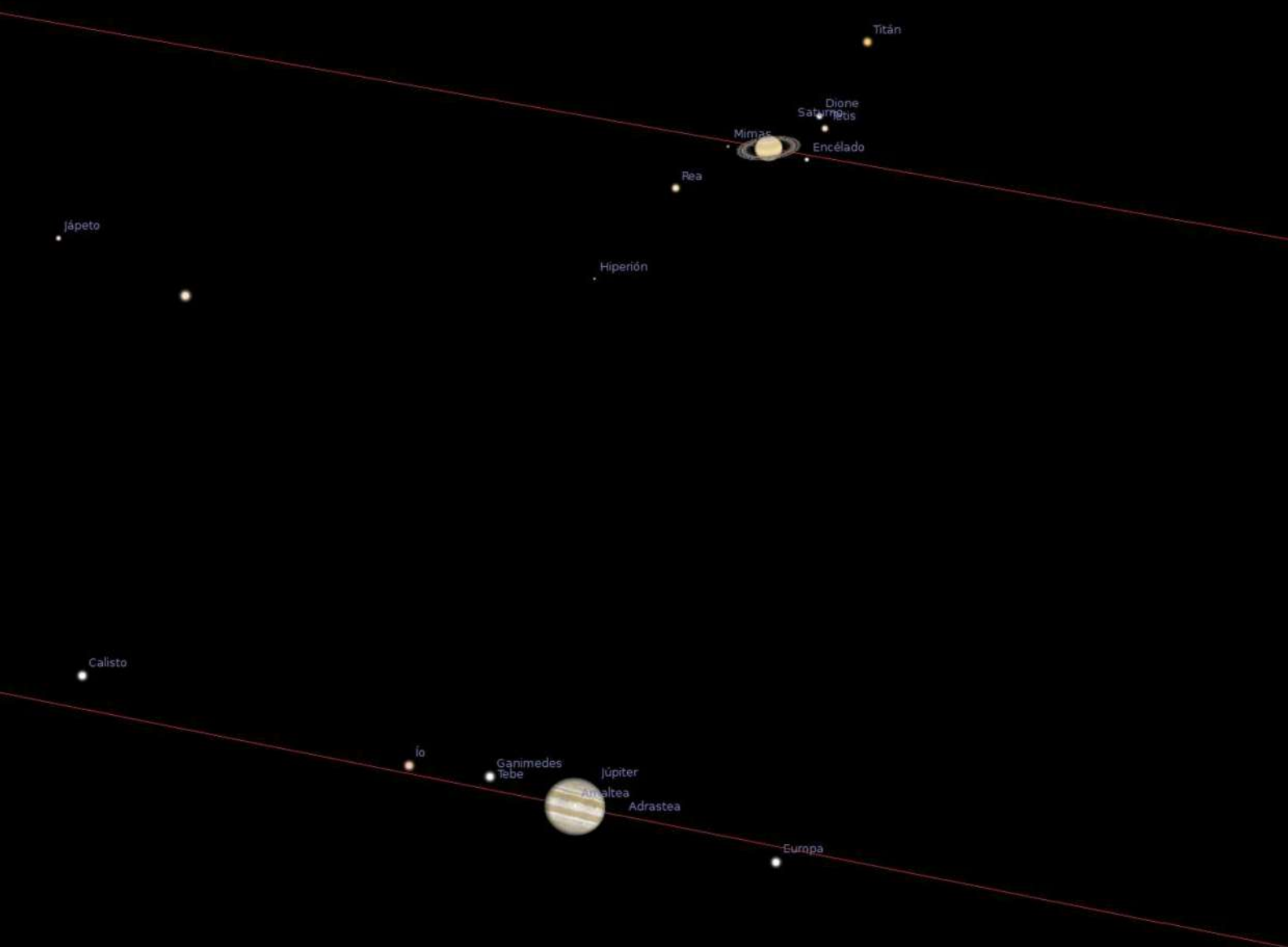


**¿CÓMO SE PESAN LOS
ASTRONAUTAS A BORDO DE LA ISS?**

**CRISTÓBAL COLÓN Y LOS ECLIPSES
DE LUNA**

**MATERIALES PARA ENSEÑAR ON
LINE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO**

**UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE LA
GRAN CONJUNCIÓN DEL 21.XII.2020**



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 Gil

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

Diciembre 2020

Foto de portada: Conjunción de Júpiter y Saturno el 21.XII.2020. Programa Stellarium

SUMARIO

EXPERIENCIAS

¿CÓMO SE PESAN LOS ASTRONAUTAS A BORDO DE LA ISS?

Anicet Cosialls 3

HISTORIA

CRISTÓBAL COLÓN Y LOS ECLIPSES DE LUNA

Juan Carlos Terradillos 9

MATERIALES

MATERIALES PARA ENSEÑAR ONLINE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

Ricardo Moreno 17

DIDÁCTICA

UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE LA GRAN CONJUNCIÓN DEL 21.XII.2020

Carolina Clavijo 21

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.

¿CÓMO SE PESAN LOS ASTRONAUTAS A BORDO DE LA ISS?

Anicet Cosialls Manonelles, Institut Guindàvols, anicetc@gmail.com



Si tenemos en cuenta que las estancias espaciales en la ISS son cada vez más largas, es evidente lo importante que es controlar el peso corporal (masa inercial), para no poner en peligro la salud de la tripulación. Pero, ¿cómo hacerlo sin gravedad? En este artículo os contamos cómo diseñamos un experimento que permitiera determinar la masa inercial de un astronauta en estado de ingravidez.

1. Introducción

La Estación Espacial Internacional (ISS) es un laboratorio tripulado en órbita a una altura aproximada de 400 km. Tiene 109 m de longitud, 88 m de anchura, 420 toneladas de masa, 4 laboratorios y 6 ó más tripulantes. Como consecuencia de su gran tamaño y debido al sistema de placas fotovoltaicas que lleva es visible a simple vista.^[1]

La ISS se encuentra en una órbita de caída libre, lo que conlleva que los objetos en su interior no se encuentran sometidos a las fuerzas de reacción originadas por el contacto de los cuerpos con el suelo de la estación. Parece que los objetos floten, y todo esto se traduce en una sensación de falta de peso que se conoce como microgravedad. Incluso flotaría la báscula para pesarse.

Al cuerpo humano le cuesta mucho adaptarse a un ambiente de microgravedad, y experimenta una repentina reducción de peso debido a las diversas modificaciones fisiológicas producidas: deshidratación, reducción de reservas de grasa, atrofia muscular y disminución de los hematíes y calcio.

Un estudio realizado por la agencia espacial de Estados Unidos mostró que en los inicios de un vuelo espacial se producía una reducción del 70% en el consumo de sólidos y líquidos. Es como si el organismo no necesitara tanto alimento, o dicho de otra manera, como si la ingravidez hiciera perder el apetito. El resultado era evidente: inmediatamente se perdían 3 kg.

¿Cómo pesarse en órbita? En mi instituto nos planteamos diseñar un experimento que permita determinar la masa inercial de un astronauta en estado de ingravidez.

Lo que habría que experimentar en un ambiente de microgravedad es si el periodo de oscilación de un oscilador armónico para una masa determinada es el mismo a bordo de la ISS que en la Tierra, es decir, independiente de la gravedad. En tal caso, determinando el periodo de oscilación en la ISS se podría determinar la masa inercial, y por tanto la masa del astronauta.

2. Fundamentos teóricos

Cuando una masa m colgada de un muelle helicoidal de tracción y de compresión se separa una distancia x de su posición de equilibrio se genera una fuerza recuperadora

$$F = -kx$$

en la que k es la constante del muelle.

Al estudiar experimentalmente la ley del oscilador armónico se observa que cuando se colocan las pesas sobre el portapesas, su

periodo de oscilación cambia, y cuantas más se añaden, más se retarda su movimiento. Esto es una consecuencia de una propiedad de los materiales llamada masa inercial, que consiste en presentar una oposición a cualquier cambio en su estado de movimiento.

La ley del oscilador armónico se puede expresar matemáticamente como:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

en la que T es el periodo, k la constante del muelle y m la masa que cuelga.

Como se ve, la gravedad no figura en la fórmula. Eso significa que el periodo de las oscilaciones de un oscilador armónico es independiente de la gravedad.

Esto posibilita la determinación de la masa inercial de un astronauta m que oscila a bordo de la ISS, si se conoce la constante del muelle k y el periodo de las oscilaciones.

3. Diseño experimental

Basándonos en la ley del oscilador armónico, proponemos dos métodos para resolver el problema.

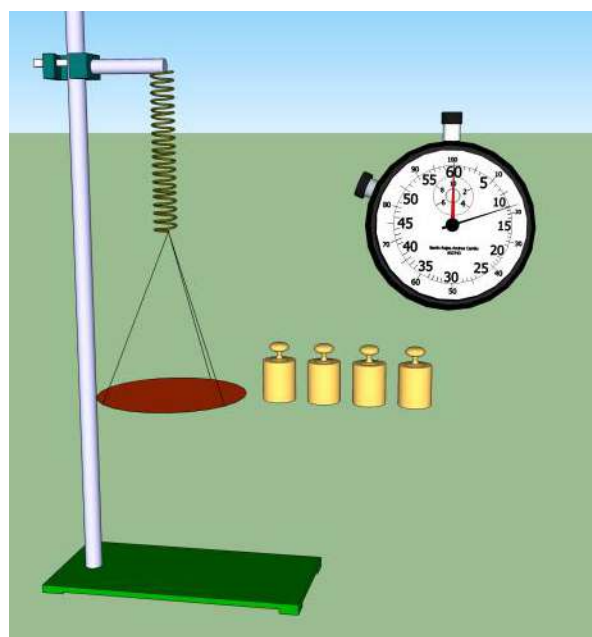


Imagen 1

Método I

Consiste en hacer oscilar un portapesas sujeto a un muelle que cuelga de un soporte, en el que se irán poniendo diversas masas conocidas, y se medirán sus respectivos periodos de oscilación.

