieron sabios que encontraron el lugar adecuado para trabajar, y astrónomos y astrólogos pudieron desarrollar toda su actividad de observación gracias al mecenazgo de estos grandes emires que cambiaron la historia.

### **Referencias**

- Berggren, J. L. Episodes in the Mathematics of Medieval Islam. Springer-Verlag: New York, Berlin, Heidelberg, London, Paris, Tokyo, 1986.
- Boulois, L. Silk Road: Monks, Warriors and Merchants on the Silk Road. Odyssey Publications, 2005.
- Dorce, C. “The Tāj al-azyāj of Muhyī al-Dīn al-Maghribī (d. 1283): methods of computation”. *Suhayl. International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, 2003, Vol. 3, p. 193-212.
- Dorce, C. *Història de la Matemàtica. Des de Mesopotàmia al Renaixement*. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona, 2013.
- Dorce, C. *Al-Juarismi. El nacimiento del álgebra*. RBA, 2017.
- Hansen, V. *The Silk Road: A New History*. Oxford University Press, 2012.
- King, D. A. *Islamic Astronomical Instruments*. London: Variorum, 1987.
- King, D. A. Two Newly discovered Astrolabes from ‘Abbasid Baghdad. *Suhayl* 11 (2012), 103-116.
- Mayer, L. A. *Islamic Astrolabists and their Works*. Geneva: A. Kundig, 1956.
- Samsó, J. “Calendarios populares y tablas astronómicas”, *Historia de la Ciencia Árabe*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1981, 127-161.

- Savage-Smith, Emilie. *Islamicate Celestial Globes– Their History, Construction, and Use*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1985.
- Sayili, A. *The Observatory in Islam and its place in the General History of the Observatory*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basimevi, 1988.
- Van Dalen, B. “Ulugh Beg”, in *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, Thomas Hockey et al. (eds.). New York: Springer, 2007, pp. 1157-1159.
- Whitfield, S. *Life Along the Silk Road*. London: John Murray, 1999.

## CHINA

# Determinando la Local Latitud local en el Planetario de Beijing

**Dongni Chen**  
Beijing Planetarium

Experimento desarrollado en el Planetario de Beijing por Dra. Dongni Chen; Sr. Jun Miao y Sr. Fengyue Zhang el 16 de marzo de 2022.

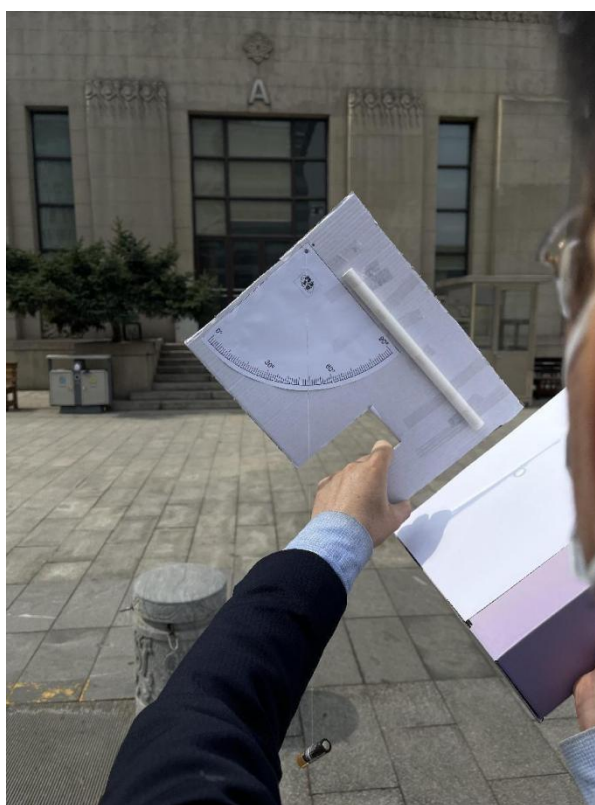


Fig. 1: Sr. Miao determinando la altura del Sol

Siguiendo unas sencillas instrucciones, que se pueden encontrar en la web de NASE ([www.naseprogram.org](http://www.naseprogram.org)), encontramos que es posible determinar la latitud de Beijing de forma similar a como lo lograron hace siglos Colón, Magallanes o Elcano. en sus viajes por el Atlántico y el Pacífico. Los datos se enumeran en la Figura 3. Estamos seguros de que los estudiantes de primaria son capaces de hacer esto con mucha diversión.

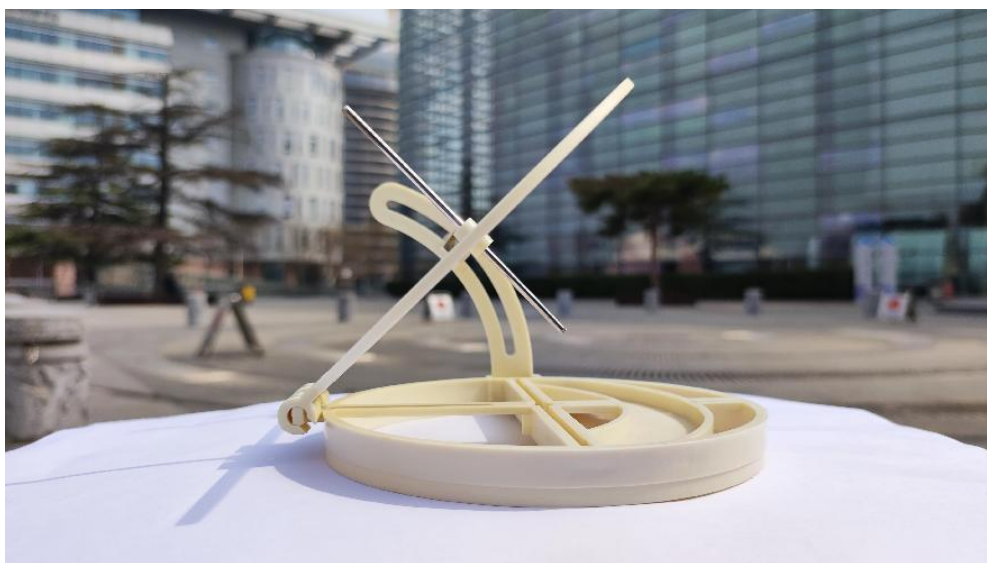


Fig2: The sundial made by Beijing Planetarium

观测结果

位置 (城市、国 家或地区)	日期	时刻	太阳赤纬	利用北极星 观测得到的地理 纬度	测量得到的太阳 地平高度	利用太阳观测 得到的地理纬 度	真实的地 理纬度
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:15	-1.8°		49.0°	39.2°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:16	-1.8°		48.5°	39.7°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:17	-1.8°		48.2°	40.0°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:18	-1.8°		48.6°	39.6°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:17	-1.8°		49.1°	39.1°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:20	-1.8°		47.8°	40.4°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:21	-1.8°		48.1°	40.1°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:22	-1.8°		48.2°	40.0°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:23	-1.8°		48.4°	39.8°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:24	-1.8°		48.0°	40.2°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:25	-1.8°		48.0°	40.2°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国	2022.3.16	12:26	-1.8°		47.8°	40.4°	39.9°
北京天文馆 北京, 中国							
北京天文馆 北京, 中国							
北京天文馆 北京, 中国							
北京天文馆 北京, 中国							
北京天文馆 北京, 中国							
北京天文馆 北京, 中国							
北京天文馆 北京, 中国							

观测人员: 隋军, 张明

Fig3: The table of our data

## References

- 14 Steps to the Universe, 2nd. Edition. Eds. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.

## MONGOLIA

# Mapeando la ruta del intercambio cultural que ocurrió a lo largo de la Ruta de la Seda

**Tsolmon Renchin y Altangerel Balgan**

University of Mongolia

En 2022 el programa NASE propone volver a sus orígenes, invitando a todos a participar del proyecto “ruta de la seda” y navegar por sus latitudes dado que Mongolia se encuentra entre latitudes entre la red de la Ruta de la Seda.

Como cuenta la historia, el Imperio Mongol juega un papel e influencia significativos en la historia de las Rutas de la Seda. El imperio mongol data de los siglos XIII y XIV, habiendo alcanzado su punto máximo de expansión después de que el sucesor de Genghis Khan, Ögedei Khan, tomara el poder en 1229. Hizo del Imperio mongol el imperio terrestre contiguo más grande de la historia. Este alcance geográfico masivo permitió al Imperio ofrecer a las Rutas de la Seda un comercio más seguro y organizado en toda su tierra. Esto permitió que florecieran las rutas terrestres. Alrededor de la década de 1350, el imperio comenzó a colapsar. Finalmente, una vez que lo hizo, las rutas comerciales de las Rutas de la Seda perdieron su seguridad y el interés comercial se desplazó hacia las rutas marítimas. Como resultado de este importante papel político y de seguridad, los mongoles estaban fuertemente involucrados en la red de Rutas de la Seda. Los mongoles tienen un historial de ser un pueblo nómada, incluidos muchos que se dedicaban al comercio a lo largo de las Rutas de la Seda. Las principales ciudades a lo largo de las Rutas de la Seda fueron Karakorum y Ulaanbaatar, la capital de Mongolia en la actualidad. Ulaanbaatar es especialmente importante para demostrar la inclusión de Mongolia en la red de Rutas de la Seda. Fue considerado un lugar muy importante para el budismo, con el estatus de segundo más santurrón, detrás de Lhasa. Uno encontraría un gran templo budista para marcar la presencia de una comunidad budista, una religión que fue traída a Mongolia por el intercambio de pensamientos, ideas y creencias como resultado de las Rutas de la Seda (<https://en.unesco.org/> / ). A partir de esto, se puede ver que Mongolia era miembro de la red de rutas de la seda antes del siglo XVI. Todavía hay actividades para la Ruta de la Seda en Mongolia. Por ejemplo, en octubre de 2016 se celebró en Ulaanbaatar, Mongolia, la Conferencia Internacional de la Ruta de la Seda sobre "Turismo nómada y ciudades sostenibles". un nuevo producto de marca turística, y sensibilizar sobre la necesidad de conservar y proteger el patrimonio nómada. Durante la conferencia, se realizaron numerosas presentaciones interesantes sobre la conservación y protección del patrimonio ambiental, histórico y cultural de las naciones de la Ruta de la Seda y los delegados intercambiaron conocimientos sobre el desarrollo sostenible del turismo..(<https://en.unesco.org/silkroad/content/international-silk-road-conference->

[nomadic-tourism-and-sustainable-cities](#)). Hay muchas actividades educativas sobre las redes de la ruta de la seda en el mundo.

NASE es un programa para posgraduados. El principal objetivo de NASE es formar nuevas generaciones de docentes y reeducar a los actuales. Los temas del curso NASE son los siguientes: astronomía de posición, sistema solar, exoplanetas, espectrografía, fotometría, espectroscopia, determinación de magnitudes absolutas, potencia de las estrellas, nucleosíntesis, evolución estelar y cosmología. El objetivo principal es establecer en cada país un grupo local de miembros de NASE que sigan impartiendo “el curso básico de NASE” cada año y creen nuevos cursos utilizando materiales de NASE. (<http://sac.csic.es/astrosecundaria/es/Quienes-somos.php>). NASE está iniciando un maravilloso proyecto educativo que permitirá a las personas volver a la Ruta de la Seda y realizar mediciones de Latitud para viajar y navegar.



Fig. 1: Durante la clase para la navegación.



Fig. 2: Actividad de divulgación para el público.



Fig. 3: Conferencias sobre la participación en proyectos para maestros de escuela.



Los maestros y estudiantes de las escuelas mongolas están involucrados en este proyecto NASE y comenzaron a navegar por las latitudes de la ruta de la seda. Aprenderán cómo la Ruta de la Seda ayudó a los intercambios globales. El Proyecto les permitirá revisar civilizaciones. Los estudiantes entenderán acerca de la red de la Ruta de la Seda. Pueden hacer una discusión sobre las antiguas rutas comerciales. Tendrán la oportunidad de mapear la ruta y discutir la importancia del intercambio cultural que ocurrió a lo largo de la Ruta de la Seda y cómo el intercambio global continúa en su región hoy.

## Referencias

- <https://en.unesco.org/>
- <https://en.unesco.org/silkroad/content/international-silk-road-conference-nomadic-tourism-and-sustainable-cities>
- <http://sac.csic.es/astrosecundaria/en/>

## IRAN

### Ruta de la Seda y Latitud Local

Parham Eivandi, Mahdi Rokni, Rahimeh Foroughi,  
Fatemeh Salimi, Samaneh Tafazolinia, Siavash Eivandi,  
Fatemeh Baghbani and Anahita Zadsar  
Iranian Teachers Astronomy Union - ITAU

La Ruta de la Seda atraviesa el mar y la tierra y de este a oeste a través de Irán. Los comerciantes en el antiguo Irán usaban herramientas astronómicas para navegar de día y de noche.



Fig. 1: Antiguos instrumentos astronómicos

En los cursos de NASE los profesores elaboran herramientas sencillas pero prácticas, es posible determinar la latitud del lugar donde se encuentran de manera similar a como iban los antiguos, en su camino.

En una reunión antes de tomar medidas para los arreglos y hacer experimentos con los estudiantes, los maestros expresaron sus ideas para los mejores y más atractivos experimentos, algunos de los cuales no pudimos hacer debido a eventos impredecibles. Pero para realizar experimentos simultáneamente y en diferentes puntos, nos

encontramos con diferentes arreglos y desafíos. Uno de ellos el feriado de Nowruz y tras la reapertura de las escuelas en plena Pandemia Covid 19 es momento propicio para llevar a cabo el proyecto.



Fig. 2: Preparación de los instrumentos de observación



Fig. 3: Obtención de la altitud del Sol en el mediodía solar

El clima nublado en primavera, el polvo y el viento fueron algunos de los otros desafíos que retrasaron el momento del experimento.

Estos experimentos se realizaron en el sur de Irán, en la provincia de Bushehr, a altas temperaturas. La situación era difícil para los estudiantes, pero aun así realizaron los experimentos con interés y entusiasmo. Los profesores se reunieron nuevamente y presentaron varias ideas en esa reunión, que podrían armar en un momento apropiado para los estudiantes.



Fig. 4: Prepared with all the instruments.

## References

- 14 Pasos hacia el Universo, 2nd. Edition. Eds. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.

# **La vuelta al mundo de Fernando Magallanes y Juan Sebastián Elcano**



## La determinación de la latitud en tiempos de la expedición Magallanes-Elcano

**César Esteban**

Departamento de Astrofísica, Universidad de La Laguna  
Instituto de Astrofísica de Canarias

La expedición Magallanes-Elcano, realizada entre 1519 y 1522, completó la primera circunnavegación de la Tierra y fue la travesía más larga y una de las más accidentadas de las realizadas durante la época de expansión marítima llevada a cabo por Portugal y España durante los siglos XV y XVI. Fruto de esta expedición se inauguró un comercio marítimo verdaderamente global, conectando las principales áreas geográficas habitadas del planeta, constituyendo la demostración definitiva de la redondez de la Tierra. La astronomía constituyó un elemento esencial y estratégico en la expansión marítima europea como herramienta en la determinación de la posición de los buques y de los nuevos territorios descubiertos así como en el trazado de los rumbos de navegación.

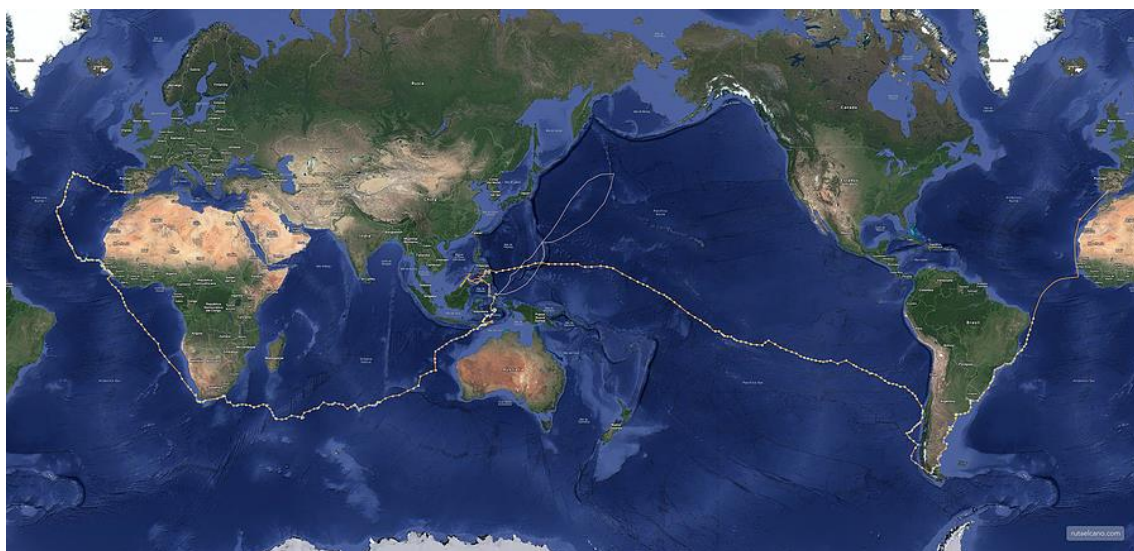


Fig. 1: Ruta de la Expedición Magallanes-Elcano. Obtenida de <http://www.rutaelcano.com>

La expedición Magallanes-Elcano, financiada por el Reino de España, partió de Sevilla el 10 de agosto de 1519 y fue dirigida inicialmente por el navegante portugués Fernão de Magalhães, que falleció en combate en las Islas Filipinas el 27 de abril de 1521. El retorno lo lideró el marino español Juan Sebastián Elcano que regresó a Sevilla tres años más tarde, el 8 de septiembre de 1522. El objetivo de la expedición era comercial, abrir una ruta alternativa hacia las islas de las especias (las actuales Islas Molucas) que

permitiera a los españoles alcanzar dichos territorios sin atravesar el área de influencia portuguesa delimitada por el Tratado de Tordesillas de 1494. Inicialmente, la expedición estuvo formada por 5 navíos de entre 75 y 120 toneladas y unos 243 tripulantes pero solo volvió uno de los buques, la Victoria, con 18 hombres a bordo. Durante la expedición fallecieron 127 hombres, un 52% de la tripulación original.

En la navegación oceánica, cuando navegamos lejos de la costa, hay varias actividades fundamentales, como la determinación de la posición del buque en cada momento, el mantenimiento de su rumbo, y la estimación de la distancia recorrida. En las embarcaciones europeas en la época de la expedición Magallanes-Elcano, la persona encargada de estas actividades era el piloto, el tercero en la jerarquía de la tripulación tras el capitán y el maestro. Al ser un cargo muy técnico, exigía preparación y experiencia, por lo que debían cursar estudios de matemáticas, astronomía y cosmografía y aprender el uso de los instrumentos de navegación.

En la tripulación inicial de la expedición Magallanes-Elcano había seis pilotos, de los que sólo sobrevivirá uno, volviendo a España con el buque San Antonio, que abandonó la flota en el Estrecho de Magallanes y, por lo tanto, no completó la circunnavegación. Entre los 18 supervivientes que regresan en la Victoria solo figura Francisco Albo como piloto, que ostentaba el puesto de contraalmirante de la Trinidad en el momento de la partida de la flota. Albo escribirá un cuaderno de bitácora de una parte del viaje, desde las costas de Brasil hasta el regreso a España, donde detalla las medidas de latitud así como detalles geográficos, climáticos y económicos de los distintos lugares por donde navegaba la expedición.

Para situar un punto sobre la superficie terrestre debemos proporcionar dos coordenadas: latitud y longitud. A comienzos del siglo XVI sólo era posible determinar con cierta precisión la latitud. Hubo que esperar hasta bien entrado en siglo XVIII para poder determinar la longitud durante navegaciones marítimas, cuando los cronómetros mecánicos comenzaron a ser suficientemente estables y precisos.

### **Determinación de la latitud en los buques europeos del siglo XVI**

La latitud se podía obtener de dos maneras, la primera a partir de la medida de la altura de la estrella Polar sobre el horizonte y, la segunda, midiendo la altura del Sol, también sobre el horizonte, a su paso por el meridiano local del buque. La estrella Polar es una estrella relativamente brillante situada muy cerca del polo norte celeste que solo será observable mientras nos mantengamos en el hemisferio septentrional. En esta zona de la Tierra, la latitud coincidirá con el ángulo que forma el polo norte celeste con el horizonte. A comienzos del siglo XVI, la estrella Polar se encontraba a unos 3.5° del polo (en la actualidad está a menos de 1°) por lo que, si se quería calcular la latitud de forma precisa, se debía corregir la altura de la Polar de esta desviación, que es variable y depende del momento del día en que tomemos la medida. Como sabemos, la Tierra gira sobre su eje y las estrellas (incluida la Polar) describen una trayectoria circular alrededor del polo celeste con un periodo de unas 24 horas.



