

revista **NaDiR**

Nº 42 X-2020



UN MODELO DE OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA: CINE DE ESTRELLAS

EL ALMIRANTE CRISTÓBAL COLÓN Y LA ESTRELLA DEL NORTE

DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE ROTACIÓN DEL SOL

REGRESO AL ESPACIO: SPACE-X

**REVISTA DE LA ASOCIACIÓN PARA LA
ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA (ApEA)**



ASOCIACIÓN
PARA LA ENSEÑANZA
DE LA ASTRONOMÍA

ApEA

NADIR es una revista de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA)
www.apea.es

Presidente:

Carolina Clavijo Aumont

Vicepresidente:

Sebastián Cardenete García

Secretario:

Fernando Sánchez

Tesorero:

Xavier Benlliure i Perales

Vocal de Publicaciones:

Ricardo Moreno Luquero

Vocal página web:

Eva Dominique Ibarra

Vocal FAAE:

Ángel Gómez Roldán

Vocales de Encuentros:

M. Carmen Botella

Fernando Ordóñez

Vocales:

Esteban Esteban Peñalba

Sensi Pastor Rodríguez

Manu Arregi Biziola

Edición de la revista Nadir:

Ricardo Moreno Luquero

rmluquero@gmail.com

Comité de Redacción:

Manu Arregi y Joaquín Álvaro

Depósito Legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Octubre 2020

Foto de portada: Falcon-9 con la cápsula Dragon, camino a la ISS (www.spacex.com).

SUMARIO

EXPERIENCIAS

UN MODELO DE OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA: CINE DE ESTRELLAS

Joaquín Álvaro

3

DIDÁCTICA

EL ALMIRANTE CRISTÓBAL COLÓN Y LA ESTRELLA DEL NORTE

Juan Carlos Terradillos

12

ACTIVIDADES

DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE ROTACIÓN DEL SOL

Anicet Cosíalls

19

DIDÁCTICA

REGRESO AL ESPACIO: SPACE-X

Ricardo Moreno

25

Nadir no se hace responsable de las opiniones expresadas en los artículos. Si no se indica otra cosa, las imágenes son propiedad de los autores de los artículos.

La distribución de **Nadir** es gratuita entre los socios de **ApEA**, y se puede descargar de su web.

Se autoriza la difusión del contenido de la revista, citando la fuente.

UN NUEVO MODELO DE OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA PÚBLICA: CINE DE ESTRELLAS

Joaquín Álvaro



Después de más de 20 años de andadura como Asociación de Astronomía Amateur, durante los cuales han sido numerosas y variadas las actividades de observaciones astronómicas dirigidas al público en general en un intento de difundir y divulgar la Astronomía y también de concienciar sobre los valores del cielo oscuro, hemos ido acumulando experiencia acerca del impacto y efectividad de los modelos al uso en este tipo de actuaciones.

Básicamente el modelo tradicional consiste en instalar varios telescopios en el lugar, escogido en base a condicionantes de accesibilidad e intentando conjugarlos con valores a resaltar como la calidad del cielo y la diversidad del potencial público interesado, por los que sucesivamente van pasando los asistentes al tiempo que, bien como introducción o como relato paralelo, se van resaltando detalles de contenido pretendidamente didáctico y motivador.

La experiencia siempre nos ha resultado gratificante, pero el modelo en sí mismo también nos ha parecido mejorable desde hace tiempo. Los grupos pronto pasan a desestructurarse y, tanto la información transmitida como la experiencia en sí misma, acaban diluyéndose en múltiples experiencias personales donde desaparece la cohesión de grupo, difíciles de valorar. Al final siempre queda la sensación de un cierto caos, controlado, pero inevitable. Y esto siempre en mayor o menor grado, con independencia del buen saber hacer de los monitores que desarrollan la actividad.



Con esta premisa en mente, y empujados por la situación especial derivada de la pandemia del covid-19 y sus condicionantes, hemos creído que era el momento de dar un paso adelante y avanzar hacia un modelo más evolucionado.

El modelo “Cine de Estrellas”

Inicialmente el punto crítico a resolver era eliminar el paso continuado de personas por los diferentes oculares de los telescopios. Sin duda, y como desde un principio se planteó en todo el colectivo amateur, para este tipo de actividades se trata de un posible foco de contagio que, dadas las circunstancias, anulaba toda posibilidad de realizarlas responsablemente.

Nuestra opción, de entre las posibles, ha sido incorporar en el sistema un ocular electrónico, (evidentemente, una cámara CCD), y proyectar la imagen captada en una gran pantalla accesible para todos los asistentes al mismo tiempo.

Ésta era la pieza del puzzle que necesitábamos para resolver nuestros reparos al

modelo tradicional de manera que, con independencia de que la situación actual del virus pase a mejor vida, el nuevo modelo en AstroCuenca ha llegado para quedarse.

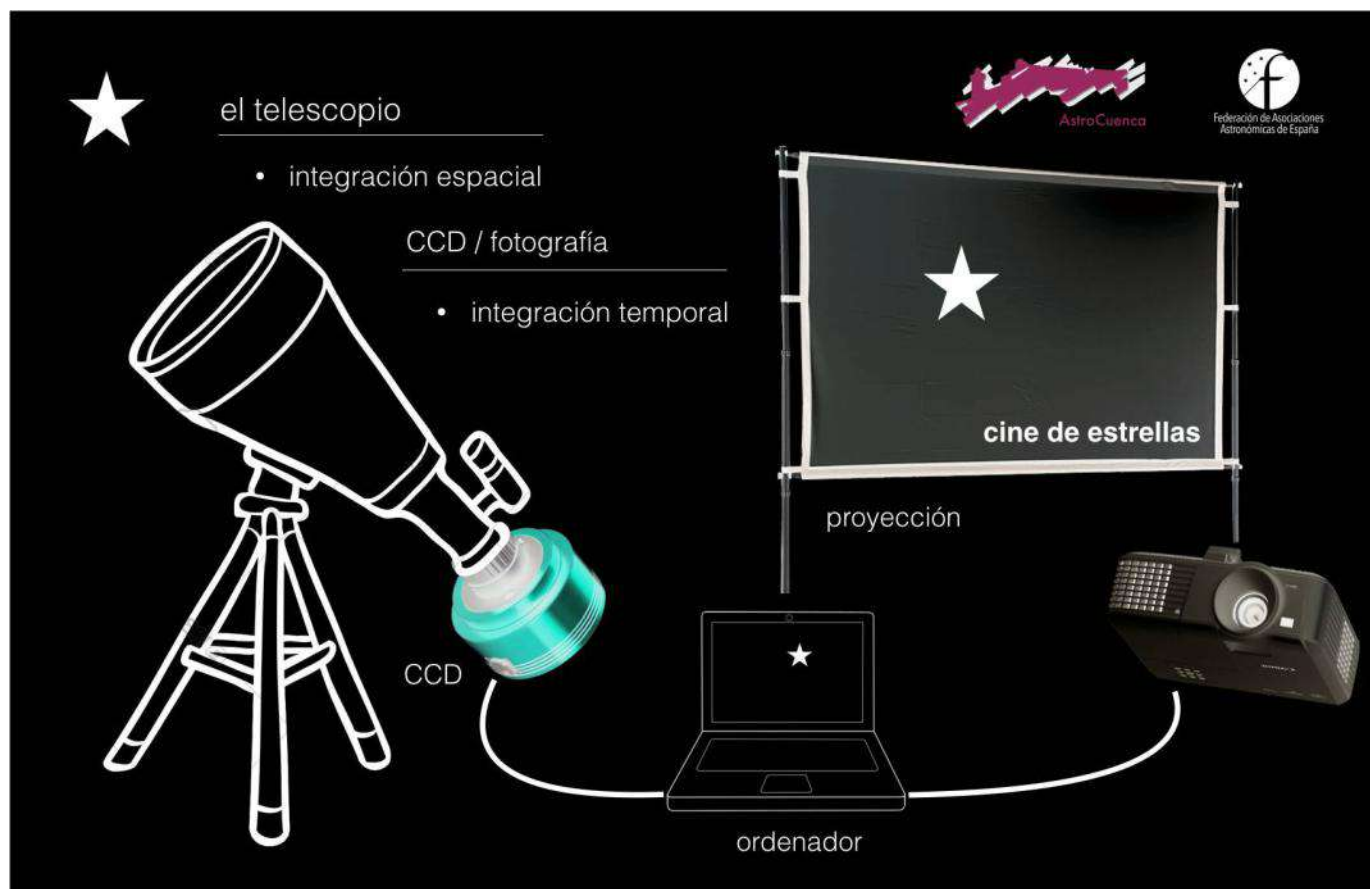


Resulta evidente que el procedimiento simplifica algunas cosas, como el ser suficiente un único telescopio para desarrollar la sesión, pero también requiere algo más que la cámara CCD para hacerla posible, como un proyector, una pantalla, el ordenador portátil y accesorios de logística inevitables, (mesa auxiliar, baterías o punto de corriente accesible y megafonía deseable). Aunque todo esto son cuestiones menores, sin duda.

La idea es sencilla. No estamos descubriendo nada nuevo. Pero su puesta en práctica no es tan simple y requiere de personas experimentadas con habilidades manifiestas en las técnicas de astro-fotografía. En definitiva se trata de conseguir la suficiente versatilidad como para hacer la versión de campo de algo que es más propio de una instalación fija.

Los requisitos:

- es importante una exquisita puesta en estación del telescopio.
- trabajar con una CCD que conjugue la posibilidad de hacer planetaria y objetos del cielo profundo, y deseable en color por sus ventajas didácticas.
- un proyector de bajo consumo y alta luminosidad y resolución para no hacer de éste el elemento limitante de la cadena.



- una pantalla de dimensiones suficientes para que su visión, cómoda, alcance un radio razonable en función del público esperado.

- intendencia auxiliar: cables, baterías, láser, megafonía, portátil, etc.

Describimos después las características de los diferentes elementos utilizados en nuestro modelo durante este verano de 2020, pero queremos resaltar primero los puntos determinantes y críticos del montaje.

En primer lugar, como ya se ha comentado, es necesario una puesta en estación del telescopio rigurosa. A veces, cuando esto se hace en el campo y apremiados por el comienzo de una observación con hora definida y gente que se va congregando, no es algo a lo que se preste más atención que el de conseguir unos mínimos aceptables. Pero en este caso, el éxito de la sesión depende casi en su totalidad de ser extremadamente cuida-

dosos en este punto. Esto lo sabe bien todo aquel que quiere hacer astrofotografía. Una vez que se sustituye el ocular por la cámara CCD, con la reducción de campo que ello conlleva, es difícil localizar objetos en el cielo si la precisión de la puesta en estación no ha sido lo más perfecta posible. Implica también una buena colimación del buscador con la cámara CCD ya puesta, y un seguimiento razonablemente bueno para evitar el desplazamiento de los objetos en la pantalla, más notorio cuando se utilizan tiempos de exposición en la CCD que acumulan segundos o incluso algún minuto.

Con la CCD, por otra parte, no sólo se consigue evitar el peregrinaje de público por el telescopio. Se aumenta también tiempo de captura de fotones 'a voluntad', con lo que el rango de objetos débiles a presentar se amplía considerablemente frente al modelo tradicional del ojo sobre el ocular. Nuestro

objetivo, aparte de no pretender una CCD cara sino una ‘de batalla para el campo’, era tener accesibles los planetas y sus satélites, así como objetos de cielo profundo: cúmulos globulares, nebulosas y galaxias. Lógicamente, además, pretender incorporar en una misma sesión objetos que cubran este recorrido por el cielo, deseable desde un punto de vista didáctico, implica también cierta destreza y dominio por parte del monitor responsable de este elemento durante la sesión.

En cuanto al proyector, los requisitos enunciados anteriormente son fáciles de conseguir con los proyectores LED actuales y a bajo coste. La condición impuesta a este elemento es no degradar la calidad de la imagen obtenida por la CCD, de manera que su proyección en la pantalla no pierda significativamente desde la imagen original. Una vez llegados aquí, los recursos puestos en activo permiten acompañar cada sesión con una capa didáctica, más difícil en el modelo tradicional, que alterna las imágenes ‘en tiempo real’ con una presentación divulgativa relacionada con lo que ‘se está viendo’. Como esto se hace para el grupo completo y simultáneamente para todos sus componentes, el grupo sigue estructurado y se mantiene una línea de tiempo de discurso uniforme.



