

# LATITUD PARA EXPLORAR

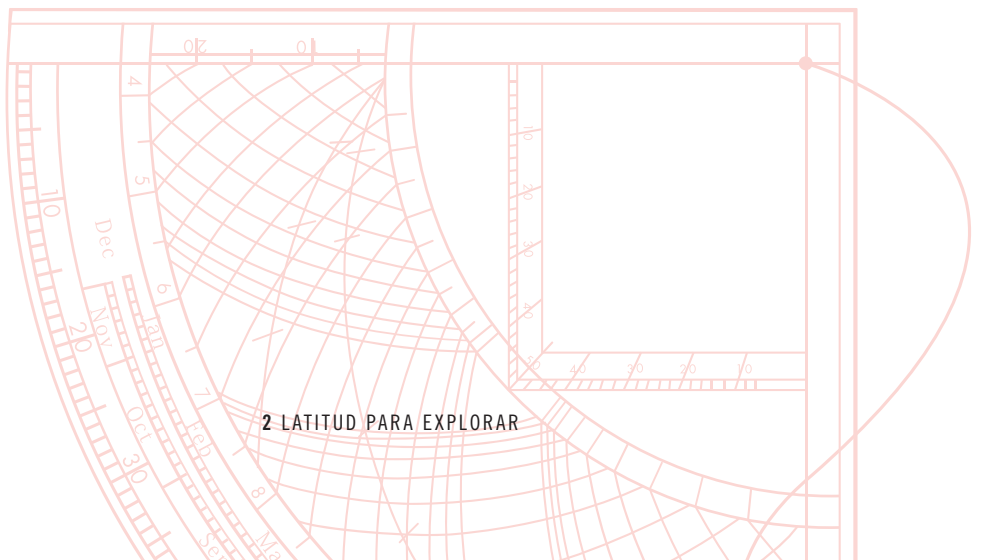
UN PROYECTO DEL "DÍA INTERNACIONAL DE LA LUZ"

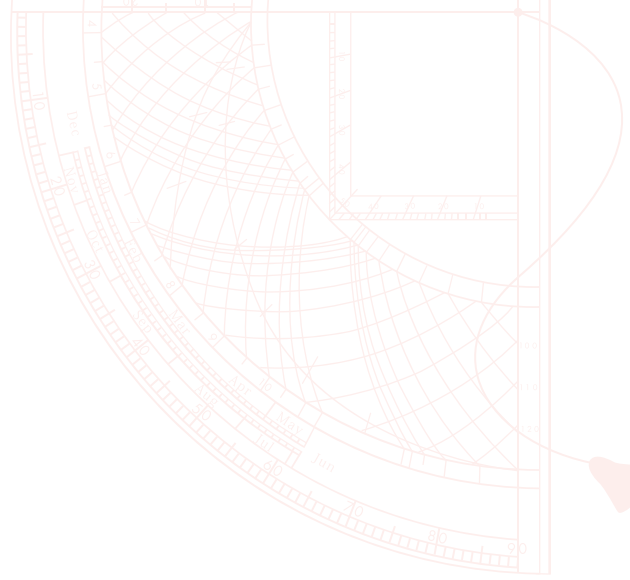
ROSA M. ROS · BEATRIZ GARCÍA  
JOSE A. DOCOBO · HOSEIN KHEZRI · ANTONIO A. PAZOS · TSOLMON RENCHIN

# LATITUD PARA EXPLORAR

UN PROYECTO DEL  
“DÍA INTERNACIONAL DE LA LUZ”







Autores  
**ROSA M. ROS, BEATRIZ GARCÍA,  
JOSE A. DOCOBO, HOSEIN KHEZRI, ANTONIO A. PAZOS, TSOLMON RENCHIN**



Editor  
**ROSA M. ROS**



En Viladecans estamos orgullosos de haber acogido en nuestra ciudad la edición de este año 2022 del concurso y programa de actividades Ciencia en Acción. Del 7 al 9 de octubre el objetivo de todos –participantes y organización– ha sido hacer llegar la ciencia a toda la ciudadanía y, en especial, a las familias con niños y niñas, de una manera divertida y motivadora.

Ha sido, pues, todo un placer poder compartir Viladecans por unos días con profesores y estudiantes de toda España, con la organización del evento y con los miembros del jurado, que este año lo han tenido aún más difícil que en otras ediciones por la elevada calidad de los trabajos presentados a concurso. Espero que volvamos a encontrarnos en otras ediciones y seguir llevando la fascinación de la magia científica a todas partes.

Nuestra ciudad es el cuarto municipio con más población de la comarca del Baix Llobregat y el decimonoveno de Catalunya. Con un núcleo urbano compacto, que ocupa un tercio de toda la superficie municipal, y una gran variedad de espacios geográficos –desde la playa hasta la montaña, pasando por zonas naturales protegidas y terrenos agrarios–, somos una ciudad que invita a ser disfrutada y visitada. Una ciudad que no ha perdido su espíritu del pueblo que era medio siglo atrás y ha desarrollado un carácter emprendedor para multiplicar su potencial.

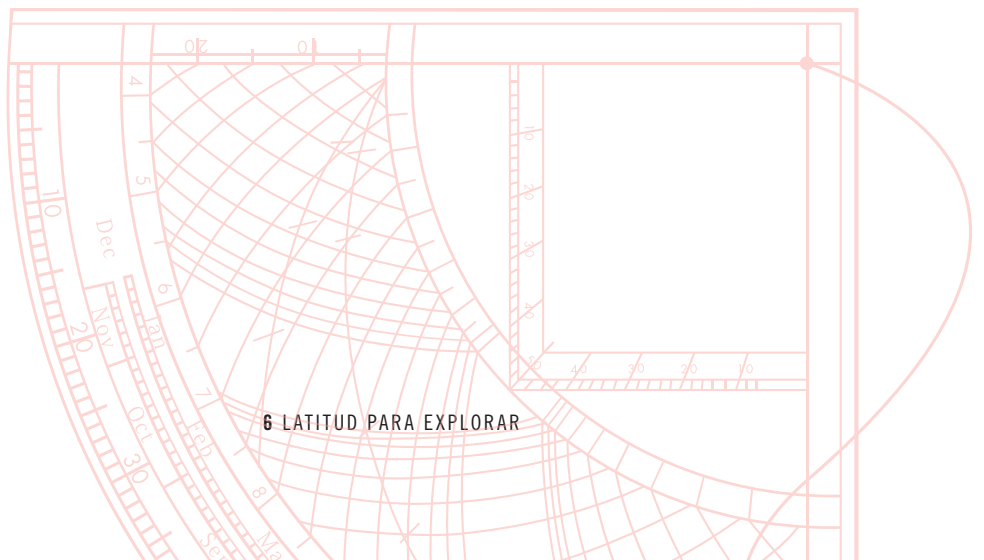
La voluntad de ser una ciudad que genera oportunidades para todos sus vecinos y vecinas ha hecho que en Viladecans convirtamos en enseñanzas la promoción de la cultura, el acceso a las tecnologías, la innovación en la educación y la promoción de la ciudad desde el punto de vista social y económico. Una apuesta afianzada con la atracción de inversiones y de empresas multinacionales, con el impulso a la diversificación de sectores de actividad, con el apoyo al emprendimiento, a la creación de empresas y al tejido productivo local, y con la capacitación de profesionales. El objetivo de Viladecans de ser un referente de dinamismo económico en la comarca para salir de la crisis con las mejores condiciones ha acabado convirtiendo a la ciudad también en un referente de calidad de vida. Con una población más joven que la media catalana y más de medio centenar de equipamientos municipales para garantizar los servicios públicos, en Viladecans nos hemos convertido con el paso del tiempo en un municipio activo, abierto, inquieto e inconformista ante las desigualdades.

Proyectos como Ciencia en Acción cuadran a la perfección con los objetivos de Viladecans, donde ponemos el acento en el éxito educativo, en la innovación y en el fomento de la igualdad de oportunidades de la ciudadanía, una promoción a la que contribuyen la educación, la ciencia y la cultura como algunos de los pilares fundamentales del equipo de gobierno local. Por eso, en Viladecans seguiremos atentos al trabajo futuro que hagáis en pro del programa y os abriremos las puertas de nuestra ciudad para lo que os sea necesario.

Gracias por escogernos como anfitriones este año. ¡Nos vemos en el próximo concurso!

Un abrazo,

**Carles Ruiz**  
*Alcalde de Viladecans*



6 LATITUD PARA EXPLORAR

La final de 'Ciencia en Acción' de 2022 ha tenido lugar en Viladecans, cerca de Barcelona, España, y como en ediciones anteriores la Gran Experiencia correspondió a un proyecto dentro del Día Internacional de la Luz de la UNESCO. Dado que este año se celebraba el 500 aniversario de la primera vuelta al mundo, este proyecto se centró en la determinación de la latitud usando la declinación solar como hacina los navegantes del siglo XVI. En esta edición el número de países participantes fue de 22 (Argentina, Benín, Bulgaria, China, España, Estados Unidos, Filipinas, Francia, Grecia, Guatemala, Indonesia, Irán, Italia, Lituania, Mongolia, Paraguay, Portugal, Rumania, Senegal, Tanzania, Togo y Turquía) recogiendo en total 150 trabajos realizados por escuelas de primaria y secundaria, universidades y observatorios.

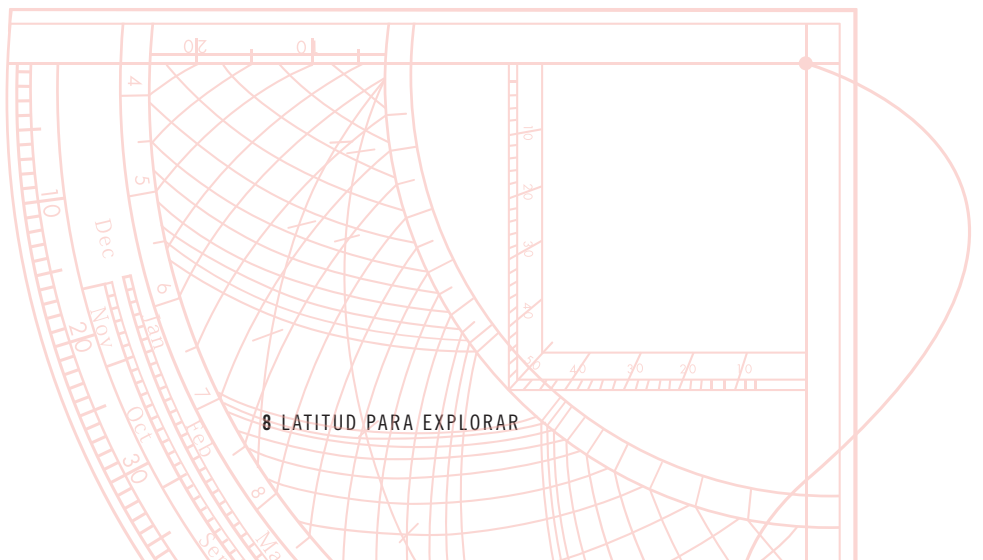
El proyecto ha colaborado con 20 instituciones internacionales (Cité de la Science en Túnez, Túnez, CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomers, France, CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina, CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España, Entoto Observatory, Ethiopia, ESSTI Instituto Etíope de Ciencia y Tecnología Espacial, Ethiopia, Ethiopian Space Science Society, Ethiopia, IFA Instituto para Astrofísica de la Universidad de Viena, Institut für Astrophysik, University of Wien, Austria, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, Instituto de astrofísica e Ciências do espaço, Portugal, ITAU Iraian Teacher's Astronomy Union, Iran, ITEDA, Instituto de Tecnologías en Detección y Astro partículas (CNEA-CONICET-UNSAM), Argentina, ITERA Institut Teknologi Sumatera, Indonesia, SINA Students Iranian Network for Astronomy, Iran, NARIT Instituto Nacional de Investigación Astronómica de Tailandia, Planetario de Beijing, China, Planetario de Oporto, Portugal, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina y University of Oporto, Portugal. Estas instituciones han hecho difusión del Proyecto mencionado por todo el mundo, desde el equinoccio de marzo hasta el de septiembre. El programa concluyó con una sesión presencial el 7 de octubre y una sesión online el día 8 de octubre.

En Viladecans participaron 10 países (España, Estados Unidos, Filipinas, Francia, Grecia, Italia, Lituania, Mongolia, Paraguay y Rumania) que se distribuyeron en varios puntos de la ciudad de Viladecans, donde los alumnos de Viladecans tuvieron la oportunidad de visitar a estos espacios para conocer el proyecto explicado por los profesores involucrados en el proyecto de la Gran Experiencia de Ciencia en Acción, esto es Science on Stage Spain.