La corrección que se debía aplicar a la altura medida de la estrella Polar para determinar la latitud se determinaba usando una serie de reglas conocidas como el “Regimiento del Norte”. Éstas se basaban en estimar la diferencia de altura entre dicha estrella y el polo mediante la observación de la posición relativa de las estrellas denominadas “Guardas de la Polar”, generalmente se usaba Kochab, la estrella más brillante de la Osa Menor, constelación de la que también forma parte la Polar. Se dividía mentalmente la zona del cielo alrededor del polo norte en ocho sectores de igual tamaño separados por ocho radios centrados en la posición del polo (Figura 2) y se estimaba sobre cuál de estos radios se encontraba la línea que conectaba Kochab con la Polar (que iba variando a lo largo de la noche) y se sumaba o restaba una corrección que podía variar entre 0.5° y 3.5°. Para hacer más gráfica la aplicación del “regimiento” se imaginaba la posición de las “guardas” con respecto a la figura de un hombre centrado en el polo y con los brazos extendidos. Según su posición respecto a la cabeza, los pies o el brazo izquierdo o derecho se escogía el valor y el signo de la corrección. La latitud se calculaba entonces aplicando la relación:  $\text{latitud} = \text{altura de la Polar} + \text{corrección}$ .

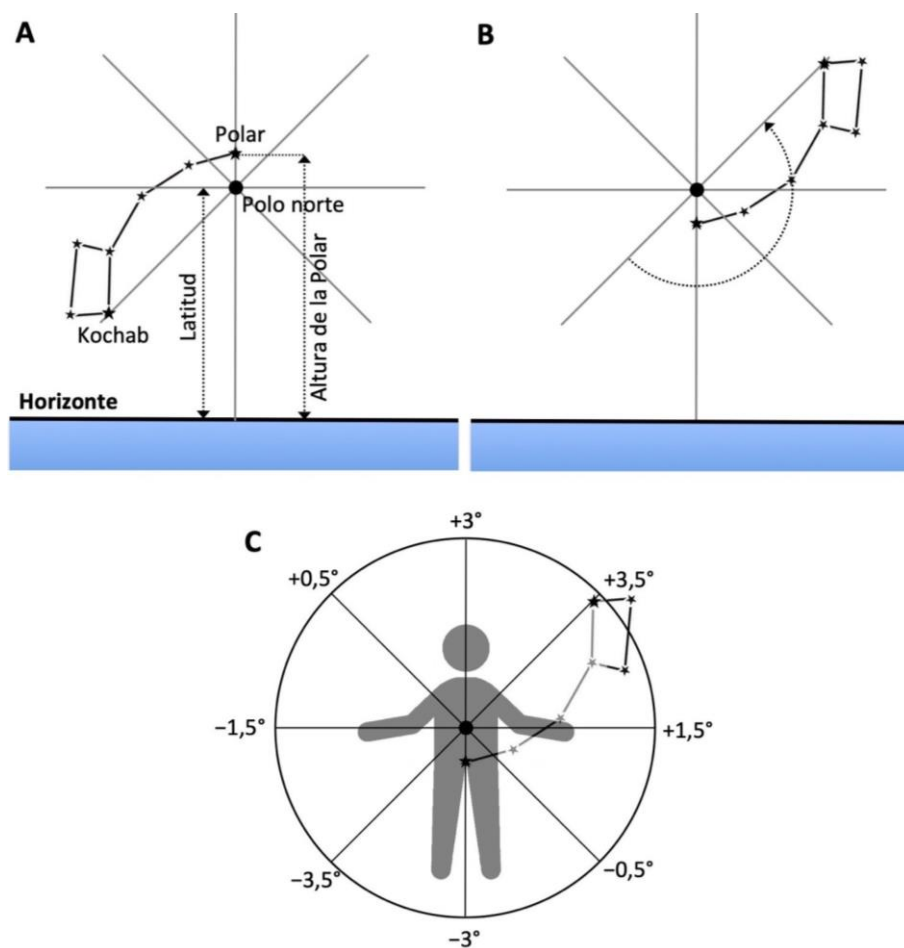


Fig. 2: Descripción gráfica del “Regimiento del Norte”, usado para estimar la corrección necesaria para obtener la latitud a partir de la altura de la estrella Polar según la posición relativa de las estrellas Kochab y Polar (ambas en la constelación de la Osa Menor), cambiando según el momento de la noche en que se observara. Adaptada de las figuras 21, 2b y 3 de Pereira (2002).

La determinación de la latitud mediante la altura de la estrella Polar solo podía realizarse de noche y desde el hemisferio norte. El método basado en la medida de la altura del Sol no tenía esas limitaciones. El principio es bastante simple pues, como ya se dijo, la latitud corresponde a la altura del polo celeste con respecto al horizonte pero, por simetría, también coincide con el ángulo definido entre el cénit y el ecuador celeste medido a lo largo del meridiano (ver Figura 3). Como de día no podemos determinar dónde se encuentran ni el polo ni el ecuador, este problema lo podemos resolver usando tablas diarias de la posición del Sol. En la época de la expedición Magallanes-Elcano se utilizaban las *Tablas alfonsíes*, que formaban parte de los *Libros del saber de astronomía* de Alfonso X el Sabio y proporcionaban la declinación solar diaria para un periodo de 4 años.

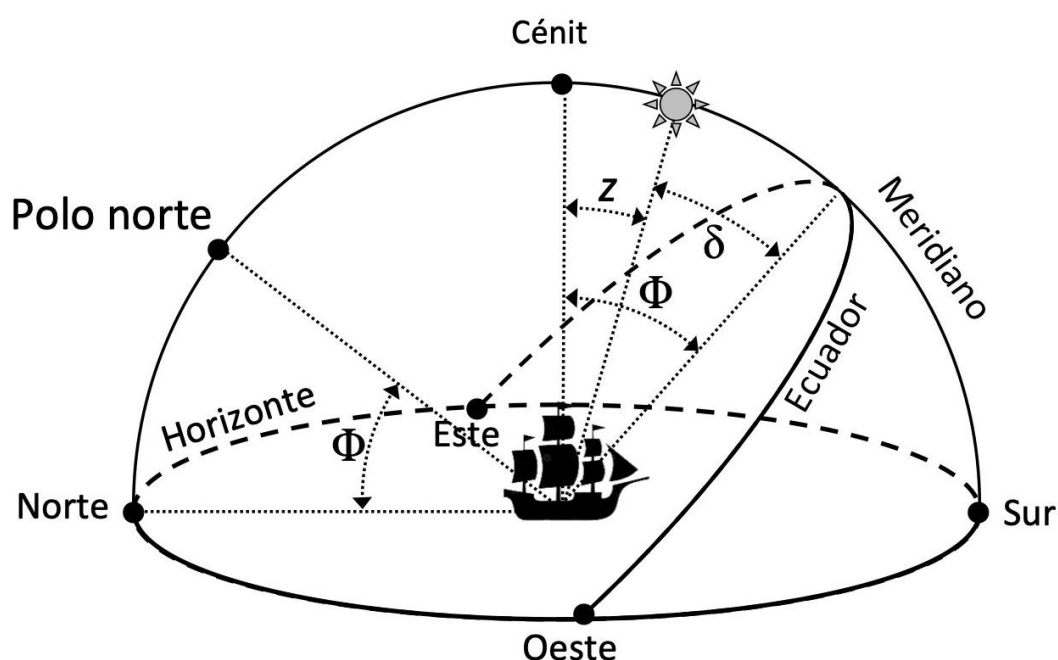


Fig. 3: Relación geométrica entre la declinación ( $\delta$ ) solar, distancia cenital ( $z$ ) del Sol y latitud ( $\Phi$ ) de una embarcación navegando en el hemisferio norte.

Una vez conocida la declinación ( $\delta$ ) solar en el día de la observación, se medía la altura del Sol ( $h$ ) (o su ángulo complementario, la distancia cenital:  $z = 90^\circ - h$ ) a lo largo del meridiano, por lo que la latitud ( $\phi$ ) la calculamos aplicando la relación:  $\phi = \delta + 90^\circ - h$  en la disposición mostrada en la Figura 3. Ahora bien, según el momento del año y hemisferio en que se encontrara la nave, la posición relativa del ecuador, el Sol y la nave podría ser diferente, por lo que los signos que se debían emplear para combinar los diferentes ángulos eran también diferentes. En el denominado “Regimiento del Sol” se recogían una serie de reglas con las que los pilotos podían calcular la latitud en cada disposición particular.

### **Instrumentos para determinar la latitud**

En la Europa del siglo XVI, se disponía de varios instrumentos para medir la altura de los astros durante la navegación y, por lo tanto, determinar la latitud. El primero de ellos fue el cuadrante náutico, usado al menos desde 1461 según las referencias del navegante portugués Diogo Gomes (Pereira, 2000: 7). Aunque ya se usaba en tierra desde los tiempos del astrónomo griego Ptolomeo, su diseño se basa en cuadrantes portátiles introducidos en Europa por astrónomos árabes durante el siglo XIII. Consiste en una placa metálica con forma de cuarto de círculo que dispone de un arco graduado y de cuyo centro cuelga una plomada que nos indica la vertical. Uno de los lados rectos del cuadrante dispone de dos pínulas (plaquitas agujereadas) con las que se apuntaba una estrella o el Sol. La intersección del hilo de la plomada con el arco graduado proporciona la altura del astro sobre el horizonte. Un esquema de este instrumento y de su aplicación se muestra en la Figura 4. Estabilizar el cuadrante durante la navegación era difícil, sobre todo en observaciones nocturnas, por lo que pronto fue sustituido por otros instrumentos. Pereira (2000: 49), llevó a cabo un estudio estadístico de la precisión de este instrumento a partir de medidas obtenidas por varios observadores usando réplicas modernas del cuadrante desde buques de la armada portuguesa, obteniendo determinaciones de la latitud con errores medios de 17 minutos de arco ( $0,28^\circ$ ), que corresponden aproximadamente a un error de unos 29 km en la posición de la nave a lo largo del meridiano del observador.

El astrolabio náutico ya era conocido desde finales del siglo XV. La primera descripción de su estructura y manejo aparece en 1551, en *Arte de navegar*, una obra del cosmógrafo español Martín Cortés de Albacar. Este instrumento se basa en un círculo graduado metálico que se cuelga de una anilla sujeta con la mano, por lo que el eje vertical del instrumento definía la perpendicular al horizonte. El sistema de medida se basaba en una varilla metálica o alidada que giraba sobre el centro del disco y que disponía de dos pínulas con la que se apuntaba hacia una estrella o el Sol. Según Pereira (2000: 10-12), el astrolabio era más estable que el cuadrante debido a su mayor peso y era más cómodo para las observaciones nocturnas. Con este instrumento, Pereira (2000: 10-12) obtiene errores promedio en la determinación de latitudes de unos 12.4 y 18 minutos de arco ( $0,21^\circ$  y  $0,3^\circ$ ) en observaciones diurnas y nocturnas, respectivamente, que corresponden a errores de entre 21 y 31 km en la posición.

El tercer instrumento dedicado a medir alturas era la ballestilla, que apareció en la primera mitad del siglo XVI. Su diseño es muy simple y solo podía utilizarse para medir estrellas cuando el horizonte era visible, es decir, al atardecer o en noches iluminadas por la Luna. Consistía en una vara graduada (virote) de alrededor de un metro de longitud sobre la cual se deslizaba otra vara perpendicular más corta (levador o sonaja, ver Figura 4). Para determinar alturas, se colocaba el extremo del virote frente al ojo y se deslizaba el levador hasta que su parte inferior coincidía con el horizonte y la superior con el astro a medir. En sus medidas con réplicas modernas de la ballestilla, Pereira (2000: 17-25) obtiene errores promedio de la latitud del orden de 5 minutos de arco ( $0,08^\circ$ ), determinaciones más precisas que con el cuadrante o el astrolabio. Esos errores en altura se traducen en incertidumbres de solo 9-10 km en la posición.

El análisis de las anotaciones del cuaderno de bitácora realizadas por el piloto Francisco Albo durante el paso del estrecho de Magallanes nos indica un error de 20 minutos de arco ( $0,33^\circ$ ) en sus determinaciones de la latitud, que se traduce en una incertidumbre de unos 35 km en la posición. Como vemos, un error similar al obtenido por Pereira (2000) a partir de medidas actuales obtenidas con cuadrante o astrolabio. Estos tres instrumentos descritos se utilizaron hasta el siglo XVIII, en que fueron sustituidos por instrumentos de reflexión como el octante y el sextante.

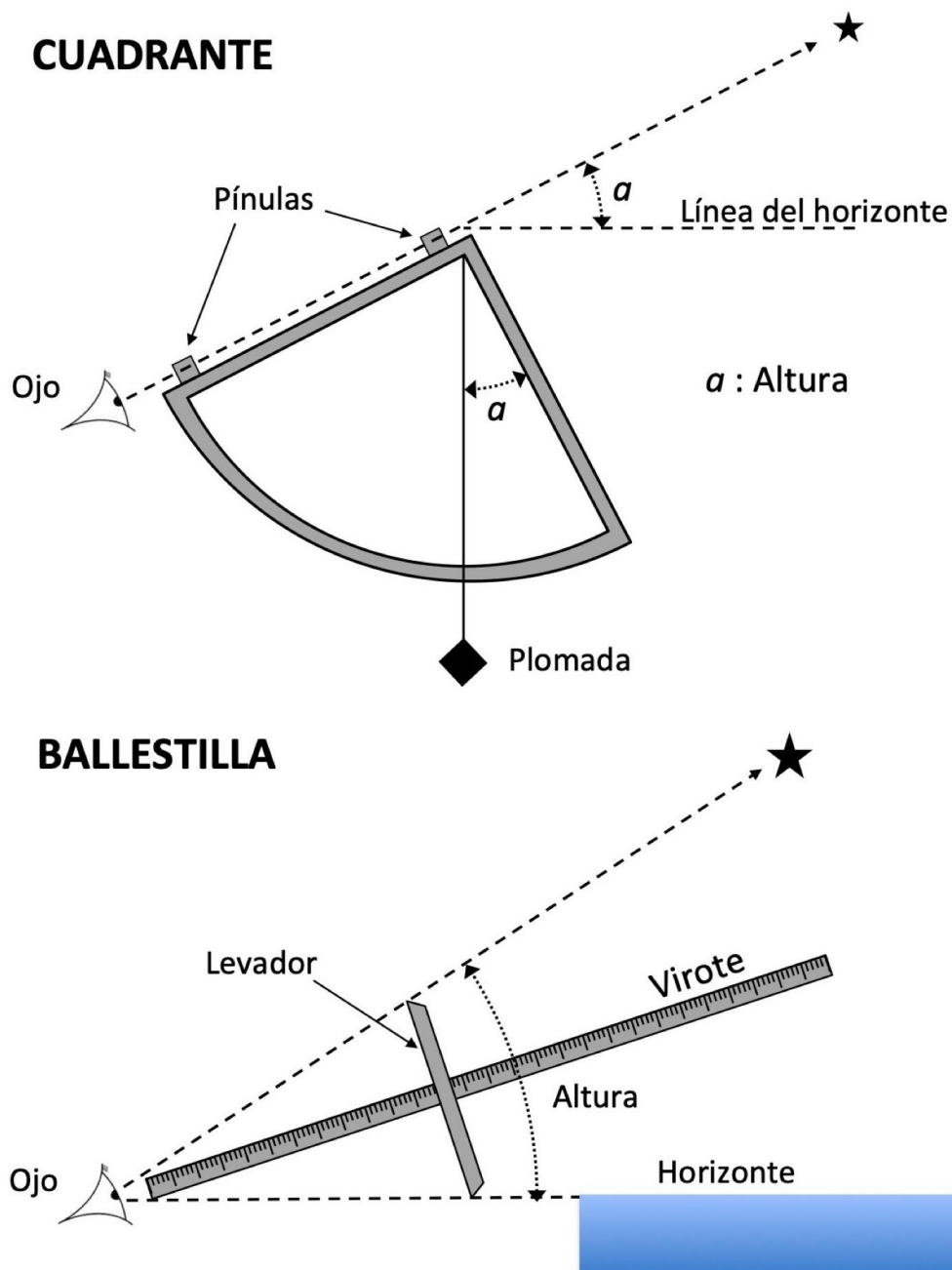


Fig. 4: Estructura y funcionamiento del cuadrante náutico y de la ballestilla, instrumentos empleados por los pilotos europeos de comienzos del siglo XVI para determinar la altura de un astro sobre el horizonte.

### **Descubriendo los cielos australes**

Los pilotos portugueses y españoles que guiaron la nave de la expansión marítima de los siglos XV y XVI tuvieron que enfrentarse al problema de perder de vista la estrella Polar al acercarse al ecuador y adentrarse en las aguas del hemisferio sur. La flota de Magallanes lo hizo en noviembre de 1519, navegando entre África occidental y Brasil. El principal cronista de la expedición, el italiano Antonio Pigafetta, comenta que: «Cuando hubimos pasado la línea equinoccial, acercándonos al polo antártico, perdimos de vista la estrella polar» (Pigafetta, 2012: 14). Desde entonces, los pilotos solo pudieron usar el Sol para determinar la latitud. Sobre el cielo austral, Pigafetta nos dice: «El polo Antártico no goza de las mismas constelaciones que el Ártico...» (Pigafetta, 2012: 37), por lo que tuvieron que aprender a localizar y distinguir nuevas constelaciones. Por otra parte, en el cielo del sur no existe una estrella de referencia análoga a la Polar pues la zona alrededor del polo sur celeste carece de estrellas brillantes. El avistamiento de la llamativa constelación de la Cruz del Sur se describe así: «Hallándonos en el medio del mar, descubrimos hacia el oeste cinco estrellas muy brillantes colocadas exactamente en forma de cruz» (Pigafetta, 2012: 37), pero se encuentra bastante alejada (unos 25º) del polo por lo que no resulta sencillo usarla para determinar latitudes australes. Finalmente, Pigafetta también describe la presencia de dos pequeños objetos nebulosos no muy alejados del polo sur: «...viéndose en él dos grupos de pequeñas estrellas nebulosas que parecen nubecillas, a poca distancia uno de otro.» (Pigafetta, 2012: 37). El cronista se refiere a las que mucho más tarde serán conocidas como Nubes de Magallanes (la Gran y la Pequeña Nube de Magallanes). Dos galaxias irregulares enanas satélites de nuestra Vía Láctea situadas a 160.000 y 200.000 años luz del Sol.

### **La navegación estelar tradicional en Oceanía**

Entre los grandes logros de la expedición Magallanes-Elcano cabe destacar el descubrimiento y navegación del que bautizaron como océano Pacífico para la civilización occidental. Tras recorrer la costa oriental de Sudamérica, descubrieron el paso entre los océanos Atlántico y Pacífico, al que se conocerá posteriormente como estrecho de Magallanes. Tardaron 36 días en explorarlo y recorrerlo, abandonándolo el 28 de noviembre de 1520. Tras 100 días sin tocar tierra, atravesaron miles de kilómetros de un océano totalmente nuevo y desconocido para los europeos. Durante esos días, los tripulantes de la expedición avistaron únicamente dos islas deshabitadas sin poder desembarcar en ellas, motivo por las que las llamaron Infortunadas. La primera corresponde posiblemente con el atolón de Puka Puka, en el archipiélago Tuamotu (Polinesia Francesa). A la segunda se le ha identificado con la actual Flint, en la República de Kiribati.

El 6 de marzo de 1521, cuando las condiciones en los tres buques supervivientes de la expedición eran ya desesperadas, avistaron dos islas altas, Guam y Rota, inicialmente denominadas islas de las Velas Latinas por el tipo de canoa que manejaban con destreza

sus habitantes, los chamorros. Aunque pronto pasaron a llamarlas islas de los Ladrones, pues los isleños, maravillados por los utensilios de metal de que disponían los europeos, robaban todo lo que se ponía a su alcance. Finalmente, el archipiélago acabará siendo conocido como islas Marianas, en honor a la segunda esposa del rey de España Felipe IV, Mariana de Austria, que en 1668 financió su evangelización y conquista bajo la dirección del jesuita Diego Luis de San Vitores. Dichas islas, constituyeron el primer enclave europeo de Oceanía, donde se levantó la primera iglesia y se fundó la primera escuela del continente. Estuvieron bajo control español hasta 1899, en que fueron vendidas a Alemania, excepto la más grande y poblada, Guam, que fue ocupada por Estados Unidos en 1898, durante la guerra hispano-estadounidense.

La estancia de tres días de la expedición de Magallanes-Elcano en las Marianas supuso el primer contacto directo de los europeos con una cultura insular oceánica. En dichos momentos, la mayoría de las islas del Pacífico estaban habitadas (la totalidad si consideramos las de mayor tamaño). Su colonización se llevó a cabo mediante expediciones marítimas que alcanzaron los distintos archipiélagos de oeste a este, con origen en el sudeste asiático e islas como Taiwán o Filipinas. Melanesia y Micronesia se comenzaron a poblar alrededor del 3000 a.C. y las islas más externas de Polinesia, como Hawái, Nueva Zelanda o Rapa Nui, acabaron de ocuparse alrededor del 1000 d.C. Los europeos y los oceánicos que se encontraron a principios del siglo XVI compartían la habilidad de la navegación y el uso de las estrellas para desplazarse por el océano, aunque de forma diferente.

