

COMETAS: ENTRE HITOS, MITOS E HISTORIAS

Alejandro Paredes-Arriaga^{1,2*} y Mariana Amador-Ortega³

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

² Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

³ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

*ale.paredes.arriaga@gmail.com (autor para correspondencia)

RESUMEN

La observación de los cometas se ha realizado desde hace miles de años y no ha dejado de ser una actividad importante hasta hoy. Al ser fenómenos aparentemente espontáneos y algunos tan vistosos como para ser observados a plena luz del día, han llegado a protagonizar antiguas mitologías, supersticiones, cuentos, poemas, pinturas, descubrimientos científicos y avances ingenieriles, entre muchas otras. En este trabajo se realiza un recuento de algunos cometas que han marcado la historia humana, mencionando desde el impacto social que han tenido, como en el caso de las discusiones epistémicas que generó el gran cometa de 1680, hasta algunos de los avances científicos más importantes que se han logrado con su estudio, tales como los aportes de Kepler y Newton a entendimiento de los movimientos orbitales de los objetos celestes, o los descubrimientos recientes de moléculas orgánicas importantes para la química prebiótica y el origen de la vida.

Palabras clave: Cola, Halley, órbita, gas, polvo.

ABSTRACT

The observation of cometary bodies has been done since thousands of years ago and is a topic of great interest today. Amazing and spontaneous nature has led comets to influence multiple aspects of human societies: ancient mythologies, superstitions, stories, poems, paintings, scientific discoveries, engineering advances, etc. This work presents a detailed review of some comets that influenced human culture. We described their impact on society and some of the most important scientific advances in astronomy, physics, and chemistry for their remote and in situ analysis.

Keywords: Tail, Halley, orbit, gas, dust.

INTRODUCCIÓN

Previo y posterior a la separación formal de la astronomía con la astrología, los astros y fenómenos celestes han generado curiosidad, fascinación y terror por igual. Los cometas, al ser fenómenos aparentemente espontáneos y sin periodicidad clara, eran considerados como eventos especialmente portentosos, asociados a ciertos sucesos históricos, guerras, brotes epidémicos, etc. (Webster *et al.*, 1988). Tal es el caso del “Gran cometa de 1680”, un fenómeno apreciable a simple vista desde gran parte del mundo, el cual, al ser tan imprevisto y sorprendente, se percibió como un presagio de horribles destinos (Wilkening y Matthews, 1982). Al mismo tiempo, motivó importantes debates y descubrimientos científicos que precedieron y fueron parte de la revolución científica de los siglos XVII y XVIII (Dávila-Martínez, 2012).

El registro de cometas a lo largo de la historia es bastante amplio y se requeriría escribir varios libros para hablar de cada cometa importante y las implicaciones científicas, teológicas, culturales y sociales que han dejado con su paso. En este texto se exploran algunos cometas que han despertado especial interés, ya sea por su brillo o forma, por los conocimientos científicos generados a partir de su estudio, o por ser fenómenos lumínicos periódicos observados desde la Tierra.

El objetivo es hacer un compendio de algunos cometas que, a su paso cerca de la Tierra, han tenido implicaciones para la humanidad en aspectos sociales y culturales, particularmente han impulsado diversos avances en la ciencia e ingeniería durante los últimos 600 años. El conocer estas historias despierta el interés sobre temas adyacentes y mostrará al público lector las intersecciones entre las ciencias y humanidades.

METODOLOGÍA

Se realizó una extensa revisión bibliográfica de textos publicados en inglés y español sobre los cometas más importantes de la historia desde el siglo XVI hasta la actualidad. Dada la variedad de ejemplos y disciplinas cubiertas, la revisión abarcó revistas especializadas indexadas internacionalmente, libros de carácter científico e histórico, compendios de poesía y diversas tesis del área de humanidades, sobre todo, al abordar las discusiones epistémicas que se generaron sobre el cometa Kirch en la Nueva España, alrededor del año 1680. Posteriormente, se seleccionaron los cometas con mayor información confirmada en más de una fuente, que hayan tenido implicaciones sociales, culturales y/o históricas en una o varias regiones del mundo, y que dichos ejemplos resultaran de interés multidisciplinario.

ASPECTOS GENERALES DE LOS COMETAS

Los cometas son restos de la formación del sistema solar y los planetas. Cuando alguno pasa cerca del Sol, el calor y el viento solar hacen que pierdan materia y se generen las colas que los caracterizan (Erickson y Erickson, 2003). Cuando pasa esto se dice que el núcleo cometario se encuentra “activo”. Después de pasar varias veces cerca del Sol, los cometas se desprenden de la mayor parte de su masa volátil y se asemejan más a un asteroide.

En la Figura 1 se esquematizan las partes de un cometa activo. El núcleo está formado por un conglomerado de hielos de compuestos volátiles, principalmente agua, dióxido y monóxido de carbono, amoníaco y metano, entre otros (Whipple, 1950). La coma es la atmósfera que rodea al cometa y está formada por materiales sublimados del núcleo debido a la radiación solar. Los componentes volátiles sublimados salen expulsados del núcleo cometario a manera de chorros de gas, arrastrando consigo al polvo (Zakharov *et al.*, 2021).

Ambos materiales forman las colas del cometa, las cuales pueden medir hasta 1 unidad astronómica (ua) de longitud, es decir 150, 000, 000 km. De manera general hay dos tipos de colas. Las tipo I están compuestas de gas ionizado (CO^+ , N_2^+ , CO_2^+ , CH^+ y OH^+) y siguen la dirección del viento solar. Las tipo II están formadas principalmente de polvo, generalmente son más cortas y son curvadas respecto a las tipo I porque siguen la trayectoria del cometa y no la del viento solar (Brandt, 1968; McFadden y Britt, 2003; Voelzke, 2006; Gulyaev, 2015).

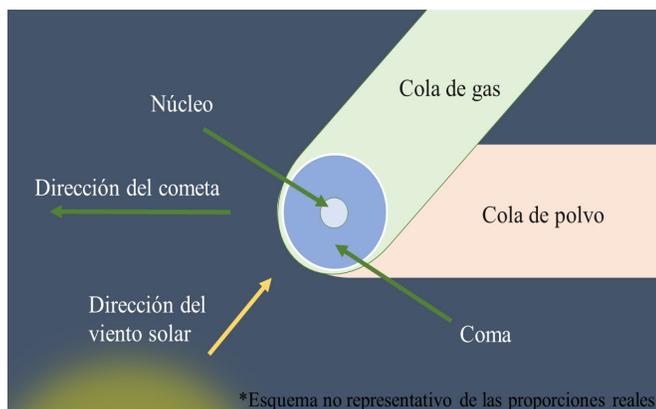


Figura 1. Esquema general de las partes de un cometa. Para fines ilustrativos no se encuentra en una escala proporcional a las dimensiones reales.

Existen diferentes formas de clasificar a los cometas, aunque casi todas guardan cierta relación. La primera diferenciación se realiza por el periodo orbital (p), es decir, por el tiempo que tardan en dar una vuelta alrededor del Sol. De acuerdo con este criterio, se tienen los cometas de periodo corto y los cometas de periodo largo. Los primeros tienen periodos menores a 200 años y abarcan a los cometas “de la familia de Júpiter” (con un periodo menor a 20 años) y a los “tipo Halley” (con periodos entre 20 y 200 años). Los cometas de periodo largo tienen periodos mayores a 200 años (Levison, 1996). Un resumen de estos criterios se puede ver en la Figura 2. Una de las clasificaciones más recientes para cometas de periodo corto está en función del llamado “parámetro de Tisserand”, el cual hace referencia a la influencia gravitacional de Júpiter sobre los cometas (Spohn *et al.*, 2014), donde dados ciertos valores el cometa se clasifica como “de la familia de Júpiter” o tipo Halley. Cada clasificación tiene ventajas y desventajas, y siempre habrá algún cometa que escape a la norma.

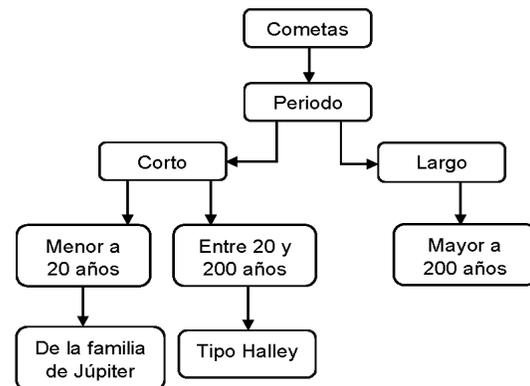


Figura 2. Mapa conceptual de la clasificación de los cometas por su periodo orbital. Esta es la clasificación más común actualmente.

COMETAS QUE HAN DEJADO MARCA

En esta sección se encuentran diversas anécdotas, historias y datos recopilados sobre cometas que consideramos importantes compartir. No requiere que vaya leyendo una subsección tras otra obligadamente, puede ir directamente al cometa que sea de su interés y disfrutar de su lectura.

El gran cometa de 1577

Fue avistado en muchas partes del mundo, desde Perú y México hasta Japón y Europa (Seargent, 2008). El cometa fue sumamente brillante, registros de diversas partes del mundo mencionan que era “tan brillante como la Luna misma”. Al ser visible por más de 70 días, se observaron cambios en su morfología, por ejemplo, que su cola se hiciera doble, fenómeno reportado por Cornelius Gamma en Bélgica (Seargent, 2009). El célebre astrónomo Tycho Brahe siguió al cometa todo lo que pudo desde su observatorio en Dinamarca, y midiendo su paralaje pudo determinar que dicho objeto se encontraba más allá de la Luna, fuera de la atmósfera terrestre (Iriarte Aguirrezabal y Churrua, 1996), algo extraño para la época, ya que al ser un objeto aparentemente errante, era una excepción al modelo de las esferas celestes de Aristóteles en el cual se proponía que “el reino celestial más allá de la Luna” era una región perfecta e inmutable. Medir un paralaje consiste en determinar el ángulo que se forma al observar un objeto desde dos sitios diametralmente opuestos, lo cual depende de la distancia entre esos dos puntos de observación y de la distancia entre el observador y el objeto: entre mayor sea esta última distancia, menor será el ángulo (Martínez, 2005).

El gran cometa de 1680 (cometa Kirch)

Fue visible en el hemisferio norte desde varios continentes entre los meses de noviembre de 1680 y febrero de 1681, y fue documentado por primera vez por el astrónomo alemán Gottfried Kirch el 14 de noviembre de 1680 (Gauger-Quiroz, 2015). El paso de este cometa representa uno de los fenómenos celestes más impresionantes de los últimos siglos, pues pasó rápidamente de ser un punto en el cielo a mostrar una cola que, según diversos observadores en Filipinas, Inglaterra, Italia y Nueva York, llegó a verse más grueso que un arcoíris con un tono dorado distintivo (Seargent, 2008). Unas de las observaciones más interesantes fueron las realizadas por Kirch, el 7 y 8 de enero, quien señaló que además de la "cola grande y brillante que se aleja del Sol", el cometa también poseía una segunda cola muy débil que apuntaba directamente hacia el Sol (durante esas dos noches) (Seargent, 2009).

Cuando el cometa Kirch apareció, la ciencia cometaria enfrentaba varios problemas. La periodicidad, la física y el significado teleológico de los cometas era esencialmente desconocido. Pero causaba especial dilema la ignorancia de sus órbitas, problema que fue esclarecido por Newton, quien se percató que, contrario a lo que se suponía, no siguen trayectorias rectilíneas, sino cónicas. Expuso estas ideas y demostró las leyes de Kepler (Hughes, 1988) en su publicación *De Motu Corporum in Gyrum* (1684), texto donde sentó las bases para su famoso *Principia Mathematica* (1687) (Schechner, 1999), uno de los libros sobre los que se fundamenta el pensamiento científico actual. Newton establece que la órbita debe ser una cónica, y describe un método para calcularla. Al comprobarlo con el cometa de Kirch, la trayectoria coincide con un error de sólo 1 minuto de arco. El texto de los *Principia Mathematica* marcó una distinción entre el pensamiento astrológico y astronómico, y un paso hacia la revolución científica y la ciencia moderna.

Edmond Halley usó el método de Newton para publicar *Astronomiae Cometae Synopsis* en 1705, el cual contiene la descripción de numerosas órbitas cometarias. Las predicciones de este escrito fueron confirmadas con el regreso del cometa *Halley* en 1758 (Hughes, 1988).

En el continente americano se suscitaban intensas discusiones alrededor del cometa Kirch y su significado, debido a que en la Nueva España, al igual que en otros continentes, se consideraba a los cometas como presagio de desgracias y símbolo de desorden universal (Sáenz, 1986). La polémica desarrollada entre el jesuita Eusebio Francisco Kino (cartógrafo, geógrafo y astrónomo) y Carlos de Sigüenza y Góngora (historiador, escritor y cosmógrafo) es de las más estudiadas hasta ahora porque marca la pauta a uno de los primeros textos de argumentación científica como los conocemos hoy día, por ello, consideramos importante comentarlo (aunque sea brevemente) en este trabajo.

Debido al augurio de destrucción con el que se asociaba el paso de un cometa, Sigüenza y Góngora (1681) publicó el folleto *Manifiesto filosófico contra los cometas despojados del Imperio que tenían sobre los Tímidos*, como un intento de remediar el pánico que se propagaba, mencionando que eran sucesos naturales, sin significado o influencias perjudiciales para la humanidad. A este debate se unieron diversos personajes como el caballero flamenco Martín de la Torre, el médico universitario José de Escobar Salmerón y Castro, el matemático Gaspar Juan Evelino, entre otros (Aparicio-Sedano, 2015). Una de las respuestas más destacadas fue la de Kino (1681), en su libro *Exposición astronómica de el cometa*, donde

mezcla un análisis matemático certero sobre las características astronómicas del cometa, pero defiende la postura conservadora del presagio que anuncia. A propósito de este escrito, Sor Juana Inés de la Cruz le dedicó un soneto a Kino, titulado *Aplauda la ciencia astronómica del padre Francisco Kino*.

Posteriormente, Sigüenza escribió *Libra Astronómica y Filosófica*, su texto más ambicioso, un excelente ejemplo y pauta de texto científico y argumentativo (Bauer, 2009). En este libro rebate uno por uno los argumentos que se le opusieron (Aparicio-Sedano, 2015) usando autores y citas científicas. Este libro se centra en una conclusión reformadora: el valor científico de los hechos observables sobre la superstición. Para lograrlo, Sigüenza tuvo que separar su condición religiosa de la científica (Gauger-Quiroz, 2015); cimentando uno de los primeros antecedentes para separar de forma categórica a la astronomía de la astrología.

Al separarse la astronomía de la astrología, nació una nueva cosmología. Poco a poco se establecía el método científico que, con la prerrogativa de observar, registrar y analizar, alumbraba infinitas posibilidades en los nuevos estudios y descubrimientos que empezaron a surgir.

El gran cometa de 1811 (C/1811 F1)

Fue descubierto por el astrónomo francés Honoré Flaugergues el 25 de marzo de 1811. Se tienen registros de avistamientos en Europa, Norteamérica, Rusia y Sudáfrica durante más de 16 meses, tiempo récord para la época. Este cometa pudo apreciarse a simple vista, pues se le describe como un cometa muy brillante, aunque con las estimaciones actuales parece poco probable que fuera visible durante el día. Algunas mediciones comparan el tamaño del Sol en el cielo con el diámetro de la coma del cometa, por lo que también se le considera un objeto especialmente grande, resultando impresionante para todas las personas que pudieron contemplarlo (Seargent, 2009; Lusher, 2011).

William Herschel reportó haber distinguido dos partes principales de la cabeza del cometa: una coma difusa y un "núcleo verdadero" sólido en su interior (Seargent, 2009). Notó además que el brillo aumentaba conforme el cometa se acercaba al perihelio, lo que le llevó a deducir que la coma del astro estaba compuesta por sustancias volátiles, las cuales son causantes de su luminosidad al acercarse al Sol (Schechner, 1999). Pierre-Simon Laplace retomó las observaciones de Herschel para exponerlas en una visión más universal que también incluía al resto del Sistema Solar: "la materia volátil y difusa que otorga su brillo a los cometas era diferente a las estrellas pero se encontraba presente en los sistemas planetarios, y era cuando un cometa la perdía que podía empezar a transformarse en un planeta" (Schechner, 1999). Esta es una idea primitiva de la evolución de los sistemas planetarios y los objetos dentro del mismo sistema solar. Laplace aún temía ciertos riesgos planetarios asociados a los cometas, como colisiones contra la Tierra, inundaciones o sequías por el intercambio de agua entre los dos cuerpos; a pesar de ello, estos recelos ya no estaban dentro del marco de la superstición y la magia.

Este cometa, como otros, es recordado por el torrente de interpretaciones supersticiosas que le fueron adjudicadas. Por ejemplo, en Europa se creía que era el presagio de plagas, maldiciones, revoluciones, e incluso del fin del mundo. Por el contrario, para los nativos americanos representó el signo de un "buen espíritu", señal de buen augurio (Lusher, 2011). Así, con el

tiempo, la leyenda del “Gran cometa de 1811” se fue permeando en la cultura popular, inspirando importantes obras literarias como *Manfred*, de Lord Byron; y se le menciona en 'La Guerra y la Paz', de León Tolstoi.

1P/Halley

Es indiscutiblemente el cometa más famoso y sobresaliente de la historia; en parte debido a su periodo orbital el cual varía entre los 74 y los 79 años, y que permite verlo en un tiempo comparable al de la vida humana. Su primer registro histórico formal fue hacia el año 240 a. C. en China, Babilonia y Roma, aunque probablemente fue observado por los seres humanos desde mucho tiempo atrás. En Roma lo describieron con una silueta parecida a una espada, por lo que se tomó como presagio de guerras y revoluciones (Emiliani, 1992). En sus retornos posteriores suele existir cierta incertidumbre pues los registros de varios cometas pueden confundirse o estar por completo ausentes. Este es un pequeño resumen de algunos de sus avistamientos más relevantes.

En el 684 d. C. se reportó que su paso provocó lluvias y relámpagos, nocivas para la gente y el ganado. El avistamiento del año 837 d. C. es el más documentado en la antigüedad, y se ha calculado que también fue el de mayor aproximación a la Tierra, pues fue visible desde todos los continentes. El regreso del año 1066 d. C. es de los más famosos porque pudo ser observado en Arabia, Hawái, Egipto, Medio Oriente, China, Europa (donde se creyó que anunciaba derrotas en guerras), y probablemente otras regiones, generando diversos mitos y leyendas. En 1222 d. C. pudo ser observado a simple vista durante el día, y fue descrito por japoneses y coreanos como “más grande que la Luna y más brillante que Venus”. Se piensa que el cometa de 1531 (llamado cometa de Apian), fue el primer registro desde la recién fundada Nueva España, y es desde este punto que los cometas comenzaron a ser vistos no sólo como mensajeros del destino, sino como un objeto de estudio de las ciencias naturales y las matemáticas (Seargent, 2008).

En 1607 fue observado y descrito en términos matemáticos por Johannes Kepler. En su retorno siguiente, en 1682, fue cuando realmente provocó una revolución en la ciencia porque pudo ser estudiado astronómicamente, e incluso se llegó a pensar que era el regreso del Gran Cometa de 1680. Entre los observadores más importantes destacan los ingleses John Flamsteed, Isaac Newton y Edmund Halley (Emiliani, 1992). Los tres eran colegas cercanos y mantuvieron correspondencia durante años, intercambiando ideas respecto a los cometas, su naturaleza y significado. A partir de estas discusiones (recordando que la labor científica surge colectivamente), fue que Halley publicó en 1705 su *Astronomiae Cometicarum Synopsis*, donde se retoma la obra de Newton sobre los cometas y establece un método para calcular las órbitas cometarias. De esta forma muestra que los cometas siguen órbitas cónicas y periódicas, al igual que los planetas. Esto, en consecuencia, sembró la idea de que la misma Ley de Gravitación se puede aplicar a muchos cuerpos del sistema solar e incluso más allá (Hughes, 1988; Webster *et al.*, 1988).

El aporte más famoso de Halley fue la comparación de las características orbitales de los cometas Apian de 1531, el Kepler de 1607 y el de 1682; basándose en su parecido concluyó que se trataba del mismo cometa, el cual tenía un periodo de unos 75 o 76 años y que habría de regresar en 1759, lo cual implicaba que los cometas son fenómenos naturales definibles y, por tanto, no tienen que ver con ningún concepto supersticioso. Halley, al igual que Newton,

nunca negó la voluntad divina en los fenómenos naturales, pero ya no los consideraron entes mágicos y temibles (Schechner, 1999).

En 1759 fue esperado con temor y expectación. Cuando finalmente se reportó su aparición y los cálculos confirmaron que se trataba del mismo cometa, se le bautizó con el nombre de *Halley*, quien había fallecido en 1742, convirtiéndolo en el primer cometa cuyo regreso fue predicho (Seargent, 2009). Desde entonces, con puntualidad, el cometa ha vuelto a aparecer. En 1910 se fotografió por primera vez y el 14 de marzo de 1986, la astronave *Giotto* tomó imágenes del núcleo cometario a 596 km de distancia, siendo la primera vez que se obtenían imágenes a tan corta distancia de un cometa. Ese año, el cometa *Halley* fue visible sin telescopios durante 7 meses. Se espera su retorno en el año 2061.

Kohoutek (C/1937 f)

Fue detectado a principios de 1973 y visible desde la Tierra sin necesidad de equipamiento especial a finales de ese año y a principios de 1974. Es probablemente el cometa más brillante del siglo XX y el mejor estudiado hasta ese momento. Dado el tiempo entre su descubrimiento y su paso por la Tierra, se pudieron preparar diversos instrumentos, laboratorios y organizaciones para su observación, lo que resultó en la obtención de información en un amplio intervalo del espectro electromagnético (ultravioleta, visible, infrarrojo y radiofrecuencias) (Biermann, 1973), siendo el primer cometa observado por naves espaciales.

Uno de los descubrimientos más importantes fue la confirmación de agua en la cola del cometa (Wehinger *et al.*, 1974). Desde muchos años atrás se especulaba que el agua es uno de los principales componentes de los cometas, pero fue hasta entonces que se dio una confirmación directa de ello. Los cálculos indican que al estar a 1 ua de distancia del Sol, *Kohoutek* perdía cerca de 1 tonelada de agua por día. Por la excentricidad de su órbita, se estimó que ésta era la primera vez que pasaba cerca del Sol (Odell, 1976), y que se estructuró en las etapas tempranas de formación del sistema solar. En cuanto a moléculas orgánicas, se detectaron acetonitrilo (CH_3CN), ácido cianhídrico (HCN), carbono y oxígeno atómico (como productos de la descomposición de CO y CO_2) y cianuro (CN^-), entre otros (Gary, 1975).

Su avistamiento en la Tierra no dejó de causar sorpresas, y tuvo impactos culturales amplios: una venta desproporcionada de telescopios en 1973, grupos radicales religiosos y cultos que interpretaron el cometa de diversas formas (algunas catastrofistas, otras hasta esperanzadoras), canciones tituladas “Kohoutek” de bandas como R.E.M. o Journey. El genio del jazz, Sun Ra, interpretó y grabó el *Concert for the Comet Kohoutek* (concierto para el cometa Kohoutek) en 1973. Se le hizo referencia en programas televisivos de la cultura popular como “Los Simpson”, “Peanuts” y “El Chavo del 8”, así como en el cómic de Marvel *The Defenders* (los defensores) #15 (página 11), donde Magneto explica que el paso del cometa Kohoutek le ayudó a liberarse de su encierro en el núcleo de la Tierra (Lee *et al.*, 1974). Incluso Jaime Sabines se inspiró en él para escribir el poema *Veremos* (Sabines y Flores Liera, 2012):

VEREMOS

Veremos el cometa Kohoutek estos días.

Calculan los astrónomos que volverá a ser visto dentro de cincuenta mil años.

¿Entiendes mi arrebató?

¿No es una dádiva generosa amada, amiga mía, tu presencia hoy?

-Jaime Sabines

Shoemaker-Levy 9

Fue el primer cometa descubierto que no orbitaba alrededor del Sol, pues en el año de 1993 se observó que se encontraba orbitando al planeta Júpiter, contra el cual terminó impactando en 1994. El cometa fue capturado por la influencia gravitacional de Júpiter y conforme se acercaba al planeta, 21 fragmentos del cometa impactaron al gigante gaseoso, dejando marcas temporales en su atmósfera, lo que permitió que telescopios en la Tierra y el espacio (entre ellos el telescopio espacial Hubble), observaran los diferentes eventos, pudiendo obtener información sobre el material que hay debajo de la capa superficial de nubes del planeta gigante (Zahnle y Low, 1994; Weaver *et al.*, 1995). Se detectaron diversas moléculas en la atmósfera de Júpiter, tales como monóxido de carbono (CO), azufre (S₂), sulfuro de carbono (CS₂), amoníaco (NH₃), sulfuro de hidrógeno (H₂S), y metanol (CH₃OH), entre otras (Lellouch *et al.*, 1995).

9P/Tempel 1

A pesar de no ser un cometa particularmente brillante, es conocido porque en el año 2005 la sonda espacial *Deep Impact* (impacto profundo) lanzó un “impactador” a la superficie del cometa desde aproximadamente 500 km de distancia del núcleo, con el fin de obtener información de su composición interna, dejando un cráter de 150 m de diámetro aproximadamente (A’Hearn *et al.*, 2005). Posteriormente, en el año 2011, la sonda espacial *Stardust* se acercó al cometa para obtener imágenes del cráter dejado por el *Deep Impact* y observar su evolución (Schultz *et al.*, 2013).

55P/Tempel-Tuttle y 109P/Swift-Tuttle

La mayoría de las lluvias de meteoros (o lluvia de estrellas como se le conoce coloquialmente) son productos de los cometas, que al acercarse al Sol, pierden material tanto volátil como rocoso, dejando granos de polvo a lo largo de su órbita (Jenniskens, 2007). Cuando la Tierra u otro planeta se cruza con el rastro de los cometas, estos fragmentos entran a la atmósfera y generan el fenómeno lumínico conocido como meteoro, el cual es causado cuando el material cometario se funde, evapora e ioniza debido a su interacción con las moléculas de la atmósfera. Las Leónidas y las Perseidas son dos lluvias de meteoros muy famosas, que se originan por el paso de los cometas *55P/Tempel-Tuttle* y *109P/Swift-Tuttle*, respectivamente (Borovička, 2004).

2P/Encke

Tiene un periodo orbital corto, aproximadamente de 3 años, y fue muy estudiado porque este periodo se modifica constantemente, debido a dos razones principales: perturbaciones planetarias por Júpiter, Mercurio y Saturno, y a la desgasificación de su núcleo, pues cada que se acerca al Sol, su material sublima y pierde masa (Sekanina, 1991). Los estudios sobre *2P/Encke* contribuyeron al actual modelo de los cometas como “una bola de nieve sucia” (Whipple, 1950, 1951).

En 1908 entró a la atmósfera terrestre un cuerpo menor sobre la región de Tunguska, Rusia, el cual se fragmentó súbitamente alrededor de los 8 km de altura, lo que sonó como una gran explosión; aún se debate si fue un asteroide o un núcleo cometario. La energía liberada por el objeto en la atmósfera se estima entre 3 y 50 megatonnes. Dicha energía empujó al aire con una fuerza tal que cuando éste llegó a la superficie derribó 2150 ± 50 km² de árboles

de la taiga siberiana, arrasando con más de 80 millones de árboles y arbustos (Longo, 2007). Dentro y cerca del área de caída de árboles había aproximadamente 30 personas, de las cuales fallecieron al menos 3 (Jenniskens *et al.*, 2019). Hubo muchas hipótesis alrededor del origen de la explosión, desde antimateria o un agujero negro miniatura, hasta la caída de un asteroide, pero nunca se encontró evidencia. Shapley (1930), fue el primero en sugerir que el evento pudo ser originado por un cometa. Posteriormente, Kresak (1978) mostró, a partir de cálculos orbitales, que el objeto que cayó pudo ser un fragmento desprendido del cometa *Encke*. Este evento denota la importancia que tiene la investigación espacial actualmente, en particular, la búsqueda de objetos peligrosos que puedan impactar en la Tierra y generar cráteres o explosiones que pongan en riesgo la seguridad de las personas; objetos tales como asteroides, cometas o basura espacial.

Las Táuridas son una lluvia de meteoros que tienen su origen en un cometa más grande, que al fragmentarse dio origen al cometa *Encke* hace 20 000 años (Olano, 2021). El satélite *MESSENGER* (NASA) observó que material desprendido de este cometa también impacta en Mercurio (Killen y Hahn, 2015). Existe una observación realizada por la misión STEREO en el 2007, donde se ve la cola del cometa siendo “arrancada” por una eyección de masa coronal del Sol; el cual fue un evento increíble y de una belleza implícita singular (el lector puede encontrarlo si busca “cometa *Encke*” en Wikipedia). También tomó relevancia en el siglo XIX dentro de la discusión sobre el éter, una sustancia la cual se creía era el medio por el que se desplazaban las partículas de luz (teoría desacreditada hoy día), ya que notaron que el cometa acertaba su órbita con cada periodo, y esta cualidad fue atribuida a la resistencia que se generaba por el éter en el espacio (Mossotti, 1826); hoy en día se puede atribuir ese efecto a que la desgasificación del cometa puede inducir cambios en su curso. Por último, existe una hipótesis de que un cometa, el cual podría ir rotando sobre sí mismo, generaría una cola irregular similar a una espiral de varios brazos, lo cual pudo originar el símbolo de la esvástica en diferentes culturas del mundo separadas geográficamente (Sagan y Druyan, 1997). Aunque esta hipótesis debe ser tomada con extrema precaución, es interesante.

19P/Borrelly

Pertenece a la familia de los cometas jovianos, su núcleo y coma fueron observados y analizados por la sonda espacial *Deep Space 1* (Espacio profundo 1) en septiembre del 2001, con un equipo de sensores remotos llamado MICA (*Miniature Integrated Camera Spectrometer* / Espectrómetro Miniatura de Cámara Integrada) (Buratti *et al.*, 2004). Así pudo medirse un núcleo de 8 kilómetros de largo, con albedo variable (cociente de luz reflejada respecto a la luz incidente) y temperaturas superficiales de hasta 345 K. También se analizó el material y trayectorias de la coma; dando como resultado unas de las mejores imágenes de un cometa y mostrando que la formación de la coma es más compleja de lo que se pensaba debido a la presencia de un chorro de polvo principal que se dividía en tres más pequeños (Soderblom *et al.*, 2002). Análisis con un espectrómetro de masas mostró los iones predominantes: OH⁺ (57 %), H₂O⁺ (29 %), O⁺ (13 %), CH₃⁺ (5 %), CH₂⁺ (4 %). De particular interés fue la pequeña cantidad detectada del ion H₃O⁺ (<9 %), ya que fue la molécula más abundante observada en el cometa *Halley* durante una misión de acercamiento (Nordholt *et al.*, 2003).

81P/Wild 2

Pertenece actualmente a los cometas de la familia de Júpiter. En 1974 el gigante gaseoso le hizo cambiar su órbita drásticamente, pasando de tener un perihelio de 4.9 ua y un afelio de 25 ua, a unos de 1.58 ua y 5.2 ua, respectivamente (Tsou *et al.*, 2004). En enero del 2004, la sonda espacial *Stardust* de la NASA realizó análisis remotos de su núcleo y coma; así mismo colectó polvo de su coma que impactó en celdas de aerogel (material ultraligero poroso hecho a base de sílica similar a una esponja) y láminas de aluminio (Flynn, 2008). *Stardust* tuvo la capacidad de regresar a la Tierra con las muestras colectadas para su análisis en enero del 2006.

El análisis de los pequeños cráteres de impacto hechos por el polvo en el aerogel y en las láminas de aluminio, muestran diversidad de tamaños y tipos de minerales, siendo la mayoría olivino, piroxeno con bajo contenido de calcio y sulfuros de hierro, aunque en una celda dominaron los minerales refractarios (minerales que resisten temperaturas mayores a 1850 K sin descomponerse) similares a las inclusiones de calcio-aluminio presentes en las meteoritas primitivas (Flynn, 2008), lo cual es importante porque pueden ser indicadores de los primeros minerales formados en todo el sistema solar. También se encontraron compuestos orgánicos muy interesantes, tales como hidrocarburos aromáticos con masa atómica desde 78 hasta 800 unidades y compuestos alifáticos de baja masa como alcoholes, éteres, aminas y aminoácidos (glicina, L-alanina, metilamina, y etilamina), entre otros (Sandford *et al.*, 2006). La presencia de glicina en un cometa es un descubrimiento muy relevante, dado que es uno de los aminoácidos formadores de proteínas en los seres vivos, por lo cual es un bloque fundamental para la vida misma. Su descubrimiento apoya la teoría de que algunos componentes para el origen de la vida en la Tierra provinieron del espacio exterior.

Hale-Bopp (C/1995 O1)

Es uno de los cometas más famosos y relevantes de la era moderna. Fue descubierto simultáneamente por Alan Hale y Thomas Bopp el 23 de julio de 1995 en los Estados Unidos, es el cometa de mayor tamaño, brillo y tiempo de visibilidad del que se tiene registro (Combi, 2002), por lo que ha recibido indiscutiblemente el apelativo de "Gran Cometa". Gozó de interés en una extensa variedad de regiones del globo, y fue observable a través de telescopios durante años. Debido a su insólita intensidad luminosa (unas 11 000 veces más brillante que *Halley* en 1986) pudo distinguirse intensidad lumínica en el cielo del hemisferio norte a simple vista durante el día y la noche durante casi 21 meses; por lo que rompió el récord de tiempo de visibilidad que había establecido el Gran Cometa de 1811 (Seargent, 2009). El que apareciera a finales del siglo XX hizo posible que se tenga registro completo y detallado de su recorrido, dinámica y comportamiento.

Hale-Bopp es un cometa inusual, pues presentó fenómenos en su coma que nunca se habían advertido (Combi, 2002; Seargent, 2009): explosiones con la forma de jets y espirales, una tercera cola de sodio eléctricamente neutro y una alta tasa de escape de agua (Combi, 2002; Seargent, 2009). Los nuevos descubrimientos sobre su composición química motivaron estudios relacionados con el papel de la materia orgánica cometaria para la química prebiótica y el origen de la vida (Ehrenfreund y Charnley, 2000).

67P/Churyumov-Gerasimenko

Fue descubierto en 1969 por Klim Churyumov, al examinar fotos de otro cometa tomadas por Svetlana Gerasimenko (ESA, s/f). Es observable desde la Tierra cada 6.6 años. La sonda espacial Rosetta de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), fue lanzada el año 2004 y tuvo una compleja trayectoria espacial, donde aprovechó la influencia gravitacional de Marte y la Tierra para llegar al cometa en noviembre del año 2014. Posteriormente desplegó un módulo de aterrizaje (*Philae*) sobre la superficie, para así poder estudiar la coma y el núcleo, caracterizando el gas, polvo, morfología y compuestos orgánicos (Barucci y Fulchignoni, 2017).

Esta misión tuvo muchísimos resultados interesantes pero nos gustaría mencionar tres en especial: 1) La información detallada sobre su morfología, siendo un cometa compuesto por un lóbulo principal y uno secundario más pequeño, se identificaron 26 regiones geológicas (El-Maarry *et al.*, 2016) y diversas zonas de actividad donde se generan la coma y la cola. 2) El análisis de su superficie muestra una compleja mezcla de compuestos orgánicos, agua y dióxido de carbono. El espectrómetro de gases COSAC analizó directamente el núcleo del cometa y mostró 16 compuestos orgánicos, entre ellos algunos con relevancia prebiótica: acetaldehído, glicolaldehído, acetona y etilamina, entre otros; algunos detectados por primera vez en un cometa (Goesmann *et al.*, 2015). 3) La medición de la relación isotópica entre Deuterio e Hidrógeno (D/H) en el agua del cometa muestra valores tres veces mayores a los del agua terrestre (Altwegg *et al.*, 2015). Al comparar los valores de D/H de diversos cometas (jovianos y provenientes de la nube de Oort) y asteroides, se obtiene que existe una heterogeneidad en las relaciones isotópicas del agua en el sistema solar, indicando la importancia de la zona en la cual se formó el agua; lo que aporta mucho a la discusión del origen del agua en la Tierra, sugiriendo que el agua en nuestro planeta se acumuló desde su formación, y si hubo una contribución por parte de cometas en la Tierra primitiva, no fue en cantidades significativas.

COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

Los cometas han generado reacciones de todo tipo en la humanidad, entre ellas una fascinación y sorpresa que han impulsado descubrimientos, muchas teorías científicas, avances tecnológicos y numerosas discusiones teológicas y sociales; así como cambios de paradigma en diferentes religiones y culturas a lo largo de la historia humana; el gran cometa de 1680 es el ejemplo perfecto de esto.

En los siglos XX y XXI, los cometas han sido blanco de numerosas investigaciones científicas, permitiendo la innovación y generación de nuevas tecnologías para su exploración y análisis, al grado de que ahora se han podido realizar trabajos *in situ* y hasta recuperar material para su investigación más detallada en la Tierra.

Parece que los cometas no dejan de guardar secretos y es emocionante pensar hasta dónde se llegará para desvelarlos. Cada nueva contribución nos lleva un paso más cerca de descubrimientos sobre el origen del sistema solar, su desarrollo, la influencia gravitacional de diferentes planetas, sus propios cambios morfológicos y la dinámica de sus partículas, las reacciones químicas a diversas temperaturas y bajas presiones, la evolución química y, posiblemente, el origen de la vida.

Si quisiera el lector profundizar más en la historia de los cometas, les recomendamos el libro *The Greatest Comets in History* (Seargent,

2009), que ha sido citado varias veces en este texto, y tiene una compilación histórica de más de 70 cometas, algunos de registros con antigüedad mayor a los 2000 años; lamentablemente no cuenta con una versión en español; este escrito busca hacer un acercamiento al tema en este idioma. En español, sugerimos el libro *De Paracelso a Newton: La magia en la creación de la ciencia moderna* (Webster et al., 1988), que es un acercamiento al desarrollo del pensamiento científico y filosófico. También recomendamos el texto *José Guadalupe Posada entre cometas y terremotos* (Sáenz, 1986), donde se relatan diversas historias Sobre cómo se vivieron fenómenos naturales (terremotos y el paso de cometas) en la sociedad, y cuenta con ilustraciones de los grabados que Posada realizó de estos eventos. Por último, invitamos al lector a buscar en internet las pinturas que se realizaron en su respectiva época sobre “Los Grandes Cometas” de 1577, 1680 y 1811, las cuales estamos seguros que les parecerán más que interesantes.

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias de la Tierra por el apoyo académico y a CONAHCYT por el apoyo económico (CVU 929149). A la Dra. Guadalupe Cordero por sus imprescindibles revisiones, correcciones y aportes a este trabajo, al M. en C. Claudio A. Fuentes-Carreón por su revisión del Abstract, a la M. en C. María F. Martínez-Velarde por sus continuas charlas en torno al tema, y a la Dra. Alicia Negrón por su constante asesoría.

REFERENCIAS

- A’Hearn, M. F., Belton, M. J. S., Delamere, W. A., Kissel, J., Klaassen, K. P., McFadden, L. A., Meech, K. J., Melosh, H. J., Schultz, P. H., Sunshine, J. M., Thomas, P. C., Veverka, J., Yeomans, D. K., Baca, M. W., Busko, I., Crockett, C. J., Collins, S. M., Desnoyer, M., Eberhardt, C. A., ... White, R. L. (2005). Deep Impact: Excavating Comet Tempel 1. *Science*, 310(5746), 258–264. <https://doi.org/10.1126/science.1118923>
- Altwegg, K., Balsiger, H., Bar-Nun, A., Berthelier, J. J., Bieler, A., Bochslers, P., Briois, C., Calmonte, U., Combi, M., De Keyser, J., Eberhardt, P., Fiethe, B., Fuselier, S., Gasc, S., Gombosi, T. I., Hansen, K. C., Hässig, M., Jäckel, A., Kopp, E., ... Würz, P. (2015). 67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio. *Science*, 347(6220), 1261952. <https://doi.org/10.1126/science.1261952>
- Aparicio-Sedano, H. R. (2015). Análisis de la controversia novohispana sobre el cometa de 1680-1681. Una aproximación histórica desde el campo científico. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
- Barucci, M. A., y Fulchignoni, M. (2017). Major achievements of the Rosetta mission in connection with the origin of the solar system. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 25(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s00159-017-0103-8>
- Bauer, R. (2009). Los grandes cometas de 1680/1681 y la política del saber criollo en la Nueva España y la Nueva Inglaterra. *Revista Iberoamericana*, 75(228), 697–715. <https://doi.org/10.5195/REVIBEROAMER.2009.6603>
- Biermann, L. (1973). Comet Kohoutek. *Nature*, 246(5433), Article 5433. <https://www.nature.com/articles/246400a0.pdf>
- Borovička, J. (2004). Elemental Abundances in Leonid and Perseid Meteoroids. *Earth, Moon, and Planets*, 95(1–4), 245–253. <https://doi.org/10.1007/s11038-005-4340-x>
- Brandt, J. C. (1968). The Physics of Comet Tails. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 6(1), 267–286. <https://doi.org/10.1146/annurev.aa.06.090168.001411>
- Buratti, B. J., Hicks, M. D., Soderblom, L. A., Britt, D., Oberst, J., y Hillier, J. K. (2004). Deep Space 1 photometry of the nucleus of Comet 19P/Borrelly. *Icarus*, 167(1), 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2003.05.002>
- Combi, M. (2002). Hale-Bopp: What Makes a Big Comet Different? *Coma Dynamics: Observations and Theory*. In H. Boehnhardt, M. Combi, M. R. Kidger, y R. Schulz (Eds.), *Cometary Science after Hale-Bopp* (pp. 73–90). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1086-2_4
- Dávila-Martínez, J. F. J. (2012). El gran cometa de 1680 y la polémica de Kino y Sigüenza [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM].
- Ehrenfreund, P., y Charnley, S. B. (2000). Organic Molecules in the Interstellar Medium, Comets, and Meteorites: A Voyage from Dark Clouds to the Early Earth. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 38(1), 427–483. <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.38.1.427>
- El-Maarry, M. R., Thomas, N., Gracia-Berná, A., Pajola, M., Lee, J.-C., Massironi, M., Davidsson, B., Marchi, S., Keller, H. U., Hviid, S. F., Besse, S., Sierks, H., Barbieri, C., Lamy, P. L., Koschny, D., Rickman, H., Rodrigo, R., A’Hearn, M. F., Auger, A.-T., ... Vincent, J.-B. (2016). Regional surface morphology of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from Rosetta/OSIRIS images: The southern hemisphere. *Astronomy y Astrophysics*, 593, A110. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201628634>
- Emiliani, C. (1992). Planet earth: Cosmology, geology, and the evolution of life and environment. Cambridge University Press.
- Erickson, J., y Erickson, J. (2003). Asteroids, comets, and meteorites: Cosmic invaders of the Earth. Facts on file science library.
- ESA. (s/f). Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Comet_67P_Churyumov-Gerasimenko
- Flynn, G. J. (2008). Physical, Chemical, and Mineralogical Properties of Comet 81P/Wild 2 Particles Collected by Stardust. *Earth, Moon, and Planets*, 102(1–4), 447–459. <https://doi.org/10.1007/s11038-007-9214-y>
- Gary, G. A. (1975). Comet Kohoutek: A Workshop Held at Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama, June 13-14, 1974 : [papers]. Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration.
- Gauger-Quiroz, J. M. (2015). Autoridad Jesuita y saber universal: La polémica comentaria entre Carlos de Sigüenza y Góngora y Eusebio Francisco Kino. IDEEA/IGAS.
- Goesmann, F., Rosenbauer, H., Bredehöft, J. H., Cabane, M., Ehrenfreund, P., Gautier, T., Giri, C., Krüger, H., Le Roy, L., MacDermott, A. J., McKenna-Lawlor, S., Meierhenrich, U. J., Caro, G. M. M., Raulin, F., Roll, R., Steele, A., Steining, H., Sternberg, R., Szopa, C., ... Ulamec, S. (2015). Organic compounds on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko revealed by COSAC mass spectrometry. *Science*, 349(6247), aab0689. <https://doi.org/10.1126/science.aab0689>
- Gulyaev, R. A. (2015). Type I cometary tails and the solar wind at the epoch of the Maunder minimum. *Astronomy Reports*, 59(8), 791–794. <https://doi.org/10.1134/S106377291508003X>
- Hughes, D. W. (1988). The Principia and comets. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 42(1), 53–74. <https://doi.org/10.1098/rsnr.1988.0007>
- Iriarte Aguirrezabal, J., y Churrua, J. de. (1996). La canción del Cometa de 1577. Universidad de Deusto.
- Jenniskens, P. (2007). Meteor showers and their parent comets (pp. 56–62). <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007pimo.conf..56J>
- Jenniskens, P., Popova, O. P., Glazachev, D. O., Podobnaya, E. D., y Kartashova, A. P. (2019). Tunguska eyewitness accounts, injuries, and casualties. *Icarus*, 327, 4–18. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.01.001>
- Killen, R. M., y Hahn, J. M. (2015). Impact vaporization as a possible source of Mercury’s calcium exosphere. *Icarus*, 250, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.11.035>
- Kino E.F. (1681). Exposicion astronomica de el cometa: Que el año de 1680. Por los meses de noviembre, y diciembre, y este año de 1681. Por los meses de enero y febrero, se ha visto en todo el mundo, y le ha observado en la ciudad de Cadiz.
- Kresak, L. (1978). The Tunguska Object: A Fragment of Comet Encke? *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 29, 129.
- Lee, S., Wein, L., Buscema, S., Janson, K., Wein, G., Costanza, J., y Thomas, R. (1974). The Defenders vs. Magneto and his

- Brotherhood of Evil Mutants: Vol. 1 #15. Marvel Comics Group.
- Lellouch, E., Paubert, G., Moreno, R., Festou, M. C., Bézard, B., Bockelée-Morvan, D., Colom, P., Crovisier, J., Encrenaz, T., Gautier, D., Marten, A., Despois, D., Strobel, D. F., y Sievers, A. (1995). Chemical and thermal response of Jupiter's atmosphere following the impact of comet Shoemaker-Levy 9. *Nature*, 373(6515), Article 6515. <https://doi.org/10.1038/373592a0>
- Levison, H. F. (1996). Comet taxonomy. In *Completing the Inventory of the Solar System* (Vol. 107, pp. 173-191).
- Longo, G. (2007). The Tunguska Event. In P. T. Bobrowsky y H. Rickman (Eds.), *Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An Interdisciplinary Approach* (pp. 303-330). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32711-0_18
- Lusher, R. (2011). Comet culture. *Astronomy y Geophysics*, 52(5), 5.16-5.17. <https://doi.org/10.1111/j.1468-4004.2011.52516.x>
- Vicent, J., Martínez, M., Joan, A., Marco, E., & Galadí-Enríquez, D. (2005). *Astronomía Fundamental*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- McFadden, L.-A., y Britt, D. T. (2003). Primitive Solar System Objects: Asteroids and Comets. In *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (pp. 73-85). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00031-4>
- Mossotti, O. F. (1826). On the Variation in the Mean Motion of the Comet of Encke, produced by the resistance of an ether. *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 2, 55.
- Nordholt, J. E., Reisenfeld, D. B., Wiens, R. C., Gary, S. P., Crary, S. P., Delapp, D. M., Elphic, R. C., Funsten, H. O., Hanley, J. J., Lawrence, D. J., McComas, D. J., Shappirio, M., Steinberg, J. T., Wang, J., y Young, D. T. (2003). Deep Space 1 encounter with Comet 19P/Borrelly: Ion composition measurements by the PEPE mass spectrometer. *Geophysical Research Letters*, 30(9), 1465. <https://doi.org/10.1029/2002GL016840>
- Odell, C. R. (1976). Physical processes in Comet Kohoutek. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 88, 342. <https://doi.org/10.1086/129954>
- Olano, C. A. (2021). Influencias astronómicas sobre la evolución geológica y biológica de la Tierra (parte I). <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2107.04719>
- Sabines, J., y Flores Liera, G. (2012). *Antología poética (4a ed)*. Fondo de Cultura Económica.
- Sáenz, O. (1986). José Guadalupe Posada entre cometas y terremotos. *Anales Del Instituto de Investigaciones Estéticas*, 14(56), 205. <https://doi.org/10.22201/iiie.18703062e.1986.56.1303>
- Sagan, C., y Druyan, A. (1997). *Comet* (1st Ballantine books ed). Ballantine Books.
- Sandford, S. A., Aléon, J., Alexander, C. M. O., Araki, T., Bajt, S., Baratta, G. A., Borg, J., Bradley, J. P., Brownlee, D. E., Brucato, J. R., Burchell, M. J., Busemann, H., Butterworth, A., Clemett, S. J., Cody, G., Colangeli, L., Cooper, G., D'Hendecourt, L., Djouadi, Z., Zolensky, M. E. (2006). Organics Captured from Comet 81P/Wild 2 by the Stardust Spacecraft. *Science*, 314(5806), 1720-1724. <https://doi.org/10.1126/science.1135841>
- Schechner, S. J. (1999). *Comets, popular culture, and the birth of modern cosmology* (3. print. and 1. paperback print). Princeton University Press.
- Schultz, P. H., Hermalyn, B., y Veverka, J. (2013). The Deep Impact crater on 9P/Tempel-1 from Stardust-NExT. *Icarus*, 222(2), 502-515. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.06.018>
- Seargent, D. A. J. (2008). The Greatest Comets from A.D. 1000 to 1800. In D. A. J. Seargent, *The Greatest Comets in History* (pp. 91-124). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09513-4_4
- Seargent, D. A. J. (2009). *The Greatest Comets in History: Broom Stars and Celestