

revista

# NaDiR

Nº 41 IX-2020

BUSCANDO SOLUCIONES  
PARA LA OBSERVACIÓN  
CON TELESCOPIO  
DURANTE EL COVID-19

EMPUJE Y DELTA V

ESTUDIO EXPERIMENTAL  
DE DOS ECLIPSES DE SOL  
DEL SIGLO XXI

EL COMETA C/2020 F3  
NEOWISE,  
PROTAGONISTA DE ESTE  
VERANO

GALERÍA DE FOTOS DEL  
COMETA C/2020 F3  
NEOWISE, TOMADAS  
POR SOCIOS DE ApEA



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

Septiembre 2020

Foto de portada: Maite Muñoz y Esteban Esteban, 14 de julio de 2020, Canon EOS 800D, f10, 2.5s, ISO 6400.

## SUMARIO

### EXPERIENCIAS

BUSCANDO SOLUCIONES PARA LA OBSERVACIÓN CON TELESCOPIO DURANTE EL COVID-19

Ángela del Castillo Alarcos 3

### DIDÁCTICA

EMPUJE Y DELTA V

Ricardo Moreno Luquero 7

### INVESTIGACIÓN CON ALUMNOS

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DOS ECLIPSES DE SOL DEL SIGLO XXI

Anicet Cosialls Manonelles 16

### OBSERVACIÓN

EL COMETA C/2020 F3 NEOWISE, PROTAGONISTA DE ESTE VERANO

Esteban Esteban 22

GALERIA DE FOTOS DEL COMETA C/2020 F3 NEOWISE TOMADAS POR SOCIOS DE ApEA 34

**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.

## BUSCANDO SOLUCIONES PARA LA OBSERVACIÓN CON TELESCOPIO DURANTE EL COVID-19

M<sup>a</sup> Ángela del Castillo Alarcos, [www.escuelacosmofisica.com](http://www.escuelacosmofisica.com)



En la pandemia mundial que nos asola, no es tanto el virus en si, que por supuesto es terrible sino, las consecuencias económicas que esto conlleva en la actualidad y en el futuro en todos los países, especialmente en los más deprimidos.

Todo aquel que ha podido ejercer su trabajo de manera online, ha salido airoso ante estas circunstancias, pero todas aquellas personas que obligatoriamente dependemos de un trabajo presencial, nos hemos visto afectados y mucho en nuestra economía.

En busca de soluciones, al salir del confinamiento, nos pusimos en contacto unos cuantos miembros de observatorios didácticos, planetaristas y asociaciones de Astronomía de España. Nuestra pregunta común era: ¿cómo podemos desarrollar nuestro trabajo sin contaminarse con el virus? Y cada uno aportó su granito de arena.

Para la observación con telescopios, que llevan a cabo empresas de astroturismo, observatorios y asociaciones que realizan actividades de difusión, se planteó desinfectar el ocular del telescopio con cada persona que mirara, pero eso supone demasiada limpieza que va en perjuicio del material de observación, por lo que se planteó forrar con film



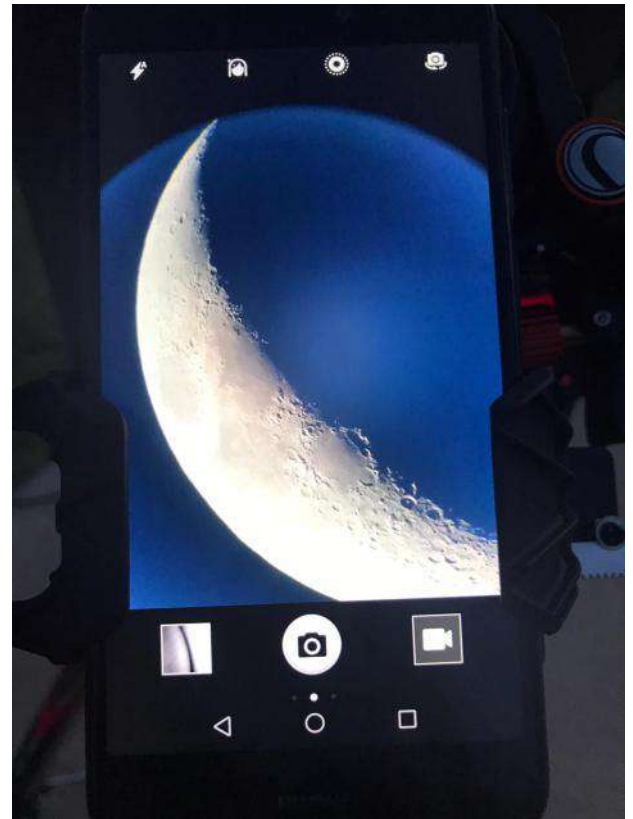


transparente de cocina los oculares y dar a cada familia, grupo de amigos o parejas un ocular forrado para que lo fueran utilizando con cada observación. Naturalmente, la actividad está dirigida a grupos muy reducidos. Otra idea fue meter el ocular en un tubo de PVC utilizado en fontanería y cubrirlo también con film.

La opción con más éxito que se barajó fue la de utilizar aparatos que se adosan al ocular del telescopio para sostener móviles y realizar la observación a través de la pantalla del móvil. Las personas no se acercan a más de 40 o 50 cm del ocular y observan a través de la pantallita. Estos adaptadores, sirven para cualquier tipo de móvil, sólo hay que abrir la función de la cámara y ajustar la imagen. Para la Luna es perfecto, para los planetas hay que oscurecer la luz de la



pantalla del móvil y ampliar con zoom la imagen, pero esta forma de observar objetos no es posible para cielo profundo, porque las galaxias y nebulosas no se distinguen al ser muy poco luminosas, también lo



comprobamos con el cometa Neowise. La opción de utilizar una cámara CCD en el ocular conectado a un ordenador y mirar las imágenes en la pantalla o ampliarlas mediante un vídeo-proyector también nos pareció interesante, muchos observatorios muestran siempre así los objetos celestes... aunque la realidad es que pegar el ojo al ocular directamente, no tiene comparación.

Mi propuesta planteó la idea de utilizar una hoja transparente tamaño A4 de acetato, de las que se utilizan como primera página en las encuadernaciones de gusanillo y se venden en las papelerías. Son esas mismas hojas que utilizan los sanitarios a modo de visera para protegerse. Esa hoja cogida por ambas manos de forma apaisada por la persona, cubre toda la cara del observador, protegiéndose y protegiendo a la vez el ocular y el telescopio.



Se entrega una hoja a cada familia, pareja o persona si viene en solitario es decir, grupos que convivan, así pueden utilizar la misma hoja cada vez que se acerquen al ocular a visualizar los objetos celestes. Para mantener siempre la misma cara del acetato en contacto con la cara del observador y no girarla y así no contaminar el ocular, se escribe en la parte de abajo de la hoja la palabra CARA, con un rotulador permanente. Entonces, la persona tiene que leer correctamente la palabra y sabe que la hoja siempre estará correctamente colocada, protegiéndole. Incluso algunas veces, hemos puesto en el perímetro de la hoja cinta adhesiva plateada a modo de ventana, o solamente en los laterales derecho e izquierdo, donde deben poner las manos para coger la hoja, así el acetato queda más consistente y se ve mejor en la oscuridad durante la observación.

Cuando las familias llevan niños, siempre deben ser mayores de 6 años porque deben utilizar mascarilla, igual que todos los asistentes. Además antes de coger el acetato y dirigirse al telescopio, deben usar gel hidroalcohólico en las manos.



A continuación explicamos que deben coger la hoja solo por los extremos, para mantener limpia la parte central. A modo de broma tras esta indicación les decíamos, sobre todo a los niños... no vaya a ser que nos digáis ¡he visto la huella del astronauta en Júpiter! y allí os aseguro que no llegó ningún astronauta, en realidad es tu huella en el hoja. Los niños si son pequeños, no suelen coger la hoja y pedimos que sean los padres o mayores



que les acompañan quienes sostengan la hoja entre la cara del niño y el ocular, pidiendo que el niño ponga sus manos hacia abajo para no cogerse y tocar el telescopio, cosa muy frecuente cuando observan en condiciones normales.

Una vez acabada la observación, les pedimos que tiren esta hoja al contenedor apropiado de reciclaje o nos la dejen a nosotros para tirarla. Algunas veces nos comentan que podríamos lavarla y dársela a otros, pero no merece la pena, dado que el coste es muy pequeño (100 acetatos cuestan 10 €) y es preferible que los observadores estrenen hoja, sobre todo por higiene. Nosotros somos conscientes que el uso de tanto acetato es en detrimento de la naturaleza, pero es que además, por mucho cuidado que se tenga al lavarlas, suelen rayarse.



Al finalizar la actividad de observación, se desinfectan los oculares y el telescopio antes de guardarlos.

Desde COSMOFISICA este verano, en observaciones públicas para Ayuntamientos o desde la Escuela fija de Ciencias en Titaguas, hemos realizado observaciones con grupos de 20 personas cada hora (22 h, 23 h y 24 h), mostrando la Luna y los planetas Júpiter y Saturno, y en las actividades de las Perseidas incluso el planeta Marte, que se veía de madrugada. Hemos utilizado tanto el adaptador de móviles como los acetatos. El resultado ha sido óptimo y la gente asistente a la actividad se ha visto protegida y nosotros también.





## EMPUJE Y DELTA V

Ricardo Moreno Luquero



Un cohete tiene la misión de dar a una carga útil (un satélite, una nave con astronautas, etc) la velocidad necesaria para ponerla en órbita. Normalmente, una vez allí, debe poder proporcionar un  $\Delta v$  para cambiar de órbita. Vamos a ver cómo funciona un cohete, y haremos algunos ejercicios y cálculos sencillos que pueden servir para clase, con datos reales del Saturno V, que llevó a los astronautas del Apolo a la Luna, y del Falcon 9, de la empresa SpaceX.

Un cohete consta fundamentalmente de un pequeño motor y dos tanques muy grandes: uno de combustible (keroseno, hidrógeno, hidrazina, etc) y otro de comburente (oxígeno líquido u otra sustancia que contenga oxígeno). El conjunto de combustible y comburente se llama propergol o propelente. Si las dos sustancias se inflaman espontáneamente al entrar en contacto, se llama propergol hipergólico. También existen

propelentes sólidos, más baratos, que llevan mezcladas las dos sustancias, y en los que una vez encendido el motor, no hay forma de detener el proceso.

El motor es una pequeña cámara donde se junta el propergol y se convierte en gases a presión que salen por la tobera a gran velocidad. Esa salida de masa produce un empuje en dirección contraria que mueve el cohete.

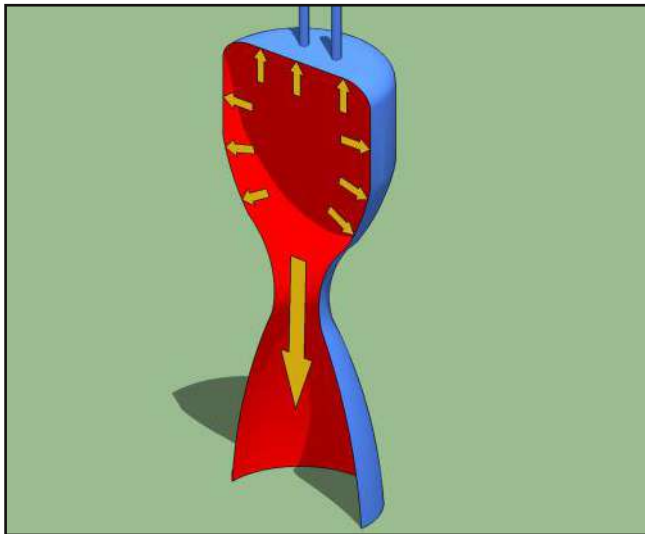


Imagen 1. Esquema de la cámara de combustión, la garganta y la tobera.

Las condiciones físicas dentro de los motores son extremas. Las temperaturas dentro de la cámara de combustión son del orden de  $3000^{\circ}\text{K}$ , y con frecuencia requiere algún tipo de refrigeración para que no se fundan los materiales. Las presiones están entre las 10 y las 200 atmósferas. Sin embargo la boquilla de salida y la tobera se diseñan de tal forma que, según va saliendo el gas, la energía calorífica se convierta en energía cinética. La presión de los gases al final de la tobera debe ser similar a la

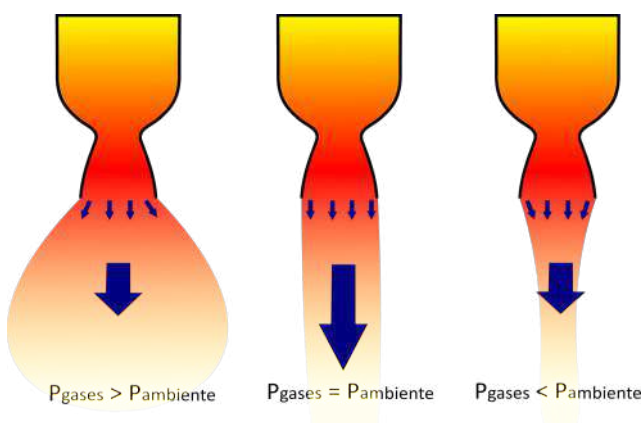


Imagen 2. El diseño de las toberas es importante para aprovechar toda la cantidad de movimiento de los gases y conseguir el máximo empuje (en el centro)

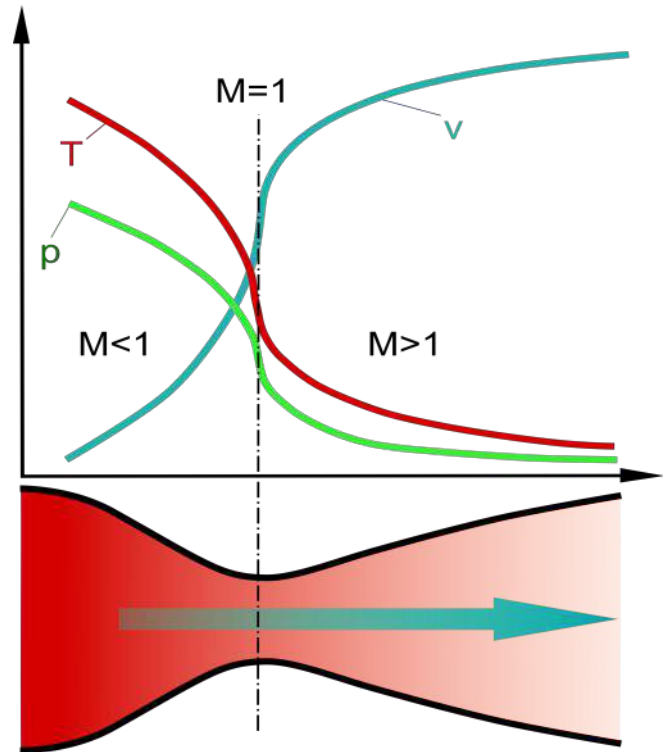


Imagen 3. La tobera más usada es la de Laval<sup>(1)</sup>, que consigue transformar la energía térmica del gas en energía cinética. Obsérvese cómo, según salen los gases, baja su **presión** y su **temperatura**, y aumenta mucho su **velocidad**. Justo al pasar por la garganta, los gases van a la velocidad del sonido,  $Mach = 1$ .

atmósferica, para que toda la cantidad de movimiento de los gases se invierta en empujar al cohete, sin sobrepresión ni subpresión, que disminuyen el rendimiento. La velocidad de salida de los gases es supersónica, del orden de 10 veces la velocidad del sonido.