La mayoría de los archipiélagos del Pacífico se encuentran situados alrededor del ecuador, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, es decir, su latitud (positiva o negativa) suele ser pequeña. Este hecho supone que el movimiento de una estrella sobre la esfera celeste describe una trayectoria casi perpendicular al horizonte, por lo que su posición ascendente (hacia el este) o descendente (hacia el oeste) puede usarse como un indicador fiable de rumbo durante varias horas. En latitudes más elevadas como las europeas esto no es así, pues las trayectorias de las estrellas son oblicuas respecto al horizonte y no indican un rumbo fijo. Esta propiedad de las estrellas a latitudes bajas fue un elemento fundamental para los navegantes pre-europeos de Micronesia y Polinesia.

La navegación tradicional se mantiene todavía en algunos atolones de las islas Carolinas (Estados Federados de Micronesia) como Satawal o Puluwat y ha sido estudiada por diversos autores como Goodenough (1953), Gladwin (1970) o Lewis (1994). En los atolones, los pilotos micronesios, los navegantes, son miembros importantes de la comunidad y aprenden sus técnicas durante años en la “casa de canoas”, donde el estudio de la posición y el movimiento de las estrellas y otros astros sobre el cielo se considera una rama fundamental del arte de la navegación.

Los navegantes carolinos usan la brújula estelar o sidérea (Figura 5) para definir los rumbos de navegación entre islas. Se representa como una circunferencia con 32 puntos, que se corresponden con los lugares del horizonte en donde se produce el orto, ocaso o culminación de 15 estrellas o asterismos relevantes del cielo. En esta brújula encontramos las Pléyades, la Cruz del Sur, la Osa Mayor o el Cinturón de Orión, y

también estrellas brillantes como Aldebarán, Altair, Antares o Vega. Los 32 puntos de la brújula estelar cubren todo el horizonte de forma simétrica respecto al eje norte-sur aunque no están equiespaciados.

Durante su aprendizaje, los navegantes carolinos memorizan el conjunto de estrellas que, según salen o se ponen, marcan el rumbo hacia cada una de las islas que conocen y con las que mantienen contacto, así como toda la información que sobre vientos y corrientes marinas han ido recopilando durante generaciones. Podemos decir que los navegantes carolinos disponen de un conocimiento completo del firmamento en cada momento, pues no sólo son capaces de seguir el rumbo apuntando su proa hacia una estrella guía sino que, cuando ésta no puede verse por la presencia de nubes, pueden utilizar cualquier otra que sea visible manteniéndola fija respecto a cualquier estructura de la canoa y con el ángulo apropiado en relación al rumbo deseado.

### Ocisos estelares

### Ortos estelares

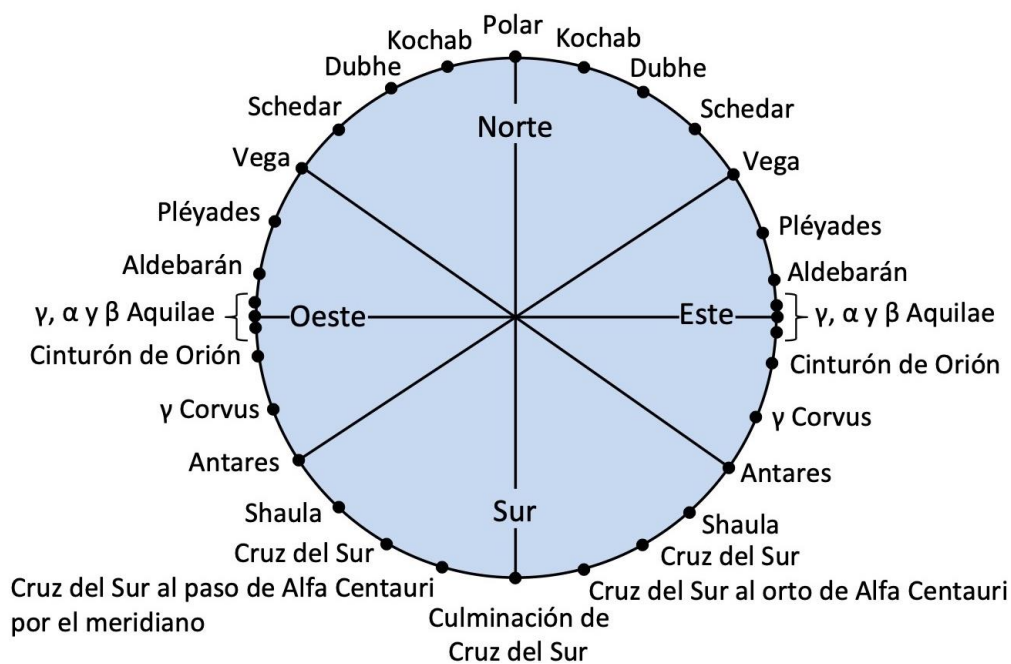


Fig. 5: Brújula estelar de 32 puntos basada en ortos, ocisos y culminaciones de estrellas o asterismos brillantes usada por los navegantes tradicionales de las islas Carolinas. Adaptada de Goodenough (1953: Figura 2).

Los navegantes carolinos también utilizaron el concepto de estrella cenital (Lewis, 1994: 287-289), que corresponde a la estrella (o estrellas) que culmina en el cénit de una determinada isla (dependiendo de su latitud), cosa que se comprobaba mediante la observación de la posición de la estrella en relación a la punta del mástil. Este concepto también se aplicaba para conocer la situación de la embarcación, sobre todo en viajes largos.

En la navegación tradicional del Pacífico también se utilizan otros indicadores secundarios de rumbo. Los puntos de orto u ocaso del Sol también se utilizan pero, como su posición es variable a lo largo del año, éstos se calibran con observaciones estelares durante la noche anterior o posterior. La brújula magnética se usa desde la llegada de los europeos, pero sobre todo durante el día o cuando está nublado, aunque también se calibra con observaciones estelares. Otra técnica mucho más sutil es la estimación del rumbo respecto la dirección del mar de fondo, olas de baja frecuencia y pequeña amplitud que suelen tener una dirección constante en determinadas áreas geográficas y momentos del año (Lewis 1994: 130).

Las técnicas de navegación tradicionales han experimentado un renacimiento en Oceanía en los últimos 50 años, especialmente en Hawái, fomentado sobre todo por la *Polynesian Voyaging Society*, sociedad dedicada a la investigación y la divulgación de dichas técnicas. En 1975 construyeron una gran canoa de doble casco siguiendo métodos antiguos polinesios: *Hokule'a* (“Estrella de la Alegría”, nombre hawaiano de la estrella Arturo). En su primer viaje navegó desde Hawái a Tahití, recorriendo 4200 km en algo más de un mes, aplicando únicamente técnicas tradicionales y sin usar instrumentos modernos. Los nuevos navegantes hawaianos tuvieron que aprender las técnicas de los maestros de los atolones carolinos, como Mau Piailug, de la isla de Satawal o Hipour, de Puluwat. Entre 1976 y 2009, *Hokule'a* realizó diversos viajes oceánicos de miles de kilómetros partiendo desde Hawái y visitando Samoa, las Islas Cook, Nueva Zelanda y las costas de Japón, Canadá o Estados Unidos. En 2014, la *Hokule'a* y su canoa hermana *Hikianalia* (nombre hawaiano de la estrella Spica) emprendieron un viaje de tres años alrededor del mundo. En la actualidad, la navegación tradicional se ha convertido en un elemento de confraternización y reafirmación cultural entre los habitantes de las distintas islas de Polinesia y Micronesia, una relación que vuelve a extenderse a lo largo de rutas oceánicas guiadas por las estrellas.

## Referencias

- Gladwin, T. (1970). *East is a Big Bird. Navigation and Logic on Puluwat Atoll*. Harvard University Press.
- Goodenough, W. H. (1953). *Native Astronomy in the Central Carolines*. The University Museum. University of Pennsylvania.
- Lewis, D. (1994). *We, the Navigators. The Ancient Art of Landfinding in the Pacific*. Second Edition. University of Hawai'i Press.
- Pereira, J. M. M. (2000). *Experiências com instrumentos e métodos antigos de navegação*. Academia de Marinha.
- Pereira, J. M. M. (2002). *East and West encounter at the sea*. Academia de Marinha
- Pigafetta, A. (2012). *Primer viaje alrededor del globo*. Fundación Civilter.



## BENIN

### Obtención de la Latitud en Benin

Pide Aristide Ahanhanzo

Collège d'enseignement général secondaire d'Akpassa

Hemos preparado a los alumnos de primaria de la escuela pública Médédjonou Sème Tchakou y a los alumnos de secundaria del Collège d'enseignement général secondaire d'Akpassa durante varios días. Comenzamos a preparar el experimento los días 8, 12, 19 y 20 de marzo con el objetivo de que los alumnos comprendieran bien todo el proceso a desarrollar.



Fig. 1: Preparando el experimento con el reloj solar y el cuadrante.

Para ello construimos el reloj solar y el cuadrante y realizamos varios ensayos con los estudiantes para que entendieran su uso.

Antes de tomar la altura del Sol al medio día, hay que determinar dicho instante. En primer lugar comprobamos que la hora de nuestro reloj o del móvil coincide con la del

reloj ecuatorial que da la hora solar. Así que se puede proceder a calcular la altura del Sol al medio día usual.



Fig. 2: Ensayando con el cuadrante



Fig. 3: Usando el cuadrante para determinar la altura del Sol.



Fig. 4: Determinación de la altura del Sol en marzo de 2022

Para determinar la latitud local el día 19 de marzo de 2022 al mediodía la altura del Sol fue de  $81^\circ$  y la declinación del Sol era  $D = -1^\circ$ . Las medidas se tomaron el 19 de marzo 2022, por lo tanto en invierno

Altura (H) del sol =  $81^\circ$   
Declinación  $D = -1^\circ$

La latitud (L) cumple  $L = 90 - H - |D| = 90 - 81 - 1 = 8^\circ$

La latitud de Benín está comprendida entre  $6^\circ\text{N}$  y  $9^\circ\text{N}$ , así que el resultado es razonable.

## Referencias

- 14 Pasos hacia el Universo, 2nd. Edition. Eds. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.

## TOGO

# Diseño de un reloj de Sol ecuatorial y un cuadrante sencillo para determinar la latitud

**Doh Koffi Addor**

ONG SG2D (Science Géologique pour un Développement Durable)

### Introducción

Para participar en el 2ª Puentes entre Culturas-Latitud para viajar y navegar, proyecto que permite diseñar un reloj de Sol ecuatorial y un reloj de Sol simple para calcular la Latitud de lugares y vincular con la historia de los viajes y la navegación , los docentes de Togo integrantes de la ONG SG2D (Ciencias Geológicas para el Desarrollo Sostenible), procedieron a la construcción del reloj de Sol ecuatorial y un reloj de Sol simple y la posición según la dirección Norte-Sur utilizando una brújula.

La construcción del reloj de Sol ecuatorial y simple así como la determinación de la latitud se realizó en tres etapas sucesivas: Etapa de construcción, etapa de determinación de la latitud y etapa de presentación del reloj de Sol a los estudiantes y profesores de secundaria.

### Etapa de Construcción

La etapa de la construcción del reloj de Sol ecuatorial en Togo ha sido radiante porque Togo se encuentra cerca del ecuador y por lo tanto la mesa del reloj de Sol tiende a ser vertical. El posicionamiento de la varilla del reloj de Sol en relación con la mesa es otra dificultad ya que debe tender a la horizontal (ver fig 1).

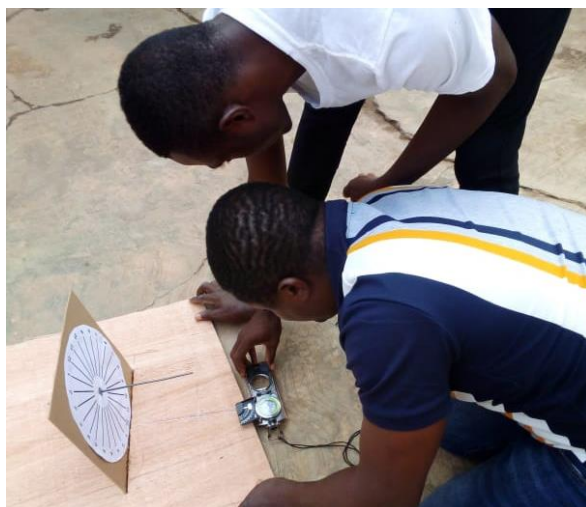


Fig. 1: Posicionamiento del reloj de Sol ecuatorial según la dirección Norte-Sur

Usamos un pegamento para estabilizar la mesa respetando el ángulo normal y de la misma manera estabilizamos la varilla la cual debe proyectar su sombra sobre la mesa para permitir determinar la latitud usando el cuadrante simple.

### **Paso de la determinación de la latitud**

Para poder calcular la latitud del lugar, utilizamos un cuadrante simple que nos permite determinar la altura (el ángulo) del Sol cuando el reloj de Sol indica el mediodía solar (ver figura 2).

Fue un experimento a la vez tosco y complicado ya que teníamos que colocar el reloj de Sol simple bien apuntado hacia el Sol y tener una proyección (una punta redonda) en la palma de la mano (para no mirar el Sol a simple vista). Pero, por otro lado, también es una experiencia fantástica una vez que consigues llegar a la altura del Sol.



Fig 2: Determinar la altura del Sol con un simple cuadrante

### Determinación de la latitud (L) de la ubicación

Las medidas se tomaron el 21 de marzo de 2022, por lo tanto en primavera

Altura (H) del Sol = 84  
Declinación D = -00 01 45

La latitud (L)

$$L = 90 - H + |D|$$
$$L = 90 - 84 + 00 01 45$$
$$L = 6^{\circ} 01' 45'' \text{ o } L = 6,03$$

### Fase de presentación del reloj de Sol a los alumnos y sus profesores

Después de la concepción del reloj de Sol y el simple cuadrante, hicimos una demostración de presentación de estas magníficas herramientas a los alumnos y profesores durante nuestro recorrido astronómico "TOGO BAJO LAS ESTRELLAS" en las escuelas de Togo de norte a sur. Los alumnos y sus profesores estaban muy contentos de descubrir estas herramientas que permiten no sólo determinar la latitud del lugar sino también y sobre todo determinar la hora exacta al minuto. La ventaja es que nuestro país, Togo, está cerca del ecuador y la hora solar es casi igual a la hora exacta. Esto impresionó a los estudiantes y sus maestros. Esto realmente los acercó a la historia y la cultura antigua y todos estaban felices. No solo estaban felices sino muy interesados en descubrirlo por sí mismos.



Fig 3: Presentación del reloj de Sol a los alumnos y sus profesores.

### Conclusión

Agradecemos infinitamente a NASE por esta hermosa y magnífica oportunidad que nos brinda de poder participar en este hermoso proyecto para poder no solo hacer descubrir estas espléndidas herramientas a los togoleses (los estudiantes, los alumnos y sus profesores) pero también y sobre todo poder enseñarles a calcular la Latitud y también poder enseñarles a determinar la hora igual a partir del Sol que está presente en todo momento en casa. Esto podría acercarlos a la cultura antigua. En los próximos días trabajaremos primero con algunos profesores, luego con alumnos de primaria y secundaria (primer y segundo ciclo) y también con los alumnos de la Universidad de Lomé y presentaremos los informes a NASE en cada paso.

### Referencias

- 14 Pasos hacia el Universo, 2nd. Edition. Eds. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.

## INDONESIA

# Actividades divertidas para introducir la navegación y la determinación de coordenadas geográficas usando el Sol

Aditya Abdilah Yusuf

Observatorium Astronomi ITERA Lampung

### Introducción

Indonesia es un país archipiélago que tiene una larga historia en el mundo marítimo. La existencia de este hecho histórico demuestra que los antepasados de los indonesios eran muy hábiles para determinar la posición en el mar cuando navegaban. Nuestros antepasados han utilizado durante mucho tiempo las estrellas y otros eventos celestiales para navegar entre islas. Hubo reinos marítimos para navegar a través de los mares de Nusantara, como Srivijaya y Majapahit, mucho antes de que los europeos llegaran a Indonesia en el siglo XVII. [1]

Hoy en día, no todos los indonesios saben cómo navegar o determinar la ubicación usando el cielo, especialmente la generación joven. En ITERA, intentamos tener una muestra de jóvenes estudiantes para que se les presentara sobre el océano y la navegación, y determinaran la posición y nuestras coordenadas en el globo, utilizando DIY Cuadrante y reloj solar proporcionados por NASE.



Fig. 1: Resumen e introducción del cuadrante, reloj solar, brújula y globo.

La primera actividad es resumen y explicación. En esta sección, tratamos de explicar sobre varias cosas:

- 1) Acerca de las coordenadas geográficas mediante el uso de un globo terráqueo.
- 2) Sobre la historia del uso del cielo como ayuda para la navegación.
- 3) Sobre la historia de las herramientas de navegación como cuadrante, sextante, brújula.
- 3) Cómo funciona el reloj de sol
- 4) Cómo determinar posición o coordenadas geográficas con cuadrante, así como relojes de sol u otros cronómetros.

En esta sección, en esta sección llevamos a cabo algunos diálogos y preguntas y respuestas sobre su conocimiento de la navegación usando el cielo. Solo uno de ellos dijo que cuando eran jóvenes, sus padres les enseñaron varias formas de usar las constelaciones para determinar la dirección del norte y el sur. Como usar la constelación Crux o estamos familiarizados con el término "Gubuk Penceng" para señalar hacia el sur, o usar el punto de salida o puesta del cinturón de Orión para indicar la dirección del este o del oeste. Después de explicar el trabajo de los cuadrantes, muchos de los estudiantes acaban de aprender que podemos determinar la ubicación sobre la superficie de la tierra usando el sol. También revelaron que acaban de entender la relación entre las coordenadas geográficas y la forma del horizonte del cielo visto de noche en esta sección de discusión. En esta sección también encontramos que algunos estudiantes nunca usan una brújula de campo y no comprenden la declinación magnética de la brújula.

La segunda sección da un ejemplo de cómo hacer el Cuadrante y el reloj solar. En esta sección, necesitamos que el instructor dé una explicación sencilla sobre cómo hacer el cuadrante y el reloj de sol. Creemos que la proporción máxima ideal de instructor a participante es de aproximadamente 1:20.



Fig. 2: Los estudiantes haciendo reloj de Sol plegable

La tercera sección es hacer el reloj de sol plegable y el cuadrante. El diseño del reloj de Sol NASE es muy fácil de hacer, pero tenemos que modificar varias cosas para que funcione con zonas de baja latitud como en Indonesia. Necesitamos algunas herramientas y materiales: 1) Plantilla impresa, 2) Bolígrafo sin usar o cualquier cosa que se parezca a una figura de palitos, 3) Pegamento fuerte para papel y 4) Cortador o tijera. Estudiantes, los participantes estaban muy entusiasmados con el corte, el plegado y el pegado. Encuentran que fue muy divertido y fácil de hacer.



Lo siguiente es hacer el cuadrante. Las herramientas y el material utilizado son muy fáciles de encontrar como: 1) Plantilla de cuadrante impresa, 2) Cartón sin usar, 3) Bolígrafo sin usar, 4) Cinta doble, 5) Cuerda pequeña, 6) Pesas pequeñas, 7) Cutter o tijeras. Algunos de los estudiantes usan hábilmente en el sitio objetos no utilizados para convertirse en la cuerda y el peso.



Fig 3: Estudiantes haciendo y probando el cuadrante

La última sección trata de usar el reloj de Sol y el cuadrante. Desafortunadamente, no pudimos hacerlo en la primera reunión porque tenemos mal tiempo con nubes espesas al mediodía. Pero el equipo les da a los estudiantes que lo hagan en casa. Varios lo hicieron y lo informaron. Usaron el cuadrante para tratar de determinar la declinación del Sol y tratar de determinar la altitud de varias estrellas por la noche. Piensan que es muy difícil hacerlo de noche si no se ensaya bien.

### **Resultados y pensamientos sobre los experimentos**

Hemos presentado la historia de la navegación realizada por varias civilizaciones a los estudiantes, y la encontraron muy interesante, especialmente por la utilización de herramientas simples de cuadrante y reloj de Sol para navegar y cómo nuestra cultura indonesia suele usar el cielo como navegación. Varios estudiantes encontraron que las actividades son divertidas y fáciles de hacer, incluso en casa.

Los estudiantes pueden determinar las coordenadas geográficas usando el cuadrante y el reloj de Sol, aunque no lo hicimos porque la nube, los estudiantes aún pueden obtener nuevos conocimientos con esta actividad.

### **Referencias**

- Mamesti, Zelika Scania. Indonesia's Interest to Strengthen Maritime Cooperation with The United States Under Joko Widodo Administration In 2014-2018, Bab II, Undergraduate Thesis, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Online Repository. 2018.



## Los cuatro viajes de Cristobal Colón



# Colón y sus instrumentos de navegación

**Enrique Aparicio Arias**

Universidad de Alicante, Asociación para la Enseñanza de la  
Astronomía

## Introducción

Cristóbal Colón, volvería a intentar nuevamente con los reyes de España (Isabel y Fernando), la conveniencia de abrir una nueva ruta hacia el Oeste (por el océano atlántico), después de haber fracasado ante las autoridades gobernantes de Italia y Portugal.

Gracias a su tozudez y mejor preparación argumental teórico/práctico, logró convencer y desestimar el viajar **hacia el Este**, por la ruta de la seda, por la peligrosidad que suponía en aquellos momentos.

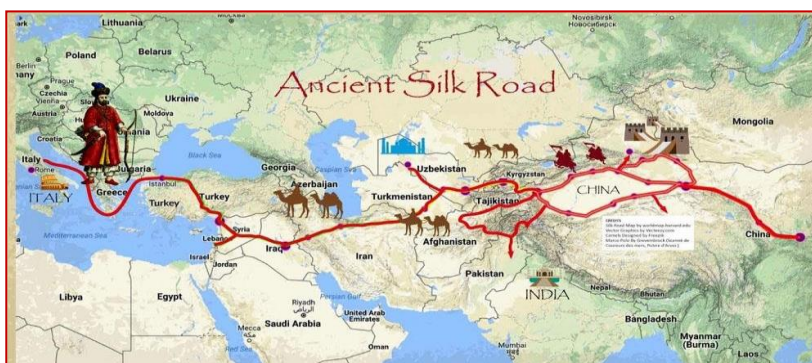
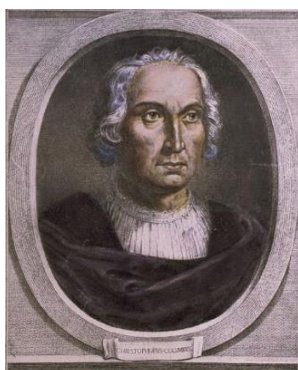


Fig. 1: Cristóbal Colón (1451 -1506). Fig.2: Mapa de la ruta de la seda abierta por Marco Polo (1254 -1324). Fuente Wikipedia

La ruta de la seda, estaba controlada por soldados del imperio otomano (Asia Menor) descendientes/herederos de Gengis kan, donde los mercaderes debían de pagar en dinero o en mercancías un tributo por cruzar sus territorios y no te garantizaban la seguridad tuya y el resto de mercancías.

Por otro lado, la **ruta del Sur** ya había sido cogida por el reino de Portugal, que pronto se dieron cuenta de que había que evitar la ruta de la seda, por lo que decidieron hacerlo viajando por mar, bordeando el continente africano. Se creía que era de mayor recorrido, pero era más seguro. En aquellos momentos, Portugal contaba con muy buenos navegantes como Enrique el navegante, que en 1426 conquistan las islas de las Azores, más tarde Bartolomé Diaz en 1488 consigue doblar el cabo de Buena Esperanza y en 1497 Vasco de Gama llega a la India



Fig. 3: Mapa del continente africano. Fuente Wikipedia

### Necesidad Comercial de abrir nuevo derrotero hacia el Oeste

Los argumentos expuestos por Colón para **intentar convencer** a los reyes católicos y a la comisión de especialistas científicos compuesto por astrónomos, geógrafos, militares de la armada armadores de carabelas y navíos, eruditos religiosos (doctores de la iglesia) y empresarios españoles, dieron el visto bueno a Colon de su propuesta de navegar en sentido OESTE,

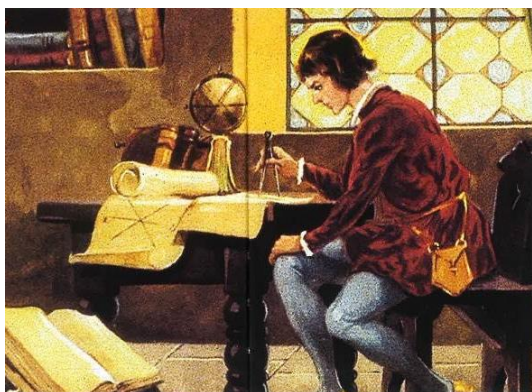


Fig. 4: Ilustración de Colón preparando su proyecto para su defensa. Fuente Wikipedia. Fig. 5: Xilografía según un óleo de Wenzel Von Brozik. Siglo XIX. Colon explicando a las autoridades científicas y doctores de la Iglesia su proyecto.

Recordemos, que en España en aquellos momentos sus arcas se encontraban bajo mínimos, debido al desgaste de la guerra de la reconquista que duró casi ocho siglos y, apenas tenía liquidez para emprender tal proyecto.

Una vez aprobada **la necesidad de abrir una nueva ruta comercial hacia occidente** se financiaría el primer viaje gracias a **la aportación** de un empresario de la corte que dotó de 1.200.000 maravedíes, donde supuso el arranque del primer viaje.

Cristóbal Colón y su tripulación eran conocedores que posiblemente no volverían jamás de esta aventura y podría ser un viaje sin retorno, pero aun así el 3 de agosto de 1492 Colón cumple sus deseos y suelta amarras desde el puerto de Palos de la Frontera (Huelva), con **un ego personal muy alto**, capaz de hacer historia como un gran conquistador.



Fig. 6: Réplica del navío de Colon. Fuente Wikipedia

### Consideraciones previas cartográficas

Colón dio por buena la cartografía, la geografía y la astronomía que se conocía en esa época, realizada por los grandes sabios griegos y alejandrinos.

No obstante, en algunos libros y documentos **aún se sigue culpabilizando a Colón** de cometer varios errores, pero, considero que no es justo, sino que esos errores son debidos a otros especialistas en los que se basó la preparación de su viaje como: astrónomos, geógrafos y cartógrafos de reconocido prestigio.

Desde el siglo V a.C. se habían realizado cálculos sobre la medición del radio de la Tierra entre los que destacamos Pitágoras, Anaxágoras, Hiparco de Nicea, Eratóstenes de Alejandría, Posidonio de Apamea, Claudio Ptolomeo, etc.

**Hoy día**, sabemos y conocemos la precisión del cálculo que hizo **Eratóstenes** en el siglo III a.C. sobre la medición del círculo máximo equinoccial, resultando que la Tierra tenía un valor aproximado de **40000 km** de círculo con un error relativo menor de un 1%. Sin embargo, el círculo máximo de **Posidonio de Apamea** siglo I a.C. era un valor mucho menor al de Eratóstenes, posiblemente fuese debido a varias causas, por ejemplo: no usar los mismos valores en las medidas de patrones del **estadio**, ya que cada país tenía diferentes medidas, otra causa podría ser los métodos empleados, Eratóstenes empleo el método de la sombra con el gnomon aplicándolo en dos lugares diferentes Siena y Alejandría para un mismo día (solsticio de verano). Sin embargo, Posidonio utilizó un método novedoso consistente en la observación en una misma fecha y hora la misma estrella desde diferentes lugares Rodas y Alejandría, con un astrolabio, obteniendo un valor del círculo máximo de la tierra de **29000 km** siendo 11000 km menor al de Eratóstenes).

- **Un acierto de Colón el considerar la Tierra más pequeña**

A Colón le interesaba que fuese la Tierra más pequeña y, como toda la cartografía de su época, se habían basado en el mapa de Claudio Ptolomeo del (siglo II, d.C.) donde el círculo máximo considerado era el calculado por Posidonio de Apamea (matemático, cartógrafo y astrónomo), por lo que consideró como válido.



Fig. 7: Mapa de Claudio Ptolomeo siglo II Fuente libro de la historia de la cartografía

Este mapa de Ptolomeo, fue la base de referencia para otros cartógrafos posteriores, como Toscanelli en el año 1474.

También, Colón como base argumentaría para convencer a la comisión de científicos que la Tierra era más estrecha por el ecuador que sobre el meridiano de los polos, creyendo que la tierra tenía forma de pera y no de manzana, con lo cual al ser más estrecha llegarían antes a las tierras de las indias, lo que suponía cargar las carabelas con menos aprovisionamiento.

**\*\*Abro curiosidad** [pasados 100 años Giovanni Cassini (1625 – 1712) cartógrafo y astrónomo francés creía también que la tierra tenía forma de pera, mientras que Isaac Newton (1642 – 1727) físico, matemático y astrónomo inglés, creía que era una manzana; la discusión se acabó, con la realización de una expedición para determinar la





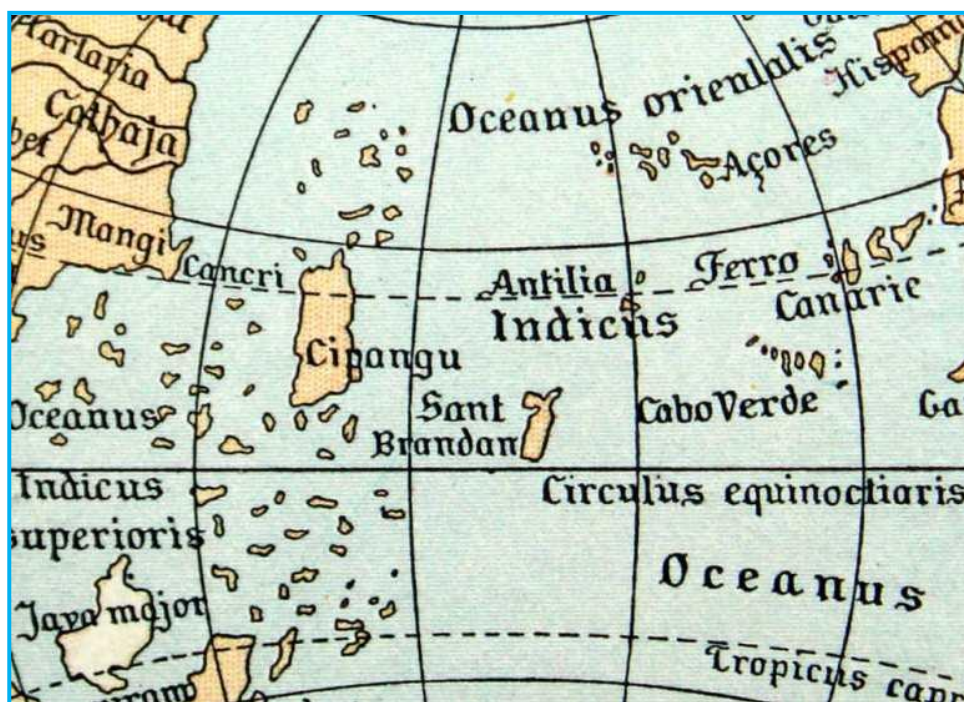


Fig. 9: Mapa ilustrativo de origen desconocido realizado en el siglo XX. Fuente Wikipedia

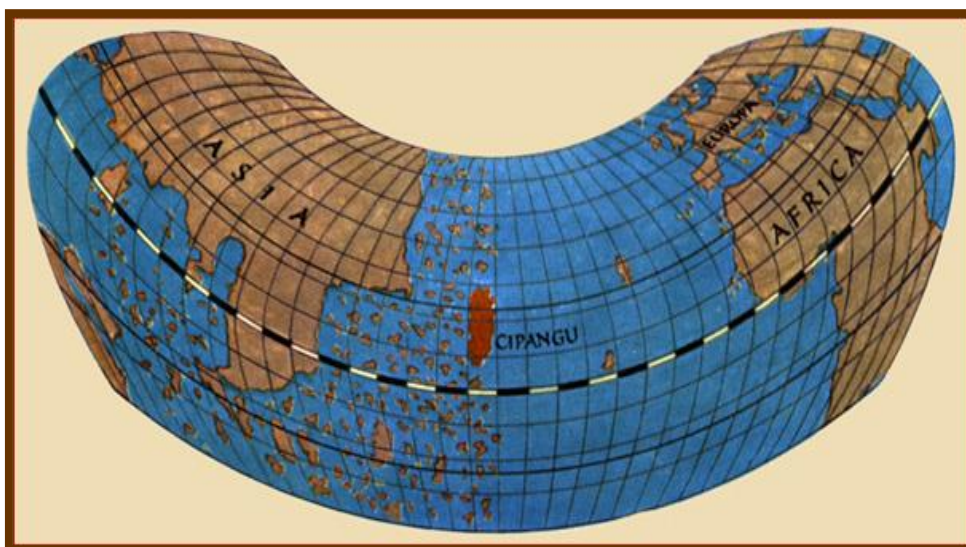


Fig.10: Mapa ilustrativo de finales del siglo XV donde **no aparece el continente americano**

Estos dos mapas, reflejan las ideas previas al viaje de Colón, donde se ve con claridad la situación de Hispania (noreste del mapa) y en el centro por encima de la línea equinoccial (que era entonces el círculo máximo de la Tierra que dividía a la Tierra en dos hemisferios, se encuentra la isla de Cipangu (actual Japón) y debajo de Cipangu está el archipiélago de las especias que tanto deseaba encontrar

Otra de la fuerza persistente argumental de Cristóbal Colón fue la importancia económica que supondría, si lograba llegar a las indias, abriendo una nueva ruta

comercial para toda Europa ya que existía una **fuerte demanda de estos productos exóticos** como son: el clavo, canela, esencias de aceites variados, para usarlos en medicina, belleza, cosmética, conservación de alimentos y gastronomía, etc.



Fig.11: Panel de especias exóticas para Europa. Fuente Wikipedia

**Instrumentación utilizada por Colón: Latitud y Longitud. Para determinación de las coordenadas geográficas de un punto en alta mar.**

Era imprescindible conocer el mar y el arte de navegar, así como conocer las estrellas del firmamento ya que había que hacer una navegación de altura, dejando la navegación de cabotaje o de estima (sin dejar de ver la costa), por lo que los capitanes/almirantes debían tener unos conocimientos de la bóveda celeste y de sus estrellas más luminosas (según cada estación del año), además de conocer las corrientes marinas y vientos alisios y conocer todo el instrumental a bordo que se llevaba para la determinación de la latitud y longitud.

Colón, sabía que la tierra era esférica, según sus experiencias vividas. Sabía que, si mantenía aproximadamente el mismo valor de la latitud de un paralelo, próximo al ecuador del que partió, sin dejarlo y navegando hacia el Oeste, daría la vuelta al mundo al menos que se tropezara con algún obstáculo terrestre, cosa que así ocurrió, descubriendo un nuevo continente sin el saberlo.

Años más tarde, otros dos grandes almirantes españoles como Juan Sebastián el Cano (1476 -1526) y Fernando de Magallanes (1480 -1521) fueron los primeros en circunnavegar la Tierra, es decir dar la vuelta al mundo bordeando los continentes y salvando las tierras que se encontraban y retomando la latitud de partida. En el libro facsímil de la “*breve compendio de la esfera y del arte de navegar*” comenta la expresión matemática para el cálculo de la latitud, simplemente sustituyendo en la expresión:

$$\text{Latitud del lugar} = 90^\circ - h + - \varepsilon$$

obtenida de la trigonometría esférica del triángulo formado por (Sol – Cenit – Polo), según las fórmulas fundamentales para la resolución de triángulos esféricos de Bessel, siempre podremos obtener cualquiera de sus términos, pero ahora interesa la latitud.

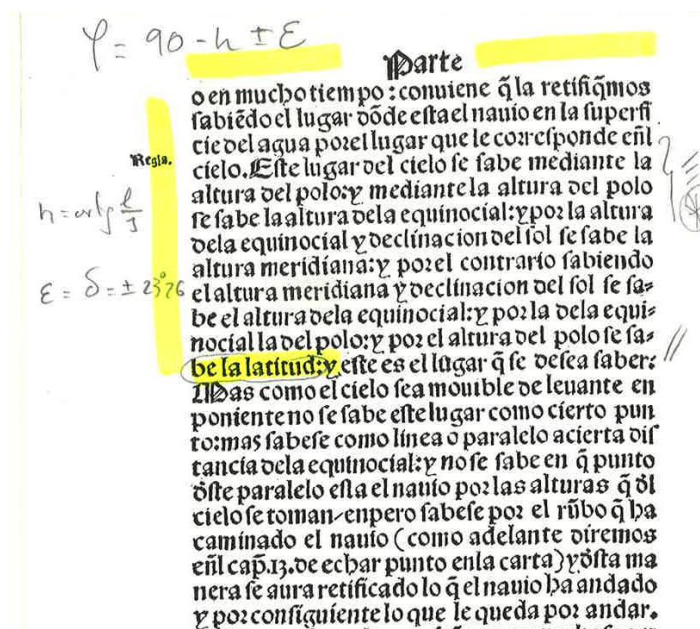


Fig.12: Capítulo de arte de navegación del facsímil de Martin Cortes editado en 1551

Sustituyendo los valores tendremos

**h** = altura del sol tomada al mediodía sobre el plano del horizonte, obtenida principalmente con los instrumentos del cuadrante y el astrolabio

**ε** = es el valor de la oblicuidad de la eclíptica que varía entre los valores + - 23° 26' (según la fecha en la que te encuentres)

Podremos obtener la latitud del lugar y, por la noche se comprobaría con la altura de la polar

- **Cartear el punto**

Con los datos diarios proporcionados con los diversos instrumentos específicos para la determinación de la latitud y longitud, más el rumbo del derrotero y distancia recorrida se procedía a dibujar sobre una nueva carta el punto y, este lo comparaban con la carta oficial de referencia que disponían, a esta operación se le llamó “**cartear el punto**”. Esta operación de cartear el punto, no era tan sencilla y había que saber y tener en cuenta las leguas recorridas o millas náuticas o kilómetros recorridos cada día, así como el rumbo marcado con sus variaciones del mismo

### Instrumentos para la determinación de la latitud

A continuación, se describen una serie de instrumentos y métodos que sirvieron a los hombres de mar para realizar una navegación de altura durante el siglo XIV y XV y posteriores, siendo sustituidos por otros instrumentos que mejoraron su precisión, con mayor seguridad para la vista y mejores materiales en su fabricación, por ejemplo, los sextantes.

- **La mano y sus graduaciones de aplicación en cielo y tierra**

Un instrumento que no se comenta en los libros seguro que utilizó Colón y sus oficiales, era el uso de sus manos y la relación del cielo con los grados existentes según el ángulo. La precisión no era muy buena, pero se acercaba bastante a los datos obtenidos con otros instrumentos más precisos.

*\*\*El método de las manos sirve en primera aproximación grosera para el cálculo de latitud, pero es muy útil y da confianza.*

Aquí tenemos unos gráficos del autor que según la posición de la mano equivaldría a los correspondientes grados, siempre hay que estirar la mano al máximo y enrasar la parte de la mano por debajo con nuestra vista entonces aquí estaría el 0° y si colocamos el ángulo deseado por ejemplo 15° donde termine obtendremos el valor angular.

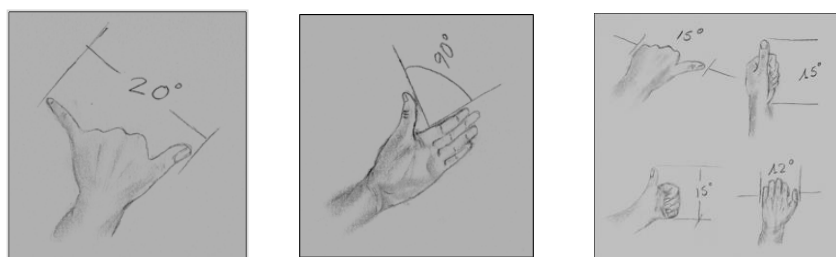


Fig.13: Gráficos de las manos con sus valores angulares. Elaboración propia

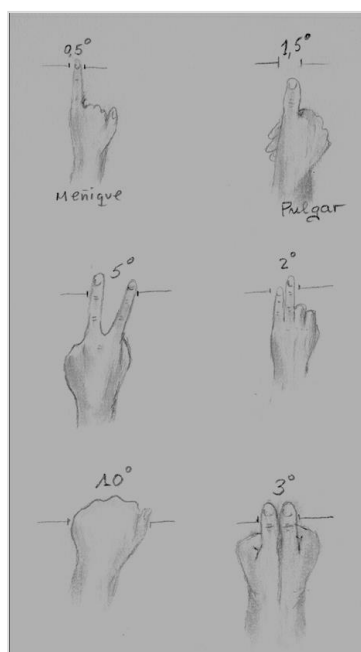


Fig.14: Gráficos de las manos con sus valores angulares. Elaboración propia, extraídas del libro del reloj de Sancho del propio autor

También podemos expresarlo en tiempos ya que si  $360^\circ$  son 24 horas,  $15^\circ$  es una hora, siendo ésta una medida muy útil. Recordemos que la Tierra tarda una hora en recorrer un uso terrestre. Es aplicable a cualquier parte del mundo para la determinación de la latitud, Otro ejemplo era el determinar en la noche la altura de la Polar que como bien sabemos, tiene el mismo valor angular que la latitud donde uno vive.

Por lo que podremos saber la latitud del lugar en cada momento. Este procedimiento también se podía hacer con cualquier estrella de gran brillo. Colón y sus oficiales lo conocían y lo utilizaban

- **La ballestilla corta y larga**

**La ballestilla corta**, fue usada antiguamente por los egipcios sobre el suelo para conocer la llegada de las estaciones. Posteriormente los árabes la levantaron a los cielos para medir alturas de las estrellas y el sol. El fundamento práctico de las ballestillas, consisten en conocer la relación angular entre la distancia recorrida del travesaño menor sobre el travesaño mayor graduado perpendiculares ambos y, según la posición en el que se enrasa por abajo el horizonte y por arriba con la estrella (Sol) podremos saber la altura (h) del objeto sobre el horizonte. Fue muy usado por los árabes para latitudes medias, por eso todos los navegantes del siglo XV siempre lo llevaban a bordo.

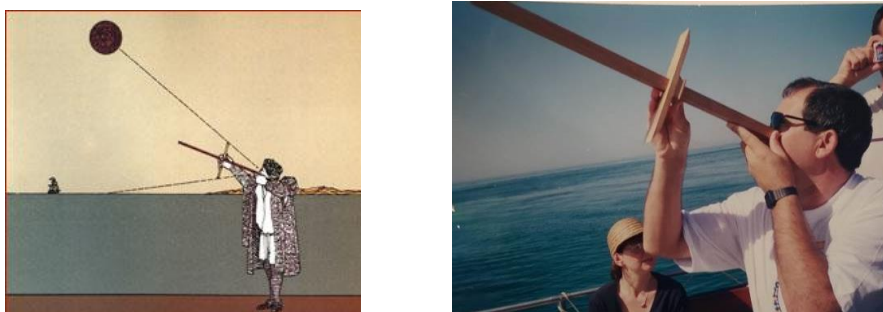


Fig.15 a y b: La imagen de la izquierda es de la época de Colón y la imagen derecha es el propio autor en una demostración en Tavira (Portugal) de jornadas EAAE para determinar la altura con la ballestilla corta y el método de enrasar por debajo al horizonte y por arriba al sol corriendo el travesaño angular para obtener el valor de (h) altura del objeto en cuestión

Pero, cuando los portugueses se encontraban en latitudes próximas al ecuador no les valía la ballestilla corta, crearon la **ballestilla larga**, tuvieron que añadir más travesaños mayores y más largos para poder enrasar al sol cuando se encontraba cerca del cenit. La imprecisión era notable porque solo llegaban apreciar medio grado a estima y era necesario utilizar las dos manos, con el movimiento del barco y mirar al Sol.

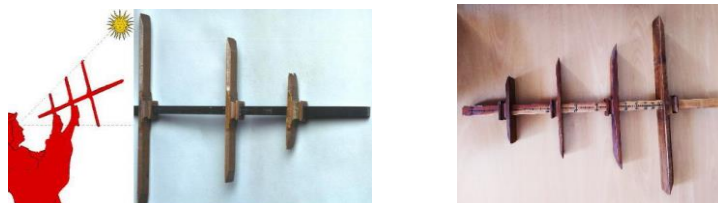


Fig.16: Ballestillas larga/ecuatorial o equinoccial creada por los portugueses. Fuente Wikipedia

- **El Karmal**

Fue una mejora de la ballestilla ya que podía conseguirse mejor estabilidad entre las manos, pero era similar al método de las manos. Estaba compuesto por dos brazos de madera sujetos en el centro por un semicírculo graduado. Es un instrumento muy práctico e intuitivo para la docencia y se puede medir con la abertura del ángulo deseado entre el horizonte y la estrella (Sol), también para saber la altura de un edificio



Fig.17: Karmal instrumento muy sencillo para la determinación de la latitud. Fuente propia

**Comentario de los tres instrumentos descritos**

Estos tres instrumentos descritos anteriormente carecían de precisión, además corría serios problemas la vista del oficial encargado del manejo ya que al tener que colimar o apuntar forzosamente al sol durante el día, con el tiempo, quedaría seriamente dañada la retina, por lo que se quedaban sin vista en un ojo llamados tuertos (caso de los piratas).

- **El cuadrante**

Otro instrumento muy apreciado e inseparable por Colón fue el cuadrante (la cuarta parte de 360ª es decir 90º que sobre el limbo estaban divididos en grados y minutos).



Fig.18a



Fig.18b

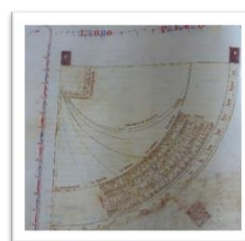


Fig.18c



Fig.18d



Fig.18e



Fig.18f

Fig.18: Tenemos seis imágenes de cuadrantes a) es de madera con refuerzo de latón, b) cuadrante de latón c) Gráfico de construcción del cuadrante que figura en el libro de “El saber de astronomía” de Alfonso X el sabio (1221 -1284),d) cuadrante de madera con las horas de luz y de oscuridad según la época, e)

marinero está utilizando MAL el cuadrante no se debía mirar con los ojos por las pínulas (orificio), f) detalle del cuadrante con las dos pínulas y sus orificios. Fuente Wikipedia

Era de madera, versátil, rápido y fácil de usar por los oficiales de Colón. Sobre el centro del cuadrante, suspendía una plomada que marcaba los grados y minutos de la altura de la estrella o del Sol al mediodía. Este cuadrante, contenía dos pínulas con un orificio en ellas, que servían para que la luz pasara entre ambos orificios y cuando eran coincidentes se determinaba la altura del Sol; alcanzaba una precisión de medio grado y además y, muy importante no era necesario mirar al Sol

- **La esfera armilar**

Colón conocía la esfera armilar, aunque no la llevase a bordo

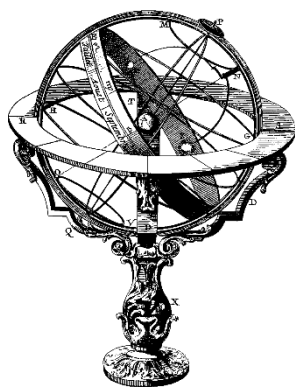


Fig.19: Esfera armilar a la izquierda y a la derecha la portada del libro Suma de Geographia de Martín Fernández Enciso. Sevilla, 1519. MN. Fig.20: Ilustración de la Esfera armilar de la época que además contiene el astrolabio y el cuadrante. Fuente. Wikipedia

En esta obra, Suma de Geographia, contiene la primera descripción de las tierras del Nuevo Mundo, y especialmente de sus costas. Incluye un tratado de navegación y unas tablas de declinaciones solares, que cualquier navegante de altura siempre llevaba a bordo, para conocer el valor de la oblicuidad eclíptica ( $\epsilon$ ).

**\*\*Curiosidad cervantina**, sobre el conocimiento que se tenía de los instrumentos, en el siglo XVI. En el capítulo XXIX de la segunda parte del libro de D. Miguel de Cervantes en el “Quijote de la Mancha” (*Habla Quijote*)... *Haz Sancho las averiguaciones que te he dicho, y no te cures de otra, que tú no sabes qué cosa sean dicho, que tú no sabes qué cosa sean coluros, líneas, paralelos, zodíacos, eclípticas, polos, solsticios, equinoccios, planetas, signos, puntos, medidas, de que se compone la esfera celeste y terrestre; que si todas estas cosas supieras, o parte de ellas vieras, claramente qué de paralelos hemos cortado, qué de signos visto y qué de imágenes hemos dejado atrás y vamos dejando ahora.*



- **El nocturlabio o reloj de sancho = el hombre del polo (h.p.)**

\*Este instrumento, ha servido para determinar la hora en la noche, muy importante tanto en tierra como en el mar.

El nocturlabio cayó en desuso por errores conceptuales en su construcción y la falta de actualización, además era difícil de aplicar. Si nos fijamos en una de las caras del instrumento del cuadrante aparece la imagen conocida del *hombre del polo*, donde Colón lo conocía y lo utilizaba para conocer las horas en la noche y para hacer el cambio de guardias de su tripulación. Si nos fijamos en las constelaciones circumpolares y en concreto la osa menor y sobre las estrellas extremas conocidas como **las guardas (Pherkad y Kochab)**, especial **Kochab**, según la posición que tenga esta estrella en el momento de iniciar el crepúsculo náutico, se podría saber a qué hora va a amanecer.

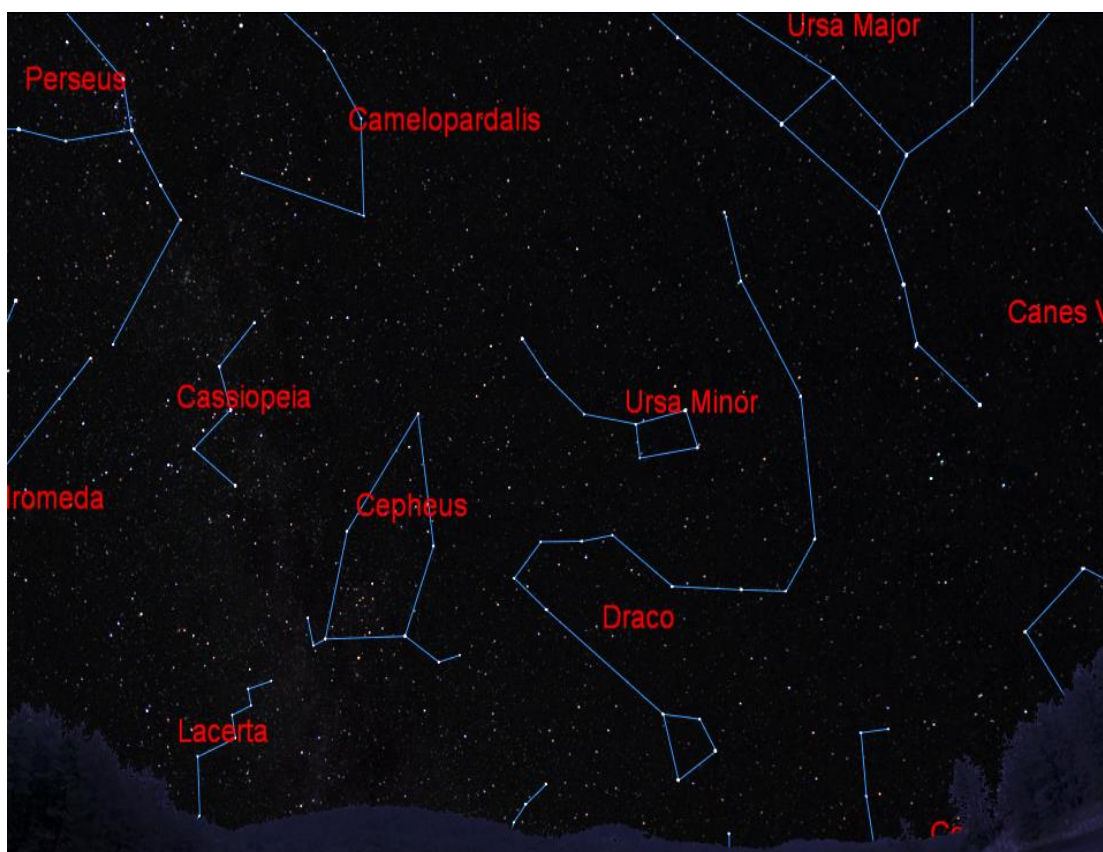


Fig.21: Mapa de constelaciones circumpolares hemisferio boreal. Fuente Stellarium.org

Es muy interesante y gratificante enseñar las horas por la noche, también podemos saber el día, el mes y la estación del año en el que estás. Es necesario conocer la duración de cada uno de los tres crepúsculos: civil, náutico y astronómico condicionado a la latitud del observador.

A continuación, tenemos varias imágenes que representan al hombre del polo mirándonos hacia nosotros, aunque Colón lo utilizo de espaldas como la (Fig. 22b): marcadores de los ejes cabeza- pies y brazos, así como las bisectrices entre los respectivos cuadrantes equivalente a 3 horas de cielo.

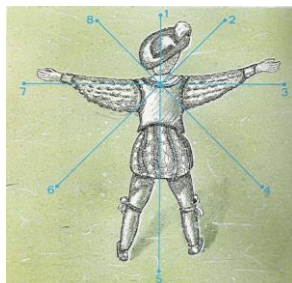
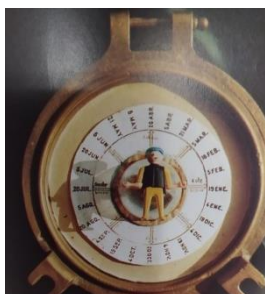


Fig.22a: Hombre del polo    Fig.22b: Hombre del polo de Colón    Fig.22c: Constelación Osa menor



Fig.22d: Calendario latón fijo    Fig.22e: Cuadrante con (h. p.)    Fig.22f: Reloj de Sancho

Estas seis imágenes del hombre del polo están basadas en el movimiento de rotación sobre el eje del mundo.

En el siglo XV y anteriores ya conocían este método donde se imaginaban a un hombre en cruz mirándonos hacia nosotros con los brazos extendidos como si fuesen los ejes cartesianos (X, e Y), donde el eje de las equis estaba representado por el brazo izquierdo y el brazo derecho y el eje de las ordenadas de las ies estaba representada por la cabeza y los pies

Los cosmógrafos y pilotos navegantes del siglo XV y XVI de alta mar conocían la relación **“que, para cualquier meridiano, cada grado que suba o baje en altura del polo o del sol equivaldría a 16 leguas y 2/3 de leguas.** En otros tratados de navegación aparece la equivalencia de 1° grado = 5,555Km y era igual a 17,5 leguas castellanas

*En el cuaderno de bitácora de Colón, el 3 de febrero hace las siguientes anotaciones...Hoy, yendo en popa con la mar llana habre recorrido unas 29 leguas y me pareció ver la estrella del Norte muy alta como en Cabo de San Vicente (Portugal), pero no pude tomar altura con el astrolabio ni con el cuadrante por las olas*

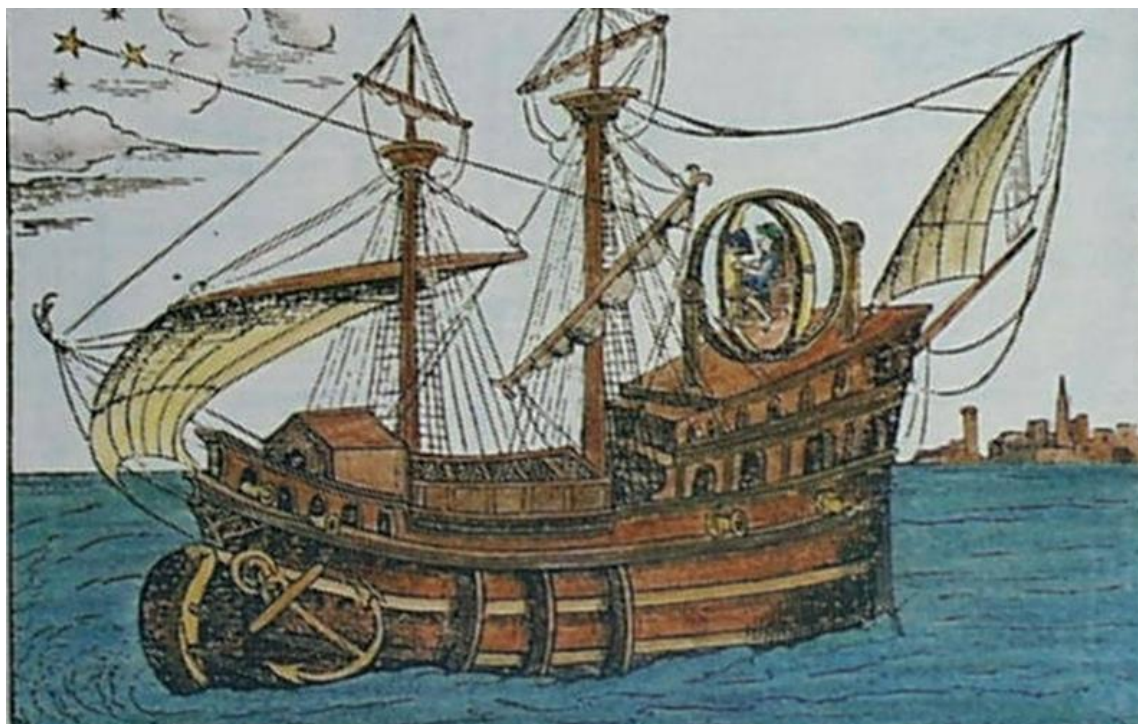


Fig.23: Ilustración representativa de un navío con un habitáculo de seguridad donde se ponía el oficial de turno para hacer la toma de datos a las estrellas o al sol. El instrumento que tiene es un cuadrante

\*\*El valor de una legua castellana era 5,555 km. Aunque, por ejemplo, en Francia era de 4,5 Km, según el país podía oscilar la medida de 4,5 a 7 km. Un ejemplo tenemos en la imagen (Fig.24) de una cartografía francesa donde aparece dos escalas la francesa y la española y su equivalencia de leguas comunes de 20 al grado en España y 25 leguas comunes al grado en Francia

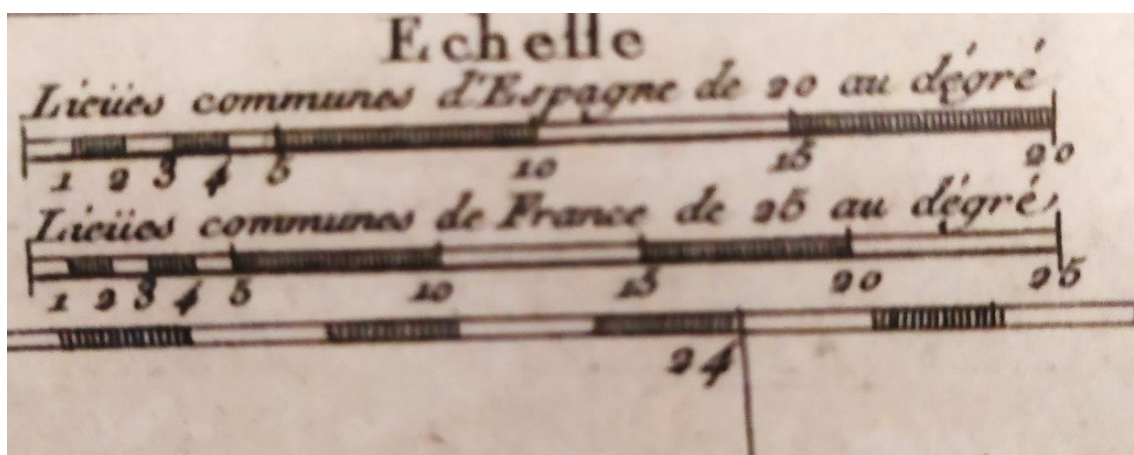


Fig.24: Imagen de las escalas francesa y española respecto a las leguas y su equivalencia a un grado reflejado en un mapa francés del siglo XVI. Fuente Historia de la cartografía

- **Astrolabio (una joya de la astronomía medieval)**

Estos tres tipos de astrolabios, son de origen árabe/español, eran muy pesado y solía ser de latón. Era un instrumento muy usado por los astrónomos árabes antes de la creación de la escuela de traductores de Toledo en el siglo XIII. Posteriormente pasaría a ser difundido por toda Europa y América.



Fig.25: Tres imágenes de astrolabios de la época usados en los siglos XV, XVI

El astrolabio árabe viene descrito con detalle de su construcción y su manejo en el libro del “Saber de astronomía” del Rey de Castilla Alfonso X “El sabio” (1221 – 1284). También viene descrito el cuadrante con detalle.

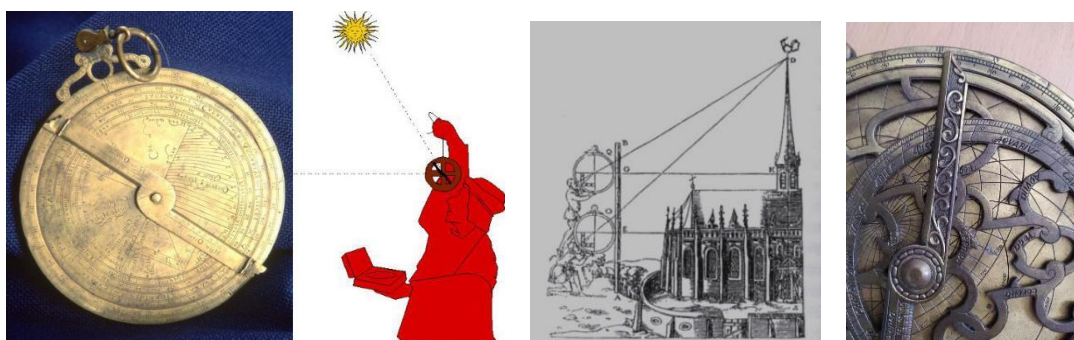


Fig. 26 a

Fig. 26 b

Fig. 26 c

Fig. 26 d

Fig. 26: Imágenes del astrolabio aplicaciones y precisión del astrolabio en los siglos XV, XVI

El astrolabio, es un instrumento muy complejo y difícil de usar que tenía bastante precisión angular y también se podían utilizar astrolabios gigantes para comprobaciones de la vertical, en los grandes monumentos o catedrales góticas como es la Figura 26 c. Era un verdadero observatorio ambulante, ya que venía grabadas todo un tratado de astronomía sobre él. Se componía principalmente dos círculos uno fijo y otro giratorios (araña), donde contenía estrellas de referencia según las estaciones, además contaba con los acimuts de las mismas, en la parte exterior (limbo del astrolabio) tenía la graduación sexagesimal dividido en grados su precisión alcanzaba los minutos y segundos a estima.

\*\* Acimut es el ángulo que hay en horizonte de lugar desde el norte verdadero hasta la estrella buscada bajada al horizonte

\*\***Otra curiosidad cervantina** que demuestra los conocimientos que tenía Miguel de Cervantes sobre los instrumentos que les permitía saber las leguas andadas y lo que le faltaban por andar cuando viajó a Barcelona, y tuvo la aventura tan graciosa cuando navegaba por el río Ebro.