En particular hay que destacar el gran trabajo desarrollado por el municipio de Viladecans por colaborar en la organización del evento, el movimiento de profesores locales y de sus alumnos desde los diferentes centros hasta los puntos donde se desarrollaron las demostraciones.

**Rosa M. Ros Ferré**  
*Presidente de Ciencia en Acción*





8 LATITUD PARA EXPLORAR

## Introducción

Como en anteriores ediciones NASE (Network for Astronomy School Education) prepara como Gran Experiencia de Ciencia en Acción un proyecto dentro del ámbito del “Día Internacional de la Luz” -16 de mayo- promulgado por UNESCO, convocando una actividad para los todos los centros educativos de los 70 países en que se desarrolla NASE desde sus inicios en la Asamblea General de la IAU (International Astronomical Union) de 2009 en Rio de Janeiro.

El proyecto “Latitud para viajar y navegar” se desarrolló del equinoccio de marzo al de septiembre de 2022 y comenzó con el evento online sincrónico “2º Puentes entre Culturas”. El evento de clausura final se desarrolló de dos formas: un evento presencial el 7 de octubre en la ciudad de Viladecans (Barcelona, España) como “Gran Experiencia” del programa internacional Ciencia en Acción en el año del 500 aniversario de la vuelta al mundo de Magallanes y Elcano.



*Fig. 1: Foto de grupo de los profesores que participaron en el evento final presencial en Viladecans (Barcelona) (Crédito: RM. Ros).*

En el marco de Ciencia en Acción e integrada también dentro de las propuestas para el “Día internacional de la Luz” de UNESCO, NASE lleva desarrollando estos proyectos tipo “Gran Experiencia en la calle” desde hace cuatro años.

Durante medio año 2022 los maestros y profesores de todo el mundo han podido realizar la experiencia de determinar la latitud local con sus estudiantes. Una parte de ellos (figura 1) participaron en Viladecans con los alumnos de esta ciudad repitiendo la determinación de la Latitud a lo largo de la mañana del 7 de octubre. Es necesario reconocer la total cooperación del Ayuntamiento de Viladecans, que preside la red Innpulso (del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España) de ayuntamientos interesados en la promoción y desarrollo científico de la sociedad.

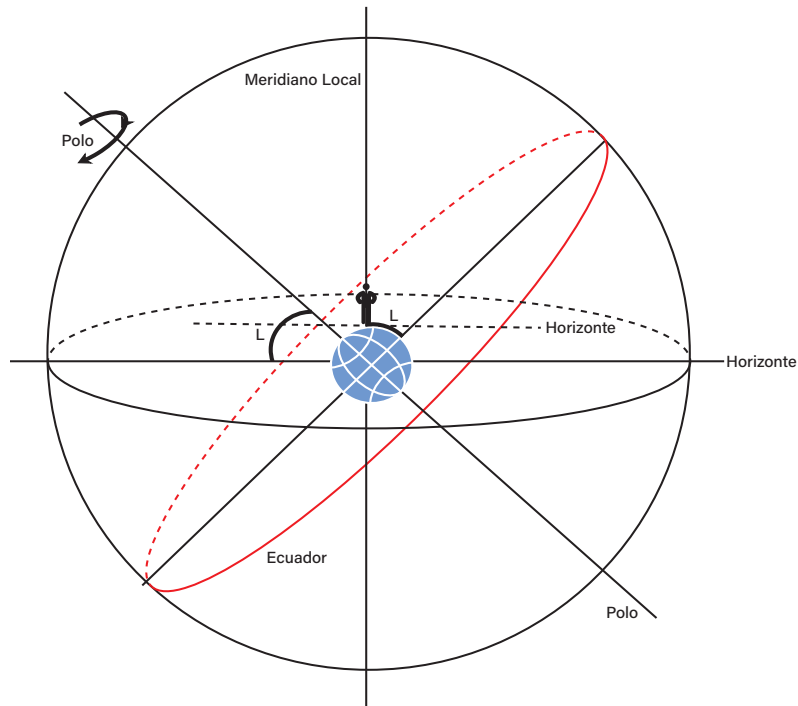
Los profesores y alumnos durante el periodo activo del proyecto realizaron a la experiencia de día, y según fuera su latitud, de noche enviando sus resultados de forma esquemática tal como se puede ver en las figuras 2 y 3.



Fig. 2. Ejemplo de resumen enviado desde uno de los colegios participantes (Saint Klimend Ohideki, Sofia, Bulgaria) (Crédito: IH Serafinova).

# 1. Determinación de 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 3 no está a escala, dado 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).



*Fig. 3. La latitud coincide con la altura de la polar (en el caso de Viladecans, en el hemisferio norte) y la colatitud es la altura del ecuador al mediodía solar el día del equinoccio (Crédito: E. Viñuales).*

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 medido día, 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,  $90-L$

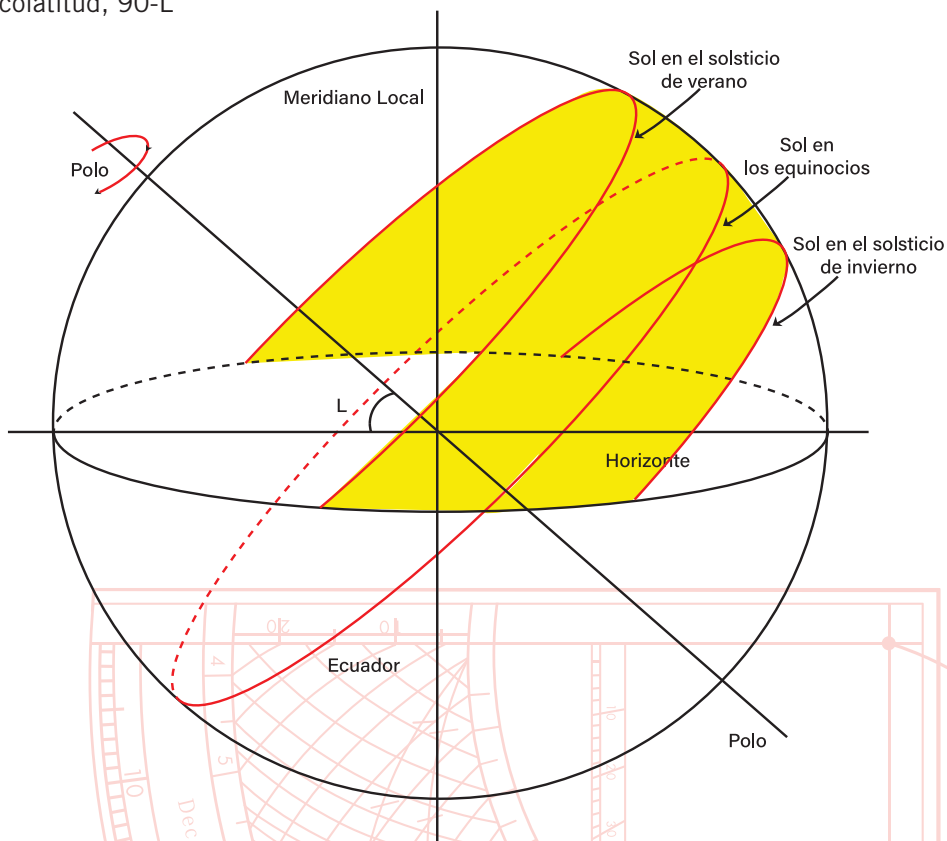


Fig. 4. El Sol se mueve en paralelos al ecuador donde la declinación del Sol varía desde  $+23,5^\circ$  por encima del Ecuador hasta  $-23,5^\circ$  por debajo del mismo, dando lugar a los dos solsticios (Crédito: E. Viñuales).

El Sol se mueve (en su movimiento aparente) siempre en paralelos al ecuador (figura 4). 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.

Cuando un navegante se aproximaba a la zona ecuatorial no podía determinar la latitud usando la posición del polo, así que solían hacerlo usando la posición del Sol, en el bien entendido que disponían de la tabla de declinaciones solares. Veamos cual es el proceso para un día en concreto. Por ejemplo, el día 7 de octubre que fue el día seleccionado para llevar a cabo el experimento de forma presencial en la final de Ciencia en Acción.

	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 33
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 37	+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	+04 15 19	+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

Según la tabla 1 de declinaciones y la figura 5, el viernes 7 de octubre la declinación D del Sol es  $-5^{\circ} 14'$  (por supuesto solo consideramos  $5^{\circ}$  con los instrumentos que se usan, no tiene sentido considerar minutos)

El 7 de octubre es posterior al día del equinoccio, luego es otoño, luego en la figura 6 podemos ver que la altura del Sol en el horizonte  $h$  más la declinación  $|D|$  es igual a la colatitud  $90-|L|$

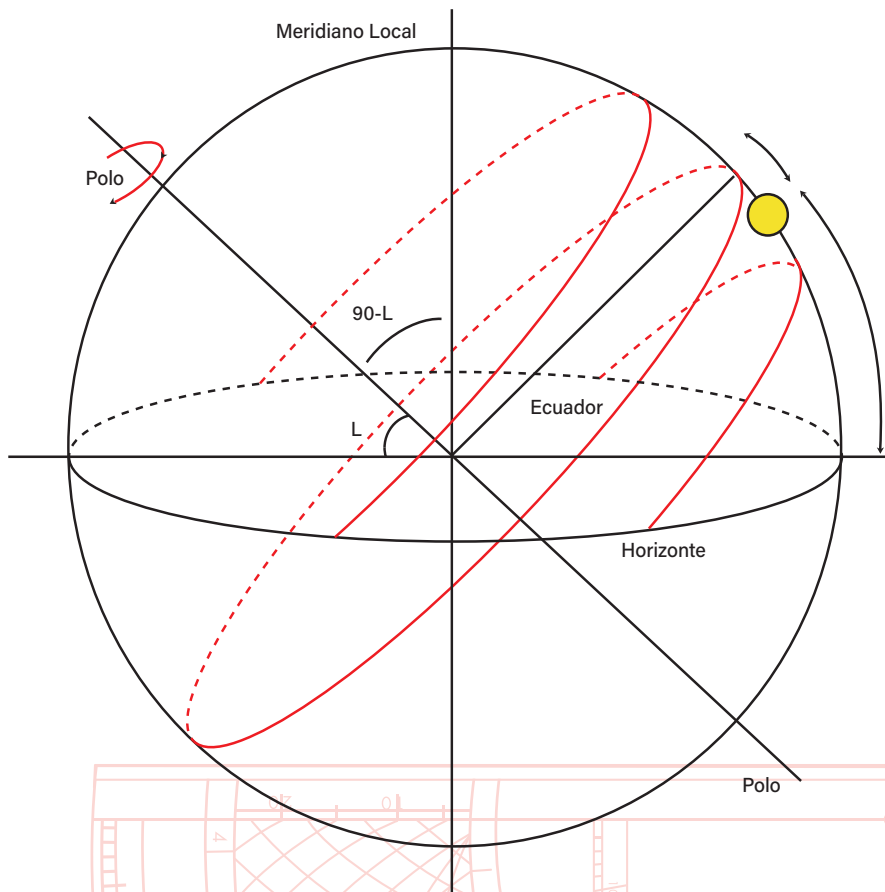
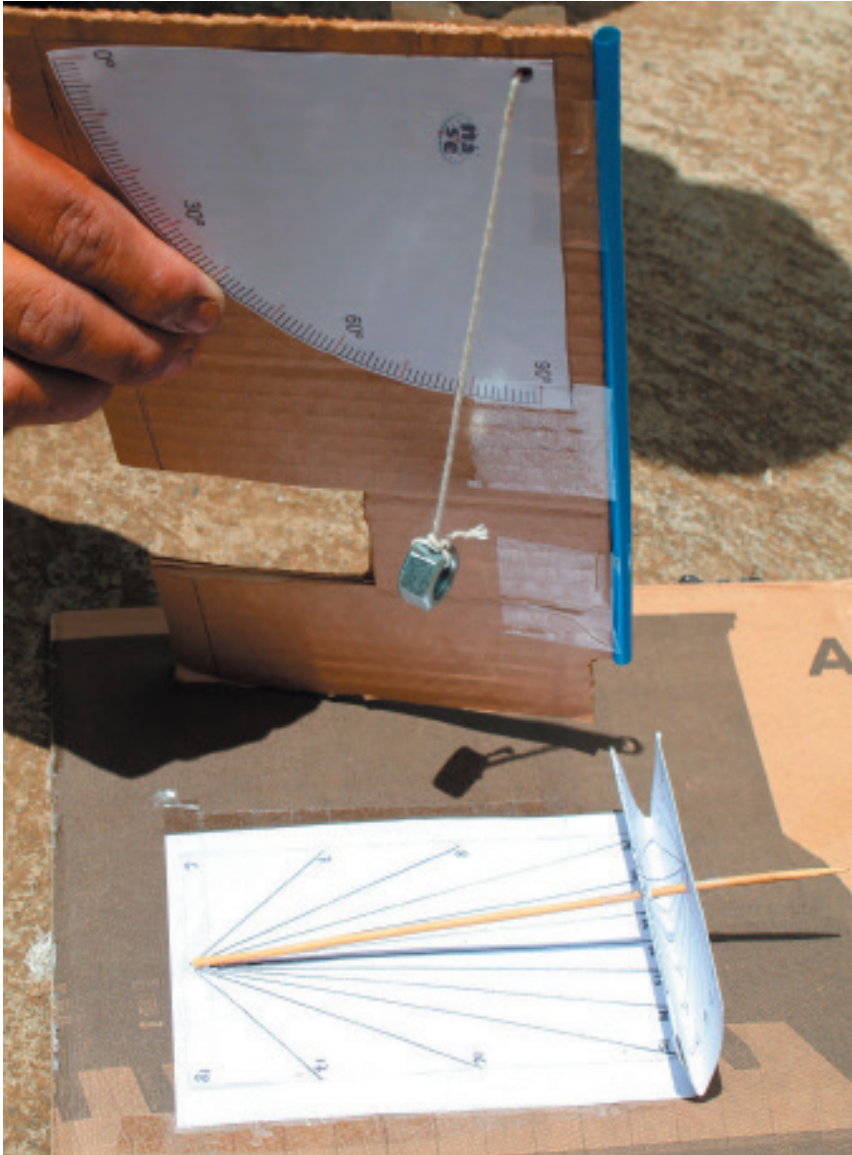


Fig. 5. El Sol se mueve en paralelos por debajo del ecuador y su altura verifica  $h+|D|=90-|L|$  (Crédito: E. Viñuales).

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

entonces la latitud  $|L|=90-h-|D|=90-h-5^\circ$

**PERO ESTO SOLO ES CORRECTO CUANDO EL SOL ESTÁ EN EL MERIDIANO LOCAL, ES DECIR CUANDO EL RELOJ DE SOL ESTÁ A LAS 12 HORAS SOLARES**



*Fig. 6: Determinado la altura del Sol exactamente en el mediodía solar, cuando el sol pasa por el meridiano local en el horizonte sur (Colegio Público Guardabarranco en colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de Managua, Nicaragua) (Crédito: L. Areas).*



En España la hora oficial del 7 de octubre era 2 horas antes de la hora solar. es decir que la hora solar de las 12 era las 14 en nuestro reloj de pulsera o en nuestro móvil. Como el programa de actividades se iba a desarrollar de 9:30 a 13:00 hora oficial española, ninguno de los grupos pudo realizar la observación en el instante del mediodía solar, así que el objetivo fue explicar a los alumnos el método usado por los navegantes y comprender cómo manejar la altura del Sol, así como la declinación tabulada para conseguir deducir la colatitud y después la Latitud.

Aunque ya estaba previsto explicar el método sin llegar a obtener el valor preciso de la latitud de Viladecans (de  $41,5^\circ$ ) por un problema de horario, lo cierto es que fue imposible determinar la altura del Sol en ningún instante. Después de meses de sequía; estuvo lloviendo a cantaros durante toda la mañana.

## 2. Construcción del cuadrante

La altura del Sol puede determinarse con un cuadrante. Para preparar un cuadrante basta disponer de una regla y un transportador de ángulos. Fijar en el origen de ángulos una plomada y disponer según se puede ver en la figura 7.

Para fabricar un “cuadrante pistola de NASE”, sólo es necesario disponer de un trozo de cartón según se ve en la figura 8 con un mango donde sujetarlo. Pegar una graduación o un semicírculo graduado, un hilo en el origen de la graduación con un peso al final (para tensar el hilo) y fijar un sorbete, pajita de sorber o cilindro de papel en la parte superior para poder usarlo de visor (figura 8).



Fig. 7: Cuadrante con regla y transportador (Crédito: RM. Ros).



*Fig. 8:: Cuadrante pistola de NASE (Crédito: RM: Ros).*

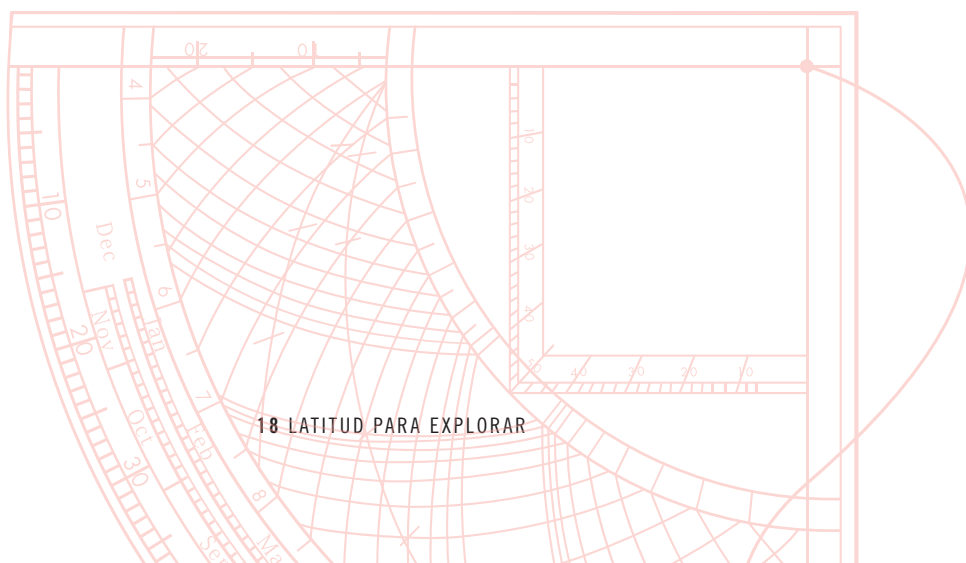


*Fig. 9: Con un semicírculo orientado hacia el sol, podemos obtener la altura del mismo (1st Experimental Junior High School of Maroussi, Greece (Crédito: V. Petridou).*

En cualquiera de los dos casos, es realmente sencillo que cada estudiante pueda preparar su propio cuadrante para tomar las medidas necesarias (figura 10) o agudizar el ingenio y disponer un transportador de forma que nos de la altura del Sol (figura 11)



Fig. 10: Ambos cuadrantes se realizan fácilmente como hicieron estos estudiantes en Rumania (Tiberiu popoviciu Computer Science High School, Cluj, Romania) (Crédito: C. Toma).





*Fig. 11: Incluso los alumnos de primaria pueden preparar el cuadrante ellos mismos. (Shahid Haghani Board Trustees School, Gilan- Keleshter, Irán) (Crédito: H. Khezri).*



*Fig. 12: Grupo de profesores preparando los materiales necesarios para realizar el experimento de la Latitud (Planetario de Ulaanbataar, Mongolia) (Crédito: T. Renchin).*



Fig. 13: También los futuros educadores están en la etapa muy apropiada para realizar la experiencia con aprovechamiento (Escuela de magisterio UNCuyo, Mendoza, Argentina) (Crédito: B. García).

Para determinar la altura de un objeto, se debe apuntar y mirar a través del sorbete o de la pajita que actúa de visor (figura 14). El ángulo, que se lee 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.

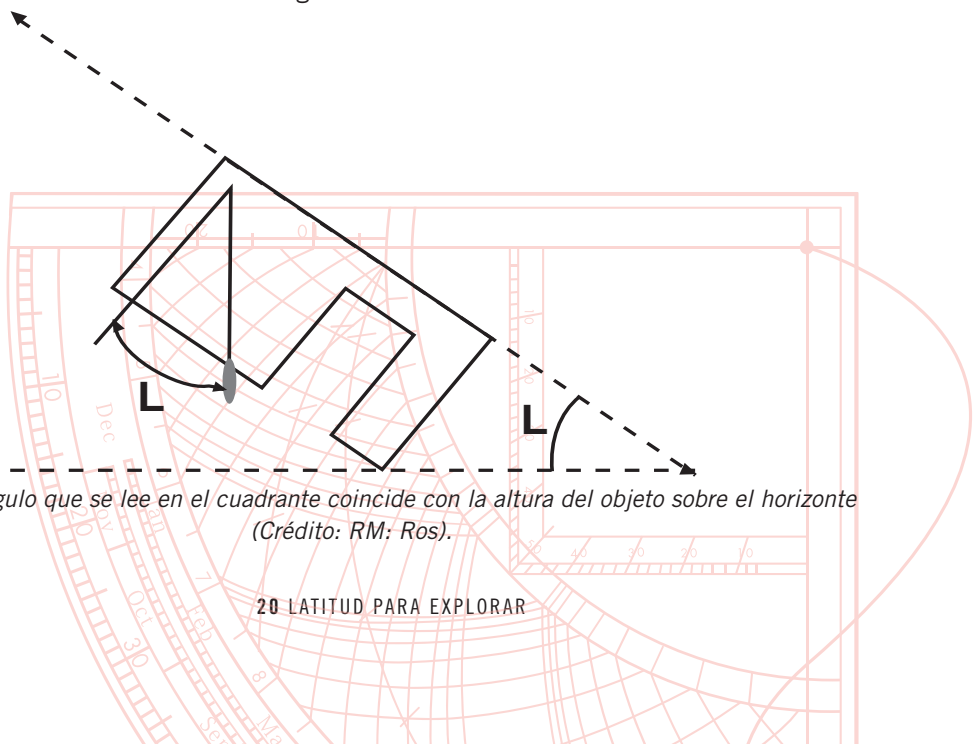


Fig. 14: El ángulo que se lee en el cuadrante coincide con la altura del objeto sobre el horizonte (Crédito: RM: Ros).

Antes de realizar las observaciones, es bueno practicar con el cuadrante y aprender a leer correctamente el ángulo obtenido.



*Fig. 15: Practicando con el cuadrante para leer el ángulo obtenido. Las aplicaciones terrestres, permiten calcular la altura de un edificio, o una montaña. (CEG ALPASSA, Porto-Novo, Benin) (Crédito: PA. Ahanhanzo).*

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 16.

Tal como se ha mencionado con anterioridad para determinar la altura del Sol y con ello la latitud local, es necesario tomar la altura del Sol al mediodía solar (figura 6), así pues, es bueno disponer de un reloj solar para tomar esta altura exactamente cuando el reloj marca las 12 del Sol, es decir cuando este astro culmina al pasar por el Sur (en el hemisferio norte) o el Norte (en el hemisferio sur). Seguidamente no se procederá a explicar la construcción de un reloj solar porque este contenido se puede encontrar fácilmente en multitud de lugares. De todas formas, al final de este texto aparecen las referencias para la construcción del cuadrante y del reloj solar dentro de la web de NASE para aquellos que deseen consultarlo.

### 3. Recolección de resultados

Finalmente, una vez realizado el cuadrante bastó realizar la observación y enviar los resultados de la tabla 2 a los organizadores del proyecto

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



Fig. 17: Estudiantes manejando el cuadrante fabricado por ellos mismos con un diseño original y novedoso (Ramygala Gymnasium en Lituania) (Crédito: P. Raugala and L. Žitkevičiūtė).



Fig. 18: Obteniendo la altura del Sol en Irán (Khormoi Castle, Khormuj, Irán) (Crédito: F. Salimi)



Fig. 19: Reloj de sol ecuatorial con caracteres chinos (planetario de Beijing, China) (Crédito: D. Chen).





*Fig. 20: Estudiantes griegos determino la altura del Sol en Atenas (Junior-Senior Hing School in Chalandri) (Crédito: K. Chrysanthakopoulou).*



*Fig. 21: Determinando la altura de la Polar (Lycée Paul Guerin, Niort, Francia) (Crédito: F. Smanio and S. Al-Tai).*



Fig. 22: Preparando el cuadrante en “Sinthiou Garba School”(Region de Matam, Senegal) (Crédito D.S. Mamadou).



Fig. 23: Determinando la altura del Sol en Estambul, Turquía (Crédito: M. Ye iltepe).



Fig. 24: Observando la altura del Sol en Porto Novo, Benín (Crédito: PA. Ahanhanzo).

## 4. Las Rutas más conocidas y su relación con la astronomía

El método para la determinación de la latitud permitió un gran avance en la navegación pudiendo desarrollarse ésta más allá de la navegación costera de siglos anteriores. Con ello se desarrollaron grandes vías de comunicación para toda la humanidad.

Es bueno citar que la astronomía también ha estado presente en otros contextos relativos a grandes rutas y grandes desplazamientos con aportaciones relativas a la orientación del viajero.

Hay varias grandes rutas a considerar, además de las ya mencionadas, por ejemplo:

- La ruta de la seda
- El camino de Santiago
- El camino del Inka.

Como así también las que diseñaron los grandes navegantes de los siglos XV y XVI, que podemos resumir en:

Los viajes de Colón  
La vuelta al mundo de Magallanes y Elcano.

En las secciones que siguen, se desarrollan contenidos mínimos sobre estas rutas por tierra o mar.

### LA RUTA DE LA SEDA: Observatorios medievales y Chartaquis persas.

Este camino responde a las rutas que conectan China con la mayor parte del continente asiático Mongolia, Pakistán, Persia, Tayikistán, Uzbekistán, Turquía, el mediterráneo euro-peo y la costa oriental de África. Su nombre se debe a la seda que circulaba por ella y cuyo secreto de elaboración solo conocían los chinos.



Fig. 25: Ruta de la Seda que unía China con Europa partiendo de Xian pasando por Kashgar, Samarkanda, la antigua Hecatompylos al final del mar Caspio hasta Estambul (Crédito: L. Torres)

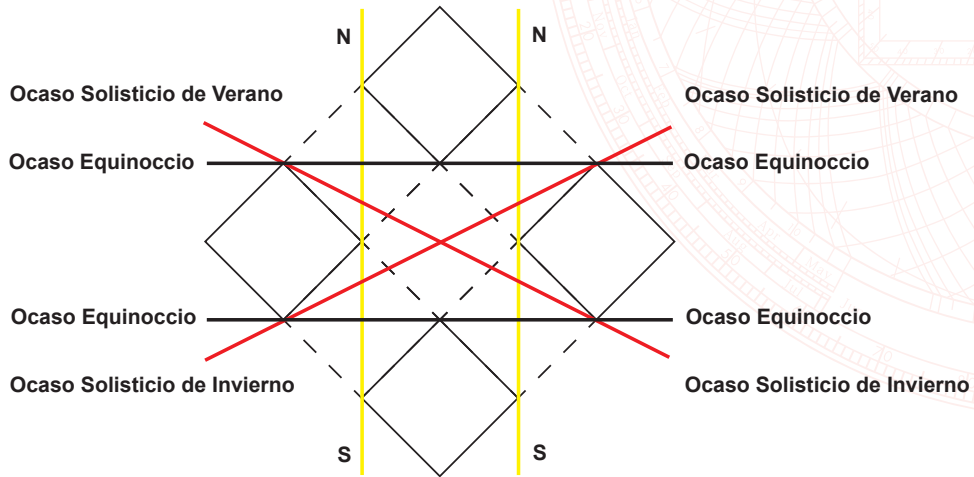
El emperador chino Wu de la dinastía Han (siglo I a.C.) promueve el contacto con otras civilizaciones y para atravesar las estepas de Asia central siguen las zonas con agua para poder cruzar los desiertos. La ruta tiene muchas variantes no especialmente trazadas por criterios astronómicos.

De forma intermitente tuvieron lugar varias guerras entre el Imperio Romano y el Imperio Persa desde el 53 a.C. hasta el 217 afectando a la ruta de la seda y a su seguridad, y además dando lugar a un trasvase de información entre ambos imperios. Por ejemplo, los romanos toman modelo de los Chartaquis (parte de los templos del fuego persas) que se pueden localizar en multitud de puntos con horizontes bien despejados de los

territorios del Imperio Persa. Además del uso religioso, los Chartaquis eran señales en los caminos que se construían y eran observatorios solares. Estas construcciones sincretizan de alguna forma la trayectoria solar con una cúpula soportada por 4 columnas orientadas de forma que la dirección de los solsticios de verano e invierno determinan la posición de dichas 4 columnas (figuras 26 y 27).



*Fig. 26: Los Chartaqi están muy bien orientados. Son una estructura que consta de cuatro pilares orientados según los puntos cardinales, y cuatro arcos que sostienen una cúpula (Crédito Hosein).*



*Fig. 27: El plano del chartaqa Khaneh-i-Div ayuda a comprender el concepto arquitectónico porque está ubicado en un horizonte despejado y la alineación de la salida del sol en el solsticio de verano corresponde a la puesta del sol en el solsticio de invierno, así como la alineación de la puesta del sol en el solsticio de verano coincide con la salida del sol en el solsticio de invierno (Crédito RM. Ros).*

Estas construcciones aún se pueden ver entre otros países en Austria, España e Italia (zonas del antiguo Imperio Romano).

Con la caída del imperio romano de Occidente en el siglo V y el establecimiento del feudalismo en Europa se da una desconexión de Europa con las rutas comerciales asiáticas. Durante los siglos IX y X los astrónomos persas construyen instrumentos ptolemaicos y astrolabios. El uso de astrolabios era muy importante para viajar por la ruta de la seda que se encuentra entre los paralelos terrestres de 33° y 43°. Así un viajante medieval que circulara por ejemplo de Damasco a Bagdad debería moverse en una latitud próxima a los 33°, con un astrolabio podía ir controlando la altura de la estrella polar noche tras noche y así seguir su camino, así que es casi seguro que usarían ese instrumento para poder viajar.

Además, en los siglos XI, XII y XIII diversas instituciones construyeron observatorios astro-nómicos (Malikshah, Maragha y Gaocheng) a lo largo de la ruta de la seda, todos ellos dotados con enormes instrumentos y grandes bibliotecas y en muchas ocasiones relacionados con madrazas.



*Fig. 28: El arco de Jano es el único arco cuadriforme conservado en Roma. Originalmente, el arco sostenía una cúpula, que se eliminó en el siglo XIX, cuando se confundió con un añadido medieval (Crédito: A. Covelli).*



*Fig. 29: Moneda del emperador Nerón con su chartaqui en el reverso, que además disponía de una cuadriga en la parte superior (Crédito: ebay-numismática).*

Con la expansión mongola desde el 1207 al 1360, se reactiva de nuevo la Ruta de la Seda gracias a la nueva estabilidad política. Durante el Imperio Mongol se desarrolla un gran comercio entre oriente y occidente tanto en la cuestión de la seda como en el comercio de las especias tan necesarias para la conservación de alimentos en esa época. Además de un flujo constante de intercambio cultural y como no, la astronomía estaba presente y todavía se muestran los restos de múltiples observatorios medievales distribuidos de forma estratégica para los viajeros. En la misma época, el veneciano Marco Polo recorrió la ruta hasta China, y su libro de viajes es bien conocido.

### **EL CAMINO DE SANTIAGO: Vía Láctea para orientar**

Santiago de Compostela es conocida en todo el mundo porque se cree que allí se encuentra la tumba del Apóstol Santiago. Las tres ciudades más importantes del cristianismo son Roma, Jerusalén y Santiago de Compostela.

Desde el siglo IX, peregrinos de muchos países europeos han caminado hasta allí por el llamado Camino de Santiago. Esta fue una vía muy importante de comunicación en Europa durante la edad media. Lo cierto es que esta ruta de peregrinaciones europea fue fuente de desarrollo cultural y de trasvase de conocimientos, como se puede detectar en las construcciones religiosas a lo largo del camino. Las influencias de románico con origen en Italia llegan por la cornisa cantábrica hasta Santiago de Compostela prácticamente en el “Finisterre” romano.



*Fig. 30: Desde toda Europa se llegaba a Santiago de Compostela caminando (Crédito: L. Torres).*





Fig. 31: Existen varios caminos a Santiago de Compostela pero el principal es el Camino Francés que entra en España por Roncesvalles (Navarra) o Somport (Aragón), confluyendo ambos ramales en la pequeña localidad de Puente la Reina (Crédito: L. Torres).

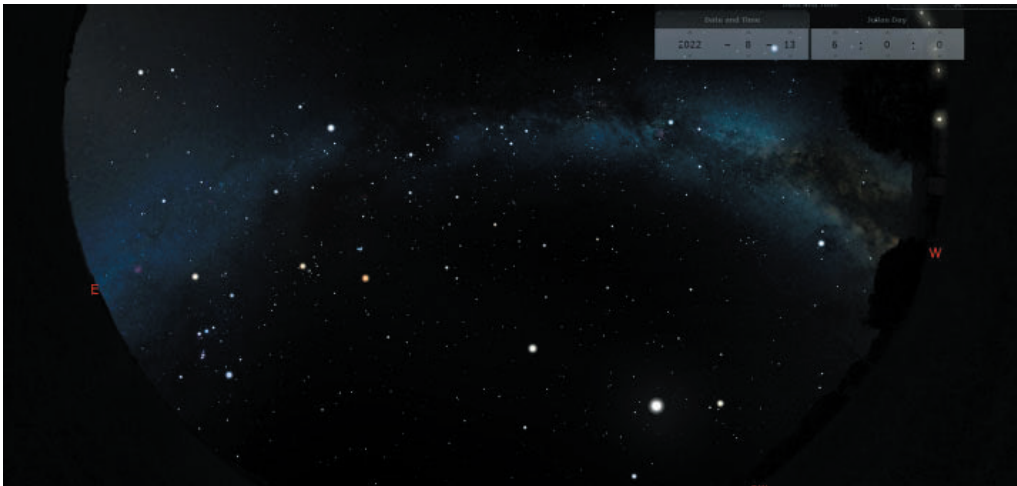


Fig. 32: La disposición de la Vía Láctea en verano está en la dirección Este -Oeste, como se ve en esta simulación (Stellarium), es decir en la dirección de la costa cantábrica (Crédito: A. Docobo).



*Fig. 33: Los peregrinos seguían la dirección de la Vía Láctea (Crédito: Turismo de Galicia).*

Se da la coincidencia que en los meses de verano la costa del Cantábrico se alinea por la noche con la Vía Láctea, así que los peregrinos seguían este camino señalado por las estrellas durante las noches con buen tiempo, que seguramente eran las elegidas por los peregrinos de la antigüedad como lo son ahora por los actuales, ya que hacer el camino en época invernal lloviendo y siempre nublado no era, ni es, aconsejable. Algunos creen ver en el nombre del lugar donde está el apóstol Santiago la deformación del vocablo “campo de estelas”.

El Camino es actualmente un acontecimiento sociológico de primer orden. Más de 300.000 personas por acuden a Santiago de Compostela para rezar ante el sepulcro del apóstol Santiago en la Catedral.

## EL CAMINO DEL INKA: Alineaciones astronómicas.

En lengua quechua, Qhapac Ñan significa «Camino del poderoso». Conocido como el “Camino del Inka”, se trata de una red vial construida en las laderas de los Andes y que conectó territorios pertenecientes hoy a seis países. Su espléndida extensión fue concretada por el pueblo incaico bajo el Imperio de Tahuantinsuyo en su época de mayor expansión, entre los siglos XV y XVI. Este camino formaba parte de la red o sistemas de caminos cuya principal función consistía en conectar los centros de producción, administración y ceremonias ubicados en los distintos territorios conquistados por el poder de este imperio.



Fig. 34: Mapa del camino del Inka (Crédito: Wikipedia).



*Fig. 35: Camino del Inka próximo a Machu Pichu (Crédito: Wikipedia).*

Tiene una extensión de más de 23 mil kilómetros, trazados desde el suroeste de Colombia hasta el centro-oeste de Argentina. Atraviesa Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Fue una ruta que requirió la construcción de puentes, túneles, pavimentos, fuertes, bodegas y puestos de control.

El camino tuvo una fundamental importancia geopolítica, fue clave para la existencia del Imperio Inka ya que permitió la incorporación de diversos pueblos y etnias. Se dice que la población de este Imperio jamás sufrió el hambre, y esto fue consecuencia justamente de la existencia de esta gran red de comunicación, por donde circulaban los recursos y productos hacia toda su población. A un costado del camino se elevaban las terrazas de cultivo (que han permitido descubrir una sofisticada ingeniería hidráulica para su riego), y las bodegas para granos.



*Fig. 36: Saywas en el desierto de Atacama mostrando alineaciones astronómicas. Amanecer del 21 de junio de 2015, marcando el solsticio de invierno. La foto está tomada desde las dos saywas centrales en dirección oeste-este (Crédito: S. del Campo).*

En el desierto de Atacama, se hallaron las saywas o hitos de piedra que se ubican a ambos lados del camino. Algunos autores plantearon que podría tratarse de sistemas de medición de distancias de acuerdo a lo señalado por fuentes españolas e indígenas de la época. Sin embargo, la distribución de estas estructuras en el camino parecía ser arbitraria, no hay regularidad en la ubicación o la distancia que separaba estas marcas.

Otros autores concluyeron que este tipo de marcadores más que “medir” en un sentido occidental contemporáneo, estaría dando cuenta de una demarcación de deslindes políticos y de derechos territoriales, incluso en el propio camino del Inka. La orientación de las saywas respecto al camino del Inka, las diferencias entre ellas, la cantidad, ubicación y distancias que presentaban unas de otras en un mismo sitio, abrieron la posibilidad de que se tratara de alineamientos astronómicos: las saywas del Inka estaban estrechamente asociadas al culto solar y a la medición del tiempo calendárico. Se utiliza el término saywa para denominarlas ya que en los antiguos vocabularios quechuas y aymaras es definido como “mojón” o “lindero” de tierras y de caminos inkas, pero también es sinónimo de ticnu “el zenit o punto de la mitad del cielo”. Por otra parte, “sayba” es el término



Fig. 37: La pieza de basalto encontrada en la saywa este de Tocomar (Crédito: M. Núñez). Fig. 38: Ilustración del siglo XVI de lo que probablemente fue una saywa. Se puede apreciar su parecido con la pieza de basalto. (Crédito : Fray Martín de Murúa).

que se utiliza en el siglo XVI, para referirse a las columnas astronómicas del Cusco que señalaban solsticios, equinoccios y las estaciones.

La civilización Inka, una de las más importantes y representativas de América del Sur, constituye un verdadero ejemplo de diversidad cultural, lingüística y de organización entre los países de la región andina de América.

## LOS VIAJES DE CRISTOBAL COLÓN: Un eclipse lunar

En 1492 Colón partió hacia el oeste con el propósito de llegar a las Indias dando la vuelta al mundo; después de tropezar y descubrir el continente Americano parte en su último viaje 1502 con el objetivo de hallar un estrecho marítimo hacia Asia. En ese tiempo conseguir hallar una nueva ruta para llegar a las especias era fundamental ya que servían para conservar los alimentos y eran más valoradas que el oro.

Colón consiguió llegar a América (figura 39) 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 la zona no ecuatorial, para esta última zona era necesario determinar la latitud usando la altura del Sol.

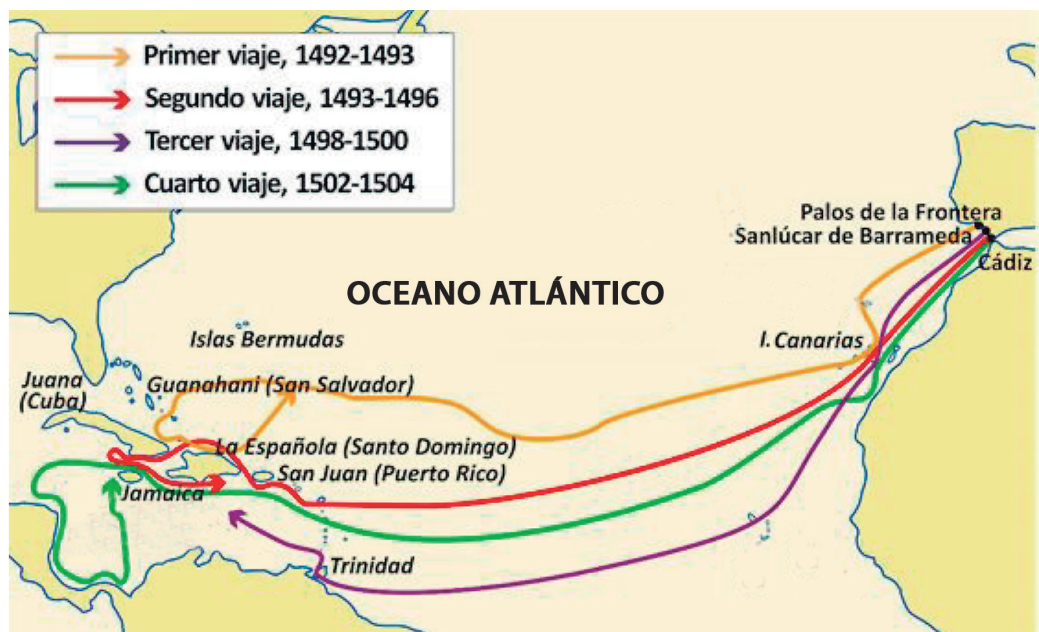


Fig. 39: Los cuatro viajes de Colón. Cruzan el Océano Atlántico. En el primer viaje Colón se mueve entre los paralelos de Canarias 29°N y San Salvador 25°N (Crédito: L.Torres).

En particular los cuatro viajes de Cristóbal Colón ya se desarrollaron usando la determinación de la latitud con la ayuda de la altura de la estrella polar de noche y la declinación y la altura del Sol durante de día. En esos tiempos cuando estaba nublado la situación se reducía al uso de la brújula (la llamada aguja de marear) que indicaba el norte magnético y no el norte geográfico lo que daba lugar a profundos quebraderos de cabeza, como los que describe Colón en el cuaderno de bitácora en que observa discrepancias entre la dirección de la aguja de navegar y la posición de la estrella polar. De hecho, fue el primer observador que detalla estas variaciones que no sabe explicar. Fernando de Magallanes y Juan Sebastián Elcano también detectan estas discrepancias y más adelante se tratarán en esta misma publicación.

1493	1493	1494	1497	1500	1501
Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna
19 13 58	10 1 38	7 4 13	27 3 2	5 14 2	2 17 49
Septiembre	Octubre	Julio	Julio	Noviembre	Julio
Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio
1 49	1 4	0 44	0 35	1 17	1 52
	Durata hora	Durata quartus	Durata tria	Durata decem	
1494	1494	1497	1501	1502	1504
Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna	Eclipse Luna
21 14 38	14 10 45	18 6 38	10 19 45	15 11 20	20 13 36
Julio	Septiembre	Juliano	Septiembre	Octubre	Febrero
Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio	Durada duratio
1 46	1 48	1 46	1 7	1 1	1 46
			Durata decem	Durata tria	

Fig. 40: Pagina del almanaque Regiomontano donde se detallan los datos del eclipse del 29 de febrero de 1504. "Regiomontano", que proviene de la traducción latina del nombre de la ciudad alemana donde nació su autor (Königsberg y que significa Montaña Regia). El eclipse del 29 de febrero de 1504 esta en la esquina inferior derecha. (Crédito: Galsgow University)



Es bien sabido que Colón disponía de conocimientos astronómicos que utilizó en sus viajes. A modo de curiosidad se puede decir que durante su cuarto y último viaje el eclipse del 29 de febrero de 1504 le salvó de perecer por falta de recursos y conseguir comida y agua de los nativos de la isla de Jamaica.

Un eclipse total de Luna comienza con un eclipse parcial en el cual la Luna se ve parcialmente oscura, luego empieza la totalidad en que se ve por un momento totalmente oscura pero rápidamente se advierte la tonalidad rojiza de la Luna característica de este tipo de eclipse, debido a que la luz del Sol no llega directamente al satélite sino que es filtrada por la atmósfera de la Tierra donde se dispersa y el color rojo sigue sin desviarse, incidiendo y luego reflejándose en la superficie lunar.

Colón conocía el cielo y se guiaba con las constelaciones. En sus viajes llevaba consigo el almanaque Regiomontano (confeccionado por Johann Müller 1436-1476, figura 40) que documentaba entre otros, el eclipse del 29 de febrero de 1504. Colón sabía a qué hora empezaba el eclipse y que la Luna se volvería roja. Ese eclipse del 1504 tenía una característica especial: comenzaba el eclipse lunar cuando la Luna estaba todavía debajo del horizonte, de manera que cuando apareciera en el cielo ya se vería enrojecida.

Así pues, Colón sabía que ese no sería un eclipse normal, sino que el satélite saldría de color rojo como la sangre y lo utilizó para conseguir comida. Hizo llamar a los caciques indígenas y les dijo que Dios estaba enojado con ellos y que esa noche se mostrarían señales de ello en el cielo, y el resultado de este engaño salvó la vida de los expedicionarios.

## **EL VIAJE DE MAGALLANES Y ELCANO: el cielo del hemisferio sur**

En la primera vuelta al mundo (figura 41), Magallanes y Elcano, debieron 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) hicieron uso de sus conocimientos astronómicos. El cuadrante y las tablas de declinaciones solares para poder determinar la latitud observando la altura del Sol, fueron sus instrumentos. En este proyecto para el Día Internacional de la Luz de UNESCO, precisamente se ha propuesto a los participantes 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.

Sin duda Magallanes tenían unos importantes conocimientos astronómicos y se sabe que en 1505 en un viaje anterior a la circunnavegación y bajo los auspicios del rey de

Portugal, ya había dado nombre a la constelación de la Cruz del Sur que precisamente es la utilizada en el hemisferio sur para ubicar el polo sur celeste (ya que no se dispone de una estrella como la polar que señala el polo norte).



Fig. 41: 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 ( $53^{\circ}$  S) y el paralelo de las Filipinas ( $14^{\circ}$  N) (Crédito: L. Torres)

En Europa, fue Magallanes el primero que dio a conocer la nebulosa de la Gran Nube de Magallanes, ya que la observó durante su viaje entre 1519 y 1522 y fue documentada por Antonio Pigafetta relator de la expedición. Sin embargo, su nombre actual se popularizó mucho después.

Lo que es bien cierto es que ambas Nubes de Magallanes eran conocidas por los pueblos de Oriente Medio. En 964, el astrónomo persa Abd Al-Rahman Al Sufi las nombra como Al Bakr (Buey Blanco) haciendo notar que es posible observarlas desde latitud  $12^{\circ}$  N en Bagdad, pero evidentemente resultaban invisibles y desconocidas en Europa.

Si bien Magallanes y Elcano no las descubrieron, se dieron cuenta de la existencia de estas galaxias navegando los Mares del Sur, así como durante esta travesía notaron que ciertas constelaciones desaparecían del cielo y en cambio surgían otras nuevas. El fir-

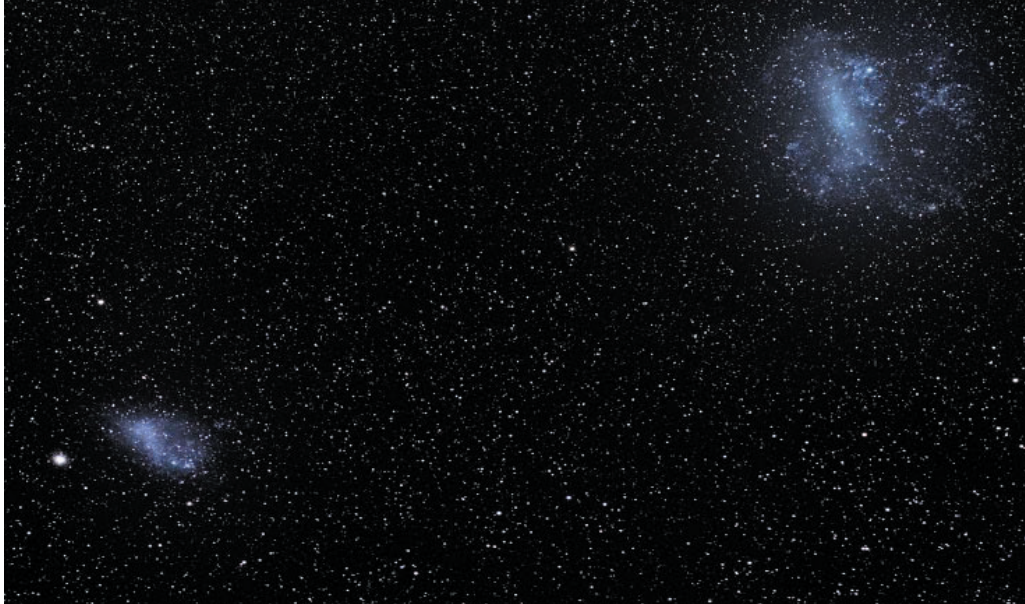
mamento austral poseía estrellas y constelaciones desconocidas en Europa. Así de las 88 constelaciones definidas por la IAU buen número de ellas aparecen en los siglos XVI y XVII, después de los grandes viajes de exploración. Podemos en consecuencia clasificar las constelaciones en dos grandes grupos. Constelaciones antiguas suelen tener su origen en la mitología griega: Leo, Scorpius, Taurus, Andrómeda, Aquarius, Aquila, Ara, Aries, Auriga, Bootes, Cáncer, Canis Major, Canis Minor, Capricornus, Casiopea, Centaurus, Cefeo, Cetus, Corona Australis, Corona Borealis, Corvus, Cráter, Cygnus, Delphinus, Draco, Equuleus, Eridanus, Gemini, Hércules, Hydra, Lepus, Libra, Lupus, Lyra, Ophiuchus, Orion, Pegaso, Perseo, Piscis, Piscis Austrinus, Sagitta, Sagittarius, Serpens, Triangulum, La Ursa mayor, Ursa minor, Virgo. Y las constelaciones descubiertas durante los siglos XVI y XVII tienen nombres de algunos instrumentos y máquinas utilizados en esos siglos, como así también animales originarios de América y hasta un homenaje a los “indios americanos”: Crux, Triangulum Australe, Coma Berenices, Columba, Apus, Chamaeleon, Dorado, Grus, Hydrus, Indus, Musca, Pavo, Phoenix, Tucana, Volans, Camelopardalis, Monoceros, Canes Venatici, Lacerta, Leo Minor, Lynx, Scutum, Sextans, Vulpecula, Antlia, Caelum, Carina, Circinus, Fornax, Horologium, Mensa, Microscopium, Norma, Octans, Pictor, Puppis, Pyxis, Reticulum, Sculptor, Telescopium, Vela.

Las constelaciones de la antigüedad fueron descritas por Claudio Ptolomeo y las constelaciones modernas fueron nombradas muy posteriormente. Uno de los astrónomos que asignaron denominaciones a las constelaciones en el hemisferio sur fue el astrónomo flamenco Petrus Plancius (1552-1622) que es conocido por haber introducido el método de proyección de Mercator en los mapas de navegación. Otras muchas deben su nombre a Johann Bayer que en 1603 publicó el primer atlas de estrellas de toda la esfera celeste, la Uranometría. El abad Nicolas Louis de Lacaille dio nombre a otras catorce constelaciones. Este astrónomo francés catalogó casi diez mil estrellas y más de cuarenta objetos astronómicos. El resto de constelaciones modernas deben su nombre a Johannes Hevelius (1611 – 1687) astrónomo polonés reconocido como el autor de la topografía lunar.

En el siglo XVIII Nicolas de Lacaille se desplazó al cabo de Buena Esperanza para estudiar un conjunto de objetos astronómicos del hemisferio sur. Pero el primero en estudiar detalladamente las Nubes de Magallanes fue John Herschel que se desplazó a Ciudad del Cabo entre 1834 y 1838 para observarlas.

Las Nubes de Magallanes son dos galaxias satélites de la nuestra, la Vía Láctea. La Gran Nube de Magallanes tiene unos 8° de tamaño angular, es decir unas 16 veces el diámetro de la Luna a simple vista. Es una galaxia enana situada a 160.000 años luz de la Vía Láctea, pero como Magallanes la describió como una nube, se conserva esa nomenclatura.

tura. La Pequeña Nube de Magallanes es una galaxia irregular enana que está a casi 200.000 años luz de distancia, pero a pesar de ello se ve perfectamente a ojo desnudo cerca de la Gran Nube, ocupando en el cielo una extensión angular de unos tres grados, unas seis veces el tamaño de la Luna, por lo que también su apariencia es grande. Según las investigaciones recientes se cree que es una galaxia elíptica distorsionada al pasar cerca de la Vía Láctea.



*Fig. 42: La Nubes de Magallanes (Crédito: ESO)*

## 5. La Deriva de la Aguja de Marear

Hoy en día, el posicionamiento en medio del océano, donde no hay referencias terrestres, no es un problema ya que tenemos los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), como el GPS. Pero esto no siempre fue así.

Hasta 1492, cuando Cristóbal Colón se aventuró a adentrarse en la mar, cruzando el incierto Atlántico y descubriendo América, el problema del posicionamiento en el mar no era realmente importante. Hasta entonces, navegar cerca de la costa o cruzar el Mediterráneo en Europa no implicaba largos períodos de tiempo lejos de tierra y, por tanto, el posicionamiento en la mar no era un grave problema.

El navegante miraba las estrellas por la noche y la posición del Sol durante el día, y si estaba oscuro y nublado, se dejaba guiar por la brújula magnética.

Este rudimentario instrumento fue descubierto en China entre los siglos 2 a.C. y 1 d.C. aunque solo se usaba para la geomancia, también conocida como adivinación que interpretaba líneas geográficas o alineaciones, y no fue hasta principios del siglo XI cuando se utilizó como instrumento de navegación. En Europa, la primera brújula magnética conocida utilizada para la navegación marítima es mencionada en 1187 por Alexander Neckham. Sus escritos describen una aguja llevada a bordo, que permite mantener el rumbo y estimar la posición del barco (conociendo el rumbo y la distancia navegada) con la máxima precisión posible. Hay que tener en cuenta que el problema de la determinación de la longitud no se resolvería hasta mediados del siglo XVIII, gracias al cronómetro marino de Harrison.

Los escritos de la primera circunnavegación del mundo de Juan Sebastián de Elcano (1519-1522) relatan un extraño fenómeno observado por Magallanes mientras cruzaba el Atlántico rumbo hacia el oeste: “La aguja de marear nordesteaba”.

### **Pero, ¿cuál era la razón de tan extraño fenómeno?**

Hoy sabemos que este fenómeno se debe a la declinación magnética, que no es más que el ángulo entre el Norte geográfico y el Norte magnético.

El norte geográfico se define a partir de la estrella Polar o por la meridiana (meridiano del Sol a las 12:00 hora local), cuando el Sol alcanza su máxima elevación. Al mirar al cielo durante mucho tiempo por la noche, se puede observar cómo las estrellas giran alrededor de la estrella polar, que permanece fija. Ese punto fijo, es donde el eje de rotación terrestre corta el cielo y, por lo tanto, el Polo celeste.

Aunque la aguja magnética no apuntaba al Norte verdadero, la brújula podría construirse teniendo en cuenta la diferencia angular: mientras que la rosa de los vientos de la brújula apunta al norte verdadero (estrella polar), la aguja imantada se orienta hacia el polo magnético (en la figura 44 se muestra la ubicación del polo magnético en el año 1590).

El fenómeno de la deriva de la brújula no se había observado hasta entonces, al comenzar las navegaciones transatlánticas. Esto se debía a la imprecisión de la propia brújula y a las cortas distancias navegadas, con poca diferencia de longitud entre los puertos, por lo que la diferencia angular entre ambos polos era prácticamente constante.

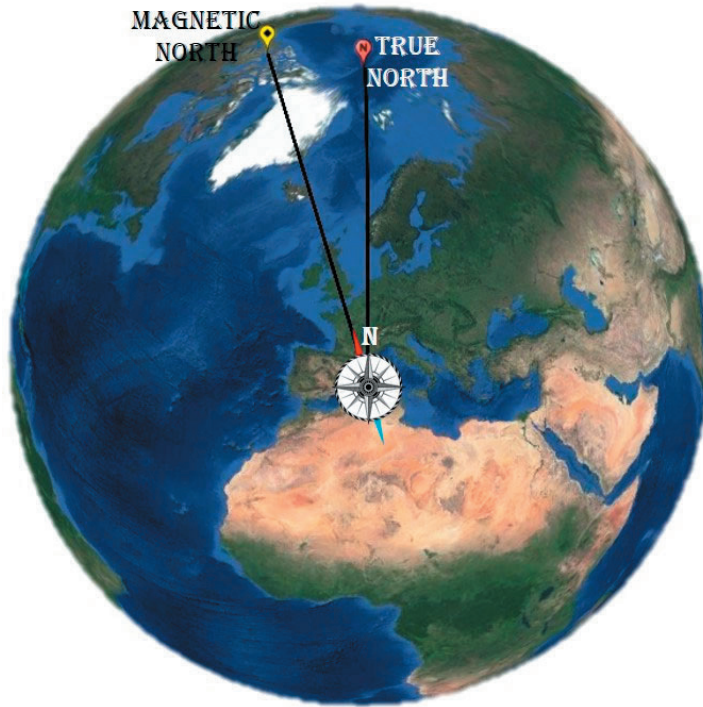


Fig. 43: Brújula sobre la aguja imantada (Crédito: A. Pazos).

**Entonces, ¿por qué Magallanes observó la deriva de la brújula? Y, ¿por qué nordesteaba?**

Cuando las expediciones de Colón o de Magallanes zarparon para aventurarse en el Atlántico, se dirigieron al oeste. Por aquel entonces, el polo magnético se encontraba en el norte de Canadá (aunque no se sabía) y, por tanto, el barco se acercaba al meridiano del polo magnético a medida que navegaba.

Aunque cuando dibujamos el mundo sobre un mapa plano, la Tierra aparece deformada (especialmente las zonas polares) y los ángulos no se conservan, se puede mostrar veamos cómo la aguja de marear se desplaza hacia el este de la estrella polar a medida que navegamos hacia el oeste (figura 44)

Para ello, se propone dibujar la ruta de la expedición de Magallanes y la primera circunnavegación al mundo, de Juan Sebastián de Elcano, sobre el mapa realizado por Diego Ribero, cosmógrafo de la Real Casa de Contratación de Sevilla, en 1529.

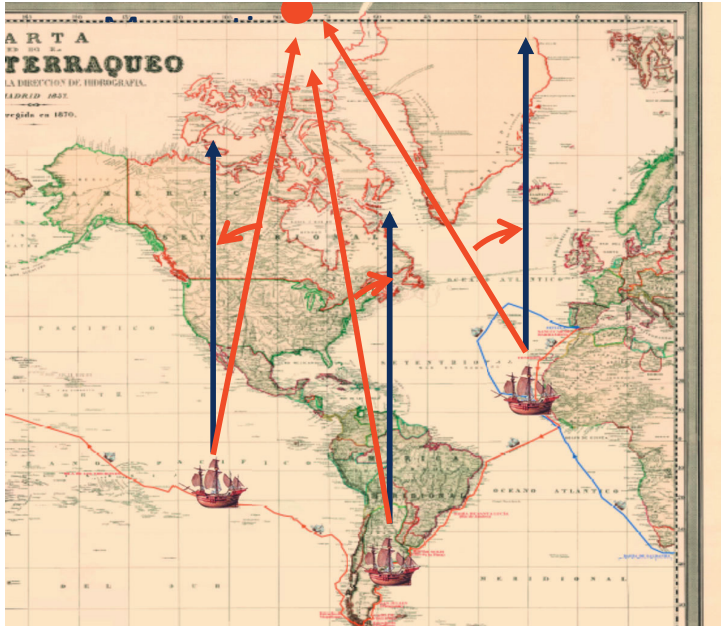


Fig. 44: El Polo magnético está representado por el punto rojo, y la dirección del polo geográfico viene dado por la dirección del meridiano perpendicular. Al navegar hacia el oeste el ángulo entre ambos va variando (Crédito: A. Pazos).



Fig. 45: Mapa de Ribero (1529) con la primera circunnavegación al mundo y la deriva de la aguja de navegar (Crédito: A. Pazos).

En la figura 45, se puede apreciar cómo la brújula a la que se ha adosado un imán (como en la figura 44), orienta su aguja imantada hacia el polo magnético y cómo el norte de la rosa de los vientos se desplaza hacia el este a medida que el rumbo es hacia occidente. Hay que tener en cuenta que, en esta proyección, el norte verdadero (la estrella polar) siempre está en la línea vertical del mapa.

Actualmente se denomina declinación magnética al ángulo, sobre el plano horizontal, que forman el norte magnético y el norte geográfico o verdadero. La declinación magnética además de variar con los años, varía según el lugar donde nos encontremos; por ello en las cartas náuticas viene dado su valor y su incremento o decremento anual.

## **6. Determinación de la Latitud Local en Viladecans de forma presencial**

En el proyecto sobre el experimento sobre la determinación de la Latitud usando la declinación solar 2022-2021 han participado 22 países: Argentina, Benín, Bulgaria, China, España, Estados Unidos, Filipinas, Francia, Grecia, Guatemala, Indonesia, Irán, Italia, Lituania, Mongolia, Paraguay, Portugal, Rumania, Senegal, Tanzania, Togo y Turquía, de 4 continentes distribuidos en todas las latitudes. Se han recibido informes de 150 trabajos realizados en escuelas y centros de primaria, secundaria, así como por parte de algunas universidades, planetarios y observatorios. No es posible calcular el número de alumnos involucrados, pero debido a la mejor situación del COVID en todos los países su número ha aumentado de forma muy importante.

Los resultados recibidos están expuestos en la página web de NASE:

***<https://www.naseprogram.org/es/proyectos-con-iau-unesco/latitud-para-viajar-y-navegar/>***

El proyecto tenía prevista una clausura presencial durante la final de Ciencia en Acción (Science on Stage Spain) en Viladecans, cerca de Barcelona los días 7, 8 y 9 de octubre. La organización había previsto situar un conjunto de carpas en diferentes lugares de la localidad para recibir la visita de miles de escolares que realizarían la actividad con el asesoramiento de 12 grupos de profesores extranjeros que explicarían el proceso a seguir y ofrecerían a los estudiantes la opción de calcular sus propios resultados. Lo cierto es que aunque la situación de sequía debida al cambio climático, y el hecho que estadísticamente a principios de octubre la situación suele ser muy soleada, lo cierto es que el 7 de octubre, previsto para esta actividad pública, toda la mañana llovió con intensidad e ininterrumpidamente durante todo el tiempo previsto para llevarla a cabo.





Fig. 46: Profesores de Paraguay y Estados Unidos preparando los materiales para la observación, aunque llovía (Crédito: J. de Vera).



Fig. 47: Simulando el Sol con la linterna de un móvil mientras estaba lloviendo a cantaros (Crédito: J. de Vera).

En consecuencia, no existió otra posibilidad que agrupar los 12 puntos de información previstos y reorganizarlos en 3 centros que ofrecieron sus locales para poder realizar “un simulacro” de actividad usando la linterna de un móvil para simular al Sol y usar los relojes solares y los cuadrantes de forma simulada. Uno de los objetivos tanto de la Unión Astronómica Internacional, como de NASE es el desarrollo de actividades científicas en el marco de iniciativas de Ciencia Ciudadana y la comunicación de la Astronomía con el gran público.



*Fig. 48: En el pórtico del Teatro Atrium, el equipo de profesores de Filipinas con los alumnos esperando un transporte a un lugar más seco para poder trabajar (Crédito: J. de Vera).*

Los profesores de los países que participaron en este evento (España, Estados Unidos, Filipinas, Francia, Grecia, Italia, Lituania, Paraguay y Rumania) tuvieron la oportunidad de participar de forma presencial en el evento online previsto para el día 8 de octubre, además de mostrar y compartir sus materiales con los demás compañeros y disfrutar de la feria de Ciencia en Acción que se desarrolló de forma no simultánea con el proyecto de NASE.

En el evento presencial para la detección de la latitud como lo hacían los antiguos navegantes participaron más de 500 alumnos de Viladecans matriculados en sus centros educativos (Escola GOAR, Escola Montserratina, Escola Teide, I.E.S Olímpia, I.E.S. Torre Rola, I.E.S. Josefina Castellví, Escola Àngela Roca, I.E.S. Sales). Cada 15 minutos

llegaba un nuevo grupo de 20 – 25 estudiantes, con edades comprendidas entre 6 y 18 años, que participaban en el experimento y después cedían su lugar al siguiente grupo. El proceso se desarrolló durante toda la mañana del viernes 7 de octubre aunque no dejó de llover ni por un momento.

Para evitar la lluvia se dispusieron los 12 grupos de profesores en 3 lugares cuyas localizaciones fueron:

- Centro 1: Casal de la Montserratina (Figura 51, 55, 56 y 58) con los 3 grupos profesores de Rumania, Francia y Lituania.
- Centro 2: Vestíbulo del Ayuntamiento de Viladecans (Figuras 52, 53 y 54) con los profesores de Mongolia, Rumania y España.
- Centro 3: Instituto de Enseñanza Secundaria Olimpia (Figuras 50 y 59) con los profesores de Italia, Grecia y Rumania.
- Centro 4: Instituto de Enseñanza Secundaria Josefina Castellví / Escola Enxaneta (Figuras 49 y 57) con los profesores de Filipinas, Paraguay, USA.



Fig. 49. En el gimnasio del Instituto Josefina Castellví una parte de los equipos de Estados Unidos, Paraguay y Filipinas (Crédito RM. Ros).



*Fig. 50: Instituto Olímpica con los equipos de Italia, Grecia y Rumania (Crédito. E. Viñuales)*



*Fig. 51: Casal Montserratina con los equipos de Rumania en el centro, Francia al fondo y Lituania a la izquierda (Crédito: RM. Ros).*



Fig. 52: Vestíbulo del Ayuntamiento de Viladecans donde se instalaron los equipos de Mongolia, Rumania y España (Crédito RM. Ros)



Fig. 53: La profesora de Mongolia mostrando como utilizar el reloj solar para saber cuándo es el mediodía solar para determinar la latitud (Crédito: RM. Ros). Fig. 54. La profesora de Rumania explicando como se usa el cuadrante para determinar la altura del Sol en el mediodía solar (Crédito: RM. Ros).

En todos los casos se enseñó a los alumnos a manejar el reloj de Sol y el cuadrante aunque al no disponer de Sol se usaron linternas para iluminar o algún punto en la pared para poder determinar su altura con el cuadrante. También hubo tiempo de explicar como se construían los instrumentos (recortando los materiales que podían conseguir en la página web de NASE).



*Fig. 55: Profesores de Rumania y miembros de NASE explicando el concepto de latitud y como conseguir deducirla a partir de la trayectoria solar (Crédito R.M. Ros).*



*Fig. 56: El equipo Frances miembros de la CLEA (Comité de Liaison Enseignants et Astronomers) y de NASE explica la construcción y el uso del reloj de sol ecuatorial a partir de comprender la trayectoria del Sol. (Crédito. RM Ros)*



*Fig. 57. Ensayando el uso del cuadrante con el profesor del Observatorio Astronómico de la Universidad de Asunción, Paraguay y que también es miembro de NASE (Crédito: J. de Vera).*



*Fig. 58: Los profesores de Lituania introduciendo los conceptos esenciales para obtener la latitud local (Crédito: R.M. Ros).*



Fig. 59. Manejando el cuadrante marino con la profesora italiana para determinar la latitud local (Crédito: E. Viñuales)



Fig. 60: Profesora de Rumania y miembro de NASE, preparando una versión simplificada del cuadrante con un transportador de ángulos y una regla (Crédito: P. Chis).



## 7. Final de “Latitud para viajar y navegar”

La sesión online desarrollada el 8 de octubre de 2022 fue transmitida por streaming a todo el mundo, grabada y se puede visualizar en el canal de YouTube de NASE, en el siguiente link <https://youtu.be/bKdpxBE9ofc>

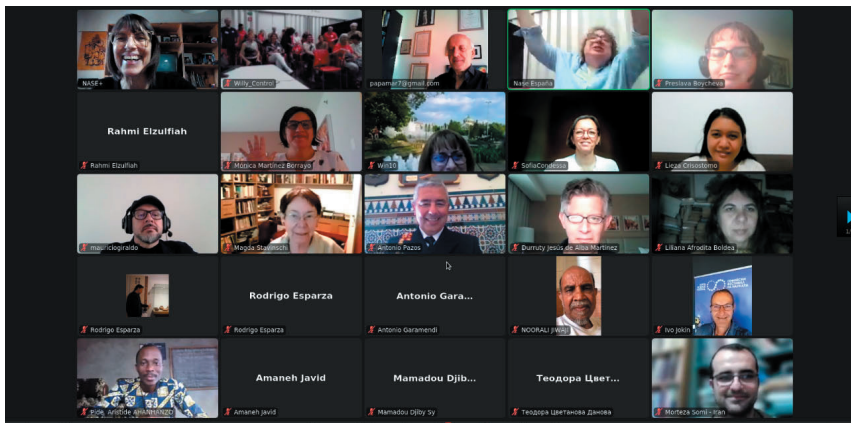


Fig. 61: Algunos participantes en el evento final del proyecto “Latitud para viajar y navegar” del Día Internacional de la Luz 2022 de UNESCO, evento organizado dentro del ciclo NASE+ (Crédito: B. García)

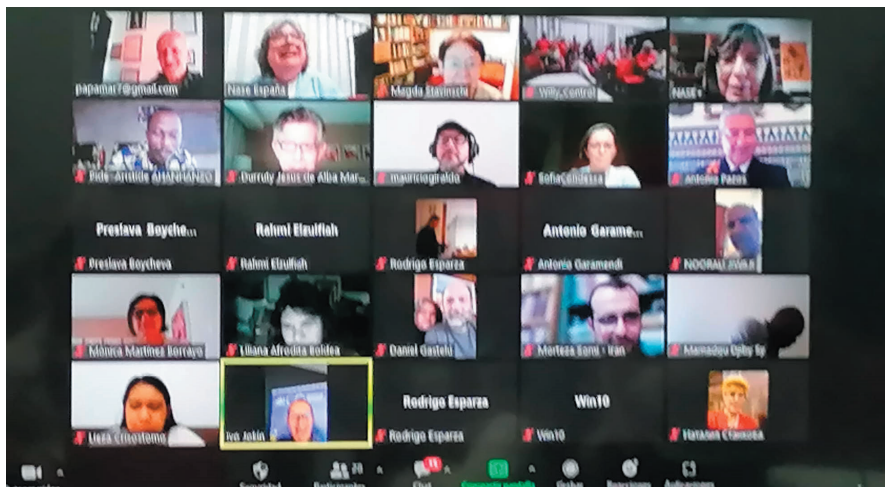


Fig. 62: Otros participantes en el evento final mencionado con anterioridad (Crédito: P. Chis).

La sesión fue tal que una parte de sus participantes se encontraban en España de manera presencial, ellos fueron todos los profesores que constituyeron los 12 grupos de profesores que dieron las sesiones del día anterior, el día 7 de octubre mas lluvioso que cualquiera se puede imaginar. De manera que se trató de un evento híbrido con todas las ventajas que tiene estos eventos abriendo de forma fácil la participación y la colaboración desde muchos lugares. Parte de los participantes presenciales y online presentaron contribuciones sobre los temas de la convocatoria.

Antes de comenzar la transmisión online de esta final, el alcalde de Viladecans se despidió de todos los 25 profesores visitantes (4 España, 3 Estados Unidos, 3 Filipinas, 2 Francia, 2 Grecia, 2 Italia, 3 Lituania, 1 Paraguay y 5 Rumania) explicando con detalle el interés de la ciudad de Viladecans por la ciencia ciudadana y por la promoción y fomento de nuevas vocaciones, totalmente en línea con los objetivos de NASE.



*Fig.63: Reconocimiento del Alcalde de Viladecans a los profesores visitantes invitados para el proyecto IAU-UNESCO presentado por NASE como Gran Experiencia de Ciencia en Acción 2022.*

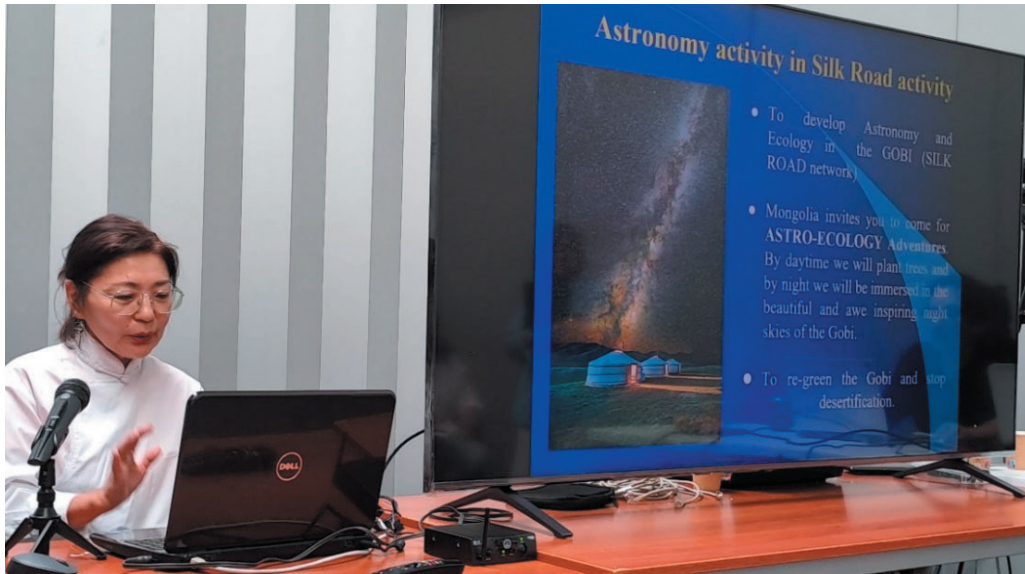


Fig.64: Presentación de Tsolmon Rechin profesora de la Universidad de Mongolia, miembro del Observatorio de Ulaanbaatar y miembro de NASE disertando sobre la Ruta de la Seda. (Crédito: P. Chis)

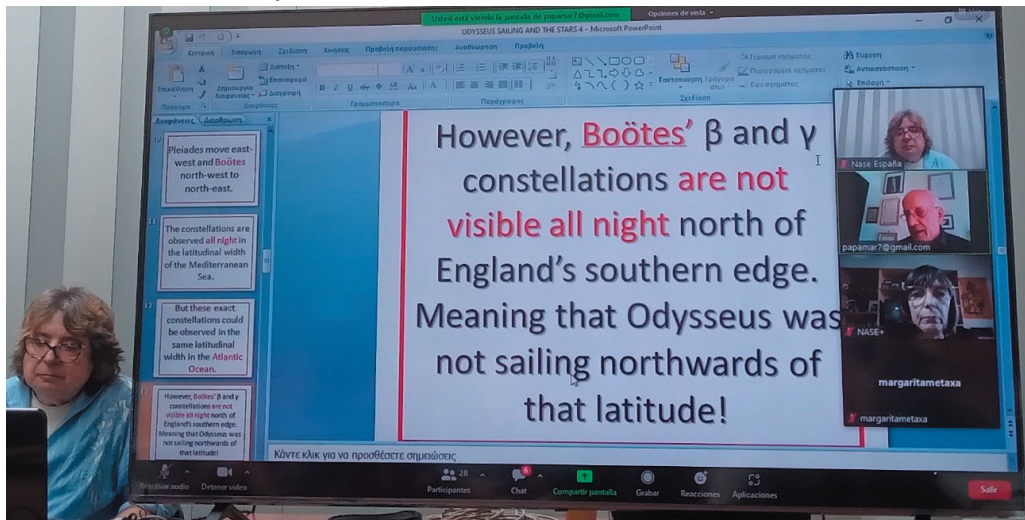


Fig. 65: Stavros Papamarinopoulos (Grecia) detallando online los aspectos astronómicos de la Odisea de Homero (Crédito: V. Petridou.)

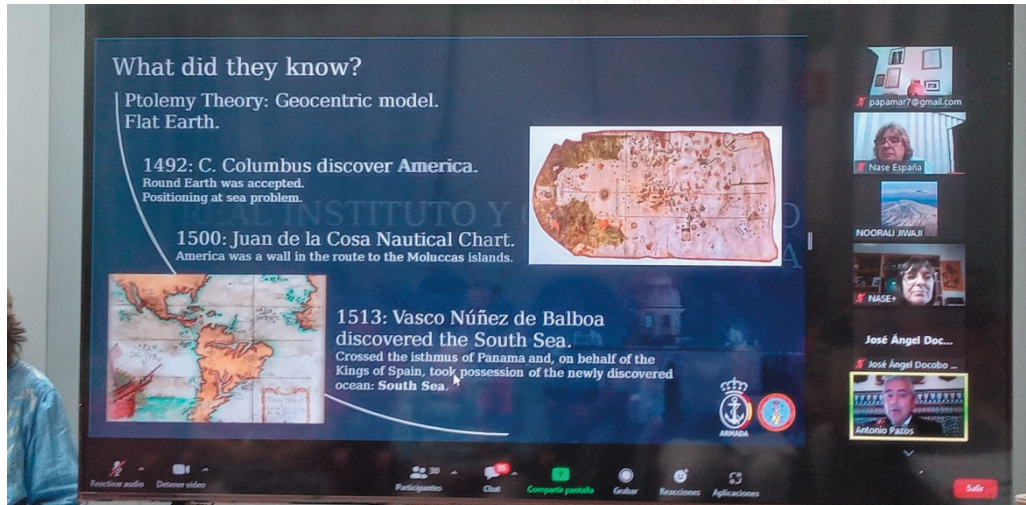


Fig. 66: El Capitán de navío Antonio A. Pazos García director del Real Instituto y Observatorio de la Armada Geográfico de San Fernando disertó online sobre el viaje de Magallanes y Elcano dando una explicación sencilla y didáctica de la desviación de la aguja de marear (Crédito: V. Petridou).

El video de la sesión se puede ver en youtube, se detalla a continuación el índice de las presentaciones de la sesión final híbrida.

- **Opening session**, Beatriz García, Margarita Metaxa and Rosa M. Ros, Argentina, Greece and Spain.
- **“Mongolia and Silk Road”**, Tsolmon Rechin, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia
- **“Chartaquis in the Silk Road”**, Hosein Khezri, ITAU, Bushehr, Iran.
- **“The use of the stars during Odysseus’ sea voyage after the fall of Troy in 1218 B.C.”**, Stavros Pappamarinopoulos, University of Patras, Greece.
- **“The ancient relation in Spain between the Milky Way and the St. James Way”**, José Ángel Docobo, Santiago University, Santiago de Compostela, Spain.
- **Summary of “Determining Latitudes in Viladecans”**, Shila R. Sia, Philippines Normal University, Manila, Philippines and Paula Chis, George Baritiu School, Cluj-Napoca, Romania.
- **“Elcano. The greatest adventure of the history”**, Antonio A. Pazos García, Real Instituto y Observatorio de la Armada, S. Fernando, Cádiz, Spain.
- **“Treaty of Tordesillas: the Iberian context”**, Sofia Condessa, Associação de Professores de História, Porto, Portugal.

- ***“The meso-american pecked cross as a calendar device: an example of long-distance migration knowlegde”***, Rodrigo Esparza López, Centro de Estudios Arqueológicos, Michoacán, Mexico.
- ***“What happened to the north? the Kogi constructions of the Sierra Nevada de Santa Marta”***, Mauricio Giraldo, Museo de Bogotá, Colombia.
- ***Closing session***, Beatriz García, Margarita Metaxa and Rosa M. Ros, Argentina, Greece and Spain.

Una de las presentaciones, como no podía ser de otra forma, resumió de forma breve la Gran Experiencia del día anterior. Las autoras de esta presentación fueron Paula Chis y Shila R. Sia del Colegiul Na ional George Bari iu de Cluj-Napoca en Romania y de la Universidad de Manila en Filipinas respectivamente.



*Fig. 67: Resumiendo la Gran Experiencia del día anterior para que los asistentes online conocieran los resultados de la misma. Una experiencia muy interesante y que valoraron muy positivamente los alumnos y los profesores de estos alumnos, aunque no se pudo realizar ningún tipo de medición ya que estuvo lloviendo todo el día (Crédito: P. Chis).*



*Fig. 68: Fotografía de los participantes reunidos de forma presencial en Viladecans y que asistieron a la final híbrida conjuntamente con los asistentes online (Crédito: RM. Ros).*

## 8. Resultados

NASE recibió más de un centenar de informes escritos. Estos trabajos pueden verse en la página web de NASE como se ha mencionado con anterioridad.



*Fig. 69: Distribución por continentes del más de un centenar de trabajos recibidos (Crédito: Lucas Torres)*

Algunos informes recibidos incluyen los resultados obtenidos usando los dos métodos, pero la gran mayoría solo aplica el método de la altura del Sol, ya que como es bien conocido este método se puede usar en todos los rincones del globo, mientras que el método de la altura de la polar solo es posible en el hemisferio boreal y para latitudes superiores a unos  $30^\circ$ . También se pueden ver fotografías del montaje y realización del experimento con la participación de profesores y alumnos en los informes disponibles en la página web de NASE. En general los resultados fueron aportados por centros de secundaria, aunque en ocasiones hay informes realizados por universidades, observatorios, planetarios y centros de primaria y preescolar.

Lo más importante no es la precisión en los resultados, sino comprender el proceso realizado y como se deduce el ángulo que nos indica nuestra latitud, por lo tanto, el paralelo de nuestra ubicación sobre la Tierra.

## 9. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este proyecto han sido un éxito por la participación de los diferentes centros de más de 20 países. En cuanto a la participación local en el evento final en Viladecans hay que reconocer que la copiosa lluvia durante toda la mañana dificultó el desplazamiento de los alumnos e impidió la observación del Sol; lo que no mermó es el entusiasmo de docentes, alumnos y visitantes foráneos que se sumaron a la propuesta.

En cuanto a la participación local fue de aproximadamente 500 estudiantes de 8 escuelas secundarias y primarias de Viladecans, pero lo cierto es que los alumnos y profesores estuvieron encantados por las simulaciones realizadas y porque comprendieron bien el proceso de adquisición de datos, aunque por razones climatológicas no fuera posible llevar a cabo la experiencia y obtener resultados. En astronomía ya se sabe que se dan estos casos: ¡incluso en una situación de sequía de varios meses, el día que estaba previsto para la observación fue el único día que llovió en Viladecans!

A escala internacional NASE planea realizar en 2023 con este tipo de propuestas, proyectos globales que involucren a países en diferentes continentes y con un evento final de cierre, si es posible, en más de un país para facilitar la reunión de varios miembros de NASE y poder compartir los resultados.

Finalmente es necesario agradecer a varias instituciones internacionales que han brindado apoyo al “Proyecto Latitud para Viajar y navegar” dándolo a conocer en sus países y áreas de influencia:

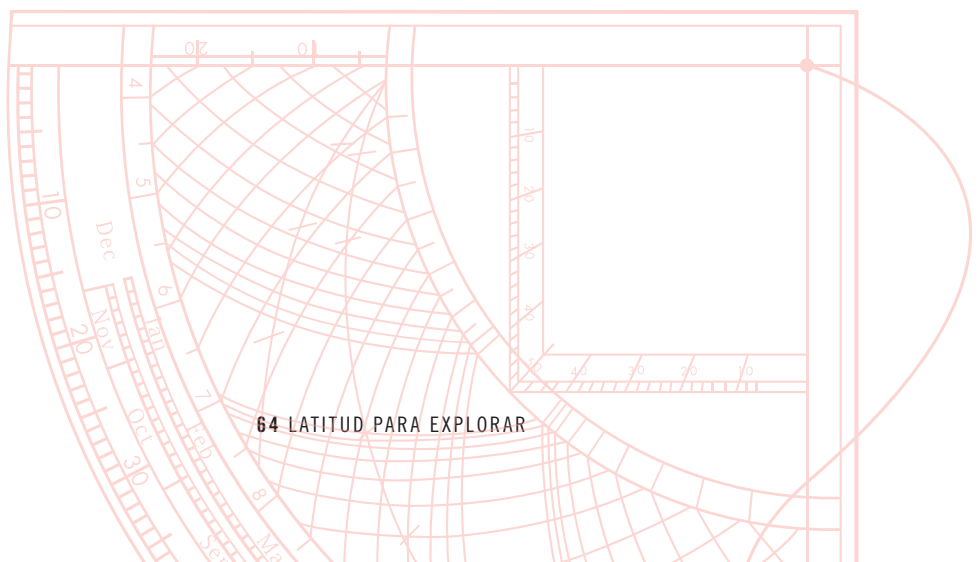
Cité de la Science en Túnez, Túnez  
CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomers, France  
CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina  
CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.  
Entoto Observatory, Ethiopia  
ESSTI Instituto Etíope de Ciencia y Tecnología Espacial, Ethiopia  
Ethiopian Space Science Society, Ethiopia  
IFA Instituto para Astrofísica de la Universidad de Viena  
Institut für Astrophysik, University of Wien, Austria  
Institut Teknologi Bandung, Indonesia  
Instituto de astrofísica e Ciências do espaço, Portugal  
ITAU Iraian Teacher’s Astronomy Union, Iran  
ITEDA, Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas (CNEA-CONICET-UNSAM), Argentina



ITERA Institut Teknologi Sumatera, Indonesia  
SINA Students Iranian Network for Astronomy, Iran  
NARIT Instituto Nacional de Investigación Astronómica de Tailandia  
Planetario de Beijing, China  
Planetario de Oporto, Portugal  
Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina  
University of Oporto, Portugal

## Bibliografía

- J. A. Belmonte, F. Berthomieu, A. Costa, H. Deeg, S. Deustua, J. Fierro, B. García, M.K.Hemenway, R. Moreno, J.M. Pasachoff, J. Percy, R.M. Ros, M. Stavinschi, 14 pasos hacia el Universo, Rosa M. Ros y Beatriz García edi., Barcelona, 2018.



MAJ



Ciencia  
en Acción

na  
se

IAU