Inicialmente, el portapesas alarga un poco el muelle hasta alcanzar la posición de equilibrio. La oscilación se produce cuando se desplaza ligeramente el portapesas de su posición de equilibrio y se suelta. Repetimos la experiencia con una pesa conocida, luego con otra, etc. Con los datos obtenidos trazaremos la curva de calibrado $m \rightarrow T^2$. No hace falta conocer ni la constante k del muelle ni la masa m del portapesas.

Los materiales necesarios son:

- Muelle helicoidal
- Portapesas
- Pesas de masa conocida
- Base soporte y varilla soporte
- Dispositivo para colgar el muelle
- Cronómetro, precisión: $\pm 0,01$ s

Se hace el montaje de la Figura 1, colgando del muelle el portapesas, sin pesas.

Se tira del portapesas verticalmente hacia abajo separándolo ligeramente de la posición de equilibrio, se suelta y se deja oscilar libremente. Para ser más precisos en la determinación del período de oscilación, mediremos el tiempo que tarda en hacer 20 oscilaciones completas. Este periodo T_0 corresponde al de un muelle “ideal” (considerado sin masa) al colgarle una cierta masa m_0 . Esta masa m_0 se llama masa equivalente del sistema^[2], y no es igual a la suma de las masas del muelle y el portapesas. La masa equivalente vendría a ser la masa que debería colgarse directamente a un muelle ideal (sin masa) para que su periodo de

oscilación fuese el del muelle “real” T_0 con el portapesas (sin pesas).

Colocaremos en el portapesas diferentes masas ($m_1, m_2, m_3, \dots$) y determinamos sus respectivos periodos de oscilación $T_1, T_2, T_3, \dots$

Se construye la siguiente tabla de datos:

m (g)	$20 T$ (s)	T (s)	T^2 (s ²)
0 (portapesas)			

Se representa m en función de T^2 , y se ajusta a una línea recta, obteniendo así la curva de calibrado (Fig. 2).

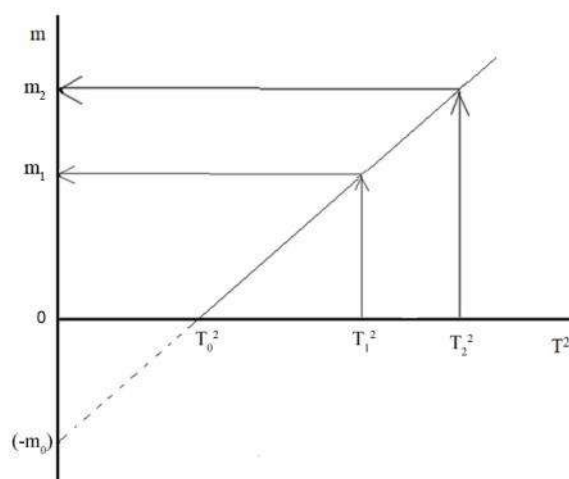


Fig. 2

Puede sorprender que la línea recta no pasa por el origen como predice la Ecuación 2. Esto es consecuencia de haber asignado el valor cero del eje vertical a la masa m_0 del portapesas (sin pesas), para poder poner los valores de las masas m_1, m_2, m_3 a partir de ese valor. Con esa masa m_0 , el periodo es T_0 . La intersección de la prolongación de la línea recta con el eje de ordenadas nos da el origen real. Este punto indica, en valor absoluto, el valor de la masa equivalente m_0 . Dicho de otra forma, en la Ecuación 2, la masa que hay que usar sería la de las pesas más m_0 . Para no tener que arrastrar siempre esa m_0 , basta con

subir el eje horizontal hasta ese valor de la masa. En la práctica, para dibujar la recta, bastaría con medir dos valores de m_1 y m_2 , y de sus respectivos periodos de oscilación T_1 y T_2 , sin que sea necesario calcular la masa m_0 ni su periodo T_0 .

Finalmente, se coloca una masa desconocida m en el portapesas (masa del astronauta), y se hace oscilar. Conociendo su periodo T , se podrá determinar su masa con la ayuda del gráfico anterior (Fig. 2).

Por lo tanto, los astronautas de la ISS si quieren conocer su masa deberán sentarse en el supuesto portapesas de la estación (Fig 3). Al encontrarse en un ambiente de microgravedad, una vez sentado, el muelle

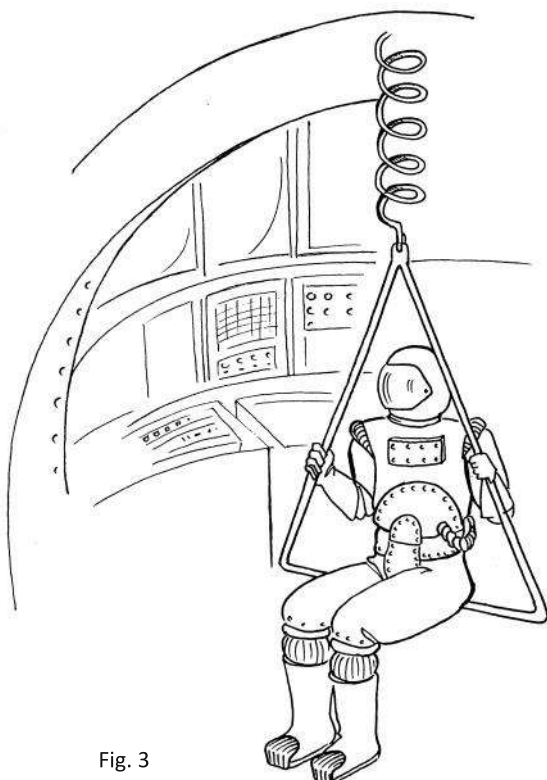


Fig. 3

continuará estando recogido puesto que no actúa ninguna fuerza que tire de él. Para que el sistema empiece a oscilar será necesario que otro astronauta tire de él verticalmente hacia abajo, y que lo suelte.

En realidad, la verdadera manera de “pesarse” se basa en el mismo principio, y consiste en sentarse bien sujeto en un sillón, unido a unos muelles (Fig. 4), que se fuerza a oscilar.



Método II

Se determinará el periodo de oscilación de una masa que oscila verticalmente, la cual está sujeta por el extremo superior a un muelle que cuelga de un soporte, y por el extremo inferior a otro muelle que está unido a otro soporte (Fig. 5). Previamente habrá que determinar las constantes k_1 y k_2 de los dos muelles.

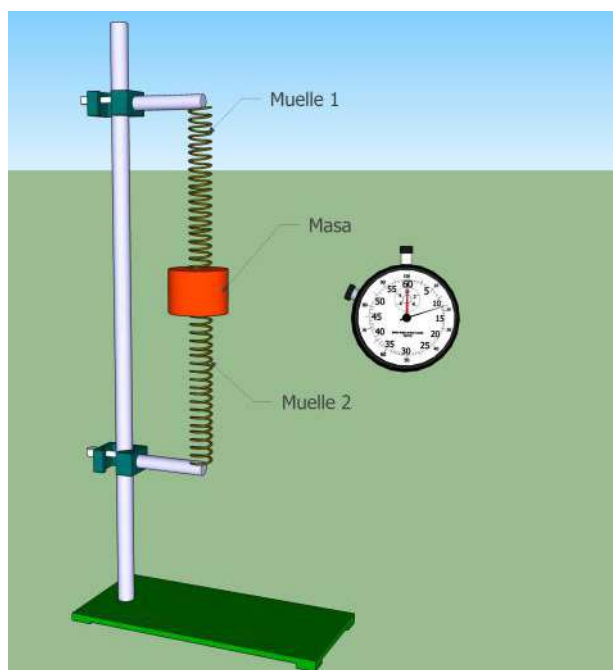


Fig. 5

Los materiales necesarios son:

- Base soporte y varilla soporte
- 2 muelles de constantes k_1 y k_2
- Masa cilíndrica con dos asas
- 2 dispositivos para sujetar los muelles
- Cronómetro de precisión $\pm 0,01$ s.

Se deben determinar los valores de las constantes k_1 y k_2 a partir de la ley de Hooke. La constante equivalente del sistema es:

A continuación se tira de la masa hacia abajo, desplazándola ligeramente de la

$$k = k_1 + k_2$$

posición de equilibrio. Se suelta y se deja oscilar libremente.

Se determina con la ayuda del cronómetro el tiempo de 20 oscilaciones completas. Se repite el proceso varias veces y se llevan los resultados a una tabla y se calcula el valor medio de las masas.

Esta última determinación se puede llevar a cabo muy fácilmente con el kit educativo de la ESA (Fig. 6) que confeccionó a raíz del concurso europeo "Take your classroom into space".^[3] El kit se puede solicitar de forma gratuita.

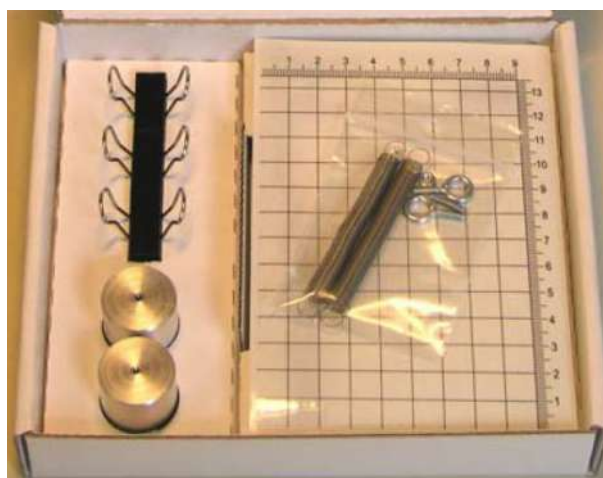


Fig. 6 Kit de la ESA

$20 T (s)$	$T (s)$	$m = \frac{1}{4\pi^2} k T^2 (g)$	$m (g)$



Fig. 7 El astronauta Frank de Winne determinando la masa en estado de ingravidez en la ISS

El 21 de septiembre de 2009, en el marco de la clausura del concurso espacial, el astronauta Frank de Winne reprodujo el experimento^[4] a bordo de la ISS (Fig. 7), mientras que un grupo de alumnos de diversos centros educativos hacían lo mismo en la sala de actos de Cosmocaixa en Barcelona (Fig. 8), con lo que se verificaba la validez del método.