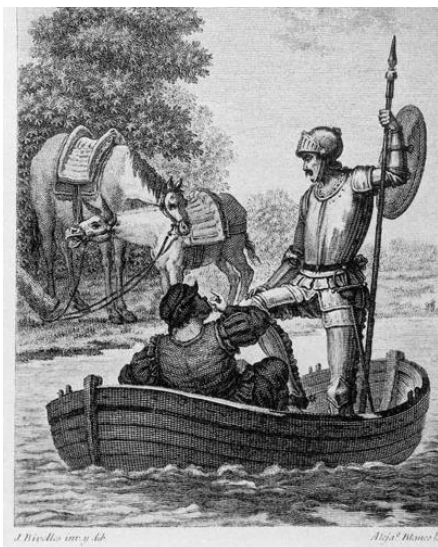


Fig. 27: Ilustración de Gustave Doré (1832 – 1883) en el libro de El Quijote

## Capítulo XXIX (segunda parte)

### <<De la famosa aventura del barco encantado>>

*Habla don Quijote .... en breve espacio saldremos al mar dilatado? Pero ya habremos de haber salido y caminado por lo menos setecientas u ochocientas leguas; y si yo tuviera aquí un astrolabio con que tomar la altura del polo, yo te dijera las que hemos caminado: aunque o yo sé poco o ya hemos pasado o pasaremos presto por la línea equinoccial, que divide y corta los dos contrapuestos polos en igual distancia.*

—Y cuando lleguemos a esa leña que vuestra merced dice —preguntó Sancho—, ¿cuánto habremos caminado?

—Mucho —replicó don Quijote—, porque de trecientos y sesenta grados que contiene el globo del agua y de la tierra, según el cómputo de Ptolomeo, que fue el mayor cosmógrafo que se sabe, la mitad habremos caminado, llegando a la línea que he dicho.

El astrolabio cayó en desuso por varios motivos, entre ellos uno fué su complejidad, y la no actualización de la reforma del calendario gregoriano que se puso en marcha oficialmente en el 15 octubre 1582 en España, pero no en los demás países.

Hoy día, se sigue usando en versión ligera y cómoda en astronomía, porque parte de él está representado en un planisferio celeste, evidentemente condicionado a la latitud del lugar y a la fecha del observador teniendo en parte la información astronómica que tenía el astrolabio antiguo.

- **Cosmografía en España en los siglos XV y XVI**

La cosmografía era una formación específica, destinado a futuros navegantes (capitanes del mar) que antes de embarcarse a las américas debían cursar. Las materias (asignaturas) versaban sobre el conocimiento de la bóveda celeste, estrellas referenciales según las estaciones, cálculo de latitudes, velocidad del barco, determinación de rumbos, conocimiento de efemérides astronómicas, algebra, interpretación de cartas náuticas, dibujo de un nuevo portulano, así como, su custodia, también era importante conocer y manejar todos los instrumentos que se utilizarían en navegación marítima, etc.

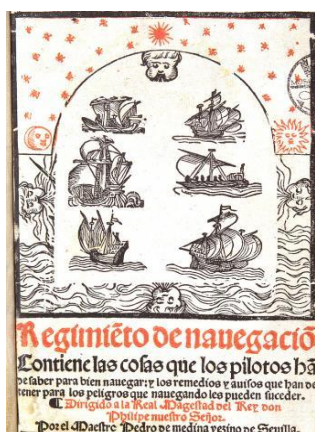


Fig.28: Imagen de la Portada del Regimiento de navegación. Pedro de Medina. Sevilla, 1563

**El regimiento**, era un tipo de tratado de navegación de carácter práctico para uso de futuros pilotos. Las recomendaciones y reglas, estaban prohibidas su difusión, por considerarse secretos de estado.

La primera escuela de cosmografía se ubicó en la **casa de contratación de Sevilla en 1503**, impulsada por Isabel la Católica para el control de mercancías y control de personas que iban y venían del nuevo mundo. El primer director de la escuela fue el florentino **Américo Vespucio** (1454 – 1512) ayudante de Colón, a él se le debe el nombre del continente américa, por un error del cartógrafo Waldseemuller (1510), después le sucedería **Juan de la Cosa**, (otro ayudante de Colón)



Fig.29: Fachada principal de la casa de contratación en Sevilla. Fuente Wikipedia siglo XVI

## Determinación de ángulos en los siglos XV y XVI en el mar

- **La aguja de marear (brújula)**

Es un instrumento valiosísimo, inventado por astrónomos militares chinos que le llamaron “Luo Pan” (Fig. 30<sup>a</sup>) en el siglo X a. de C. Posteriormente en el siglo XIV el comerciante explorador de la ruta de la seda, Marco Polo la trajo a Génova (Fig.30b) muy pronto se dieron cuenta del potencial del instrumento y lo adaptaron para navegación (Fig.30c). Es un instrumento importantísimo para trazar los rumbos y la elaboración de los mapas portulanos, aun hoy se sigue utilizando en Tierra Mar y Aire.

La aguja de marear iba protegida para el agua de las olas y el viento, tenía un apéndice (cajita) en un lateral de la brújula que en su interior había una mecha que se encendía en la noche para ver bien el rumbo y no se apagase por el viento o el agua



Fig.30, a, b, c: Tres instrumentos dedicados a la obtención de los ángulos (rumbos) en el mar o en tierra, siendo el 30 c, el usado en el mar denominado aguja de marear

- **La rosa de los vientos**

La rosa de los vientos, fue copiada del Luo Pan chino y servía para trazar los diferentes rumbos, aprovechando la orientación automática de la aguja hacia el polo magnético. Por definición se dice que el ángulo que marca entre la aguja magnética y la dirección deseada es el **rumbo** y se expresa en grados sexagesimales. Este instrumento fue y sigue siendo de gran utilidad para la determinación del Norte magnético (NM) y además podríamos conocer la diferencia angular entre el NM y el Norte verdadero (NV) llamada declinación magnética; esta declinación puede estar al Oeste o al Este del Norte verdadero (NV) que es el que marca el eje del mundo (cerca de la Polar), pero como se sabe hoy día la declinación varía según la época y lugar.

- **Los portulanos**

Los portulanos, eran unas cartas náuticas que se realizaban en navegación de altura, con los instrumentos y pericia del trazar bien el ángulo o derrotero que proporcionaba, la aguja de marear y conociendo la distancia o leguas recorridas, desde la última demarcación hasta el nuevo punto, entonces el cartógrafo procedía a cartear el nuevo punto sobre el portulano.



Fig.31: Rosa de los vientos española copiada de los franceses del siglo XVI, Fig.32: Dos imágenes de cartas náuticas (portulanos) del siglo XV y XVI

- **Colón constata por primera vez, un fenómeno extraño**

A Colon le paso un hecho sorprendente que supo guardar con astucia a su tripulacion para no alarmarlos mas de lo que ya estaban. Comprobó con sus ojos sobre la aguja de marear que en un momento dado estaba marcando la direccion del **noroeste** y al poco momento paso a marcar el **noreste** sin él saberlo habia cruzado la línea ágona (línea de declinación magnetica de valor cero), escribiendo en su cuaderno de bitacora .... Es como si hubiese cruzado una montaña mientras iba subiendo me marcaba el noroeste y al bajar la montaña marcaba el noreste, a igual que una pera....

Asi lo comenta el 13 de septiembre en el bitacora de Colón, realizado por el Fray Bartolomé de las Casas....Aquél dia con su noche, yendo a su via, que era el Oeste, anduvieron treinta y tres leguas (Colón siempre decia un numero menor de leguas recorridas para no alarmar mas a la tripulacion), las corrientes eran contrarias. En ese dia, al comienzo de la noche, las agujas noroesteaban y a la mañana siguiente noesteaban...

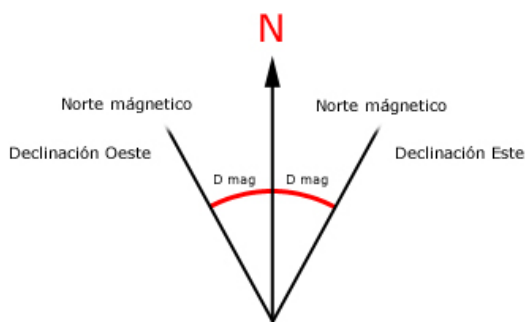


Fig. 33 a

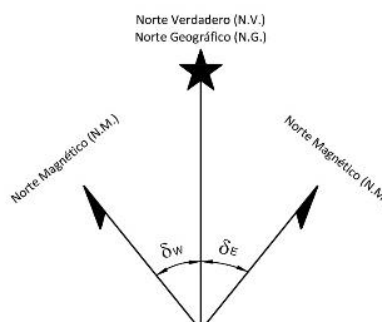


Fig. 33 b

Fig.33: Dos imágenes del movimiento secular de los polos y el paso de la línea ágona (0°) por la Universidad de Alicante en septiembre del 2016



Esta línea cero (ágon) que une los polos magnéticos, fue determinante para terminar con las disputas entre la corona de Portugal y la corona de Castilla ya que, este cambio de la aguja fue utilizada aproximadamente para ubicar una nueva línea llamada de **demarcación** que sirviese para saber y conocer que tierras eran para los portugueses y cuales para los españoles, por eso en el **tratado de Tordesillas** (Valladolid) del 7 de junio del 1494 firmaban ambos reinos el acuerdo de respetarse dicha línea de demarcación trazada imaginariamente de Norte a Sur, ubicada a 370 leguas al Oeste de las islas portuguesas de Cabo Verde, **decretando** que todas las tierras que sobrepasasen dicha línea seria para la corona de Castilla y las tierras anteriores a ésta, serian para la corona de Portugal. Por eso Brasil se lo quedó para conquistarlo Portugal y el resto para España

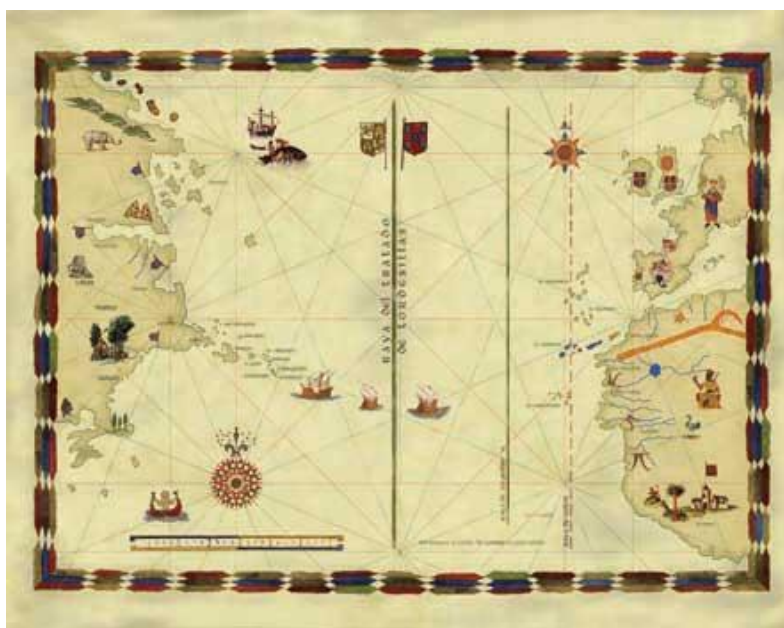


Fig.34: Carta náutica portuguesa representado la línea de demarcación



Fig.35: Carta náutica del almirante y cartógrafo Juan de la Cosa donde se resalta la línea demarcación

- **Variación del campo magnético**

Hoy día, se tiene conocimiento que las agujas de marear (la brújula), tanto en tierra, mar o aire varían según la intensidad de las líneas de fuerzas del campo magnético que envuelve a la Tierra. Estas líneas de fuerzas se encuentran divididas en unos valores de intensidad positivas y negativas denominadas líneas isógonas, existiendo una línea cero que divide al campo.

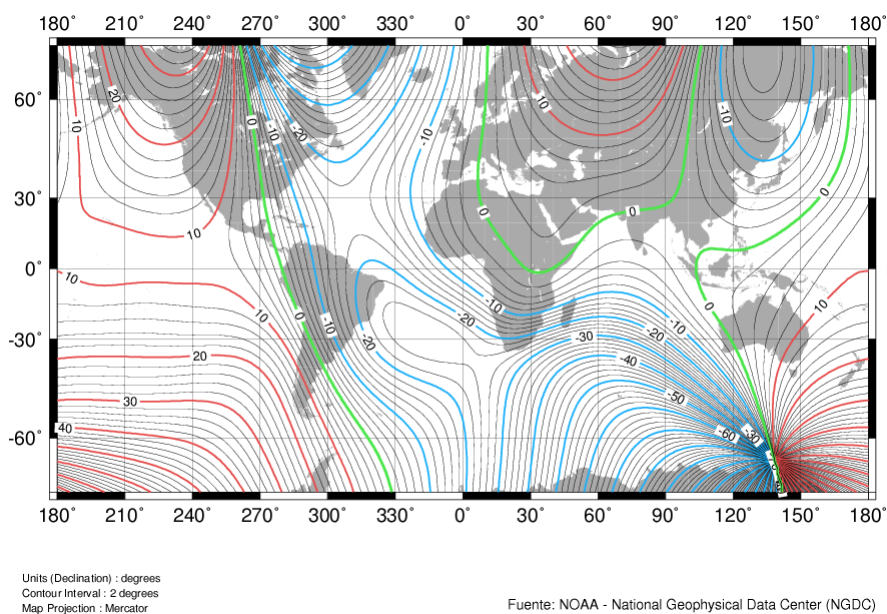


Fig.36: Mapa geofísico de las isógonas de la tierra para una fecha determinada. Fuente NOAA

Las líneas del campo magnético se están moviendo y para un observador en una ubicación concreta tendrán un valor y cómo van variando, puede que algún día pase línea ágonica (0°) por encima de tu cabeza. Los valores de las líneas de fuerza dependen las coordenadas geográficas y de la fecha.

Es posible que a alguien le interese este tema o simplemente por curiosidad, sugiero copiar enlace y observar el movimiento de la línea ágonica (0°) desde 1590 hasta 1990

La línea cero (ágonica) pasó por encima de la Universidad de Alicante en septiembre del 2016, en unos pocos días, coincidía el meridiano magnético que contiene el Norte magnético (NM) con el meridiano celeste superior que contiene el Norte verdadero (NV) siendo en esos instantes, su declinación cero.

- **Taller magnético**

Se puede hacer un pequeño taller y conocer cuando pasara la línea cero por nuestra vertical de lugar, si sabemos la declinación de hoy del lugar y los minutos que aumenta o decrece por año la declinación respecto al NV, podremos saber cuándo son coincidentes .

A Cristóbal Colon, este fenómeno lo experimentó en propias carnes observando y anotando el cambio de sentido de las agujas de marear y así lo escribe Bartolomé de las

Casas en el cuaderno de bitácora diciendo... *que las estrellas no se equivocan, aunque a veces las agujas de marear puede que sí.*

A raíz, de tener conocimiento de este fenómeno, se inicia el estudio del campo magnético y sus propiedades, disciplina que estudia la Geofísica

### **Instrumentos para la determinación de la longitud**

Los instrumentos que se usaban para la determinación de la longitud \*(ángulo que existe entre el meridiano de referencia y el meridiano local), eran tres: **reloj de arena**, **ampolleta** y **corredera náutica o barquilla**

Para los navegantes de alta mar, era un verdadero suplicio la determinación de la longitud con precisión, hasta que en el siglo XVIII se resolvió mediante la ideación del reloj de precisión de J. Harrison-5, mientras tanto, se tenía una sensación de incertidumbre que generaban los instrumentos y métodos empleados, produciendo verdaderas catástrofes y naufragios, produciendo numerosas pérdidas humanas y bienes de la armada de sus respectivos países.

Además, en aquella época, no había una medida patrón uniforme, incluso en el mismo país se tenían diferentes valores de medición entre leguas, estadios, o pies, etc. y la medición del tiempo le pasaba lo mismo con los relojes de arena o ampolletas, también variaban según el grano interno, la humedad, temperatura, presión y, no se podían contrastar con un reloj de arena patrón

- **Reloj de arena**

El reloj de arena consistía en dos conos de cristal unidos por su parte estrecha y venía protegido por dos bases de madera y unas varillas de protección de madera.

El reloj de arena normalmente usado en navegación era de 30 minutos porque se ajustaban a la comodidad de cálculo sencillo, pero los había de muchos tamaños y precisiones, posteriormente se empezaría a proteger completamente, que se le llamó ampolleta.



Fig.37: Reloj de arena protegido de 30 minutos. Fuente Wikipedia Fig.38: Ampolleta. Fuente Wikipedia

- **La ampolleta**

Con los años, incluso siglos, el reloj de arena se fue mejorando en la uniformidad de los granos de arena el desgaste del cristal del interior y se protegía de la meteorología (humedad, temperatura, presión, etc.) por eso a veces, aparece con este aspecto denominado ampolleta que estaba protegido del exterior.

Era un elemento muy importante en navegación y, a veces se fijaban su longitud con varias ampolletas de distinta granulometría, marcando la duración de la travesía desde la salida hasta el de llegada.

- **Corredera náutica o barquilla**



Fig. 39: Corredera náutica. Fuente Wikipedia, Fig.40: Barquilla de elaboración propia, Fig.41: Iniciando la operación con los tres instrumentos Fuente Wikipedia

La corredera náutica servía para **determinar la velocidad del barco** y se expresaba la velocidad en nudos o en millas por hora.

Era una cuerda que contenía una serie de marcas, llamados nudos colocados a una cierta distancia, por ej. la medida de un **codó común** que era la distancia que había entre nudo a nudo de 0,418 m y se iba soltando en sentido contrario al rumbo marcado. La cuerda estaba enrollada en un carrete o rulo por un extremo y por el otro iba unido a un triángulo de madera que flotaba y del cual colgaba un contrapeso que se dejaba caer en el momento de iniciar la operación.

El método de obtención de la velocidad consistía, en que varios marineros especialistas en este menester, se colocaban en la parte de proa o en la popa del barco y cada uno se encargaba de un cometido, uno con el reloj de arena y otro con la corredera náutica y el otro que corriese bien la barquilla. Cuando el reloj de arena de 30 minutos se terminaba, entonces se contaban los nudos que se habían soltado, obteniendo la distancia recorrida, luego si conocemos la distancia total que han salido de la corredera en un tiempo determinado de 30 minutos podremos saber la velocidad del barco (expresado en nudos o en millas marítimas).

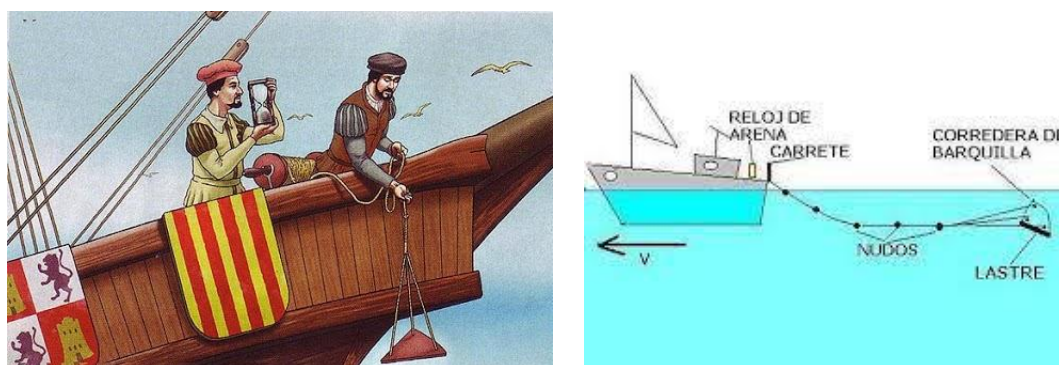


Fig.42: Dos imágenes del método empleado para calcular la velocidad. Fuente Wikipedia

Ejemplo. Si conocemos lo que equivale un codo común que en castilla valía 1,5 pies o 24 dedos es decir 0,418 m y si se habían soltado 120 nudos que equivaldría a una distancia de 50,16 m y en un tiempo de 30 minutos; podemos darnos una idea de la velocidad que podía tener un barco, luego se podía expresar en millas por minuto o kilómetros por hora.

Recordamos que una **milla marina** tiene 1852 m; ya que una milla es el arco de meridiano que contiene un minuto, y un **nudo** es la velocidad que corresponde a recorrer una milla marina durante una hora se suele expresar  $1M = 1,852 \text{ Km/hora}$ .

Este problema de imprecisión en el tiempo para la medida de la coordenada de longitud, no se pudo resolver bien hasta el siglo XVIII, por el relojero inglés John Harrison (1693 -1776) ganando el concurso para tal fin



Fig.43: Reloj cronómetro de precisión de J. Harrison versión 5. Fuente Wikipedia

- **Colón estrellas, eclipses y observatorios para la latitud y longitud**

Colón, conocía los instrumentos para la elaboración de la latitud perfectamente, pero nunca puso en práctica un sistema de determinación de la longitud como lo hacían los

grandes navegantes chinos como el almirante explorador Zheng He (1371 – 1433), que a las órdenes del emperador Zhu Di, de la dinastía Ming surco los mares del sur de China a principios del siglo XIV construyendo unos mapas cartográficos excelentes.

