

# Latitud para viajar y navegar

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



La propuesta de NASE se engloba en el Día Internacional de la Luz, que recuerda el día en que por primera vez se encendió un rayo láser creado por el ser humano. En esta propuesta se trata de calcular la latitud donde están los participantes cualquier día entre el 20 de marzo al 23 de septiembre de 2022, y rellenar los datos solicitados en la tabla final. Este proyecto figura en la web del Día Internacional de la Luz de la UNESCO entre los eventos propuestos para todo el mundo (worldwide): <https://www.lightday.org/events>

**La tabla con los datos y los resultados, y 2 ó 3 fotos del experimento, deben enviarse antes del 23 de septiembre de 2022 a [newsletter.nase@gmail.com](mailto:newsletter.nase@gmail.com)**

## Viajar y navegar usando la astronomía

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.

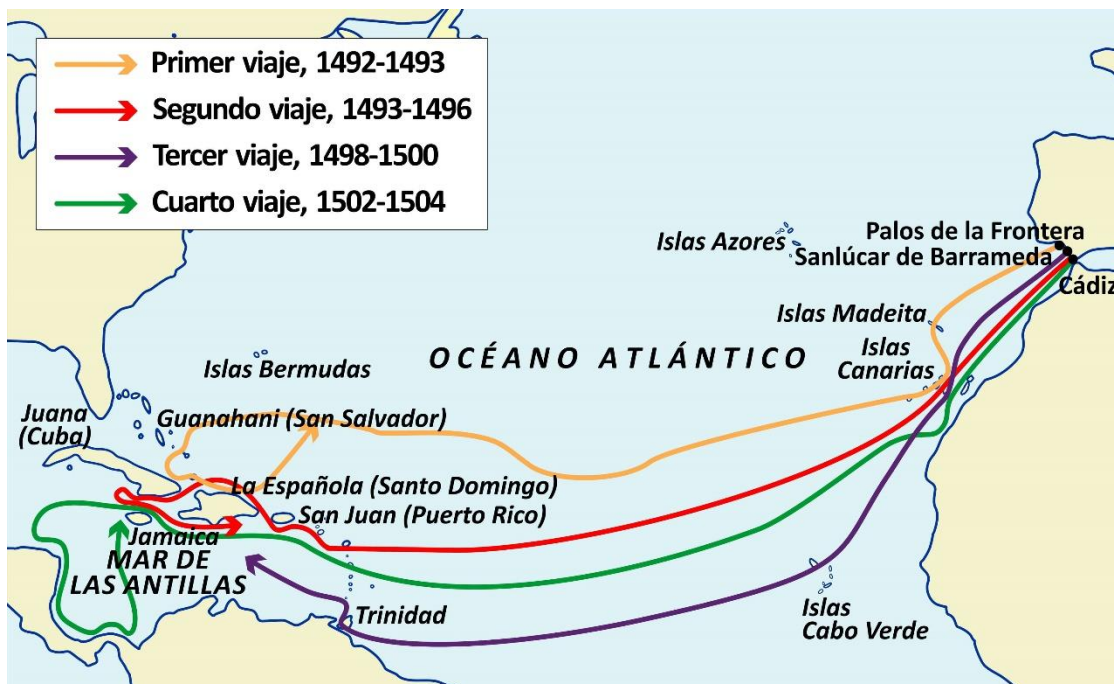


Figura 2. Los cuatro viajes de Colón. Cruzan el Océano Atlántico. En el primer viaje Colón se mueve entre los paralelos de Canarias 29°N y San Salvador 25°N

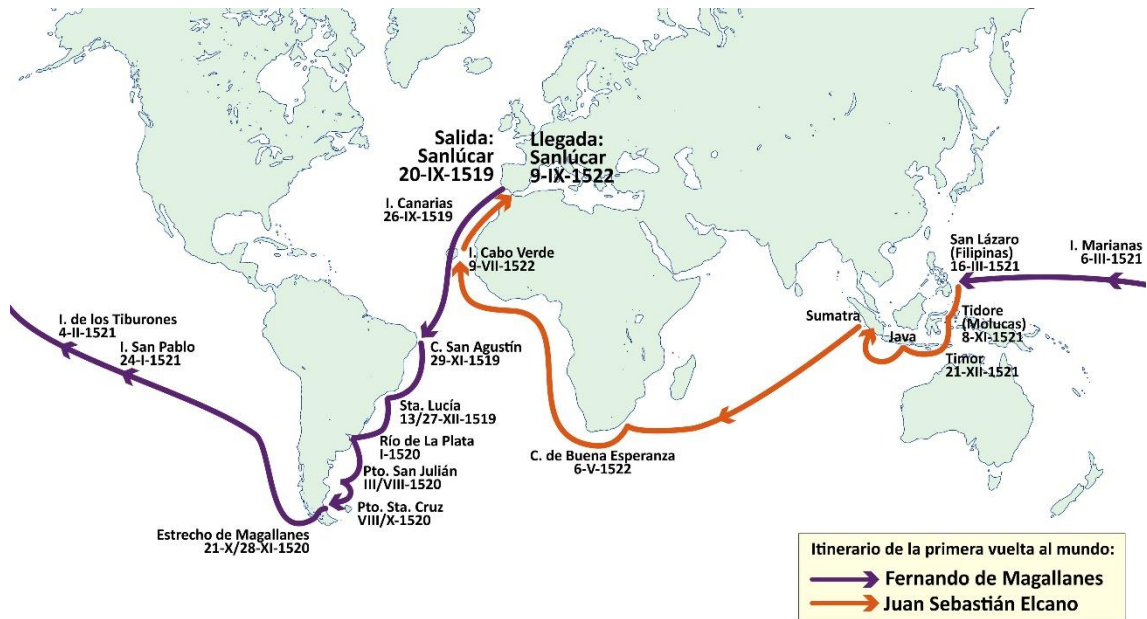


Fig. 3: Primera vuelta al mundo de Magallanes y Elcano. Además del Océano Atlántico y le Océano Indico, deben cruzar el Océano Pacífico entre los paralelos del Estrecho de Magallanes (53º S) y el paralelo de las Filipinas (14ºN).

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).

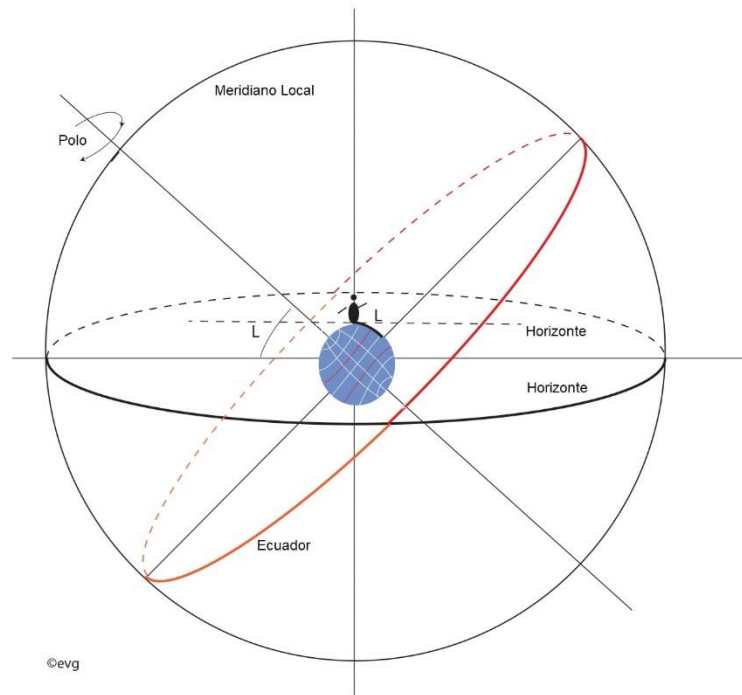


Figura 4. La latitud coincide con la altura de la polar y la colatitud es la altura del ecuador al mediodía solar el día del equinoccio.