Fig. 8 Determinación de la masa inercial con el kit de la ESA en Cosmocaixa de Barcelona



Fig. 9 Este trabajo recibió el primer premio *ex-aequo* de la ESA, por el diseño del Método I. El premio incluía que Sara González, alumna del grupo, pudiera hacer una videoconferencia en directo con el astronauta Frank de Winne en la ISS

Referencias

[1]. *Heavens above*. Consultado el 18/11/2020. Disponible en :

<<http://www.heavens-above.com/>>

[2]. Claudio Guerra Vella y Humberto Sotelo González, 1979. Manual de laboratorio para maestros. Páginas 63-65. Editorial Trillas.

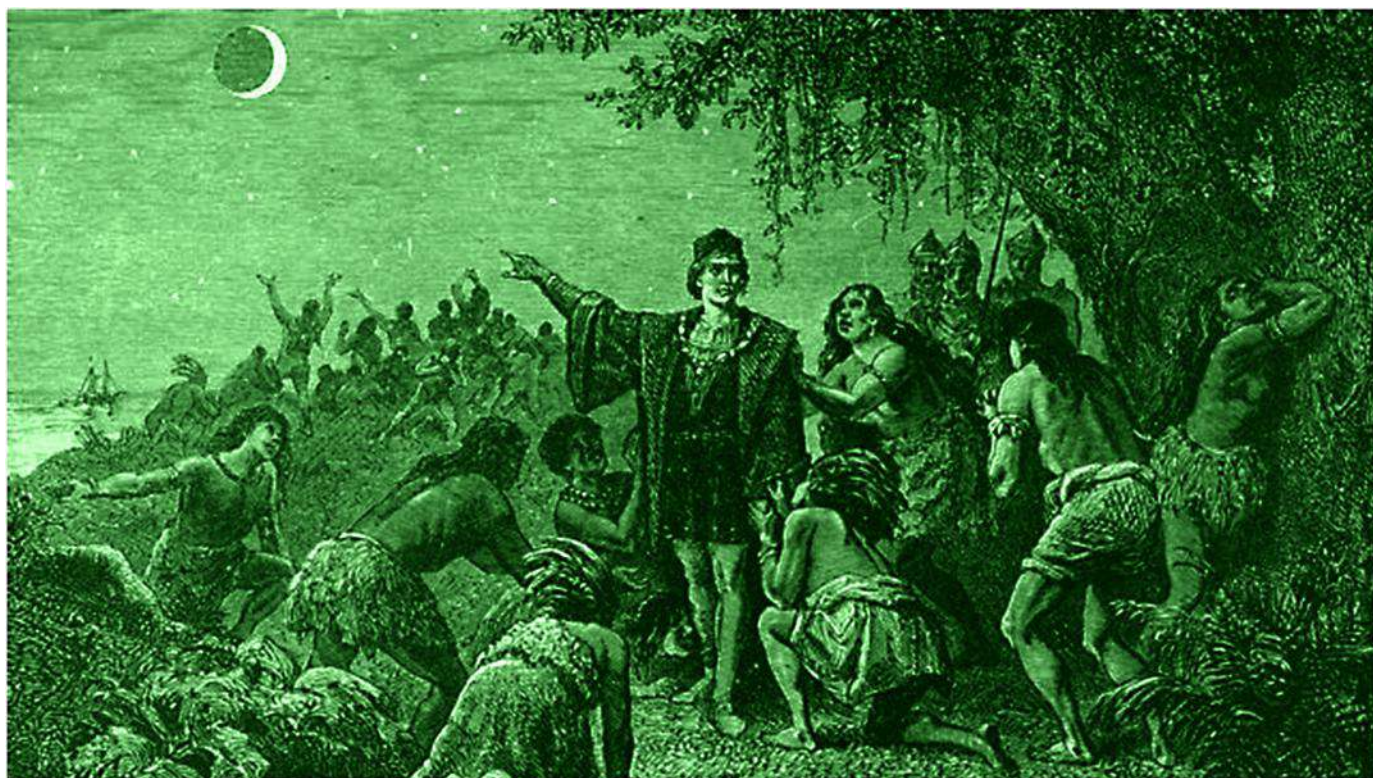
[3]. *Take your classroom into space*. Consultado el 18/11/2020. Disponible en: <http://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Education/Take_your_classroom_into_space>

[4]. Frank de Winnie a bordo de la ISS. Consultado el 17/11/2020. Disponible en:

<<https://www.youtube.com/watch?v=MhBvyTP9iLI&list=ULDYtfafA482A&index=3288>>

CRISTÓBAL COLÓN Y LOS ECLIPSES DE LUNA

Juan Carlos Terradillos



Colón utilizó dos veces los eclipses de luna para hallar la longitud a la que se encontraba. La primera vez, el 15 de septiembre de 1494 cuando se hallaba en la isla de la Española (República Dominicana), durante su segundo viaje, y la otra el 29 de febrero de 1504, en la isla de Jamaica, en su último viaje. Además, se cuenta una historia que parece una película...

"Acordose de que al tercer día había de haber un eclipse de luna, al comienzo de la noche, y mandó que un indio de la Española que estaba con nosotros, llamase a los indios principales de la provincia, diciendo que quería hablar con ellos en una fiesta que había determinado hacerles. Habiendo llegado el día antes del eclipse los caciques, les dijo por el intérprete, que nosotros éramos cristianos y creíamos en Dios, que habita en el cielo y nos

tiene por súbditos, el cual cuida de los buenos y castiga a los malos, y que habiendo visto la rebelión de los cristianos, no les había dejado pasar a la Española, como pasaron Diego Méndez y Fiesco, y habían padecido los peligros y trabajos que eran notorios en la isla; que igualmente, en lo que tocaba a los indios, viendo Dios el poco cuidado que tenían de traer bastimentos, por nuestra paga y rescate, estaba irritado contra ellos, y tenía resuelto

enviarles una grandísima hambre y peste. Como ellos quizá no le darían crédito, quería mostrarles una evidente señal del cielo, para que más claramente conociesen el castigo que les vendría de su mano. Por tanto, que estuviesen aquella noche con gran atención al salir la luna, y la verían aparecer llena de ira, inflamada, denotando el mal que quería Dios enviarles. Acabado el razonamiento se fueron los indios, unos con miedo, y otros creyendo sería cosa vana." (Historia del Almirante, cap. CIII).

Con estas palabras D. Hernando Colón, hijo del Almirante, nos narra cómo su padre, estando en una posición muy apurada por la falta de víveres y el mal estado de las naves a causa de la "broma", un molusco que había carcomido el casco de las embarcaciones, salió airoso de la situación, utilizando el terror y la superstición que los eclipses de luna causaban en los indígenas de la isla de Jamaica, donde se encontraba varado desde hacía meses, durante su cuarto viaje, en el año de 1504.

El problema de la longitud geográfica

Esta cita, nos cuenta la utilización del eclipse lunar como un recurso vital oportunista. Sin embargo, principalmente eran usados para el cálculo de la longitud geográfica en la que se encontraban.

Los pilotos se referían a la longitud como "la altura del "lesteoeste", que unida a la latitud, marcaría el grado o posición de la nave. Era difícil de medir por la imprecisión de los instrumentos que utilizaban.

Los marinos se servían de la "ampolleta", un reloj de arena que medía el tiempo, y de la "corredera", (Fig. 1) una cuerda anudada a intervalos regulares, con una tablilla final que flotaba en el agua y que era lanzada por la popa, para que al irse desenrollando indicara el espacio recorrido en función del tiempo



Figura 1: Corredera y ampolleta para medir la velocidad del barco en nudos.

transcurrido, y de esta forma, hacer una estimación de la velocidad de la nave y de la distancia recorrida cada día.

Además de los instrumentos, existía otro método, que consistía en anotar el momento temporal preciso del comienzo de una fase concreta del eclipse lunar (el máximo, por ejemplo), en dos puntos del globo distantes entre sí. La diferencia entre las dos horas locales, multiplicada por el factor de conversión de 15°/hora, daría la diferencia en longitud, expresada en grados, entre esos dos puntos terrestres. Este método presentaba ciertas limitaciones que lo hacían difícil de aplicar e inexacto en los resultados obtenidos, y que fundamentalmente se podían resumir en las siguientes:

- Dificultad para fijar temporalmente el momento exacto del eclipse a medir, de una forma coordinada, desde dos puntos del globo terrestre, dadas las precarias comunicaciones de la época.

- Disparidad en cuanto a las **dimensiones de la Tierra**, en concreto en la asignación de una ratio exacta entre el número de millas, y por consiguiente de leguas, que se daba a cada grado de la equinoccial (el Ecuador).

- La existencia y el uso por los marinos de distintas **Tablas de Efemérides**, teniendo cada una de ellas diferentes meridianos geográficos de referencia.

Dimensiones de la Tierra

A principios del siglo XVI en la Península Ibérica había dos ratios respecto a las leguas que correspondían a cada grado. Los portugueses asignaban 17,5 leguas por grado, mientras que los españoles daban 16 y $\frac{2}{3}$. Fijándonos en los principales marinos de la época, observamos que la menor cantidad de leguas por cada grado era la utilizada por Colón, con 14 y $\frac{2}{3}$. Martín Fernández de Enciso, Américo Vespucio, Fernando de Magallanes y Rui Falero la situaban en 16 y $\frac{2}{3}$, y el resto de pilotos durante ese siglo, incluyendo al cartógrafo Juan de la Cosa, que acompañó a Colón en su primer viaje, fijaban en 17,5 las leguas por grado. La legua marítima portuguesa correspondía a 5.926 m.

Esta disparidad en la medida implicaba indirectamente un mundo más grande o más pequeño según cual se eligiera. Haciendo un poco de historia, el tamaño de la Tierra ya estaba establecido casi correctamente desde

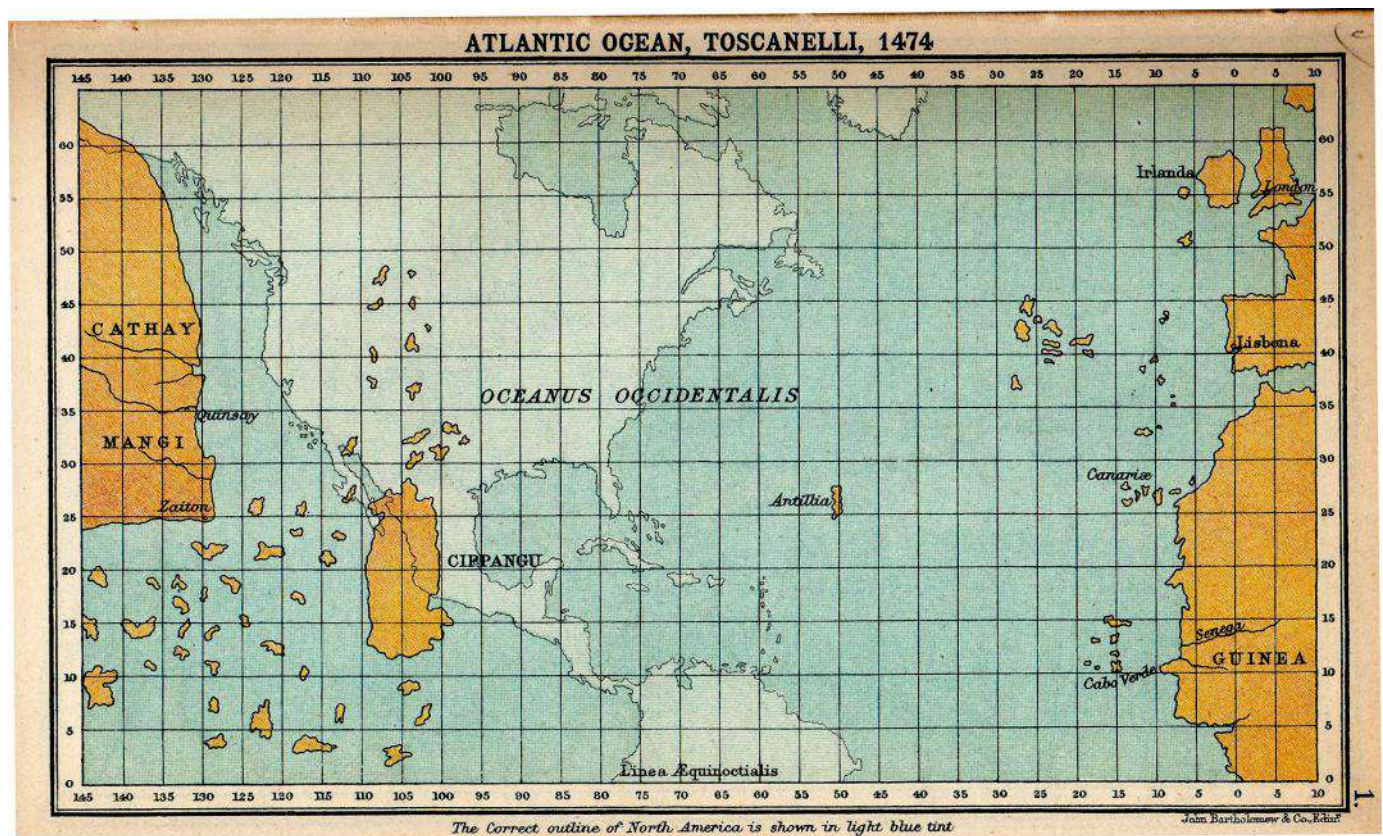
Eratóstenes (s. III A.C.), fijando en 40.000 km su circunferencia máxima, increíblemente exacta para su tiempo. Posteriormente, Posidonio (s. I A.C.) la cuantificó en una cifra algo menor.

Esta medida de Posidonio pasó a Ptolomeo (s. II D.C.), quien aportó en su obra de "Geografía" un mapa mundi con los territorios conocidos hasta entonces, representándolo mediante paralelos y meridianos.

Las ideas de Ptolomeo, tanto geográficas como astronómicas, pasaron como un legado del clasicismo al mundo del Renacimiento, convirtiéndose en el paradigma conceptual geocéntrico aceptado hasta entonces.

Este legado ptolemaico lo recogió el astrónomo, matemático y cartógrafo Paolo Toscanelli, a finales del siglo XV, el cual elaboró para el rey portugués Alfonso V un mapa del mundo (Fig. 2) en el que se mostraba lo accesible que resultaría llegar hasta la India, Cipango (Japón) y Catay (China), navegando siempre hacia poniente por el Atlántico.

Figura 2: Mapa de Toscanelli, con las costas americanas superpuestas



Según nos cuenta Hernando Colón en su obra "Historia del Almirante" su padre estaba de acuerdo con las dimensiones del mundo dadas por el cosmógrafo árabe Alfragano (S IX), el cual decía que a un grado de latitud correspondía 56 y $\frac{2}{3}$ millas, y por tanto, el total de la circunferencia terrestre para ambos era de 20.397 millas. Pero sus respectivas dimensiones del mundo eran diferentes, pues Alfragano usaba la milla árabe, de 1.973 m, mientras que la de Colón era la italiana, de 1.480 m, reduciendo su circunferencia en una cuarta parte.

Tablas de efemérides

Todos los marinos de esta época, y Colón entre ellos, llevaban en sus viajes unas tablas astronómicas que les facilitaban la navegación oceánica. En el caso colombino, probablemente las que llevaba, ya en su segundo viaje, eran las de Johann Müller Regiomontano, astrónomo, matemático, constructor de relojes solares, quien elaboró unas Efemérides astronómicas para los años comprendidos entre 1475 y 1506, siendo publicadas en el año 1474 (Fig. 3).

1494	September	m.	d.	f.	a.	f.	a.	m.	a.	m.	d.
		mp	u	X	mp	u	u	u	u	u	u
		g	m	g	m	g	m	g	m	g	m
Egidij abbatis	1	17	24	5	3	11	16	21	24	16	9
	2	18	23	17	5	11	11	11	37	16	47
	3	19	21	28	5	11	6	21	50	17	24
	4	20	20	10	4	11	1	12	2	18	1
	5	21	19	12	11	10	5	6	12	16	39
	6	22	18	4	19	10	5	12	29	19	16
	7	23	16	16	4	10	4	12	19	5	4
	8	24	15	29	2	10	4	12	5	10	31
	9	25	14	12	19	10	3	12	8	11	59
	10	26	13	25	10	10	3	12	11	45	13
	11	27	12	8	12	10	18	13	34	22	14
	12	28	11	21	3	10	14	13	47	22	59
	13	29	10	5	10	10	19	24	0	23	36
	14	30	9	19	10	10	15	14	13	24	13
	15	1	8	3	35	10	11	24	26	24	50

Fig 3 Efemérides de Regiomontano, pág. de septiembre de 1494

Estas efemérides recogen las posiciones diarias del Sol y la Luna en su culminación superior, las posiciones medias de los planetas, en grados y minutos, a partir de la entrada en

cada signo del zodiaco, dando también sus posiciones relativas con respecto al Sol. Así mismo, para cada año, da los días y momentos en los que se producen los eclipses de sol y de luna. El meridiano de referencia elegido es el de la ciudad de Nuremberg, cuyas coordenadas geográficas son: $\phi = 49^{\circ},4528$ N; y $\lambda = 11^{\circ},0778$ E, igual en tiempo a 0h 44 m 18 s.

Es posible también que Colón conociera o llevara las Tablas que el astrónomo judío Abraham Zacuti había elaborado durante los años 1473-1476 en Salamanca, para ese meridiano de referencia.

Los distintos meridianos de referencia elegidos para cada Tabla de Efemérides (Nuremberg y Salamanca), suponían una dificultad añadida al usarlas.

Los eclipses lunares de Colón

Colón utilizó dos veces los eclipses de luna para hallar la longitud a la que se encontraba. La primera vez, el 15 de septiembre de 1494 cuando se hallaba en la isla de la Española (República Dominicana), durante su segundo viaje, y la otra el 29 de febrero de 1504, en la isla de Jamaica, en su último viaje.

Encontramos las citas en "La historia del Almirante", escrito por su hijo D. Hernando Colón, y en las que hace el propio Almirante, tanto en la carta que envió a los Reyes Católicos sobre su cuarto viaje, como en su libro de "Las Profecías".

Eclipse de luna del 15 de septiembre de 1494

"Lo que yo sé es que el año de 94 navegué en 24 grados al Poniente en término de 9 horas, y no pudo haber yerro porque uvo eclipses: el sol estava en Libra y la luna en Ariete. También esto que yo supe por palabra avíalo yo sabido largo por escrito" (Cristóbal Colón, *Relación del cuarto viaje*, página 212).

"El año de 1494, estando yo en la isla de Saona, que es el cabo oriental de la isla Española, hubo eclipses de luna a 14 de septiembre y se halló que había diferencia de allí al cabo de San Vicente en Portugal cinco horas y más de media" (Cristóbal Colón, *Libro de las Profecías*, folio 76).

"A 15 de Septiembre Dios le concedió ver una isla que está en la parte meridional de la Española, y cercana a ésta, que los indios llaman Adamaney; con gran tormenta dio fondo en el canal que hay entre ésta y la Española, cerca de una isilla que está entre las dos; donde aquella noche vió el eclipse de la luna, del cual dice que la diferencia, entre Cádiz y aquel paraje donde estaba, era de cinco horas y veintitrés minutos. Por tal motivo creo que durase tanto el mal tiempo, pues hasta el 20 del mes fue obligado a permanecer en el mismo puerto" (Hernando Colón, *Segundo viaje de Colón*, Capítulo LX, página 196).