Gracias a los numerosos datos que aportaban los viajes marítimos utilizarían **la latitud** por comparación de observatorios uno fijo en Beijín y otro en tierra o mar donde se encontrasen, y midiendo las alturas de las mismas estrellas observadas desde diferentes lugares, podían determinar la **latitud y longitud** a igual que hizo Posidonio de Apamea

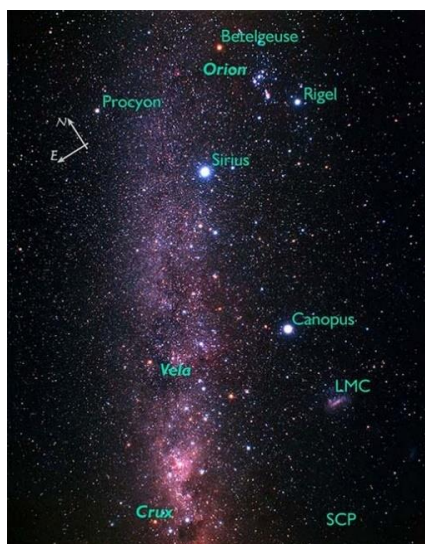


Fig. 44: Estrellas de referencia del hemisferio sur para determinar la latitud. Fuente Wikipedia

Las estrellas visibles más utilizadas desde el hemisferio Sur, fueron sirio del (can mayor) y canopus (de la constelación de Carinae, segunda estrella en brillo después de sirio).

Además, **determinaban la longitud**, por diferencias en tiempos que producían las entradas de contactos umbras y penumbras en los eclipses bien de luna o del sol ya que tenían un buen calendario y sabían cuando se iban a producir, después transformaban los tiempos a grados para que el cartógrafo de turno elaboraba con precisión el mapa.



Fig.45: Dos imágenes de eclipses uno de los chinos y la otra imagen es de Bartolomé (hermano de Colón) utilizando para otro fin. Fuente Wikipedia

Mientras los chinos, utilizaban los eclipses para elaborar su cartas náuticas, el hermano de Colón, Bartolomé, utilizaría la llegada de un eclipse de luna para engañar y atemorizar a los nativos, haciéndoles llenar las carabelas de víveres, amenazándoles que si no lo hacían, la luna se pondría muy roja y traería desgracias y enfermedades al poblado.

- **El regreso de Colón y la cartografía del nuevo continente**

El 12 de octubre de 1492, Colón llega a sus indias (realizando su sueño), aunque en realidad había llegado a la isla de Guayami (que le pusieron la isla del Salvador), Colón había descubierto un nuevo continente que posteriormente se llamaría América.

Pero, no solo Colón abrió una **nueva ruta comercial hacia el Oeste** y sin peligros, sino que además, había que volver a España y contarlo a los reyes católicos, de tal hazaña y las riquezas que contenía esas islas y países. Se sabe que otros navegantes como el almirante cartógrafo turco Piri Reis (1465 -1553), ya estuvieron por aquellas tierras, pero solo Colón regreso para contarlo y con mucha información de la nueva ruta abierta.

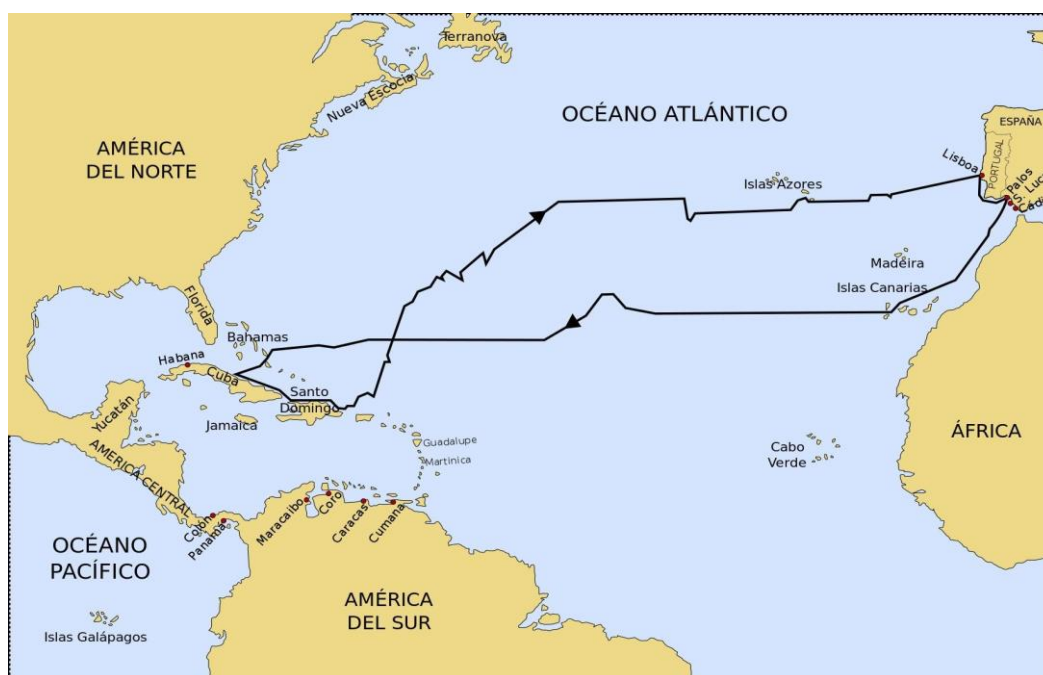


Fig.46: Mapa siglo XX de las rutas de ida y vuelta al continente americano. Fuente Wikipedia



Fig.47: Carta náutica (portulano) elaborado por C. Colón. Fuente biblioteca nacional de Paris

Con el descubrimiento de las Indias, Colón consigue un nuevo renacer comercial para España, Europa y por ende, para el resto del mundo, que poco a poco se irían impregnando de cierto entusiasmo social/económico renacentista, generando unos avances en muchas disciplinas como la navegación marítima, armamento bélico, astilleros navales, mejoramiento de especialistas en astronomía, cartografía y topografía, uso de métodos y técnicas de instrumentos astronómicos, construcción de observatorios en diversos países, en la transmisión cultural de lenguas con diversas culturas, en el desarrollo científico, antropológico, religioso (evangelización) en intercambios comerciales de cientos y cientos de productos de agricultura, ganadería, botánica, **creando numerosos puentes de diversidad cultural, muy enriquecedor y gratificante hasta nuestros días.**



Fig. 48: Carta náutica (portulano) elaborado por Juan de la Cosa. Fuente museo naval nacional de Madrid



La carta náutica de Juan de la Cosa. Es la primera vez que aparece el continente americano

**PD.** AUTOR: es fácil obtener actualmente las coordenadas geográficas (latitud y longitud) o analíticas (UTM- (X, Y,) mediante la utilización de las diferentes plataformas existentes (GPS, GLONASS, BeiDou, GALILEO) de los satélites artificiales cartográficos, pero en el siglo XV y XVI con el instrumental disponible ya descrito no resultaba tan fácil en la elaboración de las cartas náuticas, o mapas terrestres ¡¡mi admiración a todos¡¡

## Referencias

- Aparicio Arias, E.” *Expresión Gráfica y Topografía I*”. (2001). Editorial Ramón Torres. Universidad de Alicante
- Aparicio Arias, E. “*Reloj de Sancho*”.(2010). Publicaciones ApEA-nº 20
- Aparicio Arias E. “*Astronomía básica, constelaciones, láminas*” (2009), Editorial Ramón Torres. Universidad de Alicante.
- Arribas, A.”*Astronomía paso a paso*”(1996). Equipo Sirius. Madrid, (2009).Editorial Ramon Torres . Universidad de Alicante
- Biblioteca básica de la historia “*Los viajes de Colón*”. (2004). Editorial Dastin Export. Madrid.
- Colección de grandes mapas de la Historia. “*Descubrimiento del nuevo mundo*”. Mapa de Juan de la Cosa (2019). Instituto Cartográfico Nacional de España.
- Cortes Martin “*Breve compendio de la esfera y el arte de navegar*” (1550) facsímil. Editorial Maxtor. Valladolid.
- Cuadrante náutico de altura (S.XVI)
- [cuadrante náutico de altura s.xvi - Bing images](#)
- Dava Sobel “*Longitud*”, preparado por Patricio Barros.
- [www.librosmaravillosos.com](http://www.librosmaravillosos.com)
- De las Casas, B. “*Relación del primer viaje de D. Cristóbal Colón para el descubrimiento de las Indias*” (1892). Exportado de Wikisource24 marzo de 2022
- Fernández Fontecha, F.. edición facsímil (2001) “*Curso de astronomía náutica y navegación*”. (1880). Cádiz.
- García Castaño, D. “*Las rutas de los mercaderes y el alborear de la matemática*” (2009), Editorial Gamma. San Vicente del Raspeig Alicante.
- Garmendia Berasategui, I. “*Instrumentos astronómicos antiguos, curiosidades varias*” (1995). Gobierno vasco.
- Hurtado García, J. Antonio “*El primer viaje de colón*”, Revisado en mayo 2022
- [El primer viaje de Colón \(rediris.es\)](#)
- Ibáñez Fernández, J. “*Navegación Astronómica*”. (2016). Editorial Universidad del País Vasco.

- Las cinco herramientas de navegación que uso Cristóbal Colón. Revisado mayo 2022
- [Las 5 herramientas de navegación que usó Cristobal Colón - Muy Interesante](#)
- Libros del rey Alfonso X “*El libro del saber de astronomía*”. Facsímil. (2004) Estudios y transcripciones. Editorial Ebrisa.(Planeta Agostini)
- López Martin, J. “*Lectura de mapas y fotointerpretación*” (1989). Madrid
- López Martin J. “*Historia de la cartografía y de la topografía*” (2002) Centro de información nacional geografía. Madrid
- Martín Asín F. “*Problemas de astronomía*”. IGN-(1973). Madrid
- Miguel de Luis. “*geomagnetismo*” Instituto geográfico y catastral. (1974).
- Ministerio de cultura “*instrumentos científicos de los siglos XVI y XVII*”. (1989) Junta del puerto de Santander.
- 23 Navarro Brotons, V. “*Astronomía y cosmografía entre 1561 y 1625.Aspectos de la actividad de los matemáticos y cosmógrafos españoles y portugueses*” Cronos. Revisado mayo 2022
- [Astronomía y cosmografía entre 1561 y 1625. Aspectos de la actividad de los matemáticos y cosmógrafos españoles y portugueses | DIGITAL.CSIC](#)
- Navegar y navegar. Revisado mayo 2022
- [Navegar y Navegar \(armada15001900.net\)](#)
- Ptolomeo C. “*Sobre las medidas de las líneas rectas que se trazan en el círculo*”. (2003) Capítulo IX del libro I del ALMAGESTO Facsímil. Editorial Maxtor. Valladolid
- Revista (53) de difusión de la investigación. Método. “*Cartografía la visió del món*”. (2007). Universidad de Valencia
- Ros, R.M. y Viñuales, E. “*Coordenadas y telescopios*” (1992). Equipo Sirius. Madrid
- Rodríguez Arós A. Blanco, F. y Muiños, M.J. “*Trigonometría plana y esférica con aplicaciones a la navegación*” (2011). Editorial José López Raso

## NICARAGUA

### Medición de la latitud durante el equinoccio de primavera y el paso del Sol por el cenit.

**Ligia Areas Zavala y Ricardo Canales Salinas**

Observatorio Astronómico, UNAN-Managua

#### **Introducción**

Como parte del proyecto “Latitud para viajar y navegar” que tiene como objetivo calcular la latitud donde están los participantes. En Nicaragua se realizó el cálculo de la latitud durante el equinoccio de primavera, con la participación de los estudiantes del Colegio Público Guardabarranco ubicado en la ciudad de Managua y estudiantes de primer año, carrera Energía Renovable de la universidad UNAN-Managua. De igual manera se determinó la latitud durante el paso del sol en el cenit con estudiantes de la carrera de Energía Renovable.

#### **Calculo de la latitud durante el equinoccio de primavera**

El experimento se llevó a cabo el día lunes 21 de marzo del 2022, con un taller donde a los estudiantes se le explicó como ocurren las estaciones y el cálculo de la latitud del lugar de los participantes. El experimento se desarrolló en el Auditorio la Granja de reptiles, UNAN-Managua.

Hay que destacar que el 21 de marzo, es el equinoccio de primavera y pro este motivo la declinación es nula, en consecuencia, la formula a utilizar es mas sencilla,  $L= 90-h$ . A continuación se detallan los datos de la actividad:

Nombre del profesor: Lic. Félix Antonio Navarro, Dra. Ligia Areas Zavala y Dr. Ricardo Canales Salinas.

Ciudad y país: Managua, Nicaragua

Latitud real: 12.10391 grados

Día, mes, hora = 21, marzo, 12:00, medio día solar

Declinación solar:  $|D| = 00^{\circ} 01' 45'' = 0.0292^{\circ}$

Latitud obtenida:  $12^{\circ}$

Día, mes, hora = 21, marzo, 11:49

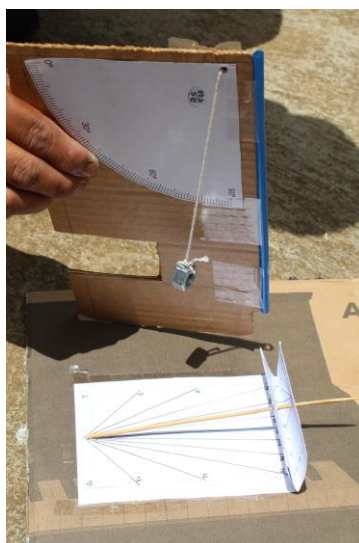


Fig. 1: Medición de la altura del Sol en el equinoccio de primavera.

En la figura 1, se puede apreciar la altura del Sol ( $h$ ) en su culminación superior, obteniendo una altura de  $78^\circ$  con el reloj solar indicando el mediodía solar. La declinación del Sol  $|D|$ , el 21 de marzo es equivalente a  $0.0292^\circ$ . Siendo la latitud ( $L$ ) equivalente a:  $L = 90^\circ - h + |D| = 90^\circ - 78^\circ + 0.0292 = 12.0292^\circ \approx 12^\circ$

### **Paso del Sol por el cenit**

El paso por el cenit es un día muy especial en aquellos países donde es posible y por ese motivo se realiza el experimento en esta ocasión. Resulta evidente que este día la altura del Sol al medido día solar es de  $90^\circ$ .

La experimentación se llevó a cabo el día jueves 21 de abril del 2022, paso del sol por el cenit en Nicaragua, con un taller donde a los estudiantes se les impartió conferencia Astronomía de Posición y medición de la altura del Sol en su punto más alto. Se desarrolló en el Recinto Universitario Rubén Darío, UNAN-Managua. A continuación datos de la actividad:

Nombre del profesor: Dr. Hugo Otoniel Munguia, Dra. Ligia Areas Zavala y Dr. Ricardo Canales Salinas.

Ciudad y país: Managua, Nicaragua

Latitud real: 12.01 grados

Día, mes, hora = : 21, abril, 12:00, mediodía solar

Declinación solar:  $11^\circ 37' 53'' = 11.6314^\circ$

Latitud obtenida: 11.63 grados  $\approx 12$  grados

Día, mes, hora = 21, abril, 11:44 am



Fig2: Medición de la altura del Sol durante el paso del sol por el cenit. Se comprobó que la altura del paso por el cenit al mediodía solar fue de  $90^\circ$ .

En la figura 2, se puede apreciar la altura del Sol ( $h$ ) en su paso por el cenit, obteniendo una altura de  $90^\circ$  con el reloj solar indicando el mediodía sola. En la parte inferior izquierda de la figura 2 puede observarse el gnomon que no muestra sombra. Cuando el Sol pasa por el cenit su declinación ( $|D|$ ) es equivalente a la latitud del Observador.

Siendo la latitud ( $L$ ) equivalente a:  $L = 90^\circ - h + |D| = 90^\circ - 90 + 11.63^\circ \approx 12^\circ$

### Participantes

Las figuras 3 y 4 muestran a los participantes en la primera experimentación, 21 de marzo.



Fig. 3: Estudiantes Colegio Público Guardabarranco



Fig. 4: Estudiantes carrera Energía Renovable de la UNAN-Managua

La figura 5 ilustran varios ejemplos de los estudiantes de la carrera de Energía Renovable de la UNAN-Managua desarrollando el experimento de la medición de la altura del Sol durante su paso por el cenit.

En esta ocasión, se mostró interés en el tema abordado y ejecución de las mediciones correspondientes, se comprobó la teoría con la práctica. Los docentes colaboraron con esta actividad cediendo parte de sus horas clases.



Fig. 5: Estudiantes durante las observaciones durante el paso por el cenit UNAN-Managua

## Referencias

- García, B.; Ros, R. M.; Viñuales, E.; Moreno, R. «Latitud para viajar y navegar», UNESCO, NASE, IAU, 2022.
- Ros, R. M.; García, B. «14 pasos hacia el universo». Curso de Astronomía para profesores y posgraduados de ciencias. Segunda edición, marzo 2015.

## GUATEMALA

# Determinación de la Latitud local

**Edgar Cifuentes**

Universidad San Carlos de Guatemala

El curso NASE se ha desarrollado en Guatemala desde 2012 en diferentes épocas del año pero en esta época de pandemia lo hemos hecho en Junio. Debido a eso para marzo de 2022 no podíamos realizar la actividad con ellos.



Fig. 1: Determinación de la latitud usando la estrella polar es de  $18^\circ$

Sin embargo a lo largo de todas las ediciones de NASE en Guatemala hemos contado con el apoyo de nuestros estudiantes de física y gracias a ellos hemo podido realizar la actividad y aquí le comparto algunas fotografías de ese trabajo.



Fig. 2: La determinación de la altura del Sol al medio día del 13 de marzo es de  $72^\circ$

El trabajo lo hicieron de forma remota pues aún estamos trabajando a través de clases virtuales debido a la pandemia. Para ello se dieron las instrucciones para que hicieran la actividad en sus casas, luego algunas reuniones virtuales adicionales para aclarar dudas hasta que finalmente la gran mayoría de ellos desarrolló la actividad en forma satisfactoria.

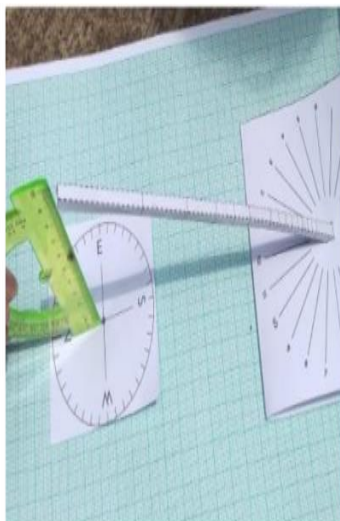


Fig. 1: Preparando el reloj solar

Para determinar la latitud local el día 13 de marzo de 2022 la medida de la altura del Sol tomada fue de  $72^\circ$  y la declinación del Sol era  $D = -3^\circ$ . Las medidas se tomaron el 13 de marzo 2022, por lo tanto en invierno

Altura (H) del sol =  $72^\circ$

Declinación D =  $-3^\circ$

La latitud (L) cumple  $L = 90 - H - |D| = 90 - 72 - 3 = 15^\circ$

La latitud de Guatemala esta entre  $13^\circ\text{N}$  y  $18^\circ\text{N}$  dependiendo de la zona del país

## Referencias

- 14 Pasos hacia el Universo, 2nd. Edition. Eds. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.



## PANAMA

# Importancia astronómica del cuarto viaje de Cristóbal Colón y su paso por Panamá

**Madelaine Rojas**

Centro Nacional de Ciencias Espaciales de Panamá (CENACEP),  
Instituto Superior Técnico Especializado (ITSE),  
Panamá

### Introducción

En esta última expedición transoceánica de Cristóbal Colón, navegó entre los paralelos de Canarias (29° N) y San Salvador (25° N) y la altura de la polar le sirvió para determinar su latitud en el hemisferio norte. Llegando él por primera vez a recorrer la costa Centroamericana de Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, así como algunas pequeñas islas del Caribe. El propósito de la ida hacia el “Poniente” era un intento más por encontrar un paso marítimo por el oeste hacia Asia con el fin de adelantarse a sus rivales portugueses y conquistar las riquezas que conocía Europa del Índico.

### Conocimientos astronómicos de Colón

En el plano político la carrera de Colón estaba decreciendo, casi un mes antes de partir a su cuarto viaje pierde todos los privilegios que había adquirido en 1492 como único gobernador de los territorios que descubriera y fue destituido del gobierno de España. Los Reyes no le otorgaron permiso para llegar a La Española con la excusa de que no perdiera tiempo y se dedicara a encontrar oro y otros insumos de valor. Colón recibió instrucciones de ir por otro camino “que agradara a Dios” y que si le parecía necesario podría volver por la Española para detenerse un poco e informar lo que estaba pasando o lo que se necesitaba en esos lugares. Sin embargo, en el plano científico este viaje le ayudó a demostrar sus conocimientos en astronomía y meteorología. Basado por supuesto en sus experiencias de viajes anteriores. Esto lo demuestra el 15 de junio de 1502, cuando estando en el Mar Caribe pudo percibir los síntomas que se acercaba un huracán. Esta fue una de las ocasiones de este viaje en la cual sus conocimientos y observaciones lo llevaron a sacar conclusiones infundidas científicamente. Colón además de identificar el huracán sabía hacia dónde se dirigía lo que le permite tomar una dirección contraria y evitar ser arrasado por el huracán que desbastó la Isla Española y mató a centenares de personas.