El empuje es una fuerza que depende tanto de la velocidad  $u$  con la que sale el gas como de la cantidad de masa de gas  $c$  que sale expulsado por segundo. En lugar de la velocidad, a veces se usa el **Impulso específico**, que es la velocidad de salida  $u$  dividida por  $g$  ( $9,8\text{ m/s}^2$ ), por lo que se mide en segundos. Lógicamente, la masa de gas expulsada por segundo es igual a la masa de propergol consumida por segundo. La fuerza de

<sup>1</sup> Gustav de Laval (Suecia, 1845-1913). Ver <https://es.wikipedia.org/wiki/Tobera>



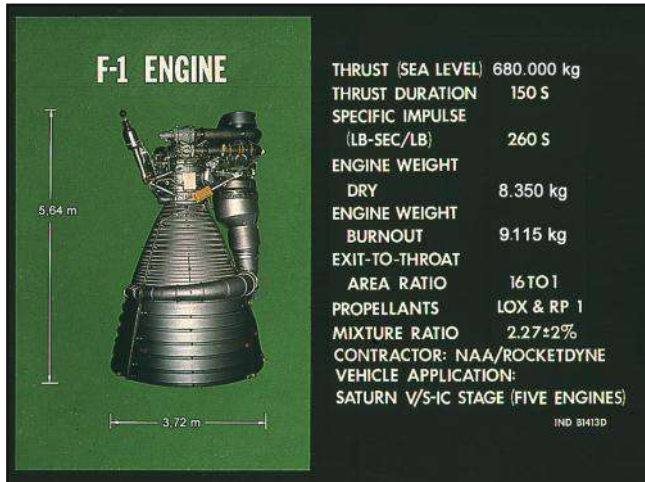


Imagen 4. Motor F-1 que llevaba la primera Fase del Saturno V

empuje medido en newtons es el producto<sup>(2)</sup> de esas dos magnitudes,  $u$  en m/s y  $c$  en kg/s.

$$F_{\text{empuje}} = u \text{ (m/s)} \cdot c \text{ (kg/s)}$$

Al diseñarlos, interesa que esas dos cantidades sean lo más alta posible. Por ejemplo, en los motores F-1 que llevaba el cohete Saturno V, la velocidad de los gases era  $u = 2600$  m/s, y salían  $c = 2615$  kg cada segundo. El producto de estas dos magnitudes nos da el empuje de uno de esos motores:

$$F_{\text{empuje}} = u \cdot c = 2.600 \text{ m/s} \cdot 2.615 \text{ kg/s} = 6,8 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Eso significa que podría levantar un peso de 680 Toneladas. Como el Saturno V pesaba 2.900 Toneladas, llevaba 5 motores F-1.

**Ejemplo 1:** Con los datos anteriores, si la primera fase del Saturno V estuvo encendida 155 s, ¿qué masa de propergol llevaba?

Cada uno de los 5 motores quemaba 2615 kg cada segundo, por tanto:

$$M = 5 \text{ motores} \cdot 2615 \text{ kg/s} \cdot 155 \text{ s} = 2.026.625 \text{ kg}$$

**Ejemplo 2:** El Saturno V medía 110 m, y tenía al lado una torre de lanzamiento del mismo tamaño. Suponiendo, en una primera aproximación, que la masa del cohete era constante durante el despegue, ¿cuánto tardó en dejar la torre atrás?

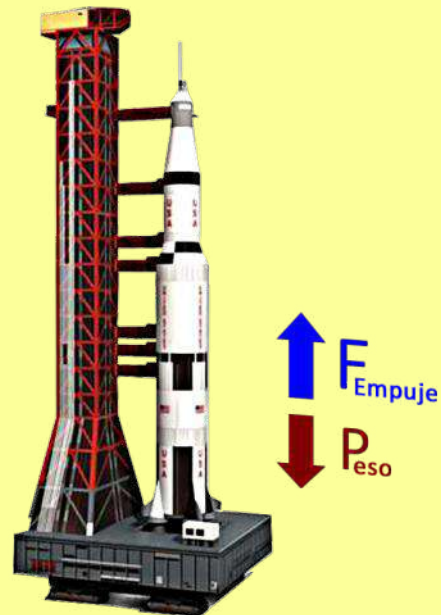


Imagen 5. Fuerzas sobre un cohete

Las fuerzas que actuaban sobre el Saturno eran el peso propio  $P_{\text{eso}}$  y el empuje de los gases  $F_{\text{Empuje}}$ . La masa era de 2.900 Toneladas:

$$F_{\text{Empuje}} = 5 \cdot u \cdot c = 5 \cdot 2.600 \text{ m/s} \cdot 2.615 \text{ kg/s} = 34 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$P_{\text{eso}} = m \cdot g = 2,9 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 29 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Aplicando la segunda Ley de Newton:

$$\sum F = m \cdot a \Rightarrow$$

$$F_{\text{Empuje}} - P_{\text{eso}} = 34 \cdot 10^6 - 29 \cdot 10^6 = 2,9 \cdot 10^6 \cdot a$$

$$a = 1,72 \text{ m/s}^2$$

El espacio recorrido en un movimiento uniformemente acelerado, con velocidad inicial cero, es

$$e = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2e}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 110}{1,72}} = 11,3 \text{ s}$$

<sup>2</sup> La demostración está al final del artículo.

El empuje suele ser más o menos constante mientras haya propergol. En ese tiempo, la masa del cohete, que en su mayor parte es el combustible, va disminuyendo rápidamente (Imagen 6).

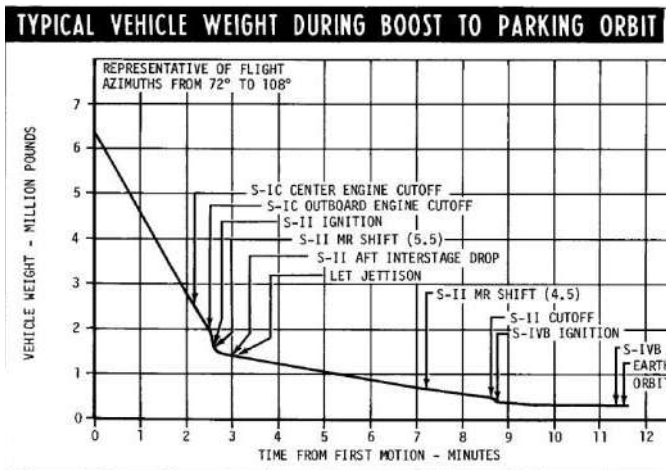


Imagen 6. La disminución del peso del Saturno V en función del tiempo era casi lineal en los primeros minutos. Este gráfico está tomado del Manual de vuelo del Saturno V <sup>(3)</sup>.

Por tanto, mientras que la fuerza de empuje es constante, el peso va disminuyendo y la masa también. Eso hace que la aceleración del cohete

$$a = (F_{\text{empuje}} - P_{\text{eso}}) / m$$

vaya aumentando continuamente (ver Imagen 7), y que la velocidad aumente con mucha rapidez.

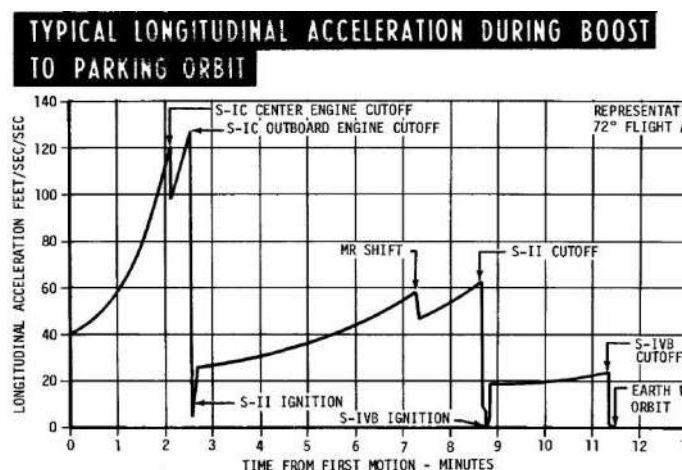


Imagen 7. Aceleración del Saturno V en función del tiempo. Obsérvese lo rápido que aumenta en los primeros minutos. La aceleración inicial es la calculada en el Ejemplo 2, más g. Imagen tomada del Manual de vuelo del Saturno V <sup>(3)</sup>.

## ECUACIÓN DEL COHETE

El incremento de velocidad  $\Delta v$  total que puede proporcionar un cohete depende de su masa inicial (lleno)  $m_i$ , de la masa final (vacío)  $m_f$  y de la velocidad de salida de los gases  $u$ . La relación es la llamada ecuación del cohete o de Tsiolkovski, cuya demostración está al final del texto:

$$\Delta v = u \cdot \ln \frac{m_i}{m_f}$$

Esa relación es correcta si no hay fuerzas exteriores, por ejemplo en un cohete en órbita. Si el cohete está despegando desde la superficie de la Tierra y asciende en vertical, hay que añadirle el efecto de la gravedad que le frena,  $g \cdot \Delta t$ :

$$\Delta v = u \cdot \ln \frac{m_i}{m_f} - g \cdot \Delta t$$

Veamos algunos **ejemplos reales**.

### Ejemplo 3: COHETE SATURNO

El cohete Saturno V se componía de 3 fases, que se iban desechando según se agotaba su combustible. El cohete al principio pesaba 2900 Toneladas.



Imagen 8. Cohete Saturno V, con sus tres fases. Casi todo el volumen lo ocupaba los tanques de fuel o de LOX.

<sup>3</sup> <https://history.nasa.gov/afj/ap08fj/pdf/sa503-flightmanual.pdf>

Según vimos en el **Ejemplo 1** la primera fase quemó 2026 T de propelente. La masa final era 874 T. Los gases salían a 2600 m/s, y funcionaron durante 155 s. Como ascendía en vertical, el  $\Delta v$  teórico que producía esta primera fase fue:

$$\Delta v = 2600 \text{ m/s} \cdot \ln \frac{2900}{874} - 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 155 \text{ s} = 1599 \text{ m/s}$$

Eso sería si hubiese subido siempre vertical, pero en cuanto dejaba la torre atrás, empezaba a inclinarse hasta conseguir ponerse a 25° con la horizontal al final de esta fase. Por tanto, el  $\Delta v$  que producía el cohete actuaba cada vez más sobre la componente horizontal de la velocidad. El cálculo de  $\Delta v$  si el vuelo hubiera sido siempre horizontal, y por tanto sin contar con la gravedad, sería:

$$\Delta v = 2600 \text{ m/s} \cdot \ln \frac{2900}{874} = 3118 \text{ m/s}$$

La realidad es que el  $\Delta v$  conseguido, contando además con el rozamiento del aire, fue intermedio, de 2370 m/s, y la altura en ese momento era de 69 km.

Una vez desechado el tanque vacío de la primera fase, el anillo interfase y la torre de escape, que pesaban 247 Toneladas (no perdamos la cuenta: la masa entonces del cohete era de 627 T), se encendía la segunda fase. Sus 5 motores J-2 eran de 102 Toneladas de empuje cada uno. Esa segunda etapa quemó 409 Toneladas de combustible en algo más de 6 minutos. Los gases salían a 4100 m/s, y el  $\Delta v$  horizontal teórico sería:

$$\Delta v = 4100 \text{ m/s} \cdot \ln \frac{627}{627 - 409} = 4369 \text{ m/s}$$

Sin embargo, el vuelo todavía no era totalmente horizontal, y parte del impulso se seguía usando en compensar la atracción gravitatoria. Por esa razón, el  $\Delta v$  real de esa etapa fue de unos 4200 m/s, que sumados al anterior daban 6570 m/s. La altura en esos

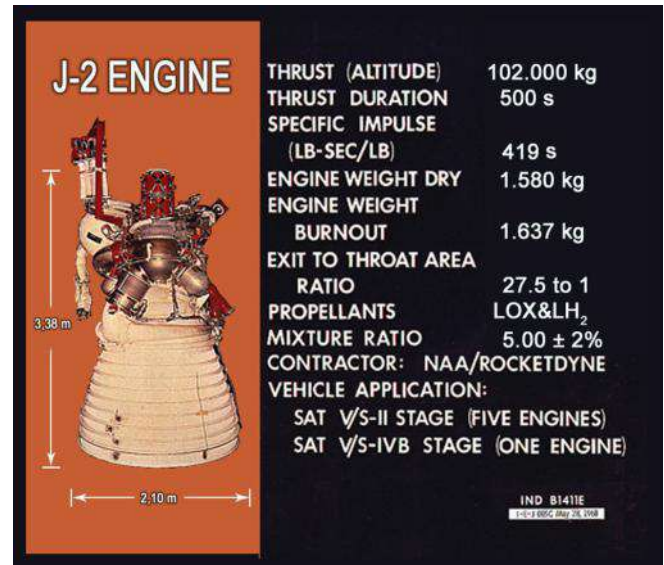


Imagen 9. Datos del motor J-2

momentos era de 176 km, y habían pasado algo más de 9 minutos desde el despegue.

La fase II, ya vacía, se desprendió (45 T menos), y empezó a funcionar la fase III (llamada S-IVB), que disponía de un único motor J-2 similar a los cinco de la fase anterior. El peso del cohete entonces era 171 T. A estas alturas de artículo ya casi somos ingenieros de la NASA, y podemos hacer como **ejercicio**, un cálculo del siguiente tiempo de encendido.

### EJEMPLO 4: FASE S-IVB

Para entrar en órbita se necesitaba llegar a 7386 m/s, por tanto era necesario añadir un  $\Delta v$  de 816 m/s. Según los datos de la Imagen 9, el impulso específico del motor J-2 era de 419 s, que multiplicado por  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  nos da una velocidad de salida de los gases de  $u = 4106 \text{ m/s}$ . Como la Fuerza de empuje (Thrust) era de 1.020.000 N, el consumo  $c$  de combustible era:

$$F_{\text{empuje}} = u \cdot c \Rightarrow c = \frac{1.020.000}{4.106} = 248,4 \text{ kg/s}$$

Aplicando la ecuación del cohete (o de Tsiolkovski), podemos calcular la masa final del

$$\Delta v = 816 = 4106 \cdot \ln \frac{171}{m_f}$$

$$m_f = 140 \text{ T}$$

$$\Delta m = 171 - 140 = 31 \text{ T} = 0,2484 \cdot t \Rightarrow t = 124 \text{ s}$$



cohete y el tiempo de encendido necesario:

Después de dos órbitas alrededor de la Tierra,

$$\Delta v = 4106 \text{ m/s} \cdot \ln \frac{140}{140 - 74} = 3087 \text{ m/s}$$

un segundo encendido de cinco minutos consumió 74 T de propelente, y le dio un  $\Delta v$  de:

La velocidad ya era de 10.473 m/s, necesaria para la LTI: Inyección-Trans-Lunar, o sea, tenían la velocidad de escape de la Tierra, en una trayectoria hacia la Luna.