Este eclipse pudo ser observado por el Almirante desde la isla de Saona, adonde una fuerte tormenta le había llevado y donde

Fig 4 Eclipse del 15.IX.1494 en las efemérides de Regiomontano

C Anno Christi dñi	1494	Ephemerides
C Aureus numerus	13	Quadragesima
C Episcopo	19	pascha
C Littera dominicalis	c	rogationes
C Inditio	12	ascensio domini
C Intervalum	6 hebdo. 4 dies	descentio eoste
C Septuagesima	26 Januarij	adventus domini
		30 Martij

Eclipsis solis	Eclipsis lune	Eclipsis lune
d. h. m.	d. h. m.	d. h. m.
7 4 12	21 14 38	14 19 45
Martij	Martij	Septembis
Dimidia duratio	Dimidia duratio	Dimidia duratio
0 44	1 46	1 43
Iduncta quattuor		



Saturnus a 19 Junij ad finem Octobris retrogradus.
 Jupiter ab initio anni ad 19 Aprilis retrogradus.
 Mars hoc anno regressum non habebit.
 Venus ab 11 Martij ad 14 Junij retrograda.
 Mercurius a 6 Februarij ad 11 Martij item a 5 Junij d. 17 eiusdem: et a 19 Septembis ad 19 Octobris retrogradus.

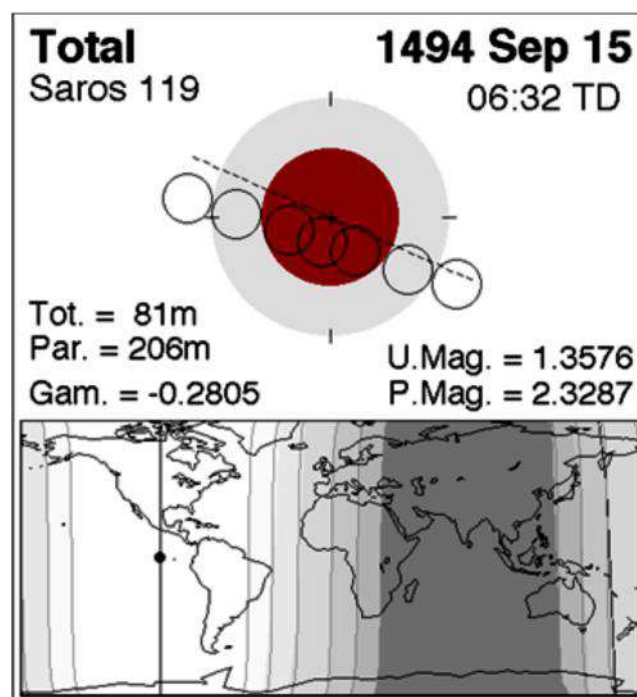
desembarcó y, presumiblemente vio, esa misma noche, el eclipse. Hay que señalar que, según su hijo, el mal tiempo continuó unos cuantos días más, lo cual nos hace ya albergar algunas dudas sobre su veracidad. Sí es cierto, y él lo comenta, que ese año hubo dos eclipses de luna, siendo uno de ellos el visto desde esta isla.

Las coordenadas geográficas de de Saona son $\phi = 18^{\circ}, 1555 \text{ N}$; $\lambda = 68^{\circ}, 6994 \text{ O} = 4 \text{ h } 34 \text{ m } 48 \text{ s}$.

En los cuadros siguientes se pueden ver lo recogido en las Efemérides para ese año por Regiomontano (Fig. 4) y las características del eclipse según NASA (Fig. 5).

En el de la izquierda, Regiomontano nos dice que se iba a producir, para su meridiano de Nuremberg, el día 14 de septiembre a las 19 h 45 m, y que iba a durar 1 h y 48 m. Aclarar que Regiomontano nos quiere decir que sería 19 h 45 m después del mediodía solar, pues entonces los tiempos se daban desde las culminaciones superiores o inferiores del Sol, es decir a la 1 h 45 m de la noche, mientras que para Nasa se produjo a las 6 h y 32 m de Tiempo Dinámico (6 h 29 m de Tiempo Universal).

Fig 5 Datos del eclipse del 15.IX.1494 según la NASA



El eclipse tuvo su máximo a la 1 h 54 m del día 15, hora local de Saona. En ese momento el Sol, que se encontraba en Virgo, se hallaba bajo el horizonte suroeste con una altura, $h = -54^{\circ},5$, y la Luna, en Piscis, se la veía en el noreste con una altura similar pero sobre el horizonte. Como la fase de totalidad duró 81 minutos, entonces el eclipse total comenzó a las 1 h 13 m y finalizó a las 2 h 34 m.

Cuando se analiza la cita de Colón observamos algunas inexactitudes. La primera es sobre el eclipse, cuando dice que el Sol estaba en Libra y la Luna en Ariete, lo que coincide con las Efemérides de Regiomontano para ese día del mes de septiembre, pero no con la realidad astronómica ("**avíalo yo sabido largo por escrito**"); la segunda, sobre su longitud geográfica, cuando comenta "**el año de 94 navegué en 24 grados al Poniente en término de 9 horas**", ya que esto nos situaría en una longitud de 135° Oeste, correspondiente hoy a un punto en el Pacífico, intermedio entre la Baja California y las islas Hawai, pero si miramos en el mapa de Toscanelli, entonces esa longitud nos coloca en las islas enfrente de Catay, el objetivo último de su viaje, y que él creyó siempre haber alcanzado. En realidad, la máxima longitud occidental por la que el Almirante estuvo en este segundo viaje fue de unos 83° Oeste, cuando navegó por el occidente de la isla de Cuba.

Si nos fijamos en las citas de Colón y su hijo D. Hernando, vemos que refieren la longitud geográfica respecto a distintos meridianos de referencia, aumentando aún más la confusión sobre el eclipse observado. Analizando lo que dice el Almirante, se me ocurren dos posibles explicaciones.

La primera es que Colón hubiera tomado la diferencia en longitud (para el máximo del eclipse) directamente de las Efemérides de Regiomontano, restando las dos horas locales: $7\text{ h }45\text{ m} - 1\text{ h }54\text{ m} = 5\text{ h }51\text{ m}$, muy parecida a la reflejada en la cita, pero entonces, la referencia a

San Vicente como meridiano de referencia sobra y es errónea.

La segunda sale de una posible suma de las leguas recorridas en su segundo viaje, (según el Diario, 1.120 leguas), más las que hay entre San Vicente y la Gomera, de donde partió (117 leguas), lo que hace un total de 1.237 leguas, que multiplicadas por 5,5 km cada una dan 6.803 km. Como la circunferencia terrestre para Colón medía 30.187 km, que resulta de multiplicar 20.397 millas (las de Alfragano) por 1.480 m. cada una (la italiana), entonces estos 6.803 km suponían unos $81^{\circ} = 5\text{ h }24\text{ m}$, casi igual a lo propuesto por él en las Profecías y por su hijo en la "Historia del Almirante".

Eclipse de luna del 29 de febrero de 1504

"Estando yo en las Indias, en la isla de Jamaica (...) hubo eclipses de luna, y porque el comienzo fue primero que el Sol se pusiese no pude notar salvo el término de cuando la Luna acabó de volver a su claridad (...) La diferencia del medio de la isla de Jamaica en las Indias, con la isla de Calis, en España, es siete horas y quince minutos de hora" Cristóbal Colón, *Libro de las Profecías*, folio 76.

Además, tenemos la cita de D.Hernando de Colón en *Historia del Almirante*, cap. CIII, con la que se abre este artículo.

Este eclipse tuvo lugar el último día de febrero o el primero de marzo según se viera en Jamaica o en Europa. El lugar de observación fue la bahía de Santa Ana, al norte de la isla. Sus coordenadas geográficas son: Latitud $\phi = 18^{\circ},4392$ Norte y Longitud $\lambda = 77^{\circ},1968 = 5\text{ h }8\text{ m }47\text{ s}$.

A diferencia del anterior eclipse, sobre el que hay dudas si usó o no unas Tablas de Efemérides, en éste se tiene la certeza que las utilizó, pues sabía que iba a haber un eclipse de luna con tres

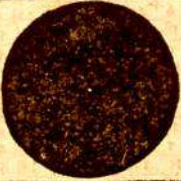
Anno Christi dñi		1504	Ephemerides	
		Bisextilis		
C Aureus numerus	4	Quadragesima	25	February
C Cyclus solaris	1	pascha	7	Aprilis
C Littera dominicalis	g f	Rogationes	12	May
C Inditio	7	Ascensio domini	16	May
C Intervallum	7 hebdo. 6. dies	Descentio eoste	26	May
C Septuagesima	4 February	Adventus domini	1	Decembris
Eclipsis lune				
d. h. m.				
29 13 36				
February				
Dimidia duratio				
1 46				
				
Saturnus ab initio anni ad 6 Martij: item a 5 Nouembis ad exitum anni retrogra.				
Jupiter a capite anni ad 19 Februarij: item a 14 Nouembis ad calcem anni retrogra.				
Mars ab initio anni ad 3 Februarij retrogradus				
Venus ab ineunte anno ad 16 Januarij retrogradus				
Mercurius a 5 Aprilis ad 10 eiusdem: rursus a 15 Julij ad 10 Augusti: et a 12 Nouembis ad 14 Decembris retrogradus				

Fig 6 Datos del eclipse del 29.II.1504, según Regiomontano

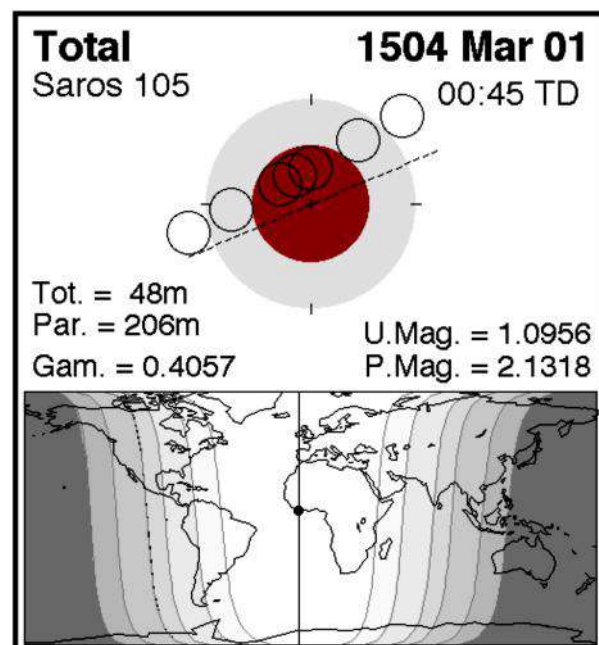


Fig 7 Datos del eclipse de 1504, según la NASA

días de antelación. En el Almanaque de Regiomontano (Fig. 6) se recogía que habría un eclipse lunar el día 29 de febrero, a las 13 h 36 m y con una duración media de 1 h y 46 m, mientras que en las efemérides NASA (Fig. 7) éste ocurrió las 0 h 41 m 36 s de Tiempo Universal, tiempo corregido ya del ΔT correspondiente.