Cristóbal Colón en cada uno de sus viajes cambia su trayectoria con el anhelo de encontrar la ruta para llegar a Asia, por el otro lado del planeta. En su tercer viaje se

adentró al hemisferio sur y se convenció de que debía regresar a latitudes más al norte. Colón estaba convencido de que las tierras descubiertas no estaban unidas, sino que debía existir un paso marítimo para llegar a las islas de las especias directamente. Todos los viajes de Cristóbal Colón siguieron diferentes trayectorias, pero estaban muy parecidas con respecto a la forma de la trayectoria. Al navegar en el mar sin referencias Cristóbal Colón intentó mantenerse en el mismo paralelo sólo con ayuda de un cuadrante que le permitía determinar la altura de la estrella Polar para poder seguir un mismo paralelo. Los nativos centroamericanos describían “un inmenso canal de agua tierra adentro” que Colón consideró que podría ser un paso viable para encontrar la ruta hacia Asia. Justo en las costas de la Comarca Ngäbe-Buglé siguieron un canal hacia el interior pensando que encontrarían una salida, pero no tuvieron éxito. Entonces los indígenas les hablaron de una ruta terrestre de nueve días a través de las montañas que llevaba a un océano diferente. Colón comenzó la ruta, prácticamente en la misma zona donde en el siglo XX se construirá el canal de Panamá, pero decidió no continuar por ahí al considerar que era demasiado arriesgado internar a sus hombres en ese territorio selvático y montañoso y porque él deseaba encontrar una ruta estrictamente marítima. De haber continuado, se habría convertido en el primer europeo en avistar el océano Pacífico. Colón estaba convencido de que el paso marítimo que necesitaba debería estar entre Veraguas y Nombre de Dios, perteneciente a territorio panameño. A medida que viajaba hacia el sur por la costa de Centroamérica, comenzó a ver que los indios cada vez se parecían más a los que había visto en su tercer viaje, en el cual había llegado a las costas de lo que hoy conocemos como Venezuela. Además, estos nativos le habían dicho que no había ningún paso marítimo. El 5 de diciembre de 1502, tras recorrer la práctica totalidad de la costa de Centroamérica y con una tripulación agotada, abandonó la búsqueda del paso occidental y se dirigió a Veraguas, en la actual Panamá, porque los aborígenes le habían dicho que había abundante oro.



Fig. 1: Cuarto viaje de Colón en que llega a Panamá

La historia contada por Diego Méndez, el escribano del cuarto viaje de Colón, relata que justo estando en la desembocadura del río Belén, entre las provincias de Colón y Veraguas, los nativos del lugar, liderados por el Cacique Quibian, intentaron quemar los navíos y matar a los españoles. Con el pretexto de que se estaban preparando para una guerra con la provincia de Cobravá Aurira, que es lo que hoy se conoce como Calovébora. Esto produjo el desgaste de la tripulación quienes se valieron de estrategias

de persuasión para salir victoriosos y dejar a los nativos estupefactos cuando el compañero de Diego Méndez, Escobar, le corta el cabello a Méndez utilizando una tijera, peine y un espejo. Esto bastó para “amansarlos” y pedirles que le trajeran algo de comer.

En junio, 1503, Cristóbal Colón perdió dos barcos (había cuatro en total) debido a que estaban siendo gradualmente corroídos desde sus cimientos gracias a la broma, que es una especie de molusco que causa daños en las embarcaciones y las estructuras de madera sumergidas. El 25 de junio, para evitar su muerte y hundirse en el fondo del océano, Colón ordenó a sus hombres atracar en la isla más cercana, que resultó ser la costa norte de la isla Jamaica, donde esperarían el rescate por parte de su gran amigo Diego Méndez. Originalmente, los lugareños, los indígenas Arawak, recibieron cordialmente al equipo impresionados por estos extraños alienígenas, estaban lo suficientemente felices como para proporcionarles refugio y comida. Sobre todo, porque estaban padeciendo dificultades. Así que les dieron comida, agua dulce, casi todo lo que pedían. Estaban fascinados por las brillantes baratijas y los fuertes silbidos que recibirían a cambio de maíz, pescado y alojamiento. Sin embargo, pronto todo cambió. Seis meses después, parte del equipo se rebeló y comenzó a saquear y matar a los indígenas. En respuesta, los lugareños dejaron de abastecer a la gente de Colón con comida. Mientras que el gran explorador pasaba tiempo revisando sus tablas astronómicas para calcular cuándo llegaría su rescate, encontró dos volúmenes especiales que casi todos los exploradores usaban para navegar en alta mar, incluido Vasco da Gama durante sus expediciones: el Almanaque Perpetuo de Abraham Zacuto y Efemérides, un volumen reciente de mapas astronómicos compilado y publicado por Johann Müller, un destacado astrónomo y matemático alemán que luego se hizo famoso por su nombre latino Regiomontanus. Estos libros contenían tablas astronómicas, que abarcaban el período 1475-1506. Se trataba de una ayuda indispensable para cartógrafos, navegantes y astrónomos.

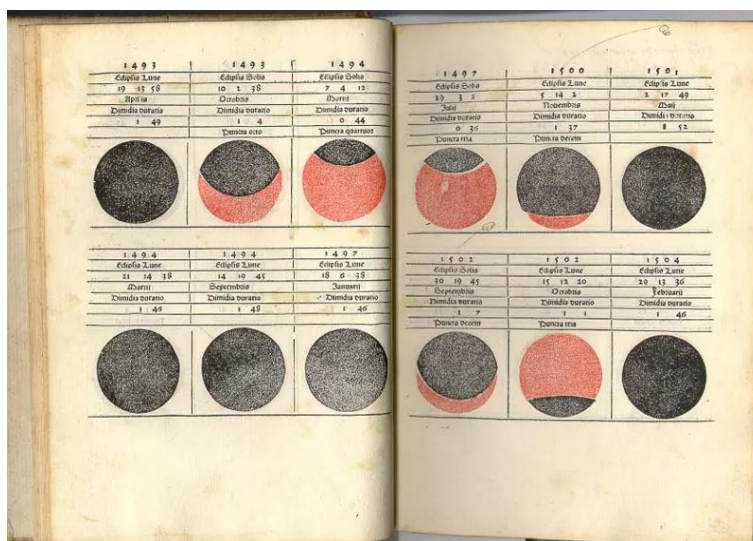


Fig. 2: Estas dos páginas del almanaque de Regiomontano describen los eclipses de Sol y Luna. En el extremo derecho inferior está señalado el eclipse de Luna del 29 de febrero de 1504 que utilizó Cristóbal Colón.

Pasaron los meses y Colón recordó sobre las estrategias de persuasión utilizadas en sus viajes anteriores y especialmente meses antes en Panamá, liderada por su amigo Diego Méndez. Esta vez, basado en conocimientos astronómicos de información precisa de los libros que poseía sobre el Sol, la Luna y los planetas, así como su posición e instrucciones detalladas para navegar por las estrellas, el famoso explorador encontró un pronóstico de un eclipse lunar total que estaba a la vuelta de la esquina, el 29 de febrero de 1504, justo el día extra de ese año bisiesto.

Teniendo en cuenta que la tribu que los expulsó recientemente no habría dado por sentado tal evento Colón pensó en una solución y pidió permiso para reunirse con los nativos y probar su último recurso. En la reunión programada, dijo que Dios mostraría una señal clara en las próximas horas, después de lo cual lanzaría su ira sobre ellos por no ayudarlo a él y a su gente. Entonces la Luna, tal y cómo lo predijo, se puso roja de inmediato en el cielo.

Los nativos huyeron por todos lados para buscar suministros, rogándole que restaurara la Luna. Colón les dijo que esperaran basados en los escritos Regiomontanos, él sabía el tiempo que le tomaría a la Luna perder ese tono rojizo de luz refractada y recuperarse. Y como estaba a punto de suceder, regresó a la costa y les informó que su Dios estaba de acuerdo de regresar a la Luna mientras lo mantendrían a él y a su gente a salvo. Al día siguiente mantuvieron su palabra hasta el 29 de junio de 1504, cuando finalmente llegó un barco español para rescatar a Colón y sus hombres varados.

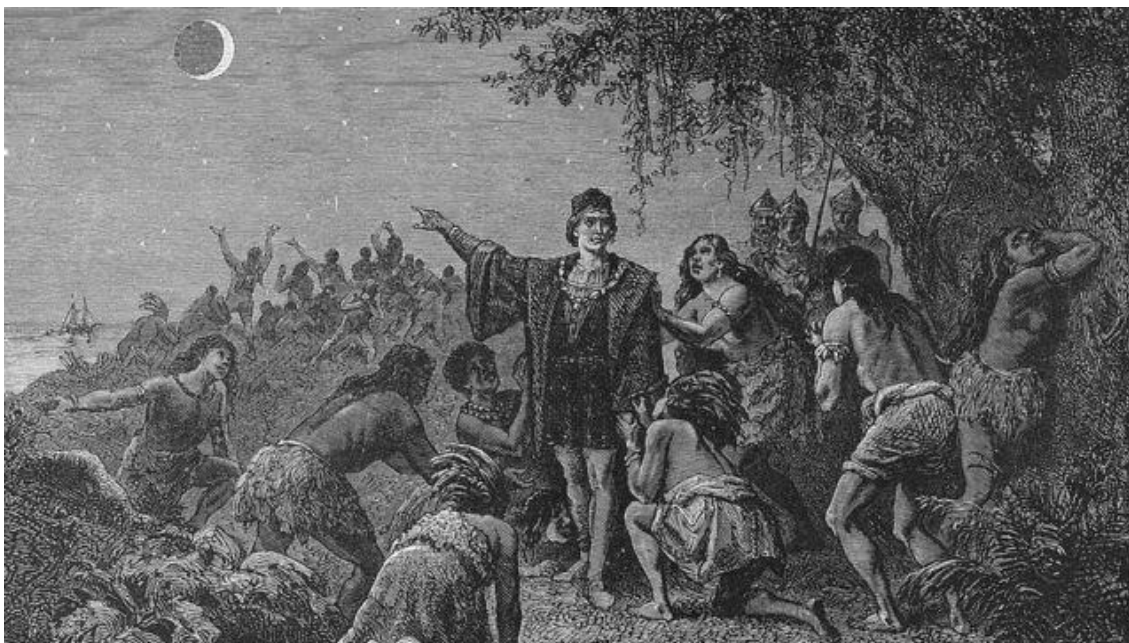


Fig. 3: Cristóbal Colón durante el eclipse de 29 de febrero de 1504.

En su cuarto viaje Cristóbal Colón siguió utilizando instrumentos y métodos ingeniosos para navegar, por ejemplo, para determinar la altura del Sol, registrar tablas de su declinación y seguir siempre una misma dirección que nunca perdían de vista. Aplicaba

las observaciones astronómicas para corregir los errores de rumbo. Cristóbal Colón durante su viaje observó las variaciones entre las distancias del Sol a la Luna y a otros planetas, así como las de sus eclipses y conjunciones. Con toda esta información pudo deducir un sistema basado en las observaciones de grandes viajeros antecesores de él. Y la repetición de sus viajes o expediciones científicas, que promovieron parte de los conocimientos humanos obtenidos gracias a las efemérides de Regiomontano. Esta información precisa sobre las fechas esperadas de muchos eclipses también contenía información explícita sobre su duración y plazos. Cuando el Sol, la Tierra y la Luna están alineados es visible desde casi la mitad del globo y este evento le salvó la vida a él y a su tripulación. Además, suministró hechos y observaciones sobre la que se cimentaron muchos conocimientos científicos, cuya verdad estriba en el testimonio de los escritores que han sido actores o testigos de los acontecimientos que refieren.

## Referencias

- Navarrete, M., Ros. Colección de los viajes y descubrimientos que hicieron por mar los españoles desde fines del siglo XV. Tomo 1, segunda edición, 1853
- Wilson-Lee, E., Memorial de los libros naufragados. Editorial Ariel, 2019

## ESPAÑA

# Buscando mejorar las observaciones

Juan A. Prieto Sánchez y M<sup>a</sup> Pilar Orozco Sáenz

Colegio Huerta de la Cruz, Algeciras

### Introducción

Nuestro equipo está formado por un grupo de siete alumnos de 3º curso de educación secundaria. Empezamos las observaciones en marzo y desde entonces hemos evolucionado en varios aspectos: hemos introducido un cambio el método de recogida de datos y registros, hemos mejorado el instrumento de observación debido a que se producían errores con respecto a la latitud que debería resultar, hemos aumentado la formación teórica y hemos realizado observaciones nocturnas. Debemos decir también, que hemos observado un aumento en la motivación de los alumnos, los chicos están implicándose cada vez más en él, por ejemplo, trabajando en días no lectivos, realizando observaciones nocturnas e incluso durante los viajes con sus familias, han seguido realizando observaciones y registros.



Fig. 1: Grupo de 3º ESO.

Después de una sesión teórica, los alumnos fabricaron sus propios instrumentos. Intentaron construirlos utilizando diferentes elementos: un cuadrante impreso que mostraba los ángulos, un transportador (más preciso) o incluso un cuadrante de “pistola” o una regla

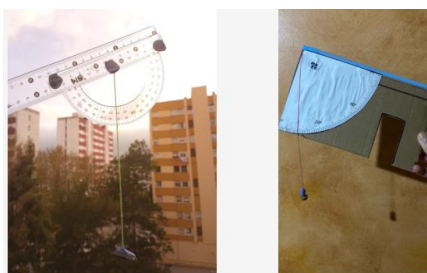


Fig. 2: Fabricación del instrumental



Fig. 3: Primeros instrumentos

### **Primeras observaciones diurnas y primeros errores de observación.**

En las primeras mediciones y después de realizar los cálculos para saber la latitud, observamos que había mucha diferencia con respecto al valor real.

El error se encontraba en sus mediciones. Tal como indicamos en la figura 4, al realizar las mediciones de ángulos, cualquier variación insignificante da lugar a valores dispares con respecto a los valores reales.



Fig. 4: Errores en los instrumentos

### **Modificación del instrumento de observación.**

Además de mejoras en los instrumentos, vimos oportuno fijar el artilugio para mejorar la lectura de los grados.



Fig. 5: Mejoras en la situación del instrumento de observación

**Mejora en los cálculos. Creación de una hoja de cálculo en Excel.**

Se decidió realizar la toma de datos a diario siempre que el tiempo meteorológico nos lo permitiera. Para mantener el registro en orden, se creó una tabla Excel.



	A	B	C	D	E	F
	Latitud real					
	Coordenadas decimales: 36,1336					
	Coordenadas GD: 36,1333o N					
	Coordenadas GMS: 36o 7' 59,7"					
1						
2						
3						
4		h	D	L		
5	01/04/2022; 12:00	55	4	39		
6		50	4	44		
7		55	4	39		
8		40	4	54		
9		55	4	39		
10		45	4	49		
11		50	4	44		
12						
13	01/04/2022; 14:00	50	4	44		
14		53	4	41		
15		58	4	36		
16		39	4	55		
17		58	4	36	36° 16' 57"	

Fig. 6: Registros de las observaciones

**Taller con Sebastián Cardenete y Carlos Durán, “Navegar con las estrellas en tiempo de Magallanes”.**

Durante la celebración de la Feria de ciencia en Algeciras, Diverciencia, se ofertó un taller a cargo de Sebastián Cardenete y Carlos Durán en el que hablaron de cómo los



marinos podían navegar ayudándose con las estrellas y nuestro Sol. Nuestros alumnos asistieron a este taller para aumentar sus conocimientos del tema y resolver sus dudas.



Fig. 7: Taller, “Navegar con las estrellas en tiempo de Magallanes”

### Difusión en “Diverciencia”.

Los días 4, 5 y 6 de mayo se celebró la feria de ciencias en Algeciras; en esos días pudimos divulgar el proyecto entre los asistentes.



Fig. 8: Diverciencia, Algeciras

### Observaciones nocturnas.

Para poder realizar cálculos nocturnos con la ayuda de la Estrella Polar, fue necesario primero instruir a los alumnos en cómo encontrarla.

Para ello hay que localizar la constelación de la Osa Mayor (también conocida como “El Carro” o “la sartén”). Desde las dos últimas estrellas de la Osa Mayor que vemos representadas en la imagen trazamos una línea imaginaria de aproximadamente cinco veces la distancia entre estas dos estrellas y llegaremos a la Estrella Polar.

Sabremos si hemos acertado si esta estrella forma a su vez parte de una pequeña constelación llamada “Osa Menor”.



Fig. 9: Localizar la Estrella Polar

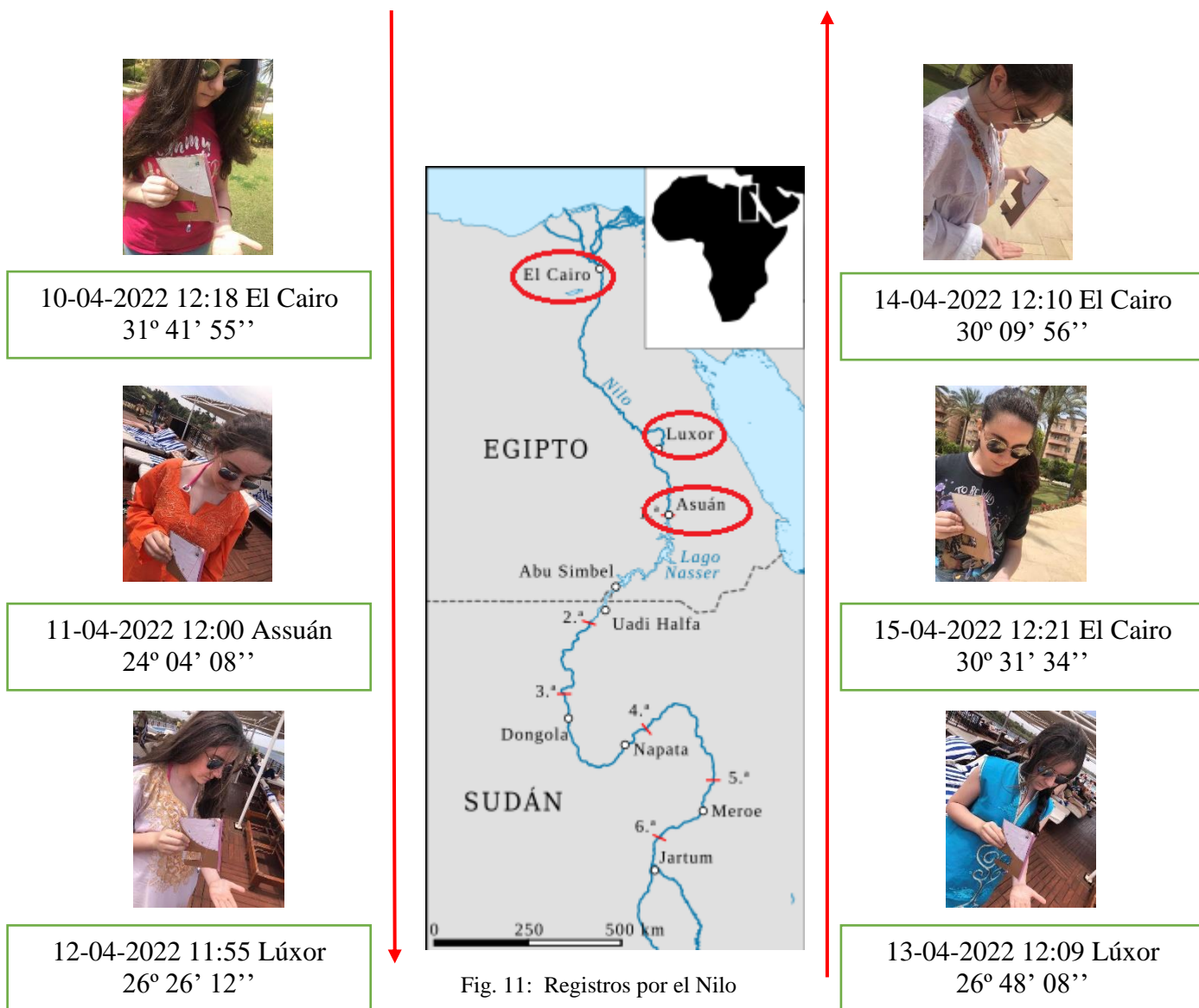
Por otro lado, pudieron usar el App SkyView en sus smarphone para facilitar la localización de la Estrella Polar.



Fig. 10: Primeros registros nocturnos

**“En búsqueda de las fuentes del Nilo”\_ Aplicación del método durante un viaje por Egipto.**

Una de nuestras alumnas, aprovechando un viaje familiar de crucero por el río Nilo, en Semana Santa, realizó mediciones en varios puertos que visitó.



## Referencias

- Ros, R. M.; García, B. ed.14 pasos hacia el universo». Curso de Astronomía para profesores y posgraduados de ciencias. Segunda edición, marzo 2015.
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Nilo>
- <https://astroaficion.com/2011/02/19/encontrar-la-polar/>

- <https://www.divercienciaalgeciras.com/actividades-paralelas-diverciencia-2022-2/>

## NASE PUBLICATIONES

- **14 pasos hacia el Universo**, Rosa M. Ros y Beatriz Garcia edi., Barcelona, 2018.
- **14 steps to the Universe**, Rosa M. Ros and Mary Kay Hemenway edi., Barceona, 2018.

**<http://www.naseprogram.org>**