La doble funcionalidad aconseja que el proyector cuente con varias entradas de vídeo, de manera que pueda alternarse con facilidad de una a otra. Es interesante que éste disponga del modo de *proyección posterior*, (retroproyección), lo que permite situarlo detrás de la pantalla y no entre ésta y los asistentes.

De igual manera es recomendable utilizar dos portátiles: uno que controla telescopio y CCD y un segundo que lleva el guión de la sesión a través de la capa didáctica.

Los resultados después de la experiencia desarrollada por AstroCuenca durante el verano de 2020 ha sido tremendamente satisfactoria. Como se hace patente en las imágenes anteriores, el escenario recuerda lo que podría ser un cine de verano, de ahí nuestro apelativo de ‘cine de estrellas’. Algo que por otra parte ha permitido cumplir con las restricciones impuestas por la situación especial de la pandemia.

Nuestra experiencia: Veranos Astronómicos de Castilla-La Mancha

Para AstroCuenca el modelo presentado surgió de manera natural. Por un lado estaba la insatisfacción comentada sobre el modelo tradicional. Por otra parte, las pruebas realizadas para hacer operativo este proyecto eran la continuación lógica de las sesiones prácticas derivadas de un curso sobre astrometría y fotometría astronómica, que habíamos llevado a cabo al final de esta primavera en formato on-line, con la participación de 23 miembros de nuestra Agrupación y de otras Asociaciones FAAE:

<http://www.astrocuenca.es/joomla/index.php/cursos-astrocuenca>

Estas sesiones de pruebas, (bastaron tres), a las que se incorporó desde un primer momento el objetivo de evolucionar el

modelo de observación pública, nos permitieron definir las características de los elementos necesarios para completar la cadena más allá de los ya disponibles como material propio de la Agrupación, esto es: CCD, proyector y pantalla, que por tratarse de dispositivos a utilizar de manera continuada y en actividades de campo no quisimos recurrir a otros propios de miembros de AstroCuenca, ni tampoco que quedaran fuera del alcance presupuestario de la Agrupación.



El importe invertido en los mismos no ha llegado a los 600 € y finalmente la cadena completa configurada es:

- telescopio Schmidt-Cassegrain de 8"
- montura ecuatorial SkyWatcher HEQ5 Pr
- CCD – ZWO ASI 290
- proyector Wimius de 6.800 lúmenes y resolución nativa 1080p con modo de retroproyección
- pantalla Vamvo de 120"

Software bajo estándar ASCOM:

- control de telescopio/atlas del cielo - C2A Planetarium Software
- captura y control CCD – ASICAP (ASISstudio)



Con nuestro equipo testado y listo para poner en práctica nos llegó la propuesta habitual de los Veranos Astronómicos de Castilla-La Mancha.

La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, a través de la Fundación Impulsa, viene promocionando en los últimos años la certificación Starlight concedida a la Serranía de Cuenca en 2018 mediante el desarrollo de actividades de divulgación y concienciación de los valores del cielo oscuro, incluidas observaciones astronómicas repartidas por los diferentes municipios que forman parte del Parque Natural de la Serranía de Cuenca, (también en el territorio del Valle de Alcudia – Ciudad Real).

Este año 2020 el tema era especialmente delicado por los motivos conocidos, pero nuestro nuevo modelo ha hecho posible su realización ajustando paralelamente una limitación de aforos y el resto de controles sobre reuniones en espacios abiertos, aspectos estos últimos que han quedado bajo la responsabilidad de los respectivos ayuntamientos. En total se han desarrollado 10 actuaciones repartidas a lo largo del mes de agosto con un total de unos 550 asistentes, no comparables evidentemente con los habituales 3.000 de años anteriores, por razones obvias, pero arrojando igualmente un balance muy positivo dadas las circunstancias:

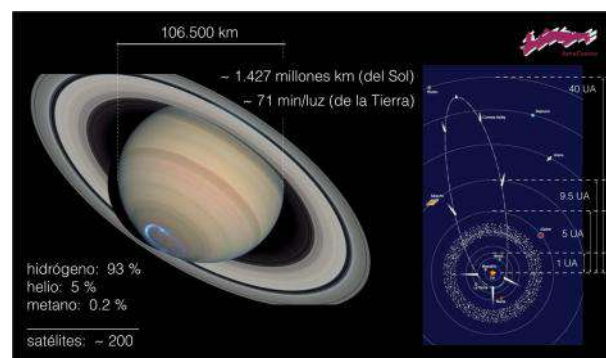
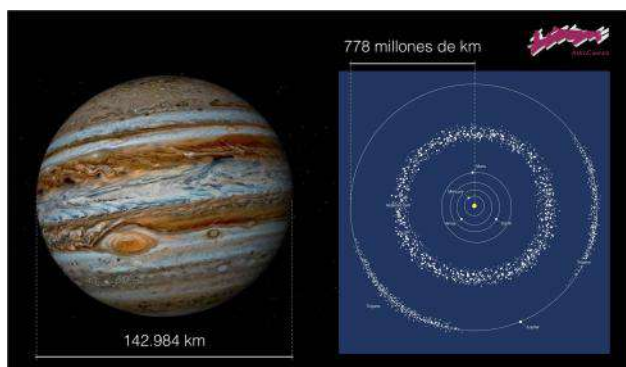
<http://www.astrocuenca.es/joomla/index.php/actividades>

La sesión

Como ya se ha indicado, nuestro propósito partía de volcar el peso del modelo sobre el contenido divulgativo, tanto en la temática astronómica como en la intención de resaltar los aspectos positivos y deseables del cielo oscuro. Este objetivo desplaza el guión de la sesión a la capa didáctica que se elabora a modo de presentación, (modo conferencia), pero que integra en su desarrollo las imágenes en tiempo real captadas por la cámara sobre el telescopio y permite, sobre el mismo discurso, ir explicando las características físicas de los objetos que se van presentando, nociones sobre la física de los procesos que los configuran, las características instrumentales del propio sistema empleado, etc. Discurso

que en cada sesión puede ir variando en función de los objetos celestes accesibles, así como del perfil propio de los asistentes.

Evidentemente, hace falta la destreza suficiente para que cada objeto a presentar esté disponible en su momento adecuado según el guión y debidamente calibrado en condiciones óptimas, sacando el máximo provecho de las limitaciones impuestas por los diferentes elementos de la cadena. De ahí que las indicaciones hechas anteriormente acerca de la necesidad de una puesta en estación exquisita del telescopio, así como de un eficiente manejo de la configuración de la CCD en cada caso, no sea algo meramente retórico.



Estos requisitos nos han llevado a empezar el proceso de montaje y puesta a punto de todos los elementos un par de horas antes del comienzo de cada sesión. Sesiones que, en general, han tenido una duración media de 120 minutos y para las cuales son deseables tres o cuatro miembros del equipo en cada caso.

El hilo conductor para nosotros durante este verano ha sido 'de lo cercano a lo lejano'. De manera que, aprovechando el espectáculo que este año han ofrecido los planetas Júpiter y Saturno, hemos empezado por presentar ambos planetas y sus respectivos satélites más significativos, así como La Luna en los días posibles, para después salir del sistema solar y hacer una incursión en un sistema estelar binario, albireo, (triple en realidad), y más adelante saltar a las nebulosas planetarias, cúmulos globulares y finalmente a una galaxia.



estrellas

sistemas binarios

* Albireo A (1) -

T: 4.400 °K

950 veces más luminosa que el sol

50 veces el diámetro del sol

* Albireo A (2) -

T: 11.000 °K

100 veces más luminosa que el sol

período orbital: 100 años

distancia entre ambas: 40 UA

Albireo

Albireo A

Albireo B

T: 12.100 °K

190 veces más luminosa que el sol

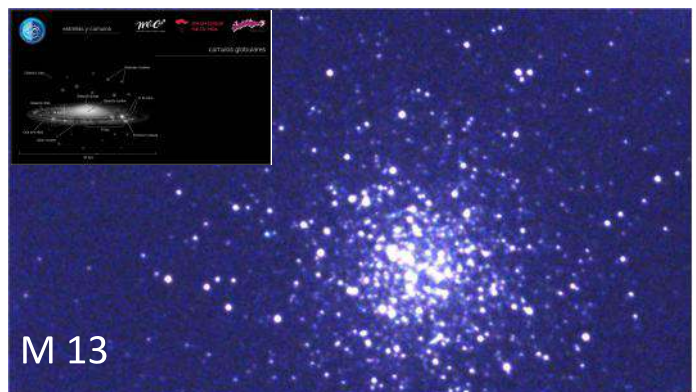
gira muy rápidamente: 250 km/s

75.000 años

Se trata sin duda de un ejercicio exigente para los responsables de controlar la sesión, pero hemos demostrado que es posible y la valoración, tanto desde nuestro punto de vista –interesado, pero riguroso- como desde el de los asistentes, muchos de los cuales han

conocido también en otras ocasiones el modelo anterior, ha sido tremendamente positivo y satisfactorio.

Todas las imágenes presentadas, al igual que en las sesiones en vivo, son imágenes brutas. No han sido editadas, ni procesadas con las técnicas de astrofotografía, ni apiladas, algo que evidentemente no es viable durante las sesiones en directo.



Galería de fotos



Preparando la sesión. Las Majadas 01.08.2020

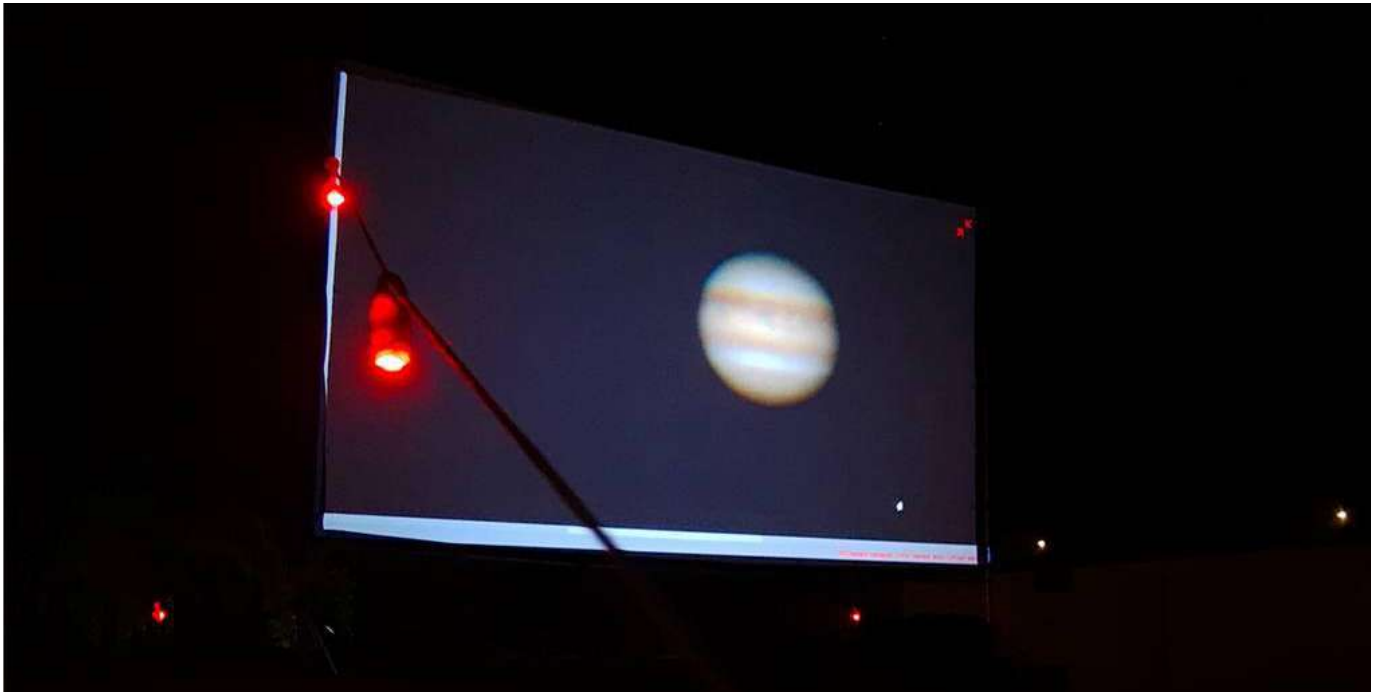


Imagen en tiempo real de Júpiter – Villaescusa de Haro – 20.08.2020



La Luna – Las Majadas – 01.08.2020



Back-end – Villaescusa de Haro – 20.08.2020



Front-end – Villaescusa de Haro – 20.08.2020

Galería de vídeos:

- spot publicitario – presentación
- time-lapse – sesión de Las Majadas
- time-lapse, sesión del MUPA, el 21.08.2020
- vídeo sobre 'el terminador' de La Luna

© 2020 – ASTROCUEENCA

Equipo, (por orden alfabético):

Joaquín Álvaro
 Rafael Cantos
 Esteban Donate
 Enrique Fernández
 Juan José Fernández
 M^a Dolores Fernández
 Esteban García
 Isidoro González
 Luciano Izquierdo
 Álvaro Monteagudo
 Antonio R. Pérez
 José M. Sánchez
 Rogelio Sánchez



Federación de Asociaciones
 Astronómicas de España

EL ALMIRANTE CRISTÓBAL COLÓN Y LA ESTRELLA DEL NORTE

Juan Carlos Terradillos



La navegación en tiempos del descubrimiento de América requería muchos conocimientos astronómicos. En este artículo intento dar una explicación científica de algunos pasajes del Diario de Colón. Incluye cómo obtener coordenadas de estrellas en otros tiempos.

En la excelente película titulada "*1492, La conquista del paraíso*", dirigida por *Ridley Scott* e interpretada por *Gerard Depardieu* en el papel principal de Cristóbal Colón, se ven algunas técnicas de navegación y cómo usaban diversos instrumentos que les servían para realizar estos viajes oceánicos en la época del descubrimiento de América, en el año 1492. Así se puede ver cómo usaban la ampolleta y la cuerda corredera

para evaluar la velocidad de la nave, mientras que utilizaban el cuadrante para medir la altura de la estrella Polar, y así obtener la latitud en la que estaban. Aunque no aparece en la película, también se ayudaban de la brújula, la "aguja de marear" según la llamaban.

En una escena, un marinero, supuestamente de la nao Santa María cuyo capitán era Colón, entra en el camarote del Almirante, le dice que la

marinería está nerviosa, y le pregunta cómo pueden saber la posición por donde navegan. Éste le lleva a cubierta, coge el cuadrante y le pide que mida la altura de la Estrella del Norte. El marinero Méndez (error en el guión: no viajaba ninguno con ese nombre y sí dos grumetes de apellidos Medel) apunta a la estrella y mide su altura en 28° . Entonces Colón le responde que esa es la latitud por la que están navegando y que es la que tienen que seguir durante el resto del viaje.



Hay que decir que las medidas obtenidas con estos instrumentos no eran muy precisas, por tres razones: se realizaban sobre una superficie oscilante como eran las naves, había dificultades en la medición de la altura del Polo Norte, pues entonces la estrella Polar era una estrella circumpolar, y por último estaba la discrepancia que había entre la dirección del polo norte magnético y el geográfico, ya que a finales del siglo XV se desconocía la existencia de la declinación magnética.

Estas incertidumbres se pueden constatar en los textos escritos que nos han llegado narrándonos la epopeya del Descubrimiento. Estos escritos son los que nos han dejado el hijo de Colón, D. Hernando Colón, en su "*Historia del Almirante*", y Bartolomé de las Casas al recopilar

los escritos del Almirante sobre su primer y tercer viaje, en la obra "*Diario y relaciones de viajes*". De esos libros sacamos estas citas:

Cristóbal Colón

- Lunes, 17 de septiembre (Primer viaje):
"Tomaron los pilotos el Norte, marcándolo, y hallaron que las agujas noruesteaban una gran cuarta, y temían los marineros y estaban penados y no dezían de qué. Cognosciólo el Almirante, mandó que tornasen a marcar el Norte en amaneciendo, y hallaron qu'estaban buenas las agujas. La causa fue porque la estrella que pareze hace movimiento y no las agujas"

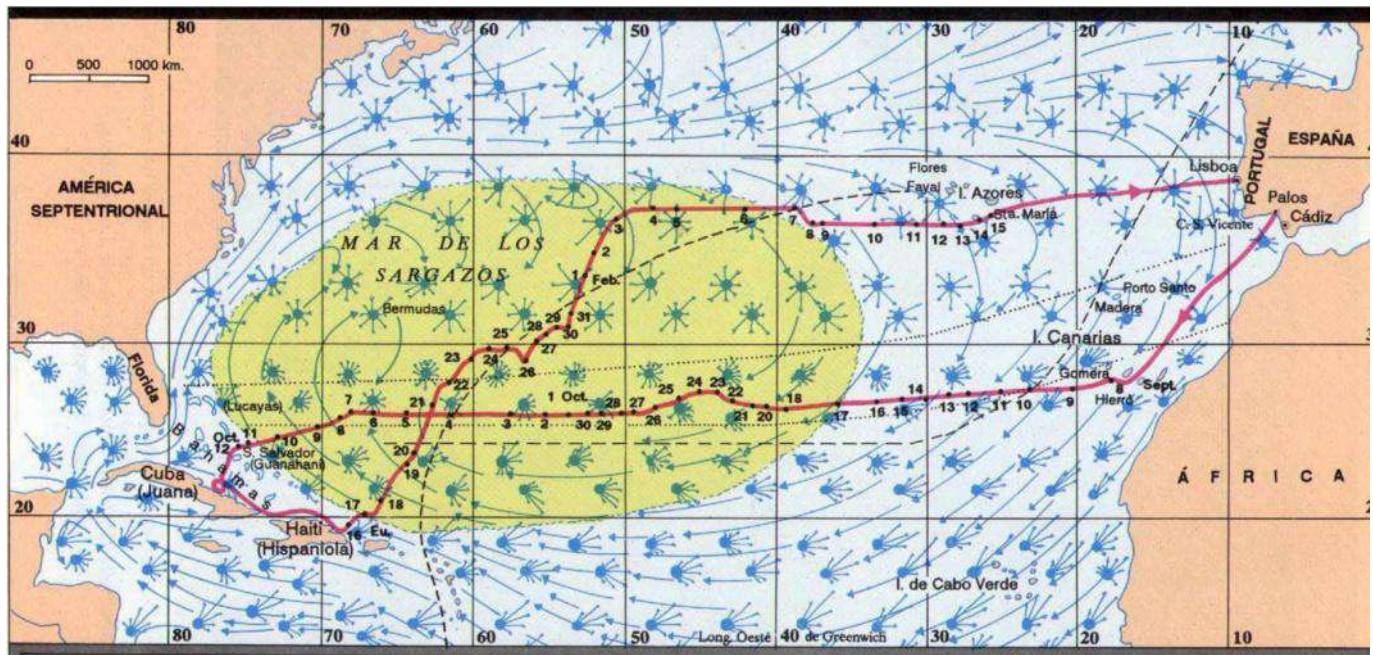
Hernando Colón

- Capítulo XVIII, página 99 (Primer viaje):
"Pero mucho más se asombró el tercer día, cuando había ya ido cien leguas más adelante de aquel paraje, porque las agujas, al principio de la noche noroesteaban con la cuarta, y a la mañana, se dirigían a la misma estrella". Recordemos que era alrededor del 17 de septiembre.

Para poder realizar una interpretación astronómica de estas citas voy a intentar calcular el lugar geográfico donde pudo realizarse la observación, el momento temporal de la misma y, por último, conocer las coordenadas horizontales de la estrella Polar, y de paso también, las de sus compañeras de la Osa menor.

El lugar geográfico.

Para localizar el punto del Atlántico en el que se encontraban ese día, asumo que Colón siguió el paralelo 28° de La Gomera, de donde salió. Luego sigo la contabilidad de las leguas recorridas hasta ese día, anotadas por Colón: 326 leguas, que a 5,5 km/legua (la asignada en la Castilla del siglo XVI), nos hace un total de 1.793 km. Dividiéndolos entre los 98°,179 km que



corresponde a cada grado en ese paralelo, nos da que se encontraban $18^{\circ},262$ al oeste de La Gomera. Como la longitud de esta isla es $17^{\circ},216$, la longitud geográfica donde se hallaban esa tarde era, redondeando, $18^{\circ} + 17^{\circ} = 35^{\circ}$. Por tanto, el punto donde estaban tenía de coordenadas: Latitud $\phi = 28^{\circ}$ norte y Longitud $\lambda = 35^{\circ}$ oeste.

El momento temporal.

Lo primero que hay que aclarar es que la fecha civil del 17 de septiembre de 1492 corresponde al 26 de septiembre de fecha astronómica, por el desfase que existía en ese momento entre el calendario juliano y el gregoriano. Por tanto, el Sol ya había atravesado el punto Libra, su declinación era negativa y su ascensión recta un poco mayor de 180° o lo que es lo mismo, 12 horas.

Después, se dice que las observaciones se llevaban a cabo al hacerse la noche (y suponemos que también al llegar el día). Esto lo interpreto como que se realizaban al final (o al comienzo) del llamado crepúsculo náutico,

cuando el Sol se halla 12° debajo del horizonte, y se ven ya las estrellas menos brillantes (o empiezan a dejar de verse, en el crepúsculo matutino).

Una vez realizados los cálculos para hallar cuánto duraban los crepúsculos náuticos en ese lugar de $\phi = 28^{\circ}$ y para ese día, cuando el Sol tenía una declinación aproximada de $\delta = -1^{\circ},8$, me sale que su duración era de 54 minutos y 24,4 segundos.

Sin tener en cuenta la refracción ni el paralaje, los ángulos horarios (H) con que el Sol se puso y salió ese día fueron, respectivamente:

$H = 89^{\circ},0426 = 17 \text{ h } 56 \text{ m y } 10 \text{ s}$ (ocaso) y $H = 270^{\circ},9574 = 6 \text{ h } 3 \text{ m } 49 \text{ s}$ (orto).

Si a estas horas para el ocaso y el orto del Sol les sumamos y restamos respectivamente el tiempo que dura el crepúsculo náutico, 54 m. y 24,4 s, obtenemos las horas crepusculares locales. Para pasarlo a Tiempo Universal (TU), hay que sumarle el tiempo correspondiente a la longitud, $\lambda = 35^{\circ}/15 = 2 \text{ h } 20 \text{ m}$:

Crepúsculo vespertino: $H' = 17 \text{ h } 56 \text{ m } 10 \text{ s} + 54 \text{ m } 24,4 \text{ s} = 18 \text{ h } 50 \text{ m } 34,4 \text{ s}$ (tiempo local) $\Rightarrow 21 \text{ h } 10 \text{ m } 34 \text{ s}$ (TU)

Crepúsculo matutino: $H' = 6 \text{ h } 3 \text{ m } 49 \text{ s} - 54 \text{ m } 24,4 \text{ s} = 5 \text{ h } 9 \text{ m } 25,6 \text{ s}$ (tiempo local) $\Rightarrow 7 \text{ h } 29 \text{ m } 25,6 \text{ s}$ (TU).

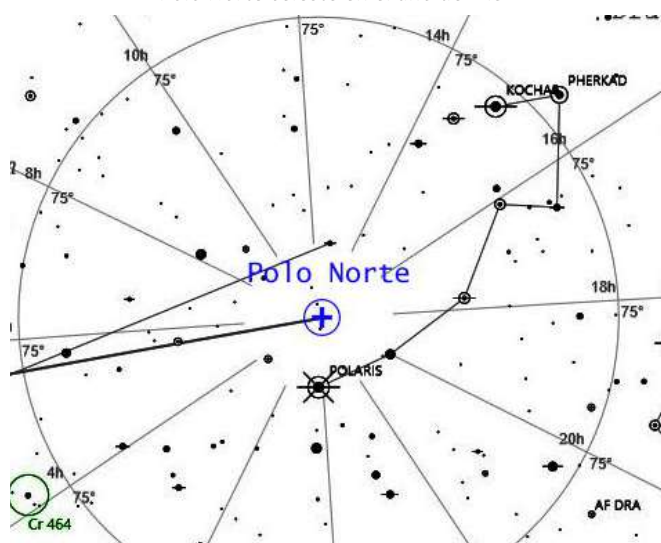
Que es el momento temporal en que se realizaron las medidas.

Para saber la posición de las estrellas de la Osa Menor en ese momento, necesitamos saber el día juliano (DJ) y el tiempo sidéreo local (θ) para el momento del crepúsculo vespertino. Teniendo en cuenta que el día juliano comienza siempre al mediodía medio de Greenwich, es decir a las 12h de TU, hecho el cálculo pertinente resultó ser: DJ 2.266.271,3823.

Para la hora sidérea local (θ), calculamos primero la de Greenwich: $\theta' = 323^{\circ},6453$. Como el punto se encuentra al oeste del meridiano de referencia, el tiempo sidéreo ocal, (θ) es igual al de Greenwich menos la longitud del lugar, $\theta = \theta' - \lambda = 323^{\circ},6453 - 35^{\circ} = 288^{\circ},6453$.

Conocido θ se puede hallar tanto el ángulo horario (H), como el acimut (A) y la altura (h) de cada estrella de la Osa Menor, tal y como las pudieron ver las tres embarcaciones sobre el horizonte norte ese anochecer en el Atlántico.

Polo Norte celeste en el año de 1492



Ya casi estamos en disposición de calcular las coordenadas horizontales. Antes hay que realizar una serie de pasos previos:

1º.- Hallar las coordenadas ecuatoriales (δ , α) correspondientes a cada estrella para el equinoccio medio de la época, corrección que hay que hacer por la precesión de los equinoccios.

2º.- Hallar cuál era el Polo Norte celeste en el año 1492. En el dibujo de al lado se puede ver la separación angular que había entonces entre la Polar y el Polo Norte celeste.

3º.- Dar la inclinación de la Eclíptica y las coordenadas del Punto Aries en ese tiempo. Ambos eran ligeramente diferentes a los actuales y nos servirán para completar de una forma más comprensible el marco astronómico de la época.

Las coordenadas ecuatoriales (δ , α) para el año 1492 eran :

A su vez, las coordenadas ecuatoriales (δ , α)

Estrella	Asc. recta	Declinac.
α	$3^{\circ},710$	$86^{\circ},539$
β	$223^{\circ},492$	$76^{\circ},226$
γ	$230^{\circ},710$	$73^{\circ},639$
δ	$300^{\circ},228$	$85^{\circ},971$
ϵ	$265^{\circ},683$	$82^{\circ},606$
ζ	$241^{\circ},465$	$79^{\circ},271$
η	$248^{\circ},553$	$76^{\circ},890$

del Polo Norte y del Punto Aries (J2000) eran :

Polo Norte: $\alpha = 183^{\circ},2528$ y $\delta = 87^{\circ},1701$

Punto Aries: $\alpha = 6^{\circ},5022$ y $\delta = 2^{\circ},8252$

Por último, la inclinación de la Eclíptica era:

$\epsilon = 23^{\circ},5052$

Coordenadas horizontales (h y A) de las estrellas de la Osa Menor.

A continuación voy a decir los pasos para hallar estas coordenadas horizontales.

1º.- Sabiendo que el tiempo sidéreo (θ) es igual a la ascensión recta (α) más el ángulo horario (H), $\theta = \alpha + H$, entonces, despejando H podemos saber el ángulo horario que tenía cada estrella al comienzo del crepúsculo náutico vespertino, $H = \theta - \alpha$

Hay que entender que H es una coordenada que se toma sobre el Ecuador Celeste desde el punto sur, en sentido de las agujas de reloj, creciente hacia el oeste. Una estrella circumpolar, en su culminación inferior tiene un $H = 180^\circ$ y un $A = 180^\circ$ y en la culminación superior $H = 0^\circ$ y su acimut también es $A = 180^\circ$.

2º.- Conocidas las coordenadas ecuatoriales horarias (δ , H) de cada una de las estrellas, sólo queda pasar de éstas a las coordenadas horizontales (A, h) mediante las siguientes expresiones:

Para hallar el acimut A:

$$\tan A = \sin H / (\cos H \cdot \sin \varphi - \tan \delta \cdot \cos \varphi)$$

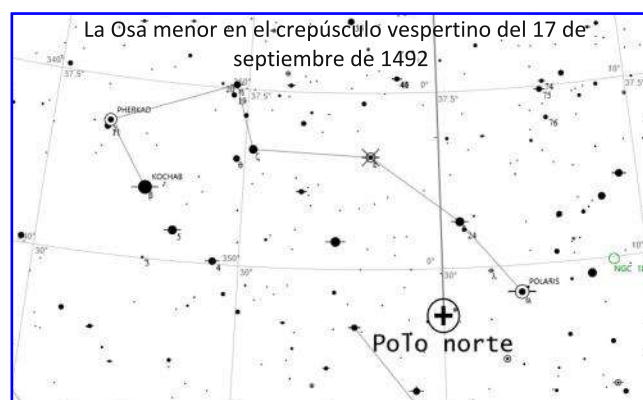
Para la altura h:

$$\sin h = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H + \sin \varphi \cdot \sin \delta$$

Crepúsculo náutico vespertino del día 17			
estrellas	ángulo horario	acimut A	altura h
α	284,9348	183,8172	28,8390
β	65,1527	165,0763	32,9771
γ	57,9352	162,9220	35,6262
δ	348,4170	180,9525	31,9434
ϵ	22,9619	176,4966	34,7630
ζ	47,1800	170,4093	34,9587
η	40,0916	169,3729	37,6214

Estos resultados corresponden al momento en el que comenzó el crepúsculo náutico por la tarde, siendo las 18 h 50 m 34,4 s de hora local. El Sol hacía cerca de una hora que se había puesto y se encontraba un poco más de 12°

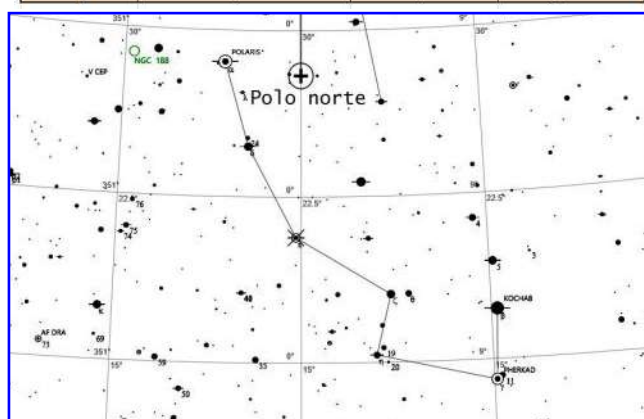
debajo del horizonte. En la figura siguiente se ve la Osa Menor tal y como se pudo observar en ese momento sobre el horizonte norte.



Las líneas curvas horizontales son los círculos de altura h, a intervalos de $7,5^\circ$, mientras que las verticales representan el acimut A, pero aquí el acimut está medido desde el norte geográfico, es decir, el Norte tiene $A = 0^\circ$, y partiendo de él, creciente en el sentido de las agujas de reloj hacia el este.

Hacemos lo mismo en el crepúsculo náutico matutino del día 18. Ese Día Juliano era DJ= 2.266.271,8120 mientras que la hora sidérea media en Greenwich era: $\theta' = 123^\circ,8087$ y la sidérea local $\theta = 88^\circ,8087$.

Crepúsculo náutico matutino del día 18			
estrellas	ángulo horario H	acimut A	altura h
α	80,0709	176,1195	28,5421
β	220,2888	189,2739	17,1950
γ	213,0713	189,1150	14,0074
δ	143,5531	177,3661	24,7343
ϵ	178,0980	179,7386	20,6105
ζ	202,3161	184,2628	18,0114
η	195,2276	183,5411	15,3078

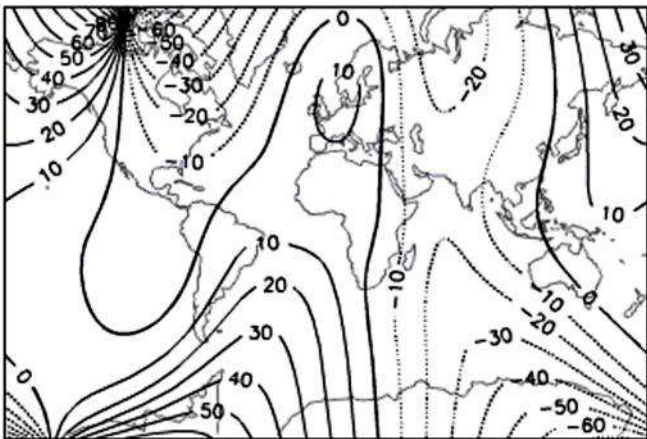


La Osa menor en el crepúsculo matutino del 18 de septiembre de 1492

Como se dedujo antes, este momento sucedió a las 5 h 9 m 25,6 s, hora local.

Ahora ya somos capaces de hacer una interpretación, tanto de las palabras del Almirante como las de su hijo Hernando, para lo sucedido ese día.

Para interpretar el comportamiento de la brújula, hay que tener en cuenta que ya habían atravesado la línea agónica de cambio en la orientación de la desviación magnética de las agujas, pues D. Hernando recoge en su "Historia sobre el Almirante" ***"que la pasaron unos días antes, el 13 de septiembre, dado el comportamiento oscilante que tuvo la brújula ese día"***. Ahora sin duda se desviaban al noroeste, y no como lo hacían los días anteriores, siempre hacia el este.



Declinación magnética a finales siglo XVI

Como al anochecer, la Polar se encontraba al este del meridiano, es decir, la estrella del Norte "noresteaba", y las agujas "noroesteaban" casi una cuarta, había disparencia e inquietud en la marinería. Al amanecer, estando la Polar al oeste del meridiano, las agujas seguían marcando la dirección del norte magnético y se orientaban hacia el noroeste, lo mismo que la Polar. Todos tranquilos: ***"la estrella que parece hace movimiento y no las agujas"***.

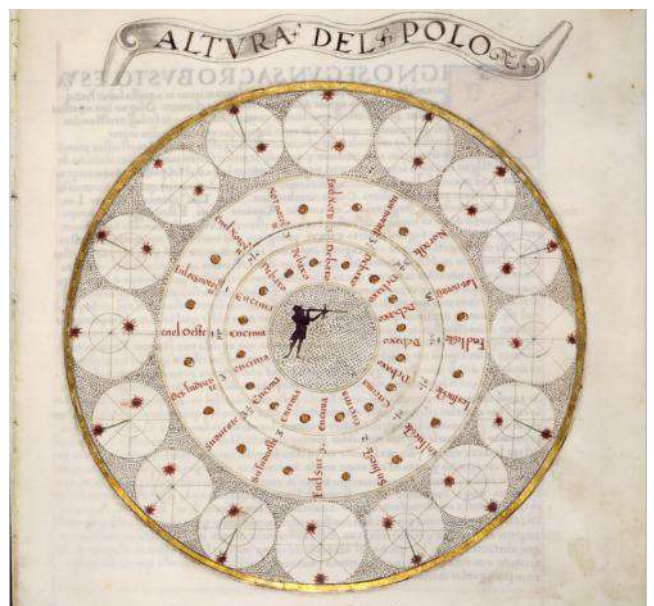
Esa explicación debió tranquilizar al marinero y a toda la tripulación de las naves. El saber empírico del arte de navegar que había

acumulado durante tantos años el Almirante, le hacía tener siempre alguna explicación para cada circunstancia que se le presentara en el mar.

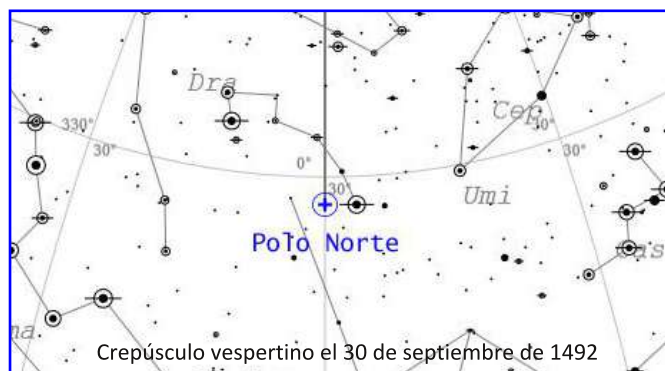
La importancia de las Guardas

Un recurso para poder trazar y seguir el rumbo de navegación marcado era el seguimiento durante la noche de Las Guardas (las estrellas β y γ de la Osa Menor), las cuales les marcaban tanto el momento en el que la Polar alcanzaba la altura del Polo, y por tanto de la latitud por la que se navegaba, como de sus pasos superior e inferior por el meridiano, los cuales señalaban el norte geográfico.

Las mejores referencias del comportamiento de las Guardas se dan, tanto por Colón como por su hijo, el 30 de septiembre. Teniendo en cuenta la importancia que le daban a estas Guías celestes los marinos de la época, voy a realizar un análisis de la posición de la Osa menor al atardecer y al amanecer de ese día, pero en un nuevo punto del Atlántico, pues casi habían pasado dos semanas de la anterior cita del 17 de septiembre, y se habían desviado un poco hacia el sudoeste, por indicios luego no confirmados, de avistamiento de tierra, el día 25 del mismo mes.



Representación de las posiciones respectivas de la Polar y las Guardas en el cielo nocturno.



- Domingo, 30 de septiembre: ***"Nota que las estrellas que se llaman las Guardas, cuando anochece, están junto al brazo de la parte de Poniente, y cuando amanece están en la línea debaxo del brazo al Nordeste, que parece que en toda la noche no andan salvo tres líneas, que son 9 oras, y esto cada noche"***

- Capítulo XX, página 105 (Primer viaje): ***"Pero, aunque el Almirante tuviese atención a todos estos indicios, observaba los del cielo y el curso de las estrellas, por donde notó en aquel paraje, con grande admiración, que de noche, las Guardas estaban justamente en el brazo del Occidente, y cuando era de día, se encontraban en la línea bajo el brazo, al nordeste. De lo que deducía que en toda la noche no caminaban sino tres líneas, que son nueve horas, y esto lo comprobaba todas las noches"***.

Como se habían recorrido desde el 17 de septiembre unas 282 leguas = 1550 km, según el Diario, y habían bajado un poco en latitud, propongo como coordenadas del nuevo punto las siguientes: latitud $\phi = 27^\circ$ N y longitud $\lambda = 51^\circ$ O. Seguían estando en medio del océano. La declinación solar era, aproximadamente, $\delta = -3^\circ,2$.

El crepúsculo náutico vespertino tuvo lugar a las 18 h 47 m 21 s hora local (22 h, 11 m, 21 s, TU). El día juliano era JD = 2.266.284,4245 y el tiempo sidéreo correspondiente a ese momento, $\theta = 300^\circ,7098$.

El crepúsculo náutico matutino se dio a las 5 h 12 m 38 s hora local (8 h 36 m 38 s TU).

El día juliano era JD = 2.266.284,8587 y el tiempo sidéreo, $\theta = 97^\circ,4586$.

Una vez realizados los cálculos para hallar las coordenadas horizontales de las estrellas de la Osa menor, los resultados quedan reflejados en los dos gráficos de arriba, que representan los crepúsculos náuticos de tarde y de mañana, tal y como pudieron haberlos visto en esos dos momentos.

Se observa cómo al anochecer, efectivamente las Guardas se encontraban en el brazo de poniente, mientras que al amanecer se hallaban debajo del brazo oriental, habiendo recorrido tres líneas en la noche, que corresponden a 135° , o lo que es lo mismo, nueve horas ($9 \times 15^\circ$). Como ocurría desde que pasaron la línea agónica, las brújulas y la Polar se orientaban de forma dispar, según fuera el principio de la noche o el final.

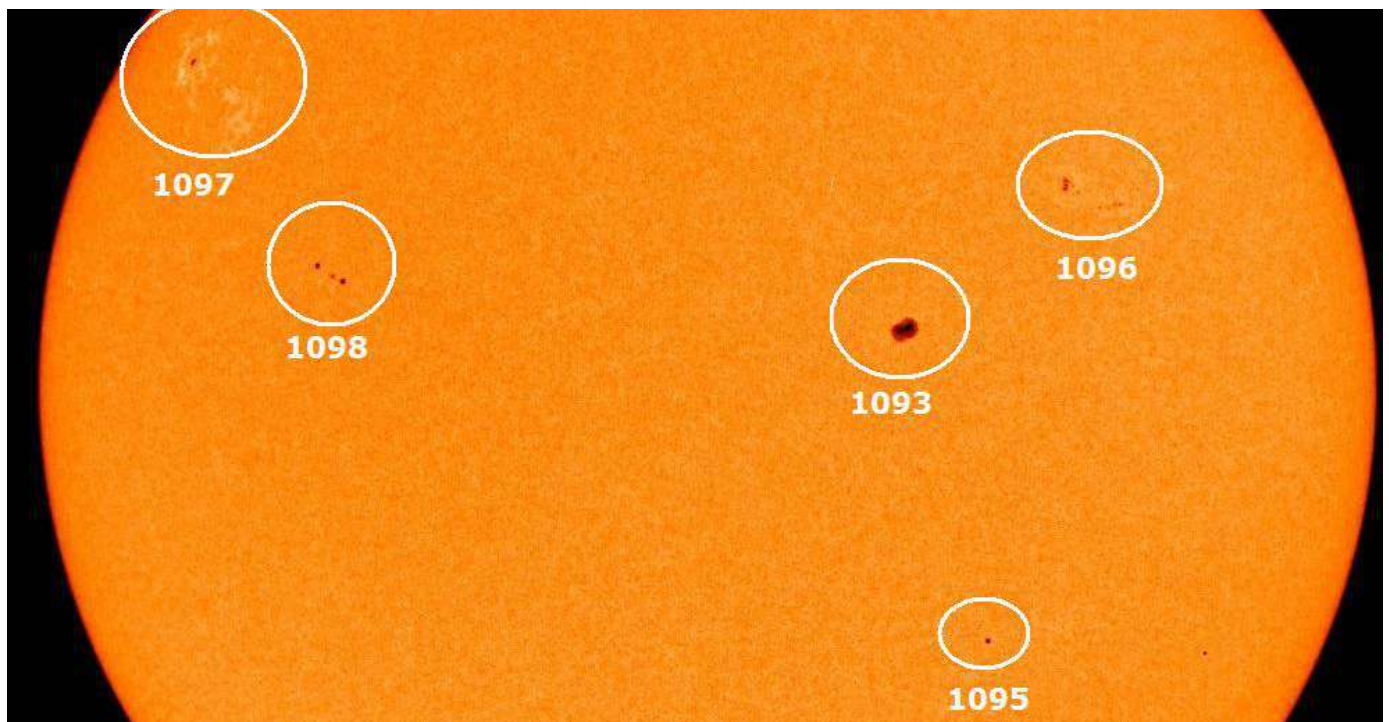
Para todo lector que, como yo, quiera acercarse a estos u otros momentos de esta Epopeya de la Historia Universal, llevada a cabo por los españoles al comienzo de la Edad Moderna, con los mismos términos metodológicos que he seguido en este artículo, deseo dejar constancia de las fuentes online y programas informáticos que he utilizado:

- efemeridesastronomicas.dyndns.org
 - ugr.es/~eaznar/conversorFecha.htm
 - neoprogrammics.com/sidereal_time_calculator/

Finalizo el artículo hoy, día 11 de octubre, víspera del aniversario del Descubrimiento.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL PERIODO DE ROTACIÓN DEL SOL

Anicet Cosialls Manonelles, Institut Guindàvols, anicetcmil.com



En este artículo se hace una estimación experimental de los periodos de rotación sinódico y sidereal del Sol, a partir del estudio de los cambios de posición de algunas manchas solares durante 2 días. Las imágenes analizadas han sido proporcionadas por el satélite SOHO. El programa de análisis de videoclips "Tracker", libre, ha permitido hacer un estudio cinemático del movimiento de las manchas y determinar sus respectivos períodos de rotación.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio de posición de las manchas del Sol observadas por Galileo en 1613 durante 3 días consecutivos^[1] demostraba que la superficie del Sol giraba sobre sí misma. Este hecho proporciona un método para determinar su período de rotación^{[2][3][4]} (Imagen 1). Solamente hará falta medir el tiempo que tarda una mancha en dar un ciclo entero, o el tiempo

que tarda en recorrer un determinado desplazamiento angular.

El valor determinado a partir de las imágenes del Sol tomadas de la Tierra se conoce como período de rotación sinódico. Este, es el período de rotación aparente del Sol visto desde la Tierra, y no es el "verdadero" período de rotación del Sol. Se tiene que tener en cuenta que mientras el Sol gira, la Tierra se desplaza

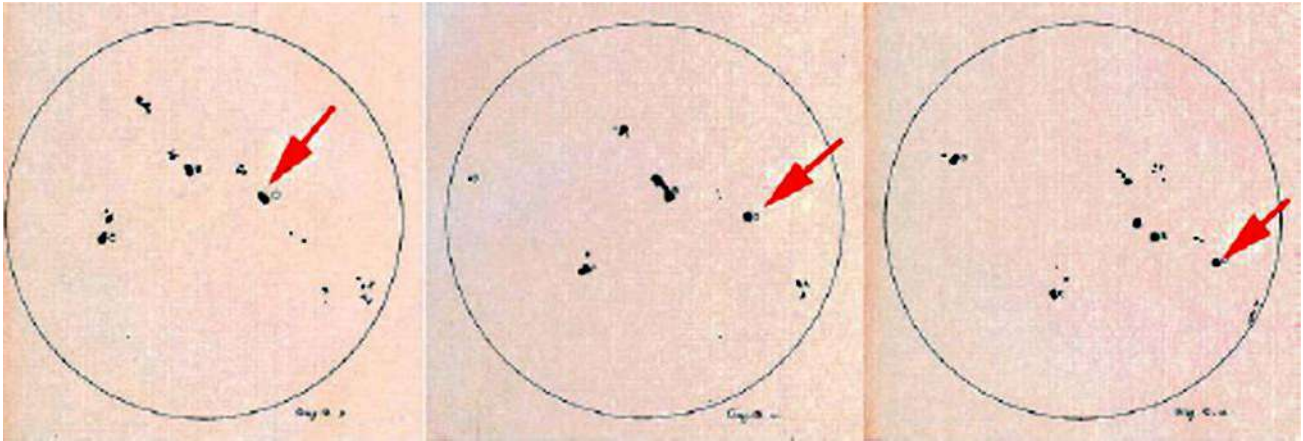


Imagen 1. Dibujos de Galileo^[1] de las manchas solares, los días 9, 10 y 11 de junio de 1613

orbitando el Sol de oeste a este. El “verdadero” período de rotación del Sol, conocido como el período de rotación sideral, es el tiempo que tarda un punto del Sol en dar una vuelta respecto a las estrellas lejanas. Mientras un punto del Sol gira 360 grados respecto a una estrella, la Tierra se ha movido por delante de su órbita. El Sol deberá de girar un poco más rápido para alcanzar la Tierra. Por tanto, el período sinódico es ligeramente superior al sideral. Por suerte, podemos corregir este tiempo añadido si sabemos el tiempo que tarda la Tierra en orbitar el Sol (aproximadamente una vuelta cada 365,25 días). Si P es el período de rotación sideral en días (este es el valor que queremos determinar), y T es el período de rotación período sinódico en días (este es el valor que se ha medido), entonces^[5]:

$$P = \frac{(T \times 365.25)}{(T + 365.25)} \text{ (ecuación 1)}$$

2. OBJETIVOS

Observar la evolución de las manchas solares a partir de fotografías registradas por el satélite SOHO desde el 27/3/2001 al 29/3/2001

Determinar la trayectoria de las manchas.

Determinar los periodos de rotación sinódico y sideral del Sol con tecnología que esté al alcance de todos.

Estudiar la dependencia de los periodos de rotación con la latitud.

3. MATERIALES

Programa libre Tracker ^[9]

Videoclip del movimiento de las manchas solares entre los días 27/03/2001 y 01/04/2001: spotfull.mpg^[10].

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Supondremos que el Sol es una esfera perfecta que gira como un sólido rígido a una velocidad angular constante. Con esta suposición las manchas solares también se moverán con una velocidad constante. Según este modelo, la determinación del período de rotación del Sol (T) es equivalente a medir el tiempo que tarda una mancha en dar una vuelta entera alrededor del Sol.

El movimiento de una mancha visto des de la Tierra es una trayectoria recta, mientras que si la pudiéramos observar des-de el polo sería circular (línea verde en la imagen 2).

En la imagen 3 están representadas las diferentes posiciones de una mancha, vistas por

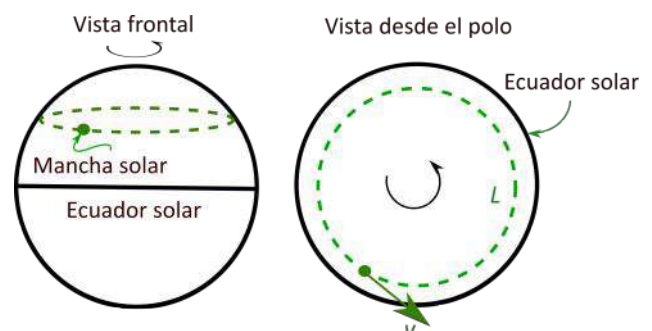


Imagen 2. Trayectoria de la mancha solar, vista de frente y desde arriba

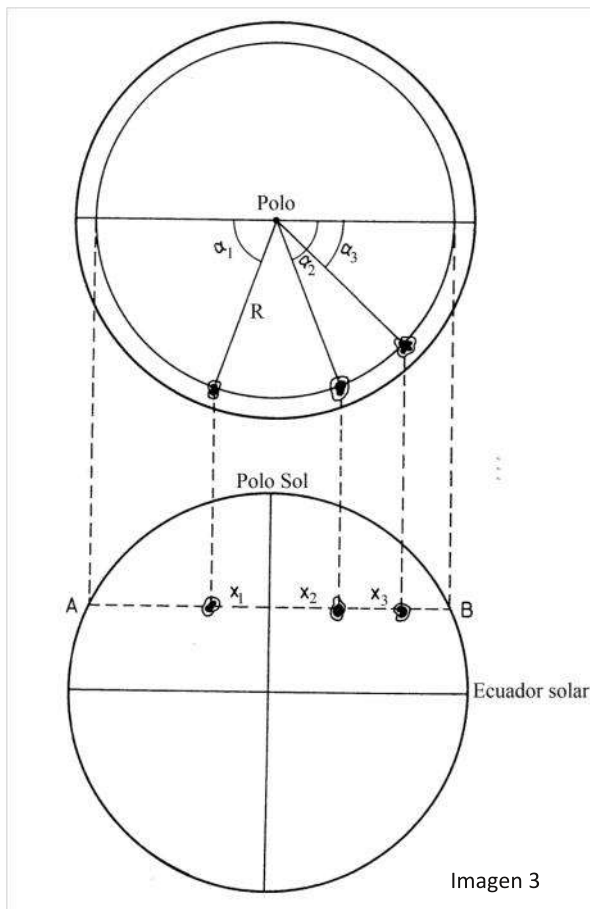


Imagen 3

encima del polo norte solar y vistas sobre el papel. De esta manera podemos relacionar la posición de la mancha sobre la esfera solar, definida por el ángulo α , con la posición sobre el papel (x).

Cabe señalar que el radio de giro R de la mancha equivale a la mitad del diámetro del círculo menor descrito:

$$R = \frac{AB}{2}$$

La posición angular α de la mancha vendrá dada por la expresión:

$$\cos \alpha = \frac{x}{R} = \frac{2x}{AB}$$

$$\alpha = \arccos \left(\frac{2x}{AB} \right)$$

Por otra parte, a partir de la definición de velocidad angular media ω se puede determinar el período de rotación T de cada una de las manchas si se conoce el desplazamiento angular $\Delta\alpha$ y el tiempo transcurrido Δt :

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \longrightarrow T = \frac{2\pi\Delta t}{\Delta\alpha}$$

5. PROCEDIMIENTO

Descargamos el videoclip “spotfull.mpg” de la web del SOHO, y lo abrimos con el programa Tracker. Seleccionamos el fotograma número 25 que corresponde a las 17:36 h (UT) del día 27/03/2001 (Imagen 4).

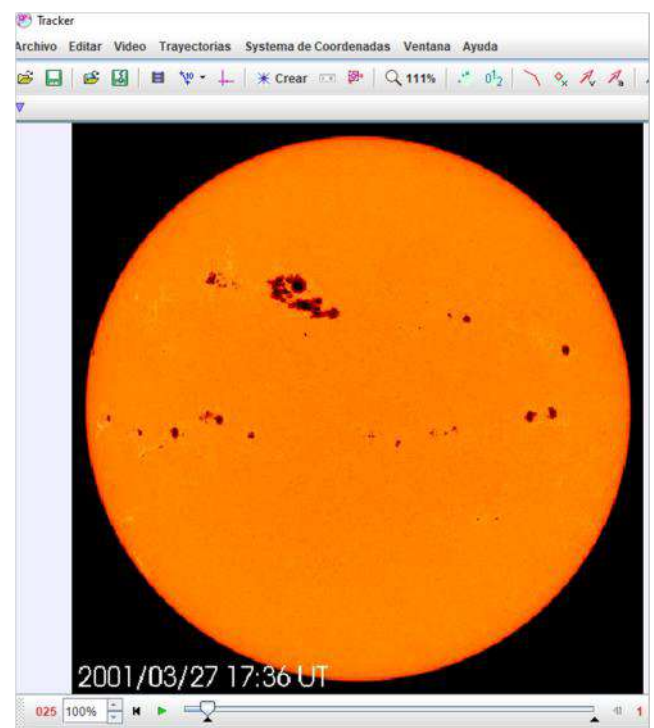


Imagen 4. Video “spotfull.mpg”, al fotograma 25 correspondiente a las 17:36 h (UT) del día 27/03/2001

Calibramos la herramienta “VARA de medir” asignándole a la longitud del diámetro del Sol el valor de 1.393.000 km (Imagen 5).

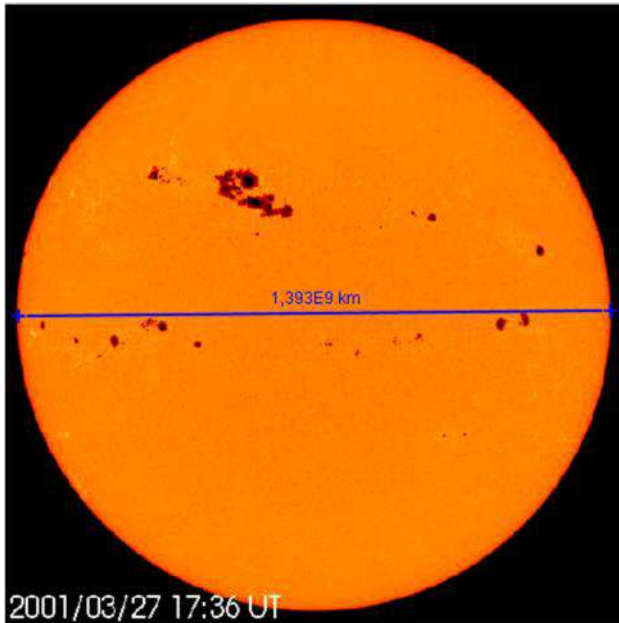


Imagen 5. Calibración de la herramienta "Vara de medir"

Seleccionamos una mancha, la numeramos, y anotamos la fecha y la hora (UT) en que se hizo la foto (Imagen 6).

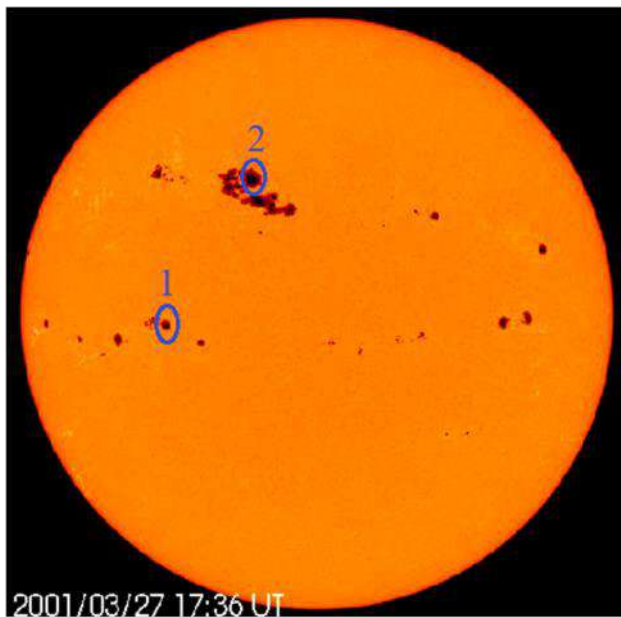


Imagen 6. Manchas del Sol numeradas

Seleccionamos la herramienta cinta métrica (Imagen 7), y medimos la longitud del segmento horizontal AB que pasa por la mancha objeto de estudio, en este caso la mancha nº 2 (Imagen 8).

Medimos la distancia x de la mancha hasta la vertical que pasa por los polos (Imagen 9).

Avanzamos en el video hasta otro fotograma, en nuestro caso el fotograma nº 50

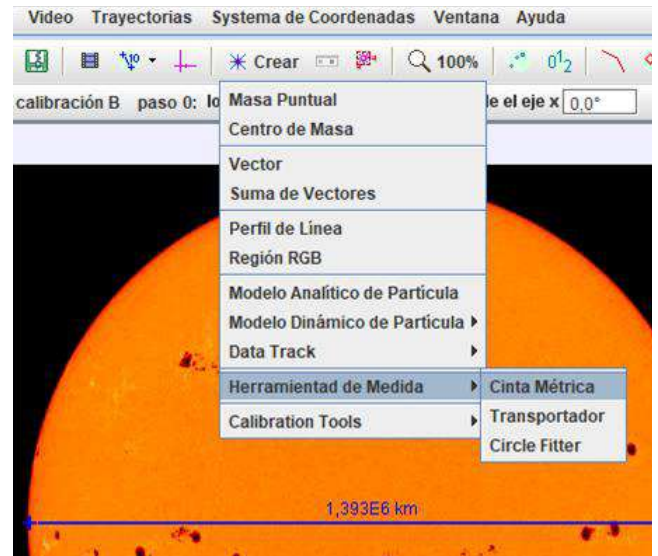


Imagen 7. Seleccionamos la cinta métrica

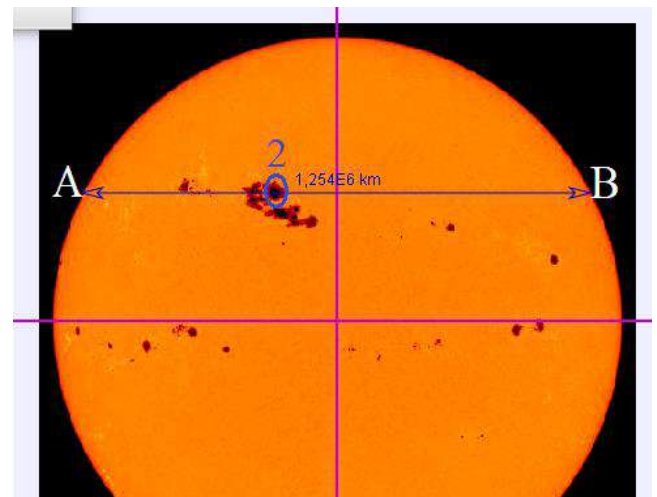


Imagen 8. Longitud del segmento AB, diámetro del círculo menor descrito por la mancha nº 2

que corresponde a las 01:36 h (UT) del día 28/03/2001. Medimos de nuevo la posición de la mancha x . Y así sucesivamente, avanzando cada vez 25 fotogramas hasta el fotograma nº 125, tomado a las 17:36h del 29/03/2001.

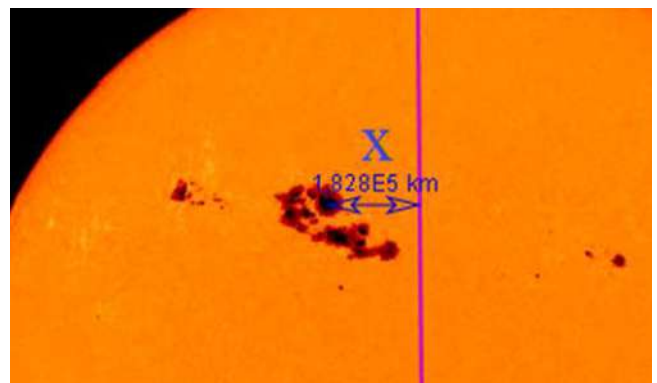


Imagen 9. Medida de la posición x de la mancha

6. RESULTADOS OBTENIDOS. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Mancha nº 1 (cercana al ecuador solar)

Día	Hora (UT)	x 10 ⁵ km	AB 10 ⁶ km	cos α = 2x/AB	α radianes	Δα radianes	Δt (s)	T= 2πΔt/Δα (días)
27/03/2001	17:36	3,560	1,346	0,529	1,0134	-	-	-
28/03/2001	1:36	3,058	1,346	0,454	1,0991	0,0857	28.800	24,4
28/03/2001	9:36	2,537	1,346	0,377	1,1842	0,0851	28.800	24,6
28/03/2001	17:36	1,987	1,346	0,295	1,2711	0,0869	28.800	24,1
29/03/2001	1:36	1,441	1,346	0,214	1,3559	0,0839	28.800	25,0
29/03/2001	9:36	0,873	1,346	0,130	1,4406	0,0856	28.800	24,5
29/03/2001	17:36	0,282	1,346	0,042	1,5289	0,0883	28.800	23,7

El período de rotación sinódico promedio es:

$$T = 24,4 \pm 0,3 \text{ días}$$

Si comparamos este resultado con el valor real del período sinódico en el ecuador (27,3 días), hay una diferencia de 2,9 días, equivalente a un error relativo del 10,6%.

El periodo sideral, calculado a partir de la ecuación 1 es: $P = 22,9 \pm 0,3 \text{ días}$

Mancha nº 2 (latitud aproximada 35° N)

Día	Hora (UT)	x 10 ⁵ km	AB 10 ⁶ km	cos α = 2x/AB	α radianes	Δα radianes	Δt (s)	T= 2πΔt/Δα (días)
27/03/2001	17:36	1,828	1,239	0,2463	1,3219			
28/03/2001	1:36	1,526	1,239	0,1674	1,4026	0,0829	28.800	25,3
28/03/2001	9:36	1,037	1,239	0,0866	1,4841	0,0815	28.800	25,7
28/03/2001	17:36	0,536	1,239	0,0083	1,5625	0,0784	28.800	26,7
29/03/2001	1:36	0,051	1,239	0,0739	1,4970	0,0821	28.800	25,5
29/03/2001	9:36	0,458	1,239	0,1530	1,4172	0,0798	28.800	26,2
29/03/2001	17:36	0,947	1,239	0,2336	1,3350	0,0822	28.800	25,5

El período de rotación sinódico promedio es: $T = 25,7 \pm 0,4 \text{ días}$.

Y el sideral: $P = 24,0 \pm 0,4 \text{ días}$.

Se observa que el período de rotación de las manchas aumenta con la latitud (rotación diferencial), Hay una diferencia de 1,3 días entre el periodo de la mancha 2 y la 1.

7. CONCLUSIONES

La galería de imágenes del Sol registradas por el satélite SOHO constituye un excelente recurso didáctico para hacer pequeñas investigaciones sobre el Sol.

Las manchas solares se desplazan siguiendo una línea recta paralela al ecuador y a una velocidad angular prácticamente constante.

El periodo de rotación de las manchas depende de la latitud. A mayor latitud, menor periodo.

El periodo de rotación sinódico en el ecuador es $T = 24,4 \pm 0,3$ días, con un error relativo respecto al valor real del 10,8%.

A partir del período sinódico se ha calculado el período sideral en el ecuador. Su valor es:

$$P = 22,9 \pm 0,3 \text{ días.}$$

El programa libre de análisis de videoclips “Tracker” es una excelente herramienta para hacer un estudio cinemático del movimiento de las manchas solares.

8. REFERENCIAS

1. Laurence Marschall and Glenn Snyder (CLEA PROJECT, Gettysburg College) and Jeff Sudol (GONG Project, National Solar Observatory). Consultado el 07/05/2020. Disponible en:

<El periodo de rotación del Sol. http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/clea_products/manuals/RotacionSolMonterde.pdf>

2. Philippe Kobel, GalileoMobile; María Dasí Espuig, GalileoMobile; Deborah Scherrer, Stanford Solar Center. Measure the Sun's rotation period. Consultado el 07/05/2020. [https://astroedu.iau.org/en/activities/1801/measure-the-suns-rotation-period/Eduard Teruel](https://astroedu.iau.org/en/activities/1801/measure-the-suns-rotation-period/Eduard%20Teruel)

3. Determinación del período de rotación solar. Uso de Geogebra. Consulta el 07/05/2020. Disponible en:

<https://blocs.xtec.cat/eteruel/2017/11/27/determinacio-del-periode-de-rotacio-solar-us-de-geogebra/>

4. Stanford Solar Center. Estimating the Sun's rotation Rate. Consultado el 07/05/2020. Disponible en:

<http://solar-center.stanford.edu/spin-sun/estimate.html>

5. Arlet Pi, 2016. Estudio de la actividad solar a partir del análisis de las manchas solares. Anexo 8, página 53. Consultado el 07/05/2020. Disponible en: <http://www.telurium.net/PDF/seguimentsolar.pdf>

6. SOHO. Solar and heliospheric observatory. Consultado el 07/05/2020.: <https://sohowww.nascom.nasa.gov/home.html>

7. SOHO. Nuevas vistas del Sol. Consultado el 07/05/2020. https://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/Presentations/2002all_Sp.pdf

8. Siguiendo las manchas solares. Consultado el 07/05/2020. Disponible en:

<https://sohowww.nascom.nasa.gov/classroom/docs/ExerSP.pdf>

9. Programa Tracker video analysis and modeling tool. Consultado el 07/05/2020. Disponible en: <https://physlets.org/tracker/>

10. Videoclip del movimiento de las manchas solares entre los días 27/03/2001 y 01/04/2001: spotfull.mpg. Consultado el 07/05/2020. Disponible en: Large sunspot moving across the Surface- MDI (Mar 27-April 2, 2001).

<https://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/sunspots.html>

REGRESO AL ESPACIO: SPACE-X

Ricardo Moreno



Cuando el 21 de julio de 2011 aterrizó el transbordador Atlantis, en la misión STS-135, EEUU ponía fin a los vuelos espaciales tripulados en naves americanas. Durante casi una década, los astronautas americanos han tenido que ir en las viejas naves Soyuz rusas. Para muchos fue una temeraria decisión del presidente Barack Obama, que entregó el acceso humano al espacio en manos de sus antiguos rivales rusos, y ahora colaboradores en la Estación Espacial Internacional.

Con un presupuesto cada vez menor, la NASA tuvo que centrarse en misiones no tripuladas, mucho más baratas, dirigidas a la exploración del sistema solar. Por otra parte potenció la iniciativa privada en el acceso al espacio, y varias empresas se lanzaron a un negocio de futuro y de presente, tanto con la puesta en órbita de satélites, como enviando hombres al espacio para investigación o

incluso para turismo. Así varias compañías empezaron una carrera para desarrollar nuevos cohetes y nuevas naves que fueran más baratas y aptas para llevar tripulación. Blue Origin trabaja con el New Shephard y el Blue Moon, Virgin Galactic desarrolla el SpaceShip, pero la que va más adelantada es SpaceX, del visionario multimillonario Elon Musk, fundador de Tesla, que ha conseguido

un cohete fiable y potente, ha lanzado varias cargas útiles por encargo de la NASA a la ISS, y el 30 de mayo de 2020 consiguió llevar dos astronautas americanos a la Estación Espacial, lo que supuso la vuelta de EEUU al espacio con vuelos tripulados. Fue la puesta de largo de esa empresa, hasta entonces para muchos sólo producto de un rico soñador.



El motor Merlin Vacuum, optimizado para el vacío



El Falcon 9 lleva 9 motores Merlin

Space X ha desarrollado un buen motor, llamado Merlin. Tiene dos versiones: el normal, con un empuje de 845 kN a nivel del mar, que se usa en las primeras etapas de los cohetes, y el Vacuum, con una tobera mayor y más optimizada para funcionar en el vacío del espacio. Esta segunda versión es la utilizada en la segunda etapa, y tiene un empuje de 981 kN. Funcionan con combustible RP-1 (keroseno mejorado) y LOX (oxígeno líquido), en ese sentido similar al motor F1 del Saturno-V. Es mucho más pequeño, pero es cuestión de poner más unidades: en el cohete Falcon 9 lleva 9 motores, y en el Falcon Heavy lleva 27. El motor Merlin tiene un empuje similar al J2 de la segunda etapa del S-V, aunque este quemaba LH2 (hidrógeno líquido) en lugar de RP-1.



El Falcon Heavy lleva 3 x 9 motores Merlin

Motores	Merlin Vacuum	Transbordador	F1 (Saturno V)	J2 (Saturno V)
Impulso específico	397 s	269 s	260 s	419 s
Velocidad de salida de los gases	3.890 m/s	2.636 m/s	2.548 m/s	4.106 m/s
Consumo de propelentes	252 kg/s	4742 kg/s	2669 kg/s	248 kg/s
Empuje	981 kN	12.500 kN	6.800 kN	1.020 kN

(Datos tomados de la web de SpaceX.com y de la NASA)

Empuje	Falcon 9	Falcon Heavy	Transbordador	Saturno V
1ª Etapa	7.710 kN	22.810 kN	25.000 kN	34.500 kN
2ª Etapa	980 kN	980 kN	5.450 kN	5.100 kN
3ª Etapa	-	-	-	1.020 kN
Masa a LEO	29 T	64 T	25 T	118 T
Altura	70 m	70 m	56 m	110 m



Primera etapa del Falcon 9 y del Falcon Heavy



Inter-etapa, con aletas hipersónicas que le ayudan en la caída. Esas aletas también van en la primera etapa. Funcionan bien en velocidades subsónicas e hipersónicas, pero no justo a la velocidad del sonido.



Segunda etapa, igual en el Falcon 9 y en el Falcon Heavy

Tanto el Falcon 9 como su versión más potente, el Falcon Heavy, tienen una segunda etapa, con un empuje que es la quinta parte de la 2ª etapa del Saturno V. Claro que los destinos son distintos. El Falcon 9 consigue poner en órbita terrestre baja (LEO) una carga de 29

Toneladas, el Falcon Heavy una carga de 64 T, y el Saturno V ponía una de 118 T, que es la que luego iba y venía a la Luna.

También es novedoso las patas abatibles de la primera etapa, que les permite aterrizar de pie y poder ser reutilizadas.



La primera etapa del Falcon Heavy dispone de 27 motores Merlin. Cada una de las tres partes aterriza con sus 4 patas abatibles. Las dos laterales lo hacen sobre tierra, y la central lo hace en una plataforma flotante, en el océano. Así pueden ser reutilizadas.



Cápsula	Dragon	Apolo
Altura	8,1 m	8,0 m
Diámetro	4 m	3,9 m
Nº tripulantes	7 m	3 m
Volumen interior	9,3 m ³	5,9 m ³
Empuje del motor	16 x 400 N	100 kN + 16 x 450 N + 12 x 450 N
Empuje del sistema escape	8 x 71 kN	666 kN

En las cápsulas sí que sale ganando la Dragon Crew de SpaceX si la comparamos con la nave Apolo. Son de tamaños similares, pero la moderna tiene un 50% más de volumen habitable y puede llevar hasta 7 tripulantes, mientras que el Apolo llevaba solo a 3. Los motores de maniobra en órbita son de potencias similares en las dos naves, así como los cohetes de emergencia, aunque en el Apolo era una torre en la punta, y en la Dragon son unos cohetes integrados en las paredes laterales. Por otra parte, el Apolo tenía un motor para ir y volver a la Luna, que el Dragon todavía no tiene. En cuanto al diseño exterior y al de los trajes espaciales, en la Dragon está mucho más cuidados, con formas que nos acercan a la ciencia ficción.

Cápsula Dragon Crew. La mitad inferior lleva carga y está recubierta con placas solares fotovoltaicas para suministrar energía



Sistema de escape de emergencia: 8 cohetes Super-Draco integrados en la cápsula

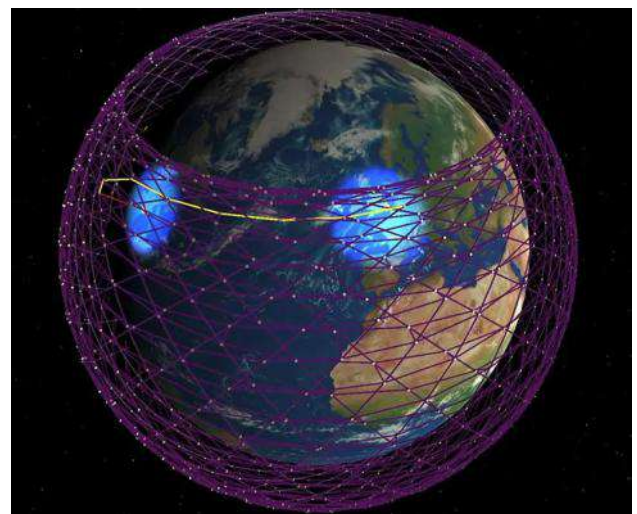


Los trajes de los astronautas son mucho más ligeros que antes

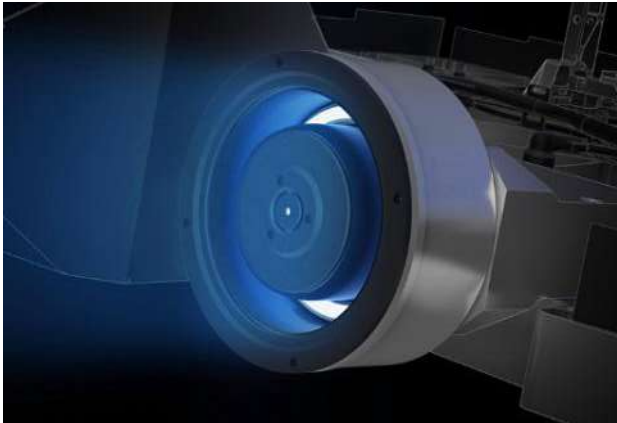


LOS SATÉLITES STARLINK

El cohete Dragon 9 también está siendo usado para poner en órbita los satélites Starlink. Esta es una constelación de 1584 satélites en una primera fase, que podría llegar hasta 12.000 unidades, dependiendo de la demanda. El objetivo es proporcionar acceso a internet de banda ancha a un precio bajo, y además llegando a sitios actualmente inaccesibles. Cada satélite pesa unos 250 kg, y se envían al espacio de grupos de 60, a veces compartiendo carga con otros satélites. El Dragon 9 los deja en una órbita circular a 400 km de altura, y usando un motor iónico van ascendiendo hasta la órbita definitiva a 550 km. Ese motor iónico es el primero que usa gas



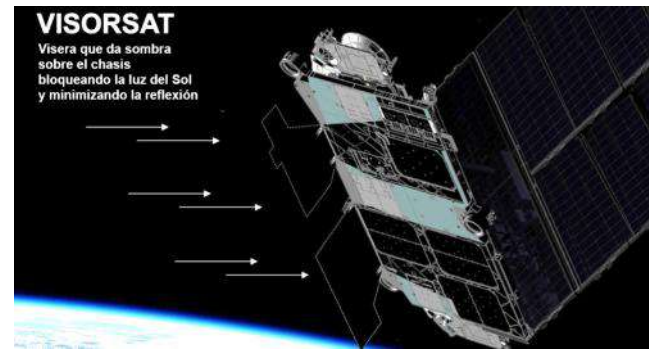
kriptón. Tiene muy poco empuje, pero funciona durante muchas horas, por lo que el ascenso hasta la órbita definitiva es lento pero continuo.



Motor iónico que lleva cada satélite Starlink. Usa gas kriptón para ascender hasta la órbita final

Un problema que han tenido estos satélites es que reflejan mucho la luz del Sol, especialmente al atardecer y al amanecer. Mientras van subiendo de órbita, se ven a simple vista, y es un espectáculo ver trenes de 30 ó más satélites, viajando uno detrás de otro y en la misma órbita. Pero lo que es bonito a simple vista, se convierte en un problema para la observación astronómica. Por eso Spacelink ha trabajado con la comunidad científica para reducir el brillo de los satélites. Pensaron pintarlos de negro, pero eso haría que se calentaran con el Sol. Probaron con una especie

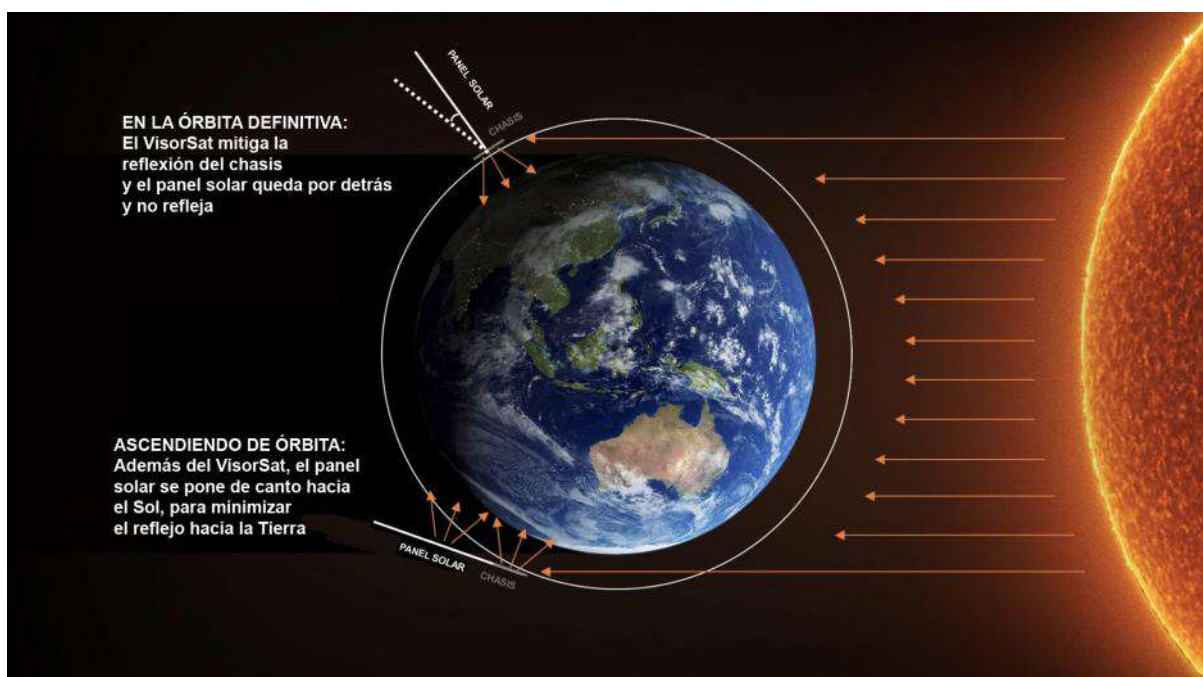
de visera, que diera sombra a las partes brillantes en los momentos del crepúsculo, y parece ser la solución. En el lanzamiento de mayo de 2020 un satélite llevaba un VisorSat de forma experimental. Los resultados han sido buenos, y en los siguientes lanzamientos lo están llevando todos los satélites.



VisorSat: visera que da sombra a las partes más brillantes del chasis. Es transparente a las ondas de radio.

Durante el ascenso hacia la órbita final, el panel solar estaba paralelo a la superficie de la Tierra, para minimizar el rozamiento con la atmósfera, y reflejaba la luz solar hacia la Tierra. Se ha solucionado poniéndolo de canto hacia el Sol. Cuando ya está en estación, en su órbita definitiva, el panel solar se orienta hacia el Sol y no hay problema de reflejos hacia la Tierra.

Los Starlink brillan en los crepúsculos al reflejar la luz solar. Se minimiza con el VisorSat y rotando el panel solar.





Tren de 30 ó más satélites Starlink en los días siguientes al lanzamiento, mientras llegan a su órbita definitiva



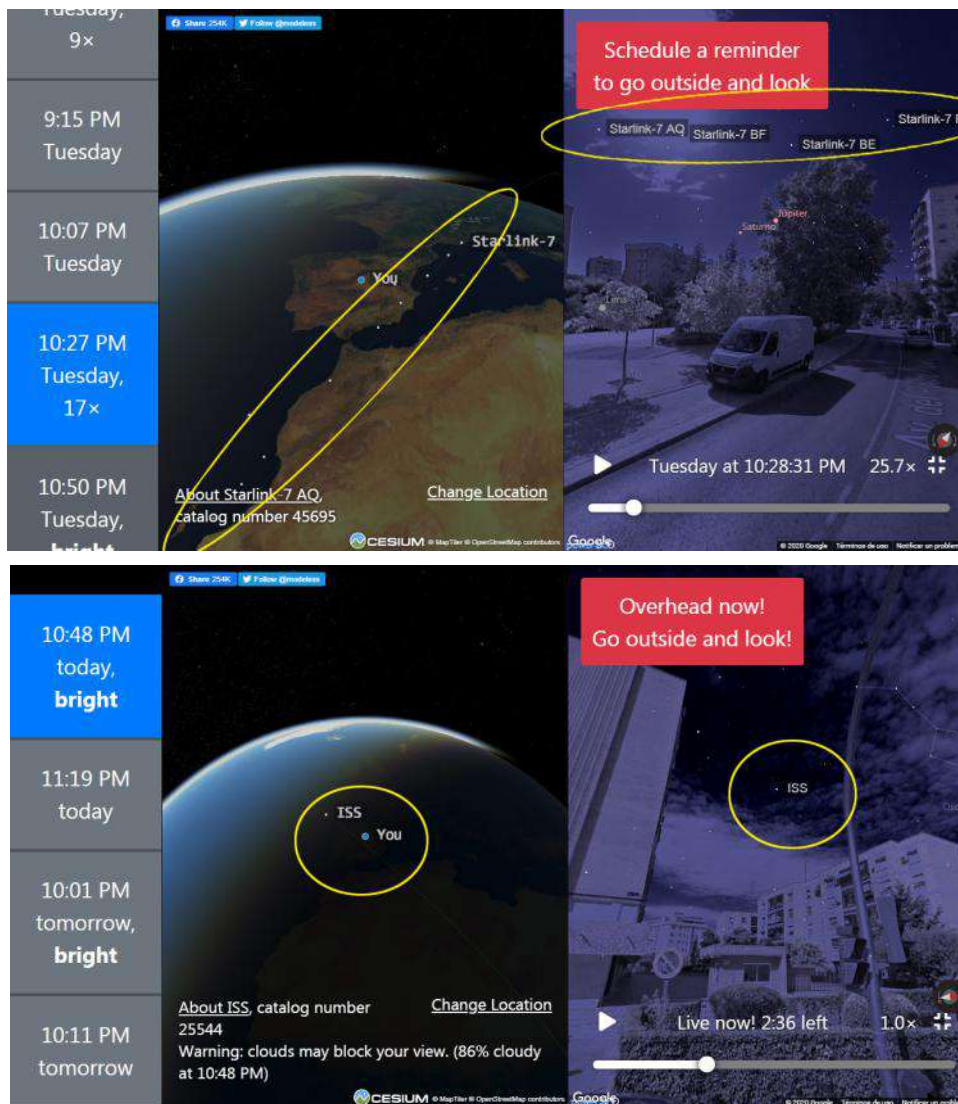
Combinación de 17 fotos, cada una con 30 s de exposición, que muestra el cometa Neowise y el paso de los satélites Starlink. Realmente, esos satélites son un problema para la observación astronómica.

Foto: Daniel López, de elcielodecanarias.com

Actividad: Ver satélites a simple vista

Es muy conocida la web heavens-above.com, donde puedes ver los próximos pasos de la ISS y de cualquier satélite, sobre cualquier punto de la Tierra. Pero hay otra web menos conocida, <https://james.darpinian.com/satellites/> en la que se combina la predicción del paso de los satélites brillantes (ISS, Spacelink y muchos otros), con las imágenes del Street View de tu ubicación. Así, te presenta una animación de lo que vas a observar, y puedes saber hacia donde mirar en el cielo. Las

imágenes que se adjuntan son fotografías de la animación (abajo a la derecha de la imagen está el control). La zona de la derecha es la calle donde estás, con los edificios reales, proporcionadas por Street View. Muestra perfectamente hacia donde mirar en el cielo para ver el paso de los satélites. Las líneas amarillas están superpuestas. La web también funciona en teléfonos.



La web muestra una animación con el paso de los satélites más brillantes previstos para los próximos días, tanto vistos desde fuera de la Tierra, como desde tu ubicación. Para esto usa Street View, y es una excelente ayuda para saber hacia donde mirar. Arriba, muestra el paso de un serie de satélites Starlink. Abajo, el paso de la ISS (Estación Espacial Internacional).



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados.

También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente revista.

Más información en www.apea.es