Para conocer el tiempo local del eclipse máximo en Jamaica restamos al TU la longitud de la Bahía de Santa Ana:

$TL = TU - \lambda = 0 \text{ h } 41 \text{ m } 36 \text{ s} - 5 \text{ h } 8 \text{ m } 47 \text{ s} = 19 \text{ h } 32 \text{ m } 49 \text{ s}$ de la tarde del día 14. Colón en sus "Profecías" cuantificó en 7 horas y 15 m la diferencia en longitud entre el sitio de observación y Cádiz ("Calis"); cuando en realidad esta diferencia es igual a:

$\Delta L = 77^{\circ},1968 - 6^{\circ},2975 = 70^{\circ},8993 = 4 \text{ h } 43 \text{ m } 36 \text{ s}.$

El error cometido por el Almirante es casi de dos horas y media. Nuevamente hay dos posibles explicaciones.

Para la primera de ellas nos sirve la afirmación del Almirante, presente en la carta del 7 de julio de 1503 que escribió a los Reyes Católicos, relatando los hechos ocurridos en el cuarto viaje. En un momento del mismo dice: **"Cuando yo partí de allí (La Española), los pilotos pensaban que íbamos a llegar a la isla de San Juan (Puerto Rico) y fue a la tierra de Mango (Oeste de Cuba), cuatrocientas leguas más al oeste de lo que suponían"**.

Es posible que Colón pensara que al encontrarse 400 leguas al oeste de la isla de Saona, para la cual antes había dado una diferencia en longitud respecto del cabo de San Vicente de cinco horas y media, según mediciones del primer eclipse; ahora al encontrarse 400 leguas más lejos que estuvo en el anterior eclipse, las cuales al ser divididas entre las 14,66 leguas asignadas a cada grado obtenemos $27^{\circ},2851 = 1 \text{ h } 49 \text{ m } 8 \text{ s}$, y, por tanto, sumando ambos tiempos, se encontraría a $5 \text{ h } 24 \text{ m} + 1 \text{ h } 49 \text{ m} = 7 \text{ h } 13 \text{ m}$, reflejándolo en su libro de las Profecías.

La segunda explicación supone asumir que la fuente que suministró los tiempos fuera Las Efemérides que él llevaba, y leyera directamente en ellas que el momento del eclipse previsto por Regiomontano sería a las $(1 + 24)$ h 36 m, mientras que en donde se encontraba fue a las 19 h 32 m 49 s. Así la diferencia horaria es $25 \text{ h } 36 \text{ m} - 19 \text{ h } 32 \text{ m} = 6 \text{ h } 4 \text{ m}$; todavía un poco más de una hora de error respecto a lo que él escribió.

¿Pudo ocurrir entonces que los momentos de la fase del eclipse observados fueran distintos?, por ejemplo, que Regiomontano midió la fase máxima y Colón tomó el tiempo correspondiente al primer momento en el que fue visible el eclipse en la Bahía de Santa Ana. Si hubiera sido así, como la fase de parcialidad esa tarde empezó 103 minutos antes que el momento máximo, deducimos que fueran las $19 \text{ h } 32 \text{ m } 49 \text{ s} - 1 \text{ h } 43 \text{ m} = 17 \text{ h } 49 \text{ m } 49 \text{ s}$ cuando la Luna empezó a ser "mordida" por la sombra de la Tierra. Lo malo era que a esa hora, ese día y en ese lugar, el Sol todavía estaba $3^{\circ},8$ por encima del horizonte ("**el comienzo fue primero que el Sol se pusiese**") y la Luna no había salido aún; habría que esperar 21 minutos más, hasta las 18 h 11 m para que el Sol se hubiera puesto totalmente y la Luna se encontrara ya por encima del horizonte. Suponiendo que esto fue lo que ocurrió, la diferencia ahora es igual a: $25 \text{ h } 36 \text{ m} - 18 \text{ h } 11 \text{ m} = 7 \text{ h } 25 \text{ m}$, casi igual al anotado por el Almirante.

Si se acepta esta segunda interpretación, de nuevo sobraría la referencia a la ciudad de Cádiz.

Finalmente, si esta diferencia en longitud dada hubiera sido intencionada, entonces es que a él le interesaba estar todo lo más al occidente posible, cerca de Catay y la India, pues según las Capitulaciones de Santa Fe sería, además de Almirante del Océano, gobernador de todos los territorios descubiertos.

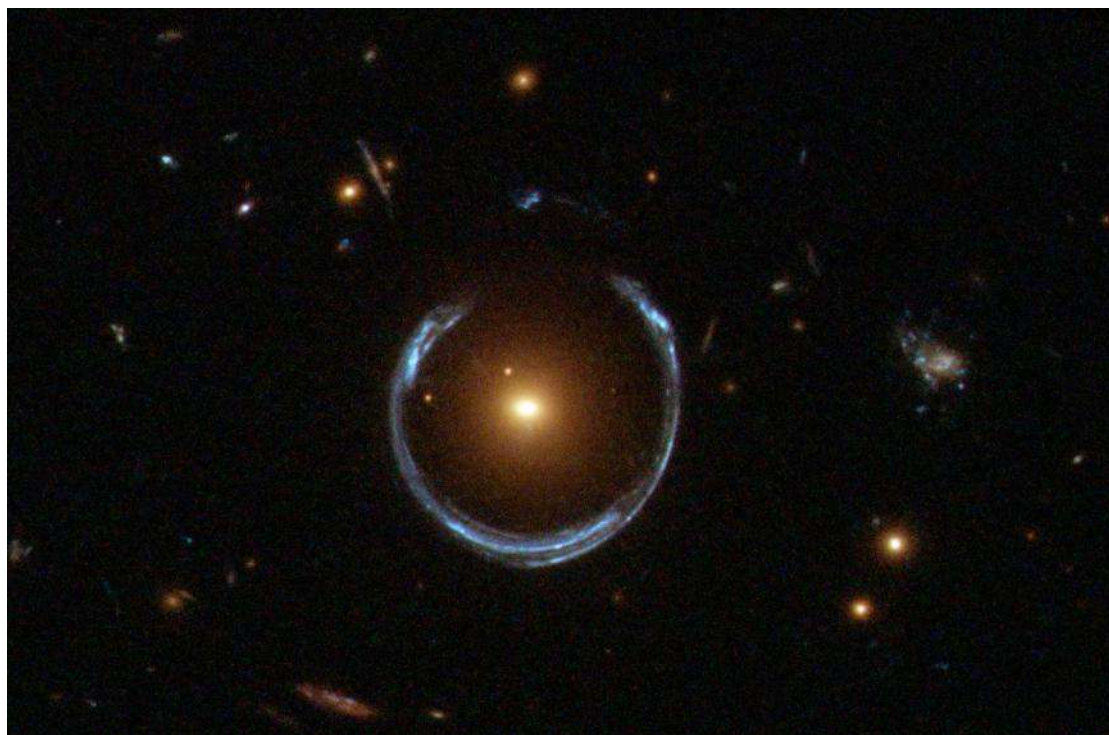
Esto que para mí es solo una posible interpretación de los hechos históricos ocurridos hace más de cinco siglos, vistos desde la perspectiva actual, no sería tan importante para Colón en ese momento de su vida. Por entonces, su cuerpo se encontraba cansado y dolorido por la gota, su ánimo desgastado por la rebelión de los hermanos Porras, capitanes de una de las carabelas varadas en la playa, y su mente ocupada en la defensa que haría de su causa ante los Reyes Católicos, una vez regresara a Castilla.

Dos años más tarde, el 20 de mayo de 1506, moriría en Valladolid, habiendo recibido con mucha devoción todos los sacramentos de la Iglesia y dicho estas últimas palabras: "**In manus tuas, Dómine, commendo spiritum meum**".



MATERIALES PARA ENSEÑAR ON LINE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

Ricardo Moreno



Los videos de NASE on line, aunque están pensadas para los cursos Nase, pueden ser una ayuda para la enseñanza de la astronomía en cualquier ámbito. En este artículo se explican los videos que hay en el Taller que trata sobre la Expansión del Universo y la materia oscura.

Se han impartido por todo el mundo más de 200 cursos NASE de Astronomía para maestros y profesores. Como se explicó en el nº 39 de la revista Nadir, están concebidos con abundantes propuestas de actividades prácticas para hacer con materiales sencillos. Esas actividades se explican y realizan al impartir los Talleres del Curso, con la idea de que los asistentes puedan hacerlas con sus alumnos posteriormente en el aula.

Con la pandemia, esos cursos se siguen realizando en directo, pero con asistencia telemática. Hacer las actividades prácticas delante de una webcam no es fácil, por lo que se han grabado más de 80 videos sencillos que las muestran, y que se proyectan on line durante el curso. La persona que imparte el Taller los comenta durante la proyección, como si estuviera haciendo la actividad, por lo que los videos no tienen audio.

Esos videos están disponibles en el canal de [youtube NASE Virtual](#). Están pensadas para los cursos Nase, cuyo contenido (ppt de los Talleres y Libro del curso completo está en la página [web](#), pueden ser también una ayuda para la enseñanza de la astronomía en cualquier ámbito. En este artículo voy a explicar los videos que hay en el Taller nº 8, que trata sobre la Expansión del Universo y la materia oscura.



Fig. 1 Efecto Doppler

La **primera Actividad** sirve para explicar el efecto Doppler que se produce con el movimiento del emisor (Fig. 1), y que se usa en astronomía al estudiar estrellas dobles o exoplanetas. Ese no es el efecto Doppler que se observa en el alejamiento de las galaxias y en la expansión del Universo, que es debido al estiramiento de los fotones (Fig. 2) al expandirse el espacio en el que viajan, y que se ve en el video de la **Actividad 2**.

Fig. 2 Estiramiento de los fotones

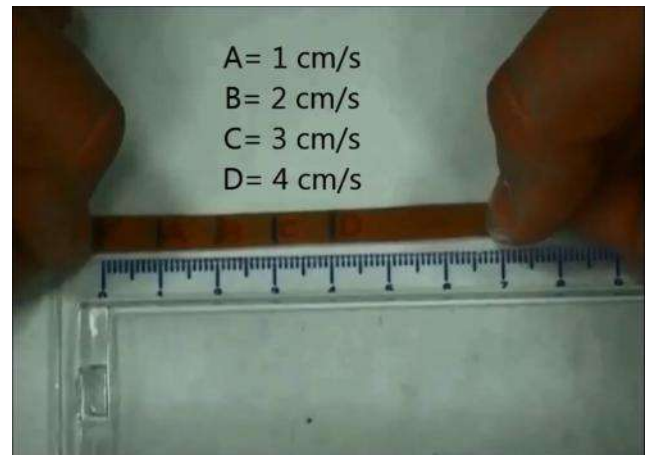
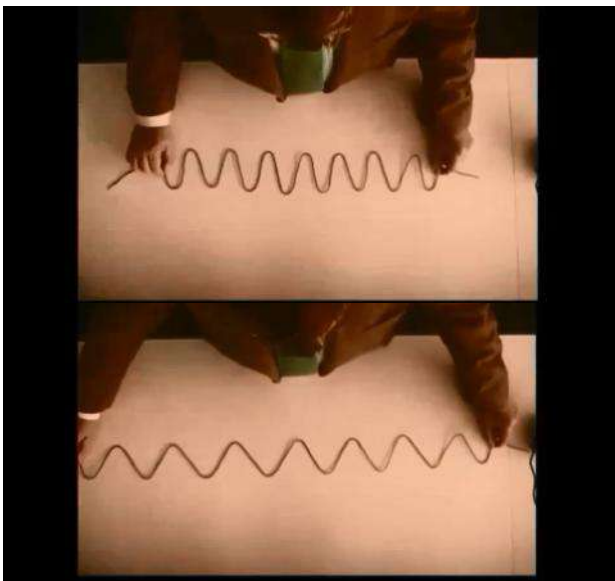


Fig. 3 Expansión en una goma elástica

En la **Actividad nº 3** se muestra el estiramiento de una goma elástica, en la que hemos dibujado galaxias separadas entre sí 1 cm (Fig. 3). Se observa claramente cómo la velocidad con la que se ve alejarse del origen las galaxias es proporcional a la distancia, que es la llamada Ley de Hubble-Lemaître.

El video de la **Actividad 4** es muy conocido, pero no se podía dejar de mostrar: la expansión de la superficie de un globo (Fig. 4). En los comentarios de audio habría que aclarar que es mejor no dibujar las galaxias con rotulador, sino pegar objetos sobre la superficie, pues en el Universo real, las propias galaxias, el interior de las estrellas y de los planetas no se estiran, pues están ligados fuertemente por la gravedad. Sólo se expande el espacio entre las galaxias.



Fig. 4 Expansión de la superficie de un globo

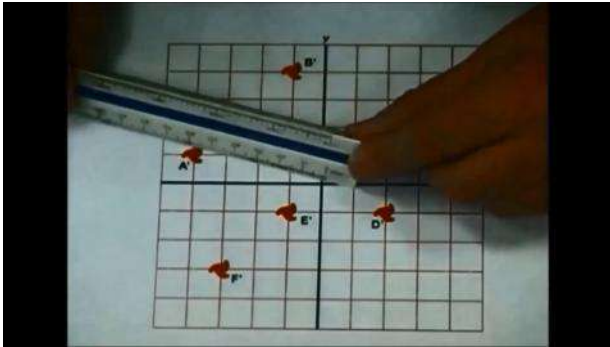


Fig. 5 Cálculo de la constante de Hubble-Lemaître

En la **Actividad nº 5** se hace el cálculo de la constante de Hubble-Lemaître en un universo de papel de dos dimensiones, que se expande durante 10 s. Se miden distancias, (Fig. 5), se calculan velocidades y se halla el cociente entre estas magnitudes, que nos da la constante H en ese modelo de Universo.

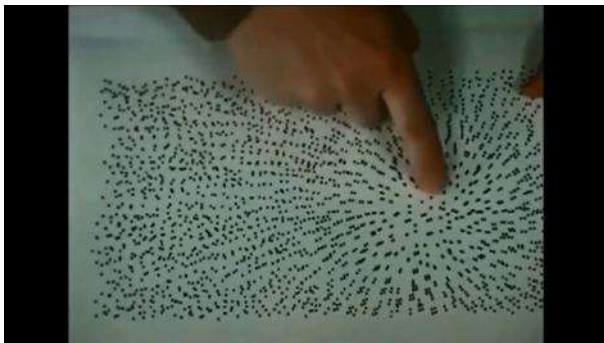


Fig. 6 No somos el centro del Universo

La **Actividad 6** muestra una hoja de papel con un grupo de puntos, que se superpone a una fotocopia ampliada ligeramente, un 105% (Fig. 6). Se ve de forma visual cómo cualquier observador, esté donde esté, ve que todo a su alrededor se aleja, más deprisa cuanto más lejos está el punto de él. Sirve para mostrar que no somos el centro del Universo, aunque observemos que todo se aleja de nosotros.

En la **Actividad 7**, la radiación de fondo de microondas se “ve” en uno de cada diez puntos que hay en una pantalla de TV



Fig. 7 Detección del fondo de microondas con un TV

analógica (cada vez más difícil de conseguir) sin un canal sintonizado (Fig 7).

Por último, las actividades 8 y 9 intentan modelizar las lentes gravitacionales. En la **Actividad 8** se usa el pie de una copa de cristal (Fig. 8), y en la **Actividad 9** una copa



Fig. 8 Simulación de una lente gravitacional con el pie de una copa

de vino ancha, llena con algún líquido oscuro y transparente (mosto, te, coca cola sin gas, etc.). Se mira una pequeña esfera (Fig. 8) o una linterna separada la distancia del diámetro de la copa (Fig 9), y se pueden visualizar imágenes parecidas a la cruz de Einstein (Fig. 10), a los arcos de las lentes gravitacionales (Fig. 11) o a los cúasares múltiples que sirven para estudiar la materia oscura del Universo (Fig. 12).

Espero que encontréis interesante el material, y os pueda ser útil para alguna clase en estos tiempos difíciles.



Fig. 9 Simulación de una lente gravitacional con una copa. La distancia de la linterna debe ser similar el diámetro de la copa.



Fig. 10 Simulación de la Cruz de Einstein.



Fig. 11 Se consigue también simular arcos como los de la foto con la que comienza el artículo.