Se desprendió la tercera etapa y quedaron sólo el Módulo de Mando, el Módulo de Servicio y el Módulo Lunar, que pesaban en total 48 T.

De las 2.900 Toneladas iniciales, sólo el 1,6 % iba camino de la Luna. Y sólo el 0,2 % regresó a la Tierra.

## EJEMPLO 5: COHETE FALCON 9



El cohete Falcon 9, de la empresa SpaceX, tiene dos etapas. En la primera usa 9 cohetes Merlin, que tienen cada uno un Impulso Específico ( $I_e$ ) de 310 s, y un empuje de 840 kN. La segunda etapa usa el mismo motor mejorado para el vacío, el Merlin Vacuum, que tiene un  $I_e$  de 348 s y un empuje de 981 kN.

Los datos que aporta SpaceX<sup>(4)</sup> en el perfil de vuelo hacia una órbita terrestre baja (LEO) son:

Masa total en el despegue = 549 T, la 1ª etapa vacía pesa 45 T, la 2ª etapa, 9 T. La carga útil que

puede llevar es 23 T, más 2 T que pesa la cofia (la envoltura de la carga útil). La primera etapa está funcionando durante 145 s, y la segunda, 358 s.

Con estos datos, podemos calcular la velocidad  $u$  de salida de los gases en el motor Merlin y la cantidad de propelente que consume cada segundo  $c$ :

$$u = 310 \text{ s} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 3038 \text{ m/s}$$

$$E = u \cdot c \Rightarrow 840.000 = 3038 \cdot c \Rightarrow c = 281 \text{ kg/s}$$

Lo mismo en el cohete Merlin Vacuum:

$$u = 348 \text{ s} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 3410 \text{ m/s}$$

$$E = u \cdot c \Rightarrow 981.000 = 3410 \cdot c \Rightarrow c = 287 \text{ kg/s}$$

La primera etapa tiene 9 motores Merlin, y está encendida 145 s, por tanto consume un total de:

$$M_1 = 9 \cdot 281 \text{ kg/s} \cdot 145 \text{ s} = 367 \text{ T}$$

La segunda etapa tiene un solo motor Merlin Vacuum, y está encendida 358 s, luego consume un total de:

$$M_2 = 287 \text{ kg/s} \cdot 358 \text{ s} = 103 \text{ T}$$

$$\Delta v_1 = 3038 \cdot \ln \frac{549}{549 - 367} - \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \cdot 145 \text{ s} = 1933 \text{ m/s}$$

El  $\Delta v$  que proporcionaría la primera etapa, si ascendiera siempre en vertical, venciendo a la gravedad sería:

$$\Delta v_2 = 3038 \cdot \ln \frac{549}{549 - 367} = 3354 \text{ m/s}$$

Pero enseguida empezaba a ponerse horizontal, y solo parte del  $\Delta v$  se empleaba en vencer la gravedad. Si hubiese ido siempre en horizontal el aumento de velocidad hubiera sido:

La velocidad real alcanzada fue intermedia: 2970 m/s.

Al desprenderse la primera etapa, ya vacía, al

<sup>(4)</sup> [https://www.spacex.com/media/falcon\\_users\\_guide\\_042020.pdf](https://www.spacex.com/media/falcon_users_guide_042020.pdf); <https://www.spacex.com/>

cohete le quedaba una masa de: 549 T de origen, menos las 367 T de combustible consumido y los 45 T que pesaba la primera etapa vacía. Total: 137 T.

El motor Merlin Vacuum de la segunda etapa tenía una  $u = 3410 \text{ m/s}$ , una  $c = 287,7 \text{ kg/s}$  y estuvo encendido 358 s, por lo que consumió 103 T de propelente. El  $\Delta v$  que proporcionó fue de:

$$\Delta v_3 = 3410 \cdot \ln \frac{137}{137 - 103} = 4752 \text{ m/s}$$

Que añadida a la anterior, consigue llegar a la velocidad de 7722 m/s necesaria para una órbita a 300 km de la superficie de la Tierra. La segunda etapa vacía (9 T) y la cofia (2 T) se separaron, y quedó en órbita la carga útil de 23 T.



Imagen 10. Motor Merlin, de SpaceX. El Falcon 9 se llama así porque tiene 9 motores como este.

## EJEMPLO 6: CÁPSULA DRAGON



En el caso que la carga útil sea la cápsula Dragon, en viaje a la Estación Espacial Interacional, debe ascender todavía hasta la órbita de 400 km de altura. Para ello usa una órbita de transferencia, y hace una doble maniobra apogeo/perigeo con los motores de la propia cápsula. Lleva 16 motores Draco, cada uno con un empuje de 400 N y un  $I_e$  de 300 s, que equivale a una  $u = 2940 \text{ m/s}$  y una  $c$  de 0,136 kg/s. En el perigeo, a 300 km de altura, necesita adquirir un  $\Delta v$  de 28,6 m/s que le ponga en una órbita elíptica con un apogeo a 400 km de altura. Allí

llega con una velocidad de 7636 m/s, y necesita otro  $\Delta v$  de 28,6 m/s para conseguir la velocidad de 7664 m/s de la órbita circular a 400 km de altura.

Según SpaceX<sup>5</sup>, la masa de la cápsula es de 6000 kg. En cada uno de esos dos  $\Delta v$ , el consumo de combustible de los 16 motores es:

$$\Delta v = 28,6 \text{ m/s} = 2940 \cdot \ln \frac{6000}{6000 - x} \Rightarrow x = 59 \text{ kg}$$

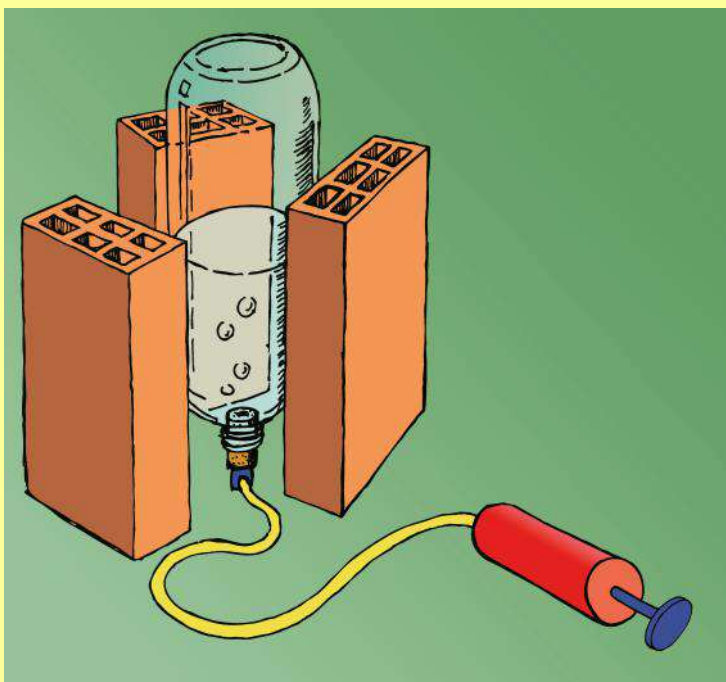
Como son 16 motores, y cada uno consume 0,136 kg cada segundo, hace falta encenderlos durante:

$$59 \text{ kg} = 16 \cdot 0,136 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot t \Rightarrow t = 27 \text{ s}$$

<sup>(5)</sup> <https://www.spacex.com/>

**EJEMPLO 7: APLICACIÓN AL COHETE DE AGUA**

Como actividad con alumnos se puede hacer el conocido cohete de agua, con una botella de 2 litros de plástico llena con agua hasta la mitad. Se tapa con un tapón de corcho o de goma, con un agujero por donde se conecta una bomba de inflar ruedas de bicicletas. Se coloca en el suelo con la boca hacia abajo con la ayuda de tres ladrillos verticales a su alrededor. Se va metiendo aire en su interior, hasta que él solo se destapa por la presión interior. Entonces sale el agua a gran velocidad e impulsa al cohete hacia arriba. Hay distintos prototipos más o menos aerodinámicos, con un peso en la punta para desplazar el centro de gravedad y conseguir que vaya sin girar, etc. Existen muchos tutoriales en internet sobre cómo hacerlo.



Hagamos algunos cálculos aproximados, aplicando la ecuación del cohete. Una botella vacía de 2 l, con alerones, pesa unos 100 g. Llena hasta la mitad de agua pesará 1000 g más. Según algunos estudios<sup>6</sup>, el agua sale en unos 0,2 s. Si la boca tiene un área de 5 cm<sup>2</sup>, la velocidad de salida es de  $u = 10$  m/s, y la  $c = 1$  kg/0,2 s = 5 kg/s.

Aplicando la ecuación del cohete, con g:

$$\Delta v = 10 \cdot \ln \frac{1100}{100} - 9,8 \cdot 0,2 = 22 \text{ m/s}$$

Y el cohete tendría un empuje de:

$$F_{\text{Empuje}} = 10 \cdot 5 = 50 \text{ N}$$

<sup>6</sup>. C. J. Gomme, A more thorough analysis of water rockets: moist adiabats, transient flows, and inertial forces in a soda bottle, American Journal of Physics 78, 236 (2010).



## IMPULSO DE UN COHETE

Si un cohete expulsa una pequeña cantidad de su masa  $dm$  por la tobera a una velocidad  $u$ , pierde una cantidad de movimiento  $\Delta P$  de:



$$\Delta P = u \cdot dm$$



Si dividimos por  $dt$ , tenemos la variación temporal de la cantidad de movimiento, que la segunda ley de Newton nos dice que es la fuerza con la que se expulsan los gases.

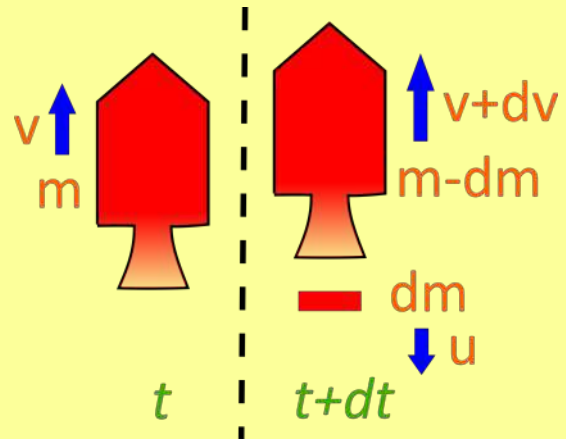
$$\frac{\Delta P}{dt} = u \cdot \frac{dm}{dt}$$

La variación temporal de la masa expulsada es lo que hemos llamado  $c$ , igual al consumo de combustible por segundo. Y por la tercera ley de Newton, esa fuerza de los gases es igual y contraria a la que sufre el cohete, llamada empuje.

$$F_{\text{empuje}} = u \text{ (m/s)} \cdot c \text{ (kg/s)}$$

## ECUACIÓN DEL COHETE

También llamada de Tsiolkovski. Tomamos un marco de referencia fijo al suelo. En un tiempo  $t$ , el cohete tiene una masa  $m$ , y una velocidad  $v$ . Un instante después  $dt$ , el cohete ha expulsado un  $dm$  con una velocidad respecto del cohete de  $u$ . El cohete aumenta su velocidad en  $dv$  y ha disminuido su masa en  $dm$ . Como no hay fuerzas exteriores, el momento lineal total antes y después de ese  $dt$  se conserva:



$$\begin{aligned} v \cdot m &= (v + dv) \cdot (m - dm) + (v - u) \cdot dm \\ v \cdot m &= v \cdot m - v \cdot dm + m \cdot dv - dv \cdot dm + v \cdot dm - u \cdot dm \\ 0 &= m \cdot dv - u \cdot dm \\ dv &= u \cdot \frac{dm}{m} \end{aligned}$$

Integrando entre un tiempo inicial y uno final, y teniendo en cuenta que la  $u$  es constante:

$$\int_{v_i}^{v_f} dv = u \cdot \int_{m_i}^{m_f} \frac{dm}{m}$$

En la integral definida de la derecha,  $m_i$  (límite de abajo) es mayor que  $m_f$  (límite de arriba), es decir, los infinitos  $dm$  que hay que sumar a  $m_i$  para llegar a  $m_f$  son negativos, por lo que la integral definida (el área) es negativa:

$$v_f - v_i = -u \cdot \ln \frac{m_f}{m_i} = u \cdot \ln \frac{m_i}{m_f}$$

O sea, la ecuación queda:

$$\Delta v = u \cdot \ln \frac{m_i}{m_f}$$

Si el cohete asciende en vertical en presencia de la gravedad (constante), habría que añadirle el término  $-gt$ :

$$\Delta v = u \cdot \ln \frac{m_i}{m_f} - gt$$

## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DOS ECLIPSES DE SOL DEL SIGLO XXI

Anicet Cosials Manonelles, Institut Guindàvols, Lleida, anicetc@gmail.com



En este artículo se comparan las características principales de los eclipses de Sol observados desde Lleida que tuvieron lugar el 3/10/2005 y el 20/3/2015: duración, hora de máxima ocultación, etc. Se han estudiado experimentalmente los cambios meteorológicos durante el eclipse: el descenso de la temperatura, la disminución de la intensidad de luz, el aumento de la humedad relativa del aire, cambios en la velocidad del viento. Este estudio, hecho por los alumnos Núria Babot, Guillem Serradó y Alba Ganau (foto superior) es continuación de otro que iniciaron las alumnas Alcía Tiffón, Violeta Porta y Aïda Pallàs (foto inferior). Los dos trabajos tuvieron un reconocimiento en los premios Catch a Star (2005 y 2015) <sup>(1)</sup>.

<sup>1</sup> <https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/cas/cas2005/winners/cas2005-023/>

<sup>2</sup> Esteban, Esteban (2014): "El globo terráqueo, una bola casi mágica", *Publicaciones ApEA* nº 28, disponible en [este enlace](#).