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  $-23^{\circ},5$  y desde el ecuador al día que alcanza la altura máxima  $+23^{\circ},5$  (primer día de verano). El ángulo desde el ecuador al paralelo donde está el Sol cualquier día del año se llama declinación solar.



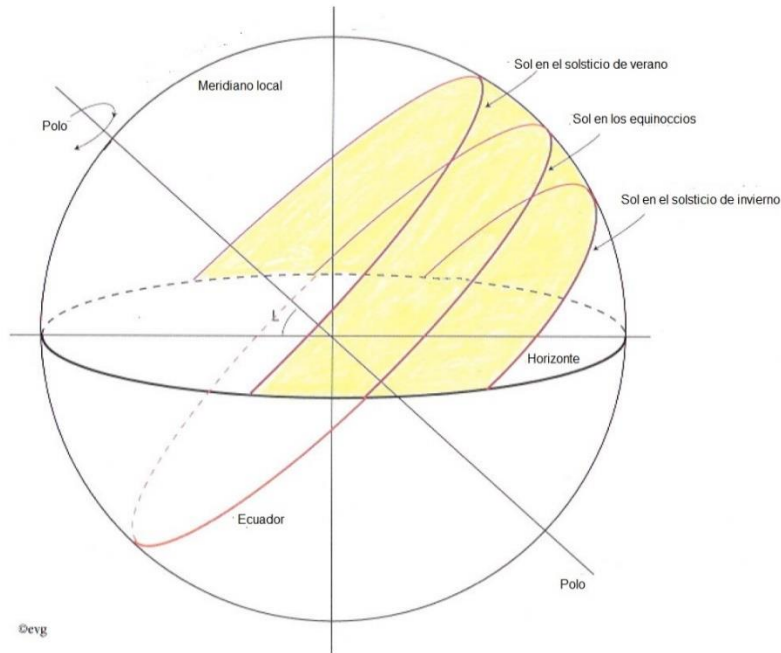
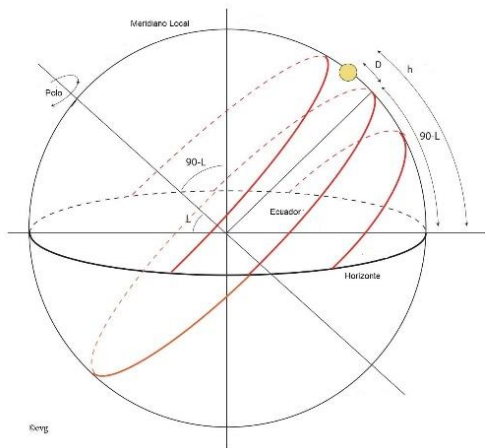


Figura 5. El Sol se mueve en paralelos al ecuador donde la declinación del Sol varía desde +23,5 grados por encima del ecuador hasta -23,5 grados por debajo del mismo, dando lugar a los dos solsticios.

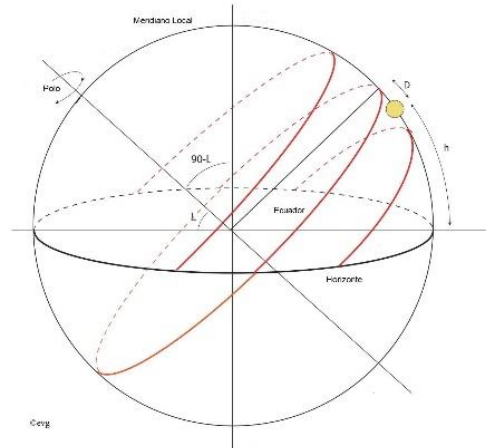
En cualquiera de los dos hemisferios, en primavera o verano el Sol lo vemos por encima del ecuador (figura 6) y su altura  $h$  cumple:

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

(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.