Fig. 12 Simulación de las imágenes múltiples de un cuásar

Referencias

Web de NASE: <http://sac.csic.es/astrosecundaria/es/Presentacion.php>

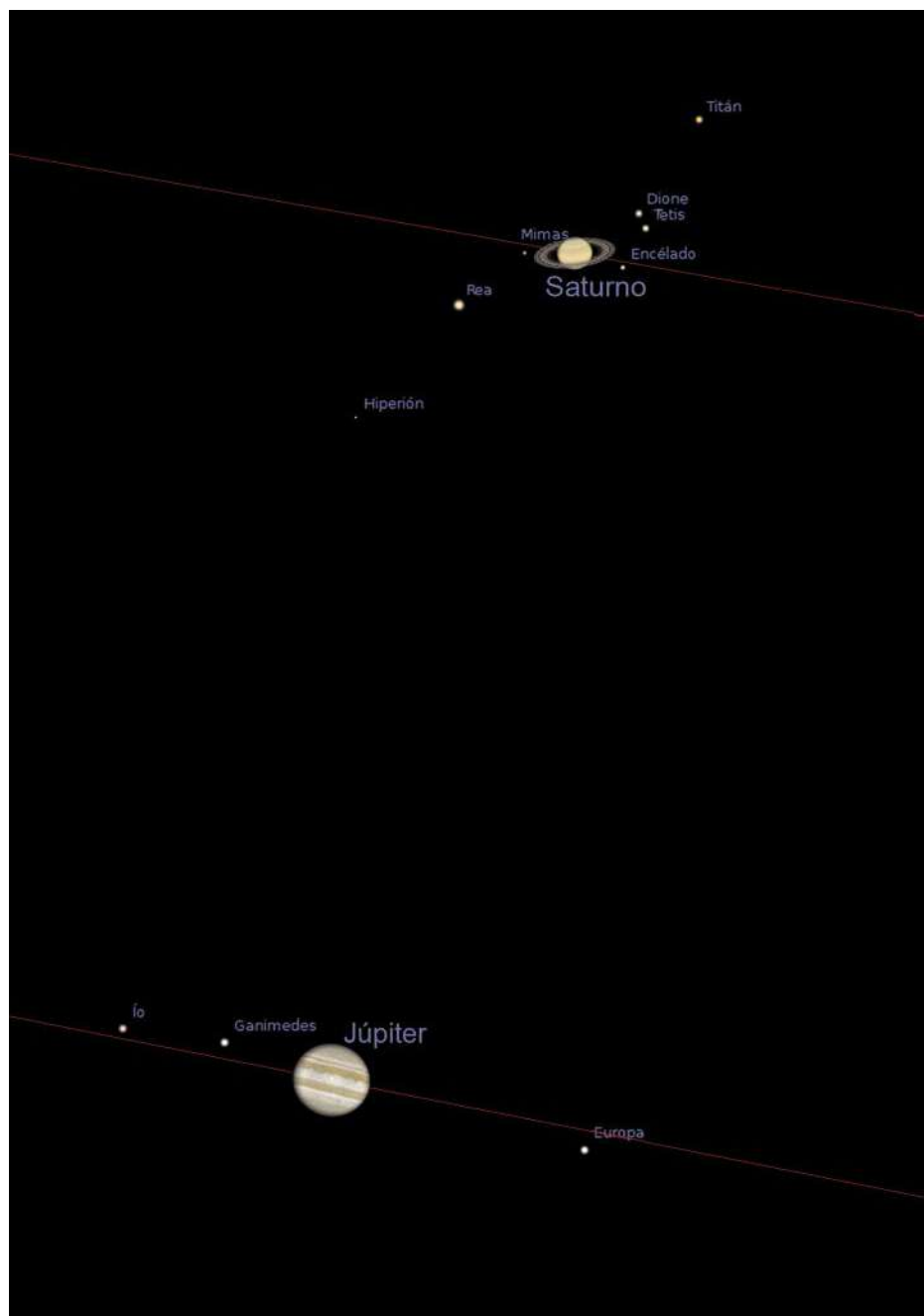
Canal de YouTube de NASE: https://www.youtube.com/channel/UCIhE_31rV-895n_fm069PgA/



UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE LA GRAN CONJUNCIÓN DEL 21 DICIEMBRE DE 2020

Carolina Clavijo Aumont, IES Ítaca (Sevilla)

El 21.XII.2020 se produce en nuestros cielos una esperada conjunción, visible a simple vista desde casi todo el planeta. Presentamos una Unidad Didáctica para hacer con nuestro alumnado, que puede servir también como modelo para otras ocasiones.



LA GRAN CONJUNCIÓN

21 DICIEMBRE DE 2020

RESUMEN

Desde hoy hasta el próximo 21 de diciembre 2020, vamos a estudiar la gran conjunción.

Veremos cómo se mueven los planetas en el cielo, y en concreto cómo Júpiter “se acerca” a Saturno hasta casi taparlo. Esto no volverá a ocurrir hasta dentro de 60 años.

Consejo: Para mirar el cielo nocturno apaga las luces que tengas cerca.

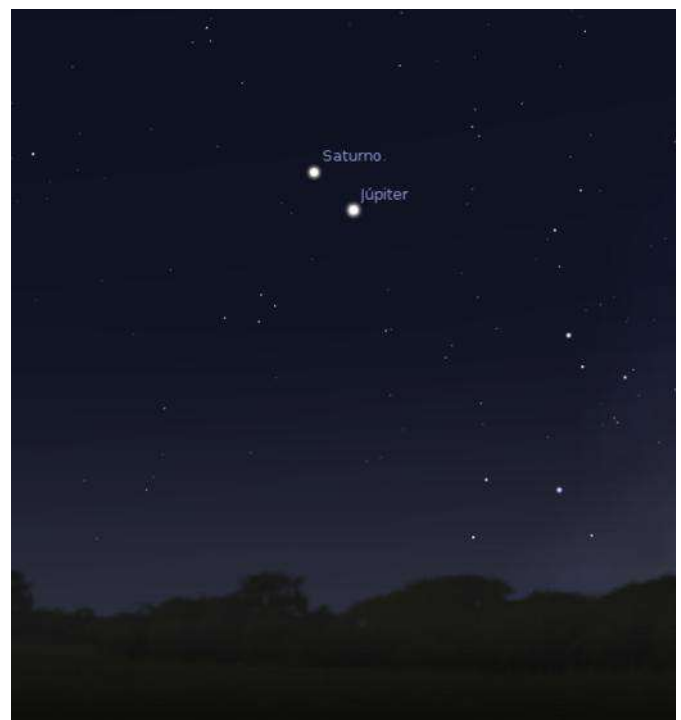
Tiempo asignado: Hasta el 21 diciembre de 2020.

PRODUCTO FINAL

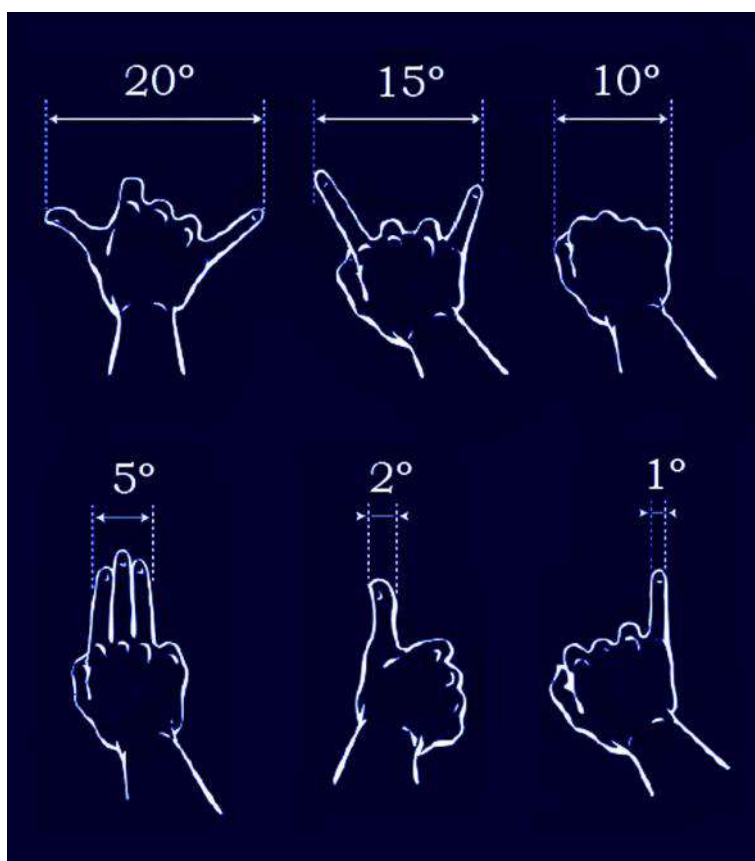
Cada uno deberá hacer un gif con las fotos de la conjunción en el que se aprecie el movimiento de Júpiter hacia Saturno, y un artículo de opinión sobre este fenómeno.

ACTIVIDAD 1: Observación

Durante el tiempo que queda hasta el 21/12/2020, tendrás que fotografiar la posición de los planetas. Mira hacia el sur, y busca los planetas. Recuerda que se mueven rápido y debes mirar a primera hora de la noche. Puedes usar una app para el móvil para localizarlos en el cielo.



Para medir la distancia entre ellos, vamos a usar la mano. Debes colocar tu mano alejada del cuerpo, extenderla y luego guiñando un ojo, comprobar cuántos dedos hay entre los dos planetas.



Mide la distancia entre los planetas cada vez que los fotografías, y rellena la siguiente tabla:

FECHA Y HORA	FOTO	DISTANCIA EN GRADOS

ACTIVIDAD 2: Investiga

Las conjunciones de planetas han sido consideradas a lo largo de la Historia como señales. Vamos a investigar cómo algo tan normal como que los planetas se mueven en el cielo, provoca distintas reacciones.

1. Busca dos momentos en la Historia en los que se habla de conjunciones de planetas y qué significan.
2. Busca noticias sobre la conjunción del próximo día 21.XII.2020, de Júpiter y Saturno, en la web, especialmente aquellas “que presagian cosas”
3. Busca en las redes información sobre la conjunción en ámbitos científicos y no científicos, y haz capturas de pantalla de al menos dos comunicaciones de cada tipo.

ACTIVIDAD 3: Opina

Haz una pequeña encuesta en las redes, en tu perfil pon la noticia sobre la conjunción y pregunta qué opinan sobre este movimiento de planetas.

ACTIVIDAD 4: Analiza

Analiza los planetas Júpiter y Saturno, haz una ficha sobre estos planetas y recuerda extraer información “no copiar información”. Sobre cada planeta debes saber:

- La distancia al Sol y a la Tierra, indicando qué unidad de medida utilizamos.
- La masa del planeta, su radio y el número de satélites que tiene, temperatura en el planeta, presión, duración del año y del día en cada planeta.
- La composición química de la atmósfera, indicando para cada compuesto su fórmula química, su nombre con la nomenclatura química, tipo de enlace químico que tiene la molécula.
- Los colores de la atmósfera y su relación con los compuestos químicos que la forman.

RECURSOS

- NAUKAS: [La gran conjunción del 21 de diciembre de 2020](#)
- Desde el tercer planeta: Una conjunción histórica: [La previa](#). [Segunda parte](#)
- [Stellarium web](#) : estupenda página para simular el movimiento de los planetas.

PRODUCTO FINAL

Crea un gif con las fotos que has obtenido, y haz un artículo sobre el fenómeno.

El artículo debe ser:

- De una página A4, con letra Arial 12.
- Título de la noticia.
- Introducción.
- Desarrollo. Descripción del fenómeno y de los planetas a observar. Aquí debe ir el gif.
- Discusión histórica y actual sobre la conjunción de planetas.
- Conclusión personal: tu opinión sobre la conjunción.

@carolinaciencia



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