## INFORMACIÓN DE LOS ECLIPSES ESTUDIADOS

### 1. ECLIPSE ANULAR 03/10/2005

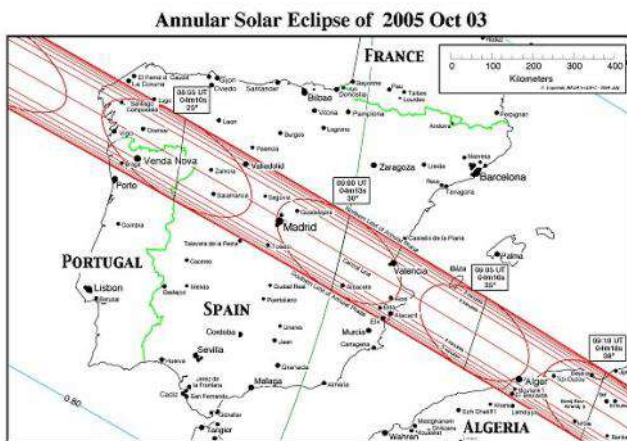


Imagen 1. Zonas de la península desde donde el eclipse anular fue visible

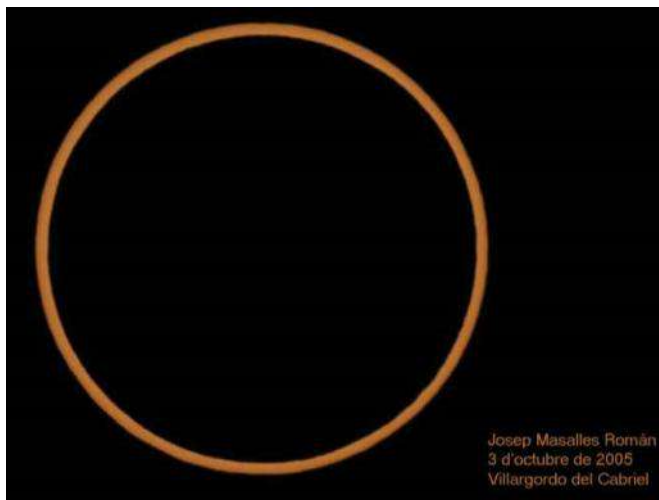


Imagen 2. Eclipse anular de Sol. Este eclipse destacó especialmente, pues pudo ser visto en su mayor magnitud des de la parte central de la Península Ibérica, aunque des del instituto Guindávols de Lleida no se observó en su forma anular. Foto cedida por Josep Masalles y realizada desde Villagordo del Cabriel el 3 de octubre de 2005.

### 2. ECLIPSE PARCIAL 20/03/2015



Imagen 3. Eclipse de Sol visto desde el Instituto Guindávols de Lleida.

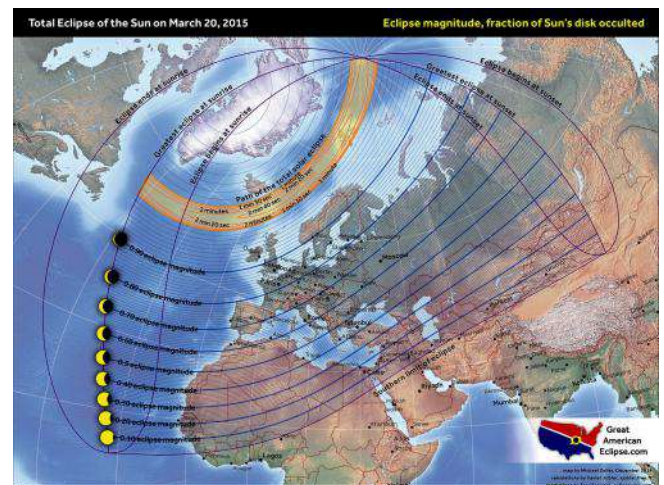


Imagen 4. Zonas desde donde el eclipse pudo observarse como "total" (área anaranjada). Fuente: [http://www.osae.info/saros/2015/2015\\_Stereographic\\_Magnitu\\_de\\_michael\\_zeiler.jpg](http://www.osae.info/saros/2015/2015_Stereographic_Magnitu_de_michael_zeiler.jpg)



Imagen 5. Fotografía del Sol durante el eclipse parcial del 20/03/2015, cedida por Josep X. Franch Peñas. El día estuvo muy nublado y fue difícil obtener imágenes de calidad



## CAMBIOS METEOROLÓGICOS DURANTE EL ECLIPSE

Para poder registrar los cambios atmosféricos pertinentes, decidimos hacer un diseño experimental para el día del eclipse. De esa forma podríamos comparar nuestros datos con los obtenidos del eclipse de 2005 por exalumnas del instituto.

Nuestro experimento consistió en colocar cuatro sensores (luz, temperatura, humedad y presión) en un lugar donde se pudiera apreciar plenamente el eclipse. Estos, están conectados a una consola “MultiLog Pro”<sup>{3}</sup>, que actúa como un sistema de adquisición de datos que se almacenan en su memoria. Posteriormente, se conecta la consola a un PC para descargar los datos. Esto se consigue con el programa “MultiLab”<sup>{4}</sup>

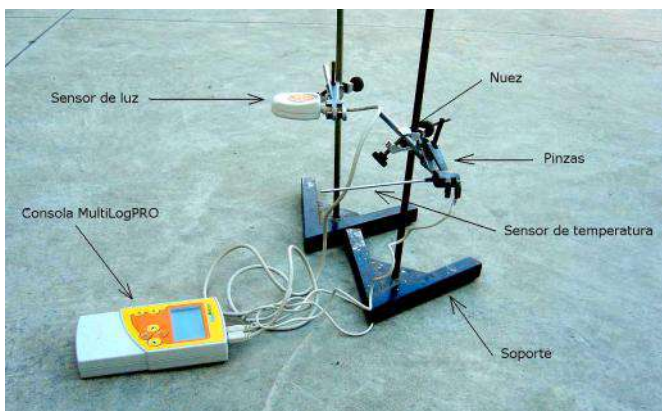


Imagen 6. Visión final de la preparación y colocación de sensores en la terraza del Institut Guindàvols, desde donde tomamos la mayoría de los datos mencionados en este trabajo.

No disponíamos de un sensor de velocidad del viento. Por lo tanto, tuvimos que pedir esos datos a la Estación Meteorológica de Lleida, situada en el campus universitario de Agrónomos.

El material que usamos fue un Ordenador portátil, el Programa “MultiLab” y una consola “MultiLog Pro”, Sensores de presión, luz, humedad y temperatura, gafas especiales para ver el eclipse, y soportes con nueces y pinzas, para sostener los sensores.



Imagen 7. MultiLog Pro.

Para sujetar los sensores, hace falta una nuez y unas pinzas cogidas por un soporte, como se indica en la imagen 13. Se conectan los cuatro sensores a la consola y se pone en marcha el programa MultiLab, seleccionando el método de captura, en este caso, 1 muestra cada 10 segundos. Se empiezan a almacenar datos al inicio del eclipse y se para cuando éste haya finalizado. Se descargan los datos en el ordenador a través del programa “Multilab” para poder trabajar con ellos posteriormente.

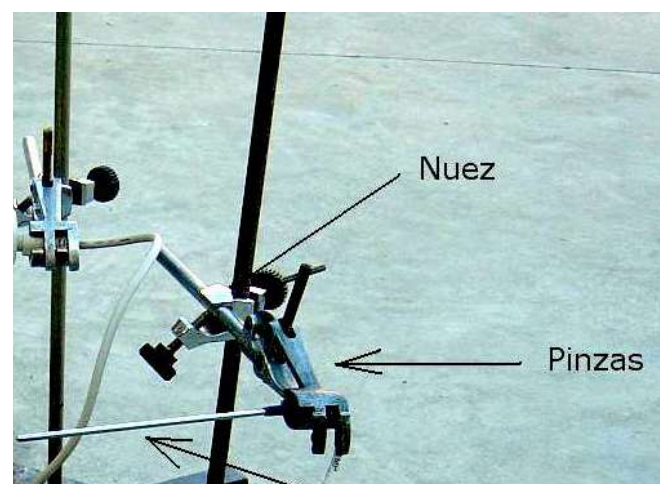


Imagen 8. Nuez y pinzas

<sup>{3}</sup>. MultiLog Pro. Consultado el 22/05/2020. Disponible en <http://fourieredu.com/store/products/multilogpro/#.VVUBzPntmko>

<sup>{4}</sup>. MultiLab: Consultado el 22/05/2020. Disponible en <http://fourieredu.com/store/products/multilab4/#.VVYZY0YgHYg>

## RESULTADOS OBTENIDOS

### 1. ECLIPSE ANULAR 03/10/2005 (LLEIDA)

#### Intensidad de luz y temperatura

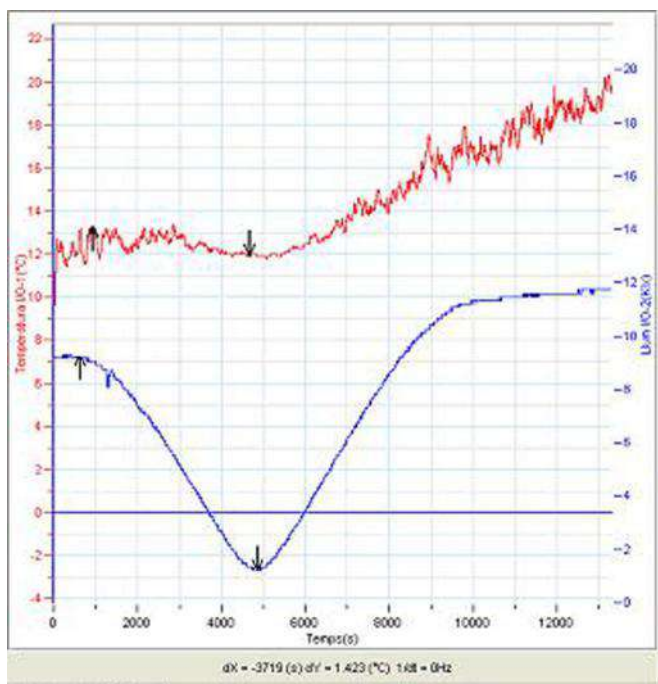


Imagen 9. Gráfico de la variación temporal de la temperatura (°C en rojo) y de la intensidad de luz (klx en azul)

Intensidad máxima de luz	9,315 klx
Intensidad mínima de luz	1,215 klx
Disminución de la intensidad de luz (%)	87%
Duración del eclipse	9500 s = 2 h 38 m
Temperatura máxima	13,3 °C
Temperatura mínima	11,79 °C
Disminución de temperatura	1,12 °C

Se observa que los puntos mínimos de temperatura y de intensidad de luz coinciden en el tiempo. La intensidad de luz disminuye en un 87%, mientras que el descenso de temperatura fue de 1,1 °C

#### Humedad relativa del aire

Al producirse un descenso en la temperatura, es lógico pensar que la humedad sufriera una subida, pues estos dos factores acostumbran a ir muy relacionados.

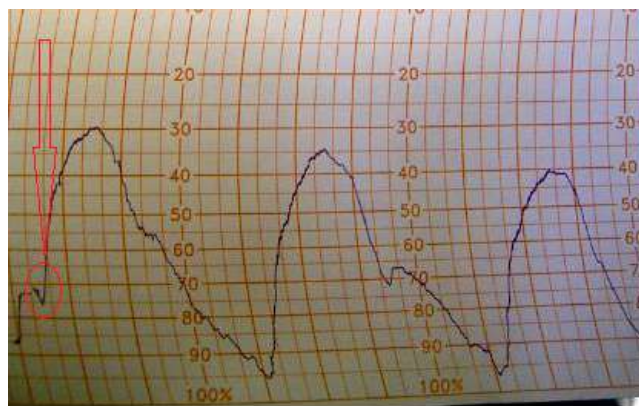


Imagen 10. Gráfico de la evolución de la humedad relativa del aire durante el día del eclipse proporcionado por la Estación Meteorológica de Lleida. Se observa que durante el eclipse (a la izquierda en rojo) se produce un aumento de la humedad relativa del aire, pasando del 70 % al 75 %.

#### Velocidad del viento

Se observa que durante el eclipse hubo un descenso neto de la velocidad del viento. (Imagen 11).

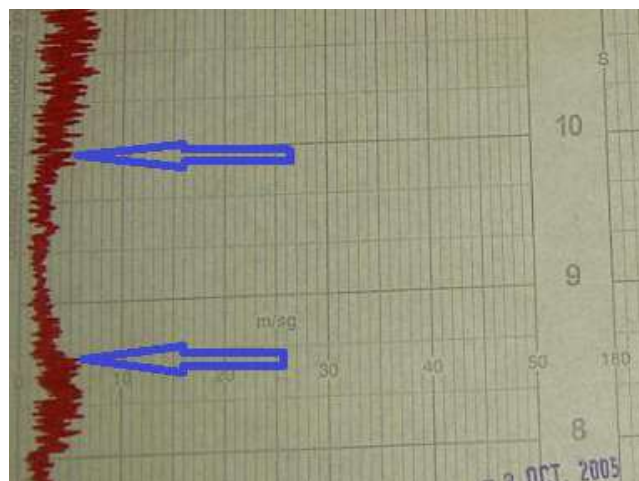


Imagen 11: Gráfico de la velocidad del viento, proporcionado por la Estación Meteorológica de Lleida. Se observa que entre las ocho y las diez de la mañana (periodo en el que se produjo el eclipse) se produce una disminución de la velocidad del viento, pasando de 5 m/s a 2,5 m/s



## 2. ECLIPSE PARCIAL 20/03/2015 (LLEIDA)

### Intensidad de luz y temperatura

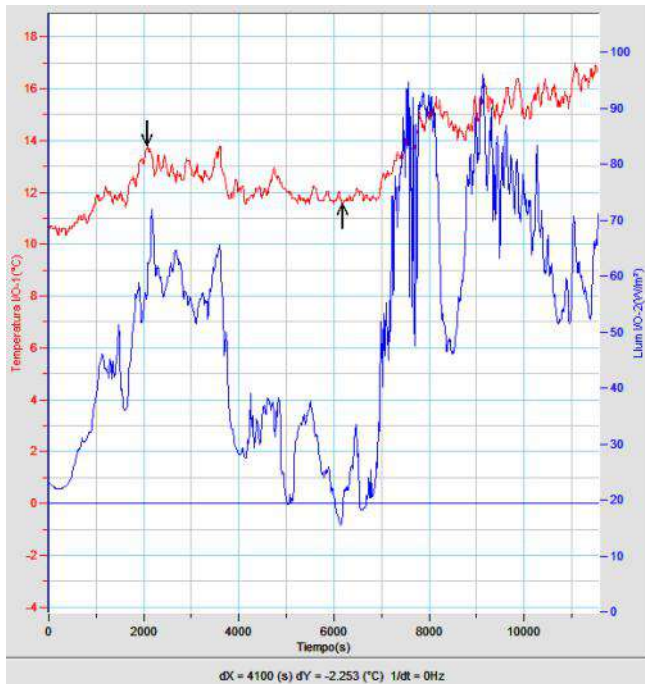


Imagen 12. Gráficos temperatura (°C en rojo) e Intensidad de luz (W/m<sup>2</sup> en azul). Hubo nubes durante el eclipse, que se traduce en la aparición de picos en el gráfico, lo que provoca que las curvas del gráfico no tengan una tendencia definida, por lo que no puede hacerse una estimación de la duración del eclipse. Sin embargo, puede observarse que el mínimo de temperatura y de intensidad de luz se produjo en el mismo instante. El descenso de temperatura fue de 2,3 °C. La intensidad de luz al inicio del eclipse fue de 72 W/m<sup>2</sup> y fue disminuyendo hasta 15 W/m<sup>2</sup> en el momento de máxima ocultación.