©evg



©evg

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  $-23,5^\circ$  ó entre  $0$  y  $+23,5^\circ$  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	Octubr	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 36 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:

$$L = 90 - h \quad \text{en los equinoccios}$$

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)

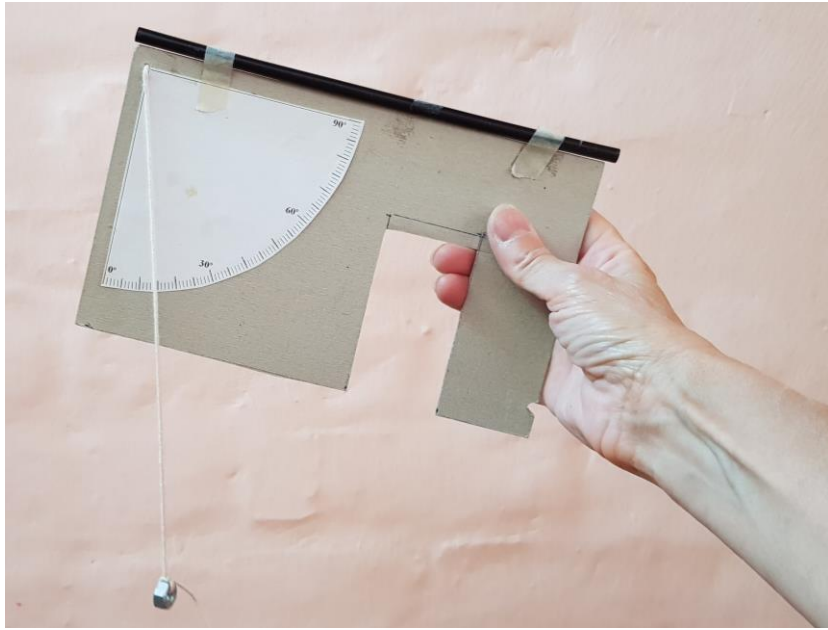


Figura 8: Cuadrante NASE terminado.

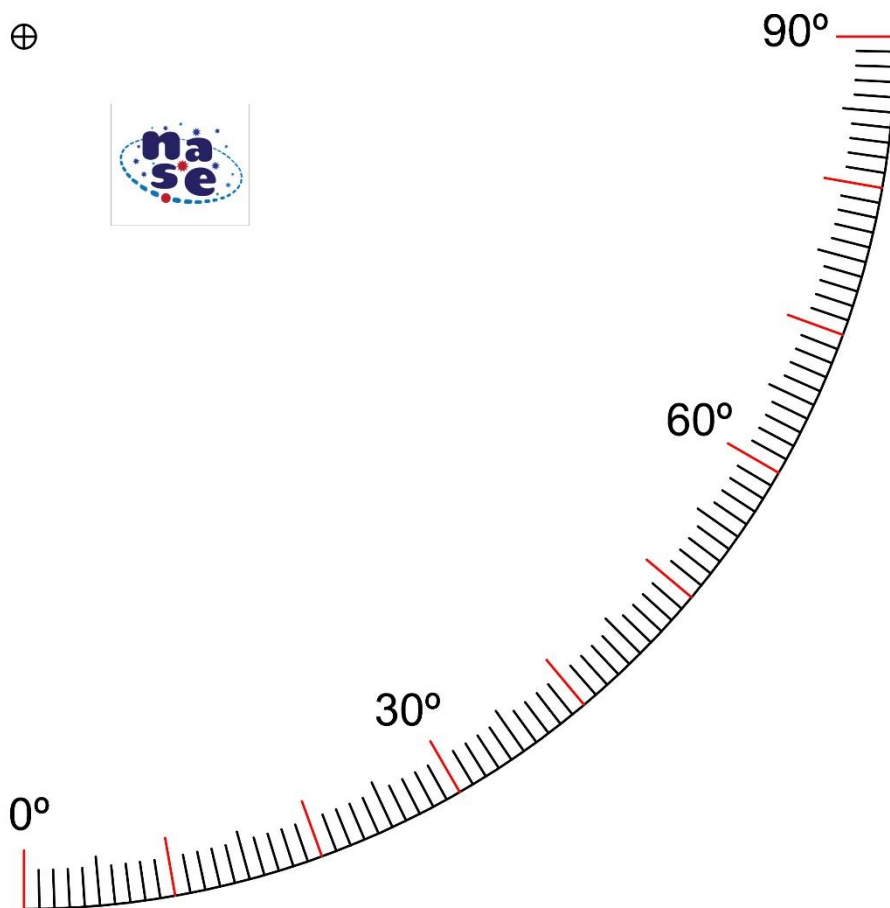


Figura 9: Graduación para pegar la cuadrante.

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)

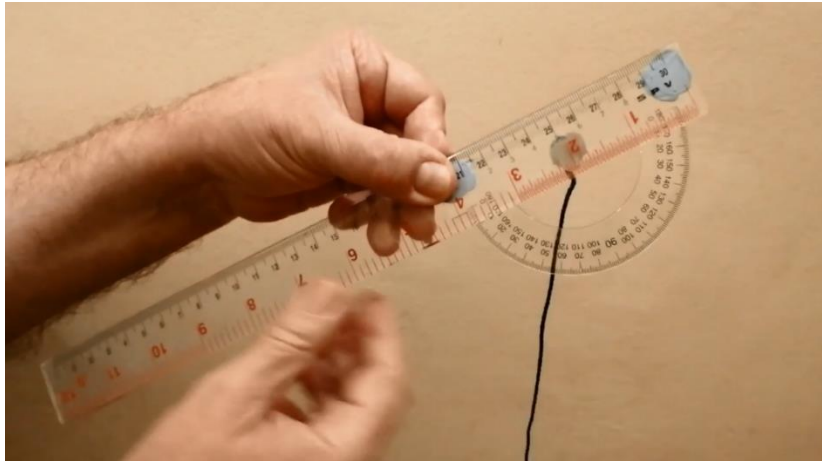


Figura 10: Cuadrante con regla y transportador

#### 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.

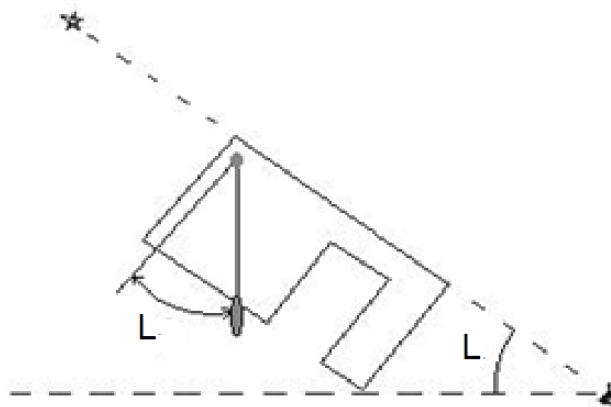


Figura 11: El ángulo que se lee en el cuadrante coincide con la altura del objeto sobre el horizonte.

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.

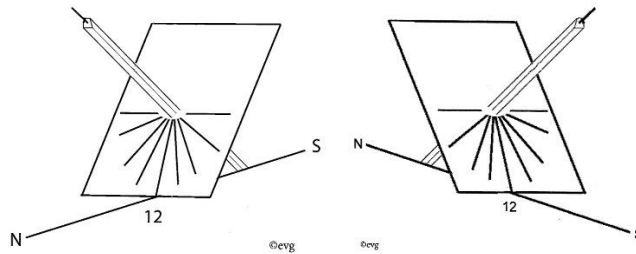


Figura 13: Orientación de un reloj ecuatorial en el hemisferio norte (izquierda) y en el hemisferio sur (derecha)

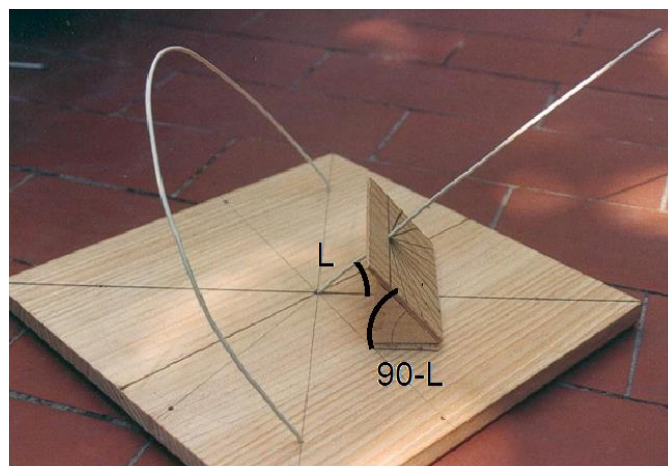


Figura 14: Un reloj ecuatorial tiene el estilete en la dirección del eje de rotación terrestre y el plano debe ser paralelo al ecuador. Así el ángulo de la altura del polo es la latitud del lugar  $L$ , y la inclinación del plano (perpendicular al estilete) es la colatitud del lugar.

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).

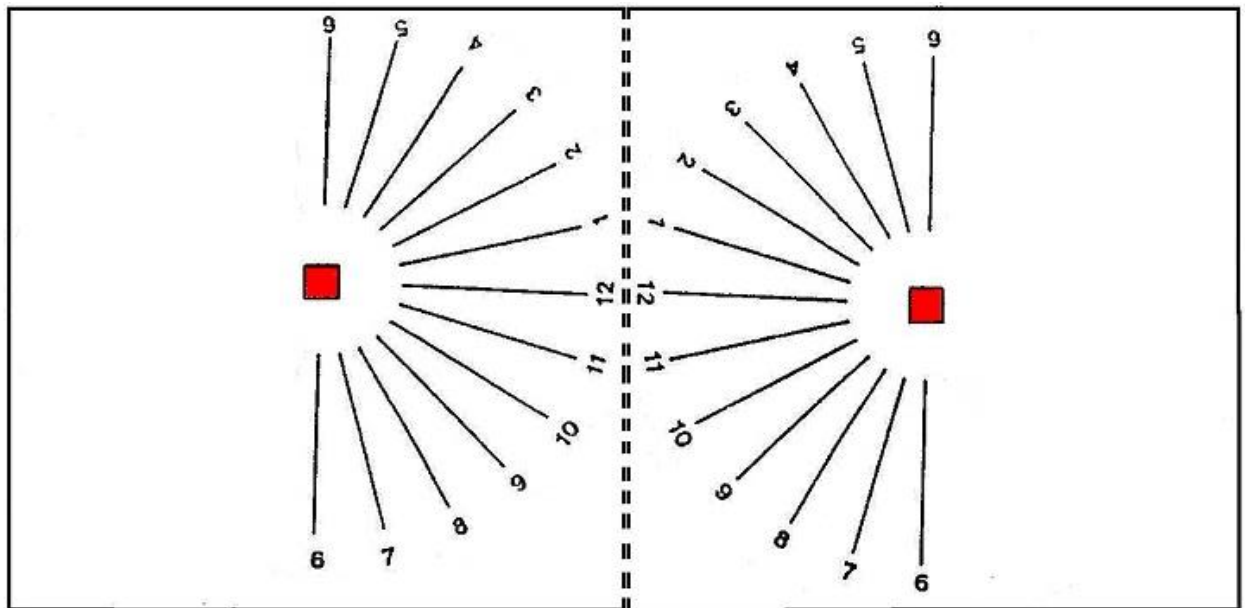


Figura 15. Plano del reloj ecuatorial

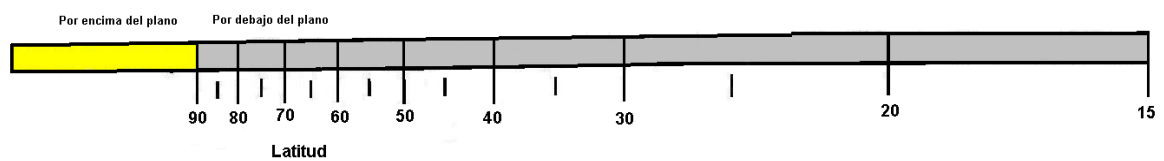


Figura 16. Referencia para cortar el estilete según sea la latitud del lugar

## 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)

## Bibliografía

- 14 pasos hacia el Universo, 2ª. Edición. Ed. Rosa M. Ros & Beatriz García, Editorial Antares, Barcelona, 2018.