### Humedad relativa del aire

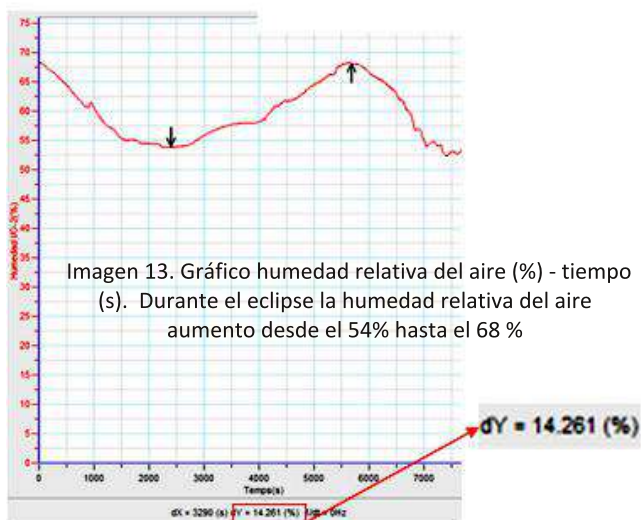


Imagen 13. Gráfico humedad relativa del aire (%) - tiempo (s). Durante el eclipse la humedad relativa del aire aumento desde el 54% hasta el 68 %

### Presión atmosférica

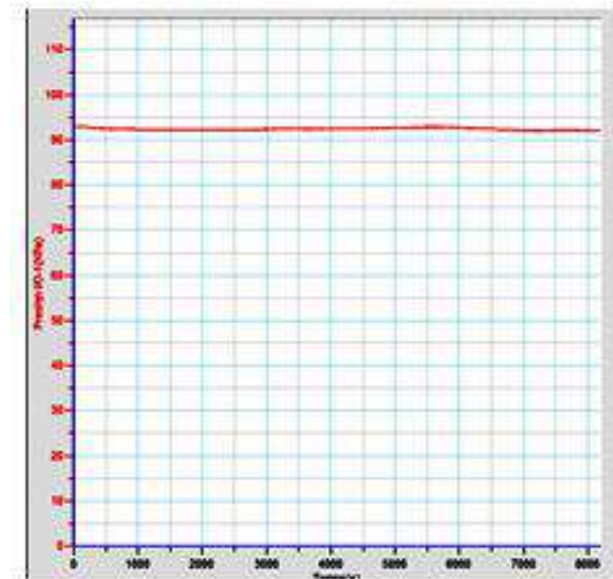


Imagen 14. La presión atmosférica (kPa) no cambió en absoluto durante el eclipse, por lo que podemos concluir que no se ve implicada en el eclipse.

### Velocidad del viento (VV) y dirección del viento (DV)

Los datos correspondientes a la velocidad del viento y la dirección fueron facilitados por la Estación Meteorológica de Lleida y están reflejados en la siguiente tabla:

Hora	VV (m/s)	DV (°)
7	0,4	189
8	1,8	267
9	1,2	285
10	0,9	195
11	2,1	210
12	2,2	203
13	1,9	190
14	2,2	198
15	2	229



Se observa que en la hora central del eclipse hubo un descenso en la velocidad del viento. Es difícil hacer una valoración en cuanto a la dirección de viento, pues éste acostumbra a ser racheado.

## CONCLUSIONES

Durante el eclipse del 3/10/2005, la intensidad de luz disminuyó un 87 %, la temperatura descendió aproximadamente 1,1 °C, la humedad relativa del aire sufrió un aumento repentino (del 70% al 75%) y la velocidad del viento se ralentizó de 5m/s a 2,5 m/s.

Durante el eclipse del 20/03/2015, la intensidad de luz disminuyó un 74,49 %, la

temperatura descendió 2,3 °C, la humedad relativa del aire aumentó un 20,97 % y la velocidad del viento se ralentizó, aunque la presión se mantuvo (signo de que no se ve afectada por el eclipse).

Se observa que en ambos eclipses la temperatura, la intensidad de luz y la velocidad del viento disminuye, mientras que la humedad relativa del aire aumenta. En el eclipse del 2005, la intensidad de luz sufre una caída más profunda que en el del 2015, ya que hubo un porcentaje de ocultación del Sol más elevado. Sin embargo, con la temperatura pasa lo contrario, pues en 2015 bajó más.



## EL COMETA C/2020 F3 NEOWISE, PROTAGONISTA DE ESTE VERANO

Esteban Esteban



El pasado mes de julio de 2020 el cielo nos regaló un espectáculo inesperado, con la visita de un espléndido cometa observable a simple vista. Sin duda puede ser una fuente de motivación para nuestro alumnado porque será la primera vez en su vida que hayan visto, o al menos les hayan llegado noticias con imágenes en los medios casi en directo, de que en el cielo podía verse uno de esos astros de los que ellos y ellas solo conocían por referencias o ilustraciones de tiempos pasados.

### Esos extraños astros llamados cometas

La llegada del NEOWISE puede utilizarse en el aula como elemento motivador o foco temático para el desarrollo de algún proyecto didáctico.

Podría aprovecharse esta circunstancia para hablar de los cometas, esos astros tan

especiales y a la vez tan desconocidos. De su origen, su súbita aparición y su extraño comportamiento que contrasta con los movimientos predecibles e inmutables de la mayoría de los astros, e incluso de sus consecuencias en forma de lluvias de estrellas.

Quizás, antes incluso de sugerirles o aportarles materiales para documentarse sobre el tema convendría aclarar los

frecuentes errores en las ideas previas que suele haber en este tema, recogidos incluso en películas, relatos o cómics: Que los cometas no son de fuego, sino de hielo. Que la mayoría no vuelven periódicamente. Que todos los años se descubren centenares de nuevos y débiles cometas que ni siquiera llegan a desarrollar una cola. Que no pasan, sino que se les puede ver en el cielo casi inmóviles como la Luna o las estrellas desplazándose solo levemente de un día a otro sobre el fondo de las constelaciones. Que la cola no la van dejando por detrás debido a su movimiento, sino que a veces puede estar en dirección perpendicular a la trayectoria o incluso viajar por delante del cometa cuando éste se aleja del Sol.



Figura 1: A mediados de julio el cometa NEOWISE se movía casi perpendicular a la dirección de su cola, o incluso ésta ligeramente hacia adelante, y se desplazaba menos de 2º de un día a otro sobre el fondo estrellado.

Pero sin duda, la principal motivación surgirá si les hablamos del cometa NEOWISE y les mostramos algunas de las muchas y bellas imágenes que su aparición durante el pasado mes de julio ha producido.



Figura 2: Los 3 cometas más espectaculares en el hemisferio norte de las últimas décadas, mucho más que el famoso Halley. Hubo otro más brillante en 2007, el Mc Naught, pero exceptuando breves momentos en que se vio con dificultad cerca del crepúsculo vespertino, solo dio espectáculo en el hemisferio sur.

Este artículo no pretende ser una guía didáctica, sino más bien una crónica de los acontecimientos que rodearon al espectáculo que nos dio este astro, con explicaciones técnicas para quien esté interesado en profundizar y que en algún caso puedan servir también para aclarar dudas que pudieran surgir en el aula.

### El cometa de este verano de 2020

Después de una larga espera de 23 años, y de manera imprevista, hemos tenido un cometa fácilmente observable a simple vista y que ha dado imágenes tan espectaculares que algunos ya le califican como “El gran cometa de 2020”, añadiéndolo a la lista de aquellos que quedaron para el recuerdo grabados en la retina y luego en la memoria de los observadores, como el Yakutake o el Hale-Bopp que adornaron nuestros cielos en la última década del pasado siglo.

Sin ninguna duda el NEOWISE ha sido el cometa más fotografiado de la historia y sus imágenes se han difundido por los medios y redes sociales de manera profusa. Por supuesto no ha superado en ningún otro aspecto al mencionado Hale-Bopp, el cometa de los records, pero en aquella época no existían los medios de difusión actuales.

Ya su nombre nos indica que algo importante ha cambiado en estas 2 décadas. Si los dos anteriores mencionados llevaban el nombre de sus descubridores, como era de rigor según la



norma establecida para nombrar a este tipo de astros, no pasarán a la historia las personas que se percataron de la existencia de éste porque la denominación se toma del instrumento que les proporcionó los datos, en este caso el telescopio espacial NEOWISE, según la costumbre actual ya que ahora son muy pocos los cometas descubiertos a partir de observaciones personales de algún astrónomo.

C/2020 F3 se descubrió el 27 de marzo de este año, ya en plena pandemia y, como su denominación técnica indica, fue el tercer cometa encontrado y confirmado en la segunda quincena de ese mes. (la letra que sigue al año indica la quincena por orden correlativo del abecedario y por ello en este caso la F es la sexta quincena del presente año).

## Un astro que no prometía demasiado

Es muy curioso que en aquellos momentos apenas nadie habló de él, a pesar de que con los datos astrométricos de sucesivas observaciones se pudo trazar con bastante precisión su trayectoria futura y obtener una buena

aproximación de los de datos orbitales. Pero había otros cometas aparentemente más prometedores.

Su órbita era muy excéntrica, en el límite entre una elipse y una parábola, como se explica más adelante, y el plano orbital estaba muy inclinado respecto a la eclíptica. Concretamente  $128^\circ$ , que al ser un ángulo mayor de  $90^\circ$  significa que el cometa viene en sentido retrógrado, el contrario al movimiento de la Tierra, y la inclinación real entre los dos planos orbitales es de  $52^\circ$  ( $180^\circ - 128^\circ$ ).

- Según esos cálculos, alcanzaría el perihelio el 3 de julio con la mínima distancia al Sol de solo 0.295 U.A.

- Sería un cometa para el hemisferio norte: Viene del hemisferio sur eclíptico, pasa al norte eclíptico en el nodo ascendente el 29 de junio muy cerca de la órbita de Mercurio, permanece en este hemisferio durante la fase de mayor brillo, en las proximidades del perihelio, y cuando vuelva al sur el 4 de diciembre de este mismo año 2020 ya estará muy debilitado.

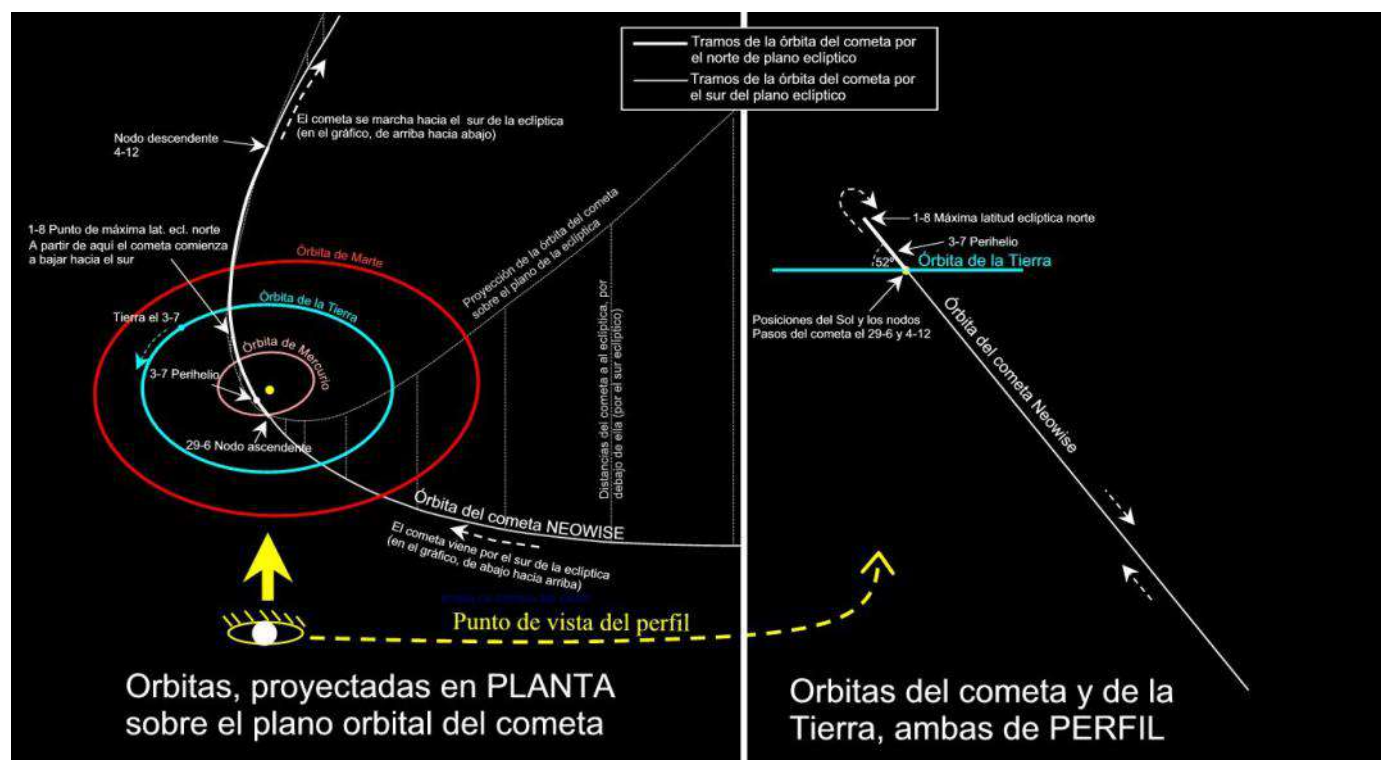


Figura 3: La órbita del NEOWISE desde dos puntos de vista.

Un cometa que pasa más de 6000 años en el sur y solo 5 meses en el norte, es aquí donde tiene el perihelio y donde da espectáculo, aunque esto es lo más habitual por las consecuencias geométricas inevitables.

Estos otros gráficos de la Figura 4 pueden ayudar a visualizar de una manera más completa la situación, añadiendo otro punto de vista a los diversos elementos y posiciones:

diferente (el 11-6 es mayor), según se aprecia en el gráfico de la derecha.

- Las últimas observaciones antes de ese periodo (hacia el 11-6) serían desde el hemisferio Sur por estar el cometa claramente al sur de la eclíptica y las primeras tras el apogón (hacia el 6-7) desde el hemisferio norte. Aunque no es lo mismo hemisferio norte eclíptico que hemisferio norte celeste o

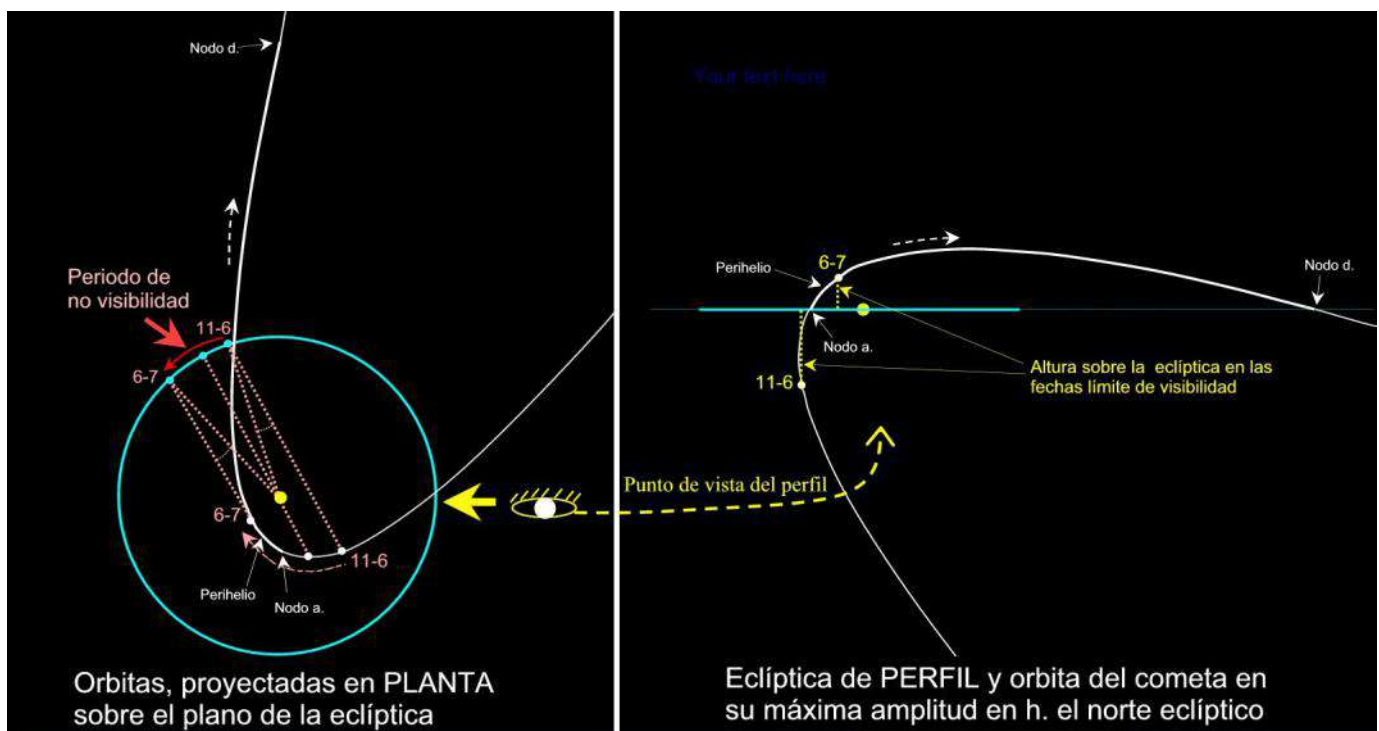


Figura 4. Órbitas con la eclíptica de referencia. Nota: No es fácil visualizar la situación real a partir de gráficos de 2 dimensiones, y por ejemplo el Sol parece no estar en el foco de la elipse (o parábola). Esto es porque esa curva del gráfico no es la elipse de la órbita del cometa, sino su proyección sobre un plano inclinado respecto a ella. Es indicativo y clarificador el hecho de que el perihelio queda también desplazado del eje de simetría de la supuesta elipse, o que la órbita del cometa en la figura de la izquierda aparece mucho más estrecha que en la figura 3 porque aquí se ha inclinado y está proyectada algo "de canto".

De esta figura se deduce:

- Entre el 11-6 y el 6-7 el cometa no sería visible por tener una elongación pequeña (estar angularmente cerca del Sol) Entre esas fechas pasaría por su conjunción con el Sol.

- Estos ángulos medidos en el plano eclíptico no son de igual magnitud en ambas fechas (es algo mayor el 6-7) porque la latitud eclíptica es

terrestre, las situaciones del cometa son muy claras a un lado o al otro de la eclíptica por lo que las repercusiones en la visibilidad desde el hemisferio norte o sur terrestre son evidentes.

Con todo ello, y el brillo que iba mostrando en sucesivas observaciones, pudieron elaborarse posibles curvas de evolución de su magnitud y periodo de no visibilidad desde la

Tierra, obteniendo unos valores que quizás lo harían observable a simple vista, aunque con muchas dificultades, que luego no las hubo.



Figura 5. Posibles curvas de magnitud, previstas a principios de junio. Los puntos verdes son las estimaciones de brillo de diferentes observaciones y al igual que los de otros gráficos posteriores similares se han tomado de cometografía.es

Es muy difícil pronosticar el comportamiento de un cometa nuevo, al menos si se utilizan datos previos a su paso por el perihelio. Un experto dijo en una ocasión que “estos astros son como los gatos: tienen cola y actúan de manera caprichosa e impredecible”

Por las razones que se señalan a continuación, las previsiones sobre el posible espectáculo que nos podría dar este cometa no tuvieron apenas difusión. De hecho, no se anunció en los medios y la mayoría de aficionados no nos enteramos de su existencia hasta el momento en que ya no podía fallar.

### Los cometas que habían fallado:

El NEOWISE vino de tapadillo. Muy posiblemente saltó a la fama muy tarde por culpa de otros dos cometas que prometían mucho más que él pero que defraudaron.

El 28 de diciembre de 2019 se descubrió el C/2019 Y4 ATLAS, que llegó a anunciarse como un gran espectáculo para mayo de 2020 pero finalmente resultó ser una inocentada. Aún estando lejos del Sol, 2 meses antes del perihelio alcanzó una magnitud 8 con un aumento rápido

de brillo que algunos predijeron que le llevaría a ser visible incluso en pleno día en mayo, pero que en realidad se debió a que se estaba comenzando a fragmentar y liberando gran cantidad de elementos volátiles. Su brillo no pasó de ahí y efectivamente a principios de abril las imágenes tomadas por el Hubble demostraron que su núcleo se había roto en varios pedazos y con ello se perdió toda esperanza de que diera espectáculo.

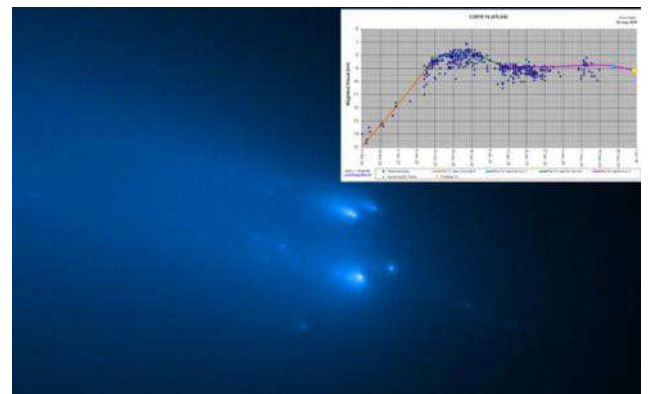


Figura 6: Imagen de la fragmentación del cometa ATLAS, y curva de brillo tomada de cometografía.es. De haber seguido el incremento inicial, en el perihelio (extremo derecho del gráfico) habría sido excepcional.

Pero parecía que había otro que podía coger su relevo.

El cometa SWAN, casi recién descubierto (a finales de marzo) cuando se frustró el Atlas, debería tener su momento álgido en las mismas fechas de mayo y casi en la misma zona del cielo. Fue calificado como el sustituto del Atlas, dio alguna bonita imagen fotográfica dejándose ver tenuemente por el hemisferio sur, pero solo llegó a la magnitud 4.5, aparentemente debido a un estallido, con lo que aplanó la curva de brillo mucho antes de lo previsto y prácticamente no llegó a ser observable a simple vista.

De todas formas, lo que les ocurrió a esos dos no fue algo excepcional fruto de la mala



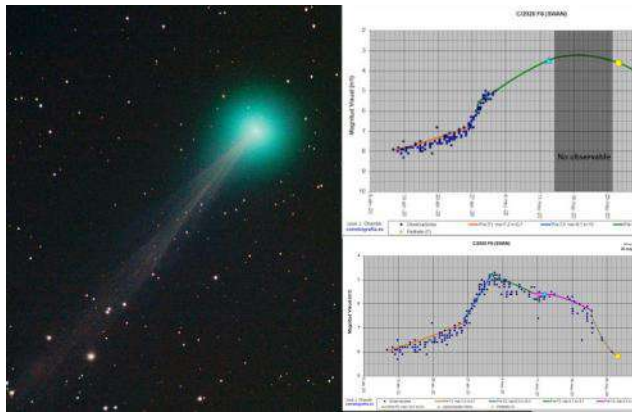


Figura 7. Imagen del SWAN tomada por Christian Gloor, la curva de brillo prevista antes de aplanarla, y la definitiva, tomadas de cometografía.es

suerte. Muchas veces ha surgido la noticia del descubrimiento de algún cometa que sería fácilmente visible dentro de unos meses y por una u otra causa no se cumplía. Como ejemplo claro puede citarse al Ison en 2013, que por las previsiones que se hicieron de su evolución llegó a ser calificado como el cometa del siglo, también se frustró al no sobrevivir a su acercamiento al Sol.

## La sorpresa del NEOWISE

Con tantos ejemplos y los dos muy recientes, posiblemente se temió que le ocurriera algo similar al NEOWISE, que había sido descubierto casi en las mismas fechas que el Swan, no parecía tener tan buenas perspectivas y nadie dijo nada de él. Quizás porque venía para más tarde y prometía menos, quizás por el temor a un nuevo fiasco.

Además las últimas mediciones a principio de junio, los últimos 10 días antes de que fuera inobservable por su proximidad angular al Sol visto desde la Tierra, daban un valor de brillo por debajo de lo que sugería la evolución de los datos anteriores, tal como se recoge en la figura 8, lo que no presagiaba nada bueno. Aparentemente estaba también “aplanando la curva” y no tenía mucho futuro.

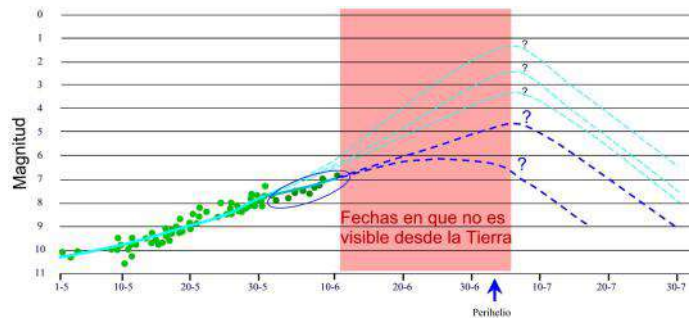


Figura 8: Con las últimas mediciones de brillo (redondeadas en el gráfico) parecía que también el NEOWISE estaba “aplanando la curva”, pero ...

Seguramente sería una decepción más (aunque solo para los metidos en el tema porque aparte de ellos nadie lo conocía), que seguramente se confirmaría con las primeras observaciones tras el periodo de invisibilidad, hacia el 6 de julio.

Pero durante este periodo en que era inobservable desde la Tierra, al acercarse angularmente al Sol el 22 de junio entró casi tangencialmente por el borde de campo de la cámara del satélite SOHO y pudo comprobarse que superaba incluso las previsiones iniciales más optimistas. Además no se apreciaban indicios de ruptura.

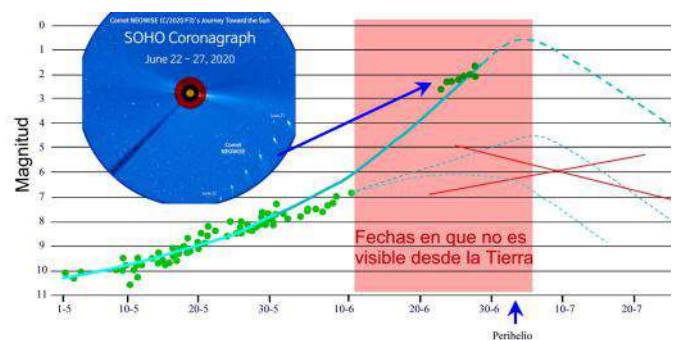


Figura 9: Las imágenes obtenidas por el SOHO que dejaban claro que el brillo seguía aumentando, y la nueva curva elaborada a partir de ellas.

Seis días después, con más observaciones del Soho que confirmaban los buenos presagios, se hizo pública la perspectiva de “otro cometa que prometía”, y tanto expertos como aficionados cruzaron los dedos para que todo acabara bien.

## Cuando ya no podía fallar.

Pero fue un gesto innecesario porque en ese momento, tal como expresé en el whatsapp del grupo ApEA, estaba claro que ya no podía fallar, y ocurriese lo que ocurriese debería ser visible pocos días después, al menos el 6 de julio, como las previsiones anteriores lo habían supuesto.

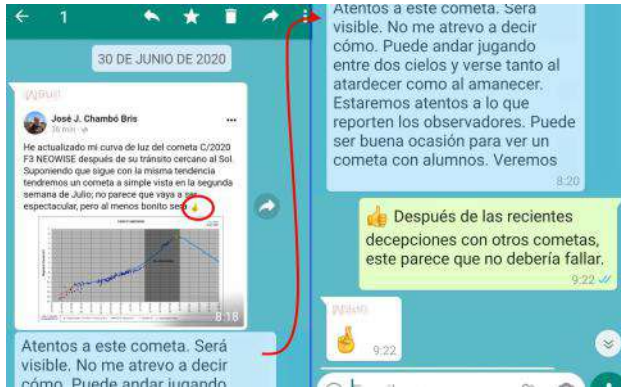


Figura 10: Aunque también en nuestro grupo de whatsapp se cruzaban los dedos, yo lo tuve claro.

Ya no podía aplanar la curva como en el caso del SWAN porque prácticamente había llegado al perihelio y con ello al máximo, y aunque se rompiera como el ATLAS tendríamos al menos algún día para verle porque ya faltaba poco para que asomara tras el resplandor del Sol y esas fracturas, antes de matar al cometa producen incluso un aumento de su brillo durante unos pocos días.

## Y no falló.

Efectivamente, el día 2 de julio el astrónomo aficionado Oscar Martín pudo fotografiarlo claramente desde la provincia de Salamanca antes de amanecer, mostrando un aspecto inmejorable. Lo hizo incluso 4 días antes de lo inicialmente esperado, lo que demostraba que venía muy brillante.

A partir de esa fecha se desató la euforia entre todos los aficionados a la astronomía e incluso el público en general, animado por los medios de comunicación.

¿Qué habría pasado si la trayectoria del cometa le hubiera hecho pasar solo un poco

más al sur del Sol, con lo que no habría entrado en la cámara del Soho y nadie le hubiera esperado tan pronto y tan brillante? Sin duda habría sido encontrado casualmente, más tarde, y dando una auténtica sorpresa.

Siguiendo los pasos de otros compañeros yo pude observarlo por primera vez desde en el limpio cielo de Araúzo de Torre (Burgos) el día 6 de julio de madrugada.

Al día siguiente las imágenes fueron mejores, incluida alguna por medio del telescopio que se recoge en la figura 17.

## Un espectáculo para toda la noche



Figura 11: ¡Ahí está! Cerca del horizonte. Aunque parezca muy poquita cosa, la primera visión del nuevo astro queda en la memoria.

Debido a su posición en el cielo con una declinación norte bastante alta, comenzó a verse también al principio de la noche desde latitudes medias-altas del hemisferio norte

La primera observación vespertina, tras la puesta del Sol, fue el día 10 desde Italia, cerca de Milán, en una latitud  $45.74^\circ$  N, que debería ir bajando en las siguientes fechas.

Efectivamente, ya el día 12 fue observado, incluso a simple vista, desde diversos lugares de la península Ibérica. Ese día pude verlo y tomar unas imágenes al principio de la noche y luego también de madrugada.

Posteriormente, entre el 15 y el 21 de julio llegó a ser circumpolar por encima de la latitud  $43^\circ$  (en el norte de la península Ibérica),



Figura 12: Una de las primeras observaciones vespertinas: Desde la latitud 41.8° N, a las 23:20 del 12 de julio.



Figura 13: Unas pocas horas después, ya en la madrugada del día 13, la situación era algo mejor

estando visible toda la noche en una zona del cielo muy fácil de localizar, bajo la constelación de la Osa Mayor.

El cometa ya había pasado el perihelio y no podía aumentar mucho más su actividad al irse alejando del Sol, aunque mantuvo su magnitud cercana a cero durante unos días más de los previstos. Pero a la vez se iba acercando a la Tierra y aumentando su declinación, por lo que desde nuestras latitudes se podía observar cada vez más alto en el cielo, durante más tiempo a una buena altura, y el espectáculo llegó a su clímax.



Figura 15: El día 18, ya alto en el cielo al principio de la noche, ofreció algunas de las mejores imágenes con la coma situada junto a la estrella Talitha de la Osa Mayor.

Durante esas fechas desarrolló una larga y fotogénica cola de polvo (además de la más tenue cola iónica) de manera que podía verse durante toda la noche aún desde latitudes inferiores desde donde el núcleo y la coma se ocultaba levemente bajo el horizonte norte.

Figura 14: Posiciones del cometa en las constelaciones de Auriga, Lince y la Osa Mayor, durante las fechas de mejor visibilidad, todas del mes de julio, indicadas por los números azules. Se ha remarcado la declinación 47° porque delimita las fechas en que fue circumpolar para latitudes mayores de 43°N.





Fueron unos días de gran expectación, durante los que mucha gente pudo ver un cometa por primera vez en su vida, y se obtuvieron multitud de imágenes, algunas muy llamativas.



Figura 16: Reflejado en el agua del embalse

A través del telescopio se apreciaba claramente un cambio de aspecto desde las primeras observaciones. Si el día 7 se notaba incluso la sombra que produce el núcleo en el centro de la coma y el arranque de la cola, que no debía ser muy densa, ya el día 18 se veía una coma muy desarrollada y compacta de un tono verdoso característico por la sublimación de los componentes de sus hielos.



Figura 17: Imágenes tomadas a través de telescopio

Teóricamente después de las primeras observaciones tras la reaparición, a principio del mes de julio, debería ir bajando de brillo y en muchos medios se anunció que se vería a simple

vista hasta el día 15, otros dijeron que hasta el 18, ... pero lo cierto es que se mantuvo con magnitud menor que 1 hasta el día 13 y suficientemente brillante como para apreciarlo sin ayuda óptica en cielos oscuros casi hasta los últimos días de julio cuando la luz de la Luna creciente comenzó a iluminar el cielo al principio de la noche, y con prismáticos se siguió viendo durante unos cuantos días más.



Figura 18: El 25 de julio aún podía apreciarse a pesar de las luces de una pequeña población, situándose entre ésta y la Osa Mayor.

### Algunas claves en la visibilidad del NEOWISE

Hay varios factores que influyen en la actividad de un cometa y en su visibilidad desde la Tierra, como su tamaño, composición, periodicidad, cercanía al Sol de su perihelio, aproximación a nuestro planeta...

- Se ha estimado que el núcleo del NEOWISE podría rondar los 5 km. Aunque en alguna publicación se le calificaba como "enorme", en realidad puede considerarse de un tamaño medio, siendo bastante más pequeño que el famoso Halley, y no se puede comparar con los más de 30 km del Hale-Bopp.

- En cuanto a la periodicidad, puede que todavía no esté claro si es un cometa nuevo, que viene por primera vez desde la nube de Oort o no. Los cometas nuevos tienen muchos

elementos volátiles en su superficie y serán mucho más llamativos que los periódicos que ya habrán gastado esa capa exterior y formado un recubrimiento más compacto, sobre todo los de periodo no demasiado largo. Sin embargo, por ese motivo suelen mostrar mucha actividad cuando aún están lejos del Sol y se empiezan a vaporizar las capas externas, y no llegan a cumplir las previsiones realizadas sobre un standard.

Puede parecer paradójico, pero aunque es deseable que venga un cometa nuevo, una vez descubierto cualquier cometa y calculado su magnitud y probable curva de luz es preferible que no sea nuevo para que no aplane pronto la curva de brillo.

Un primer cálculo sobre su trayectoria y magnitud, similar a otro cometa que apareció hace 1500 años, hizo suponer que podía ser el mismo y se dijo que tendría esa periodicidad. Pero una vez obtenidos más datos sobre su trayectoria se comprobó que era demasiado excéntrica como para ajustarse a esa órbita, y era casi parabólica. Concretamente se le calculó una excentricidad de  $e = 0.9992$ , lo que da un periodo de algo más de 6800 años, y así se ha quedado. Pero...

La dificultad de afinar tanto, con datos solo de un tramo muy pequeño de su órbita, podría implicar un error de una milésima, y si fuese  $e=1$ , la órbita sería una parábola y el cometa sería nuevo: vendría por primera vez y no volvería. De hecho, hay diferencias mayores en valores de la excentricidad de muchos cometas, según las tablas elaboradas por diferentes investigadores.

Hay otra posibilidad, y es que efectivamente en la actualidad tenga esa excentricidad y vuelva al cabo de 6800 años, pero sea esta la primera vez que se acerca al Sol porque su órbita parabólica inicial haya sufrido un pequeñísimo cambio en su largo camino debido a cualquier interacción gravitatoria.

Por tanto queda la duda; parece que por la evolución de su actividad no sería la primera vez que viene, pero esto también está condicionado por su composición original en cuanto a la proporción y distribución de sus componentes de hielo y polvo. Nos decantemos por una u otra opción, nadie recordará "quién se equivocó" cuando pueda contrastarse dentro de casi 7 milenios.

- Aparte de su mayor o menor actividad global, de cara a su visibilidad desde nuestro planeta en cada momento es fundamental la fecha de paso por el perihelio, su distancia concreta al Sol y a la Tierra y sus posiciones respecto a ambos.

A medida que se acerca al perihelio la actividad del cometa y su brillo intrínseco aumentará y se mantendrá unas fechas después o incluso podría seguir aumentando un poco más por la actividad ya generada con muchas partículas de polvo desprendidas del núcleo y seguir recibiendo el calor del Sol aunque sea en menor medida.

Al tener una órbita tan inclinada y los nodos no excesivamente separados (aunque algo sí) el paso por el perihelio (3 de julio) ha estado relativamente cercano a la máxima latitud eclíptica y a la máxima declinación norte (el 18

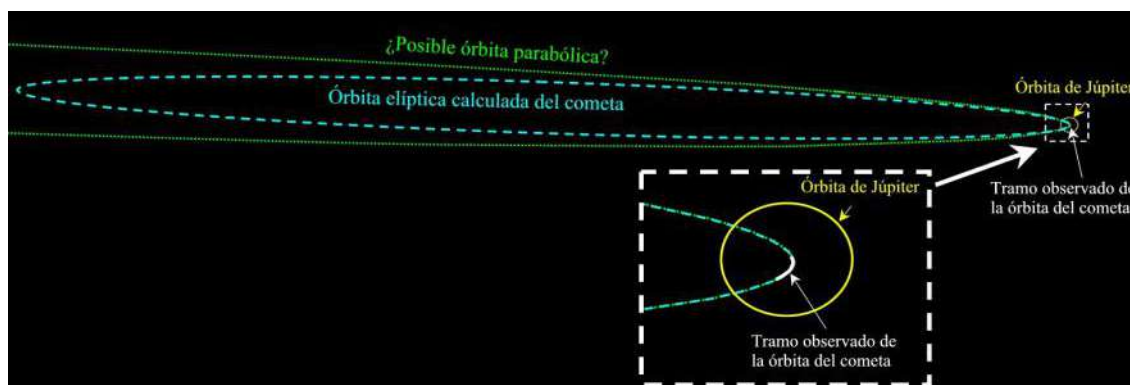


Figura 19: En color azul se ha trazado la órbita elíptica calculada y en blanco el tramo sobre el que se tienen datos reales, que sería casi exactamente igual que el tramo correspondiente de la parábola representada en verde.

de julio) y ello nos ha beneficiado claramente a los habitantes de nuestro hemisferio que lo hemos tenido relativamente alto en las fechas de mayor actividad.

Esto y varias circunstancias más que se citan a continuación se puede deducir de la figura 20 que recoge una proyección con el plano ecuatorial de perfil, y por ello tanto la órbita terrestre como la del cometa pierden su verdadera forma, lo que permite otras apreciaciones.

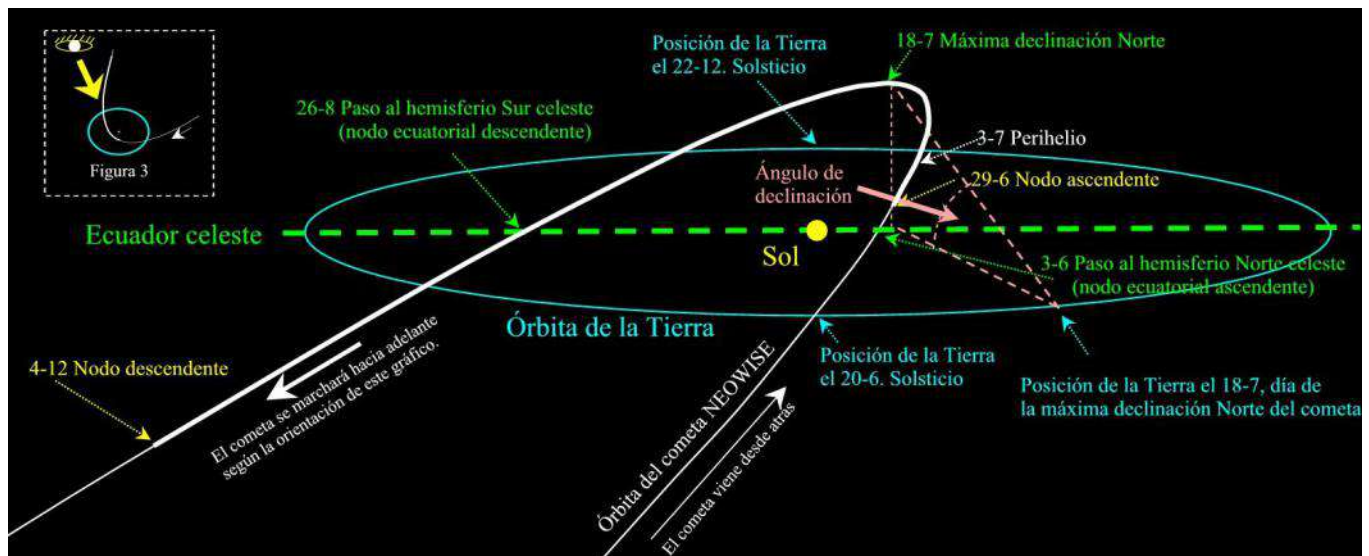


Figura 20: El ecuador celeste aparece de perfil y por ello es solo una línea recta. Para apreciar mejor la declinación, en este gráfico se recoge la situación desde un punto de vista diferente a los anteriores, que se indica en el recuadro superior con referencia a la figura 3.

La buena posición para ser observado desde nuestras latitudes se ha debido a varios motivos:

- El hecho de que durante varios días fue circumpolar para latitudes no muy extremas (por ejemplo el norte de la península Ibérica) y el que en muchos más lugares y pudiera observarse tanto al principio como al final de la noche, es consecuencia de la elevada declinación que llega a alcanzar el cometa (distancia angular al ecuador celeste visto desde la Tierra) y ello se debe a la elevada inclinación de la órbita del astro respecto al ecuador, a la posición de la Tierra en las fechas de la máxima declinación y a la situación del perihelio, no excesivamente alejado de los dos nodos ecuatoriales (puntos de corte de la órbita del cometa con el plano del ecuador), tal como se ha citado.

- Si la Tierra hubiera estado en esas fechas en otras zonas de su órbita (si la máxima declinación norte del cometa se hubiera producido en fechas muy diferentes) aún con esa misma altura que alcanza respecto al plano ecuatorial, el ángulo de declinación habría sido menor.

- Como este ángulo de declinación ha sobrepasado los  $47^\circ$ , fue circumpolar por encima de la latitud  $43^\circ$ . Si hubiera sido menor (por ejemplo de  $30^\circ$ ) solo sería circumpolar a partir

de  $60^\circ$ . Y si esto hubiese ocurrido con una órbita cometaria orientada en sentido contrario esta zona de  $60^\circ$  correspondería casi a día perpetuo, con lo que no se vería nada.

- Lógicamente en zonas de latitud algo menor de  $43^\circ$ , en esas fechas idóneas el cometa transitó ligeramente bajo el horizonte en plena noche y por ello se pudo ver en dos periodos separados al principio y al final de la noche.

- Si no concurriesen las anteriores circunstancias, o con la Tierra posicionada en otros lugares de su órbita, el cometa solo sería visible en unas fechas al atardecer, luego invisible por proximidad al Sol y luego al amanecer (o al revés), como ha ocurrido recientemente con Venus y suele ser lo más frecuente en otros cometas como en el último paso del Halley.



Pero con el NEOWISE la situación ha cambiado varias veces: Tal como puede visualizarse en la figura 21, fue vespertino en junio cuando, aún débil, estaba en los cielos del sur y todavía no era visible en latitudes medias del hemisferio norte (el cometa estaba al Este del Sol - a su izquierda visto desde el norte-), matutino unos días de principio de julio (El cometa al oeste -derecha- del Sol) y nuevamente fue solo vespertino una vez avanzado este mes.

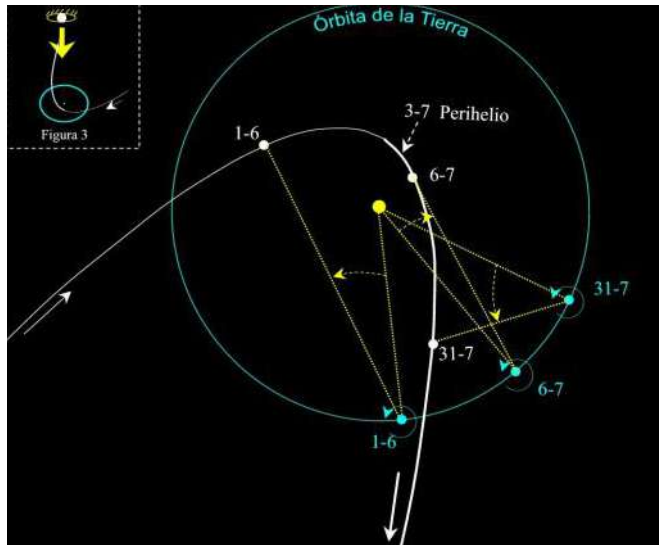


Figura 21: Posiciones de la Tierra y el cometa con ejemplos de visibilidad a principio o final de la noche, en diferentes fechas

## Distancia a la Tierra

Como puede deducirse también de la figura 21, durante el mes de julio el cometa y la Tierra han estado “hacia la misma zona” en sus respectivas órbitas alrededor del Sol. Con el Halley en 1986 ocurrió lo contrario en las cercanías del perihelio del cometa y por ello fue un paso decepcionante. Sin embargo, la

inclinación orbital del NEOWISE, que por una parte ha favorecido a nuestras latitudes, ha hecho que nunca se haya acercado mucho.

Quizás a causa de la euforia originada por el espectáculo, se difundieron muchas noticias animando a su observación el día 23 cuando se produciría su máxima aproximación a la Tierra. Pero como en muchas ocasiones, se transmitió una idea falsa, dando la impresión de que iba a pasar por aquí cerca, lo íbamos a ver en detalle en todo su esplendor y había que aprovechar la oportunidad; cuando la realidad es que no iba a acercarse más de cien millones de kilómetros (el doble de la distancia a la que llega a aproximarse a nosotros el planeta Venus) y la diferencia en las distancias de un día a otro era muy pequeña, menos de un 0.2% (un 2 por mil). Al estar ya alejándose claramente del Sol y disminuyendo su actividad su imagen el día del “acercamiento” fue claramente inferior a los anteriores.

Se aprecia que la diferencia en las distancias es mínima, e incluso en esas fechas la Tierra se estaba alejando de la órbita del cometa (aunque no del propio cometa). Hay que apreciar adecuadamente la perspectiva, porque en la proyección puede parecer que en otra fecha la distancia sea menor.

A partir de entonces, al alejarse de la Tierra y también del Sol, inevitablemente disminuyó su brillo en nuestro cielo y disminuyó también el estrés de quienes incrédulos y entusiasmados, estuvimos siguiendo continuamente su evolución. Pero queda su recuerdo y sus imágenes.

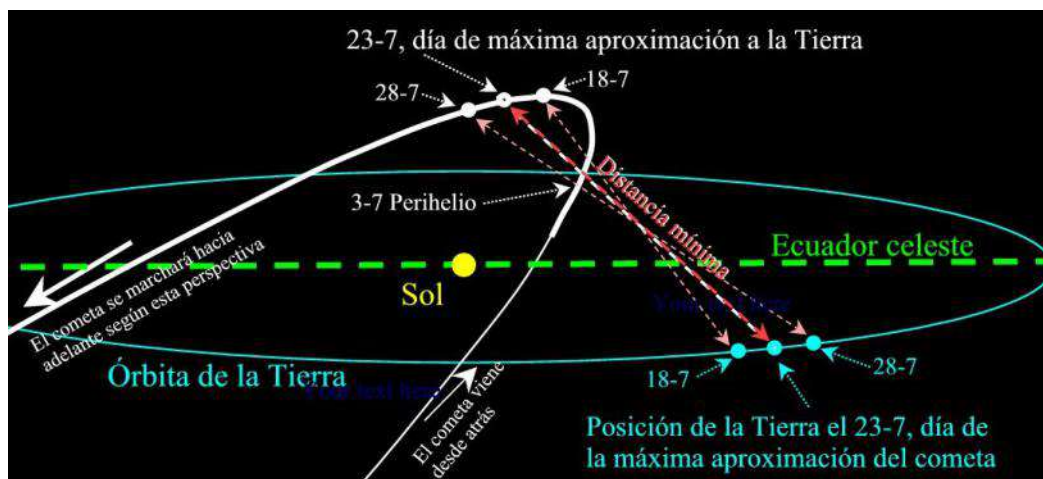


Figura 22: Distancias entre la Tierra y el cometa, que no variaron mucho incluso de una semana a otra. La orientación de este gráfico es la misma que la de la figura 20.

NOTA: Todas las imágenes del cometa NEOWISE que aparecen en este artículo han sido obtenidas por el autor. En las siguientes páginas se recogen más fotografías de otros socios de ApEA.

# GALERÍA DE IMÁGENES DEL COMETA C/2020 F3 NEOWISE, TOMADAS POR SOCIOS DE ApEA



Sebastián Cardenete, 16/07/2020, 23:11 h.  
Canon EOS 80D, ISO 3200, f/4, 8 seg



Sebastián Cardenete, 09/07/2020, 06:13 h. cámara  
Canon EOS 80D, ISO 800, f/5.6, 2 seg



Sebastián Cardenete, 18/07/2020, 22:58 h. cámara  
Canon EOS 80D, ISO 1200, f/5.6, 4 seg



Sebastián Cardenete, 18/07/2020, 23:05 h, cámara de móvil Samsung  
S10, ISO 500, f/1.5, 30 seg, en paralelo sobre telescopio



Sebastián Cardenete, 6/07/2020, 06:24 h. Canon EOS 80D,  
ISO 1000 f/4, 1/2 seg



J. Xavier Franch Peñas, 12/07/2020; 5:15 h, Canon EOS 1100D con trípode. Teleobjetivo de 300 mm, f/4 ; 15 sec. ISO 800, Lugar: La Granadella. Lleida



J. Xavier Franch Peñas, 12/07/20; 5: 04 h. Telefono HUAWEI, Cámara WAS-LX1A, f/2,2; 8sec.; ISO 1600, f 60 mm equivalente a 35mm. Lugar: La Granadella, Lleida



Esteban Esteban, 15/07/2020; CANON EOS 800D

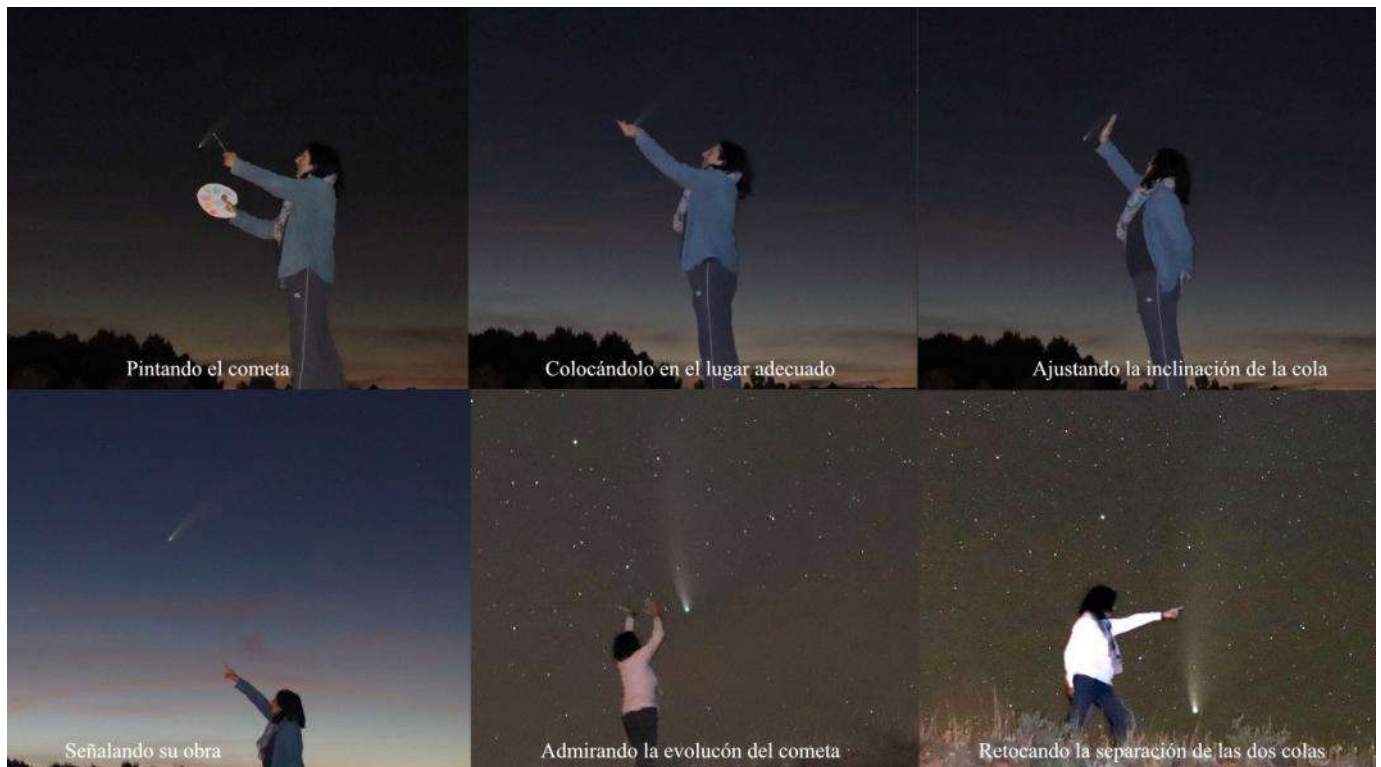


Esteban Esteban, 20/07/2020; CANON EOS 800D



Esteban Esteban, 15/07/2020; CANON EOS 800D





Maite Muñoz y Esteban Esteban, 14 y 24/07/2020; CANON EOS 800D



Sensi Pastor y José Antonio de los Reyes, 21/07/2020, Sony A7S + obj 135 mm f 3.5;  
Integración de  $10 \times 10'' + 3 \times 15'' = 150''$ ; Procesado DSS + CaptureOne



Manu Arregi Biziola, 11/07/2020, Olympus -M5 MarkII sobre trípode, f/2.8, 15 s, 1600 ISO, Focal 80 mm. Gallegos del Campo (Zamora)



Manu Arregi Biziola, 13/07/2020, Olympus -M5 MarkII sobre trípode, f/2.8, 4 s, 6400 ISO, Focal 80 mm, Freixo de Espada a Cinta (Portugal)



Manu Arregi Biziola, 13/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 6 s, 3200 ISO, Focal 80 mm. Freixo de Espada a Cinta (Portugal)



Manu Arregi Biziola, 14/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 4 s, 4000 ISO, Focal 80 mm, Ciudad Rodrigo (Salamanca)



Manu Arregi Biziola, 15/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 6 s, 16000 ISO, Focal 80 mm Ledesma (Salamanca) con Starlink



Manu Arregi Biziola, 16/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 6 s, 20000 ISO, Focal 80 mm Peña Branca Miranda do Douro (Portugal)





Manu Arregi Biziola, 17/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 25 s, 10000 ISO, Focal 50 mm Alto Petisqueira (Portugal)



Manu Arregi Biziola, 18/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 20 s, 16000 ISO, Focal 60 mm Gallegos del Campo (Zamora)



Manu Arregi Biziola, 21/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 20 s, 20000 ISO, Focal 80 mm; Camino de Flechas (Zamora)



Manu Arregi Biziola, 22/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre telescopio en paralelo f/2.8, 270 s, 1600 ISO, Focal 68 mm. Alto del Peñon (Zamora) Edición: Fernando Cabrerizo



Manu Arregi Biziola, 18/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 15 s, 10000 ISO, Focal 44 mm Gallegos del Campo (Zamora)



Manu Arregi Biziola, 23/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode f/2.8, 10 s, 25600 ISO, Focal 160 mm, Gallegos del Campo (Zamora)

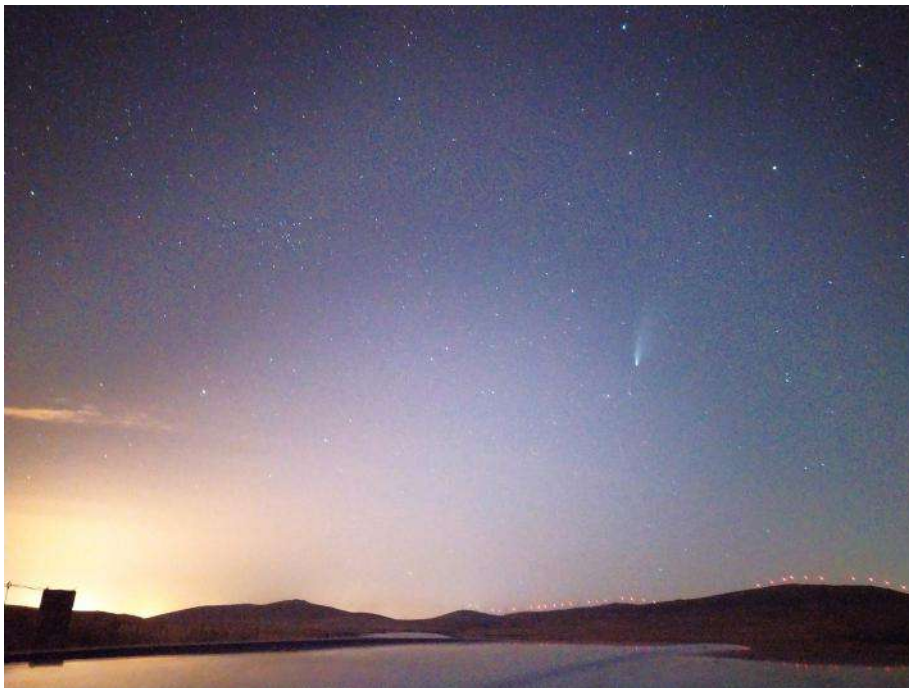


Manu Arregi Biziola, 24/07/2020, Olympus -M5MarkII sobre trípode. Suma de 34 imágenes f/2.8, 30 s, 1600 ISO, Focal 80 mm. Flechas (Zamora), Edición Dani Caxete





José Manuel Pérez Redondo, CANON 40D + SIGMA 150-500 (a 300 mm), ISO 800, 5 segundos de exposición, f6,3.



Ricardo Moreno 22/07/2020, 23:25 h, cámara del teléfono Redmi Note 7, ISO 3200; f/1.8, 32 seg. El Espinar (Segovia)

revista  
**NaDiR**



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](http://www.apea.es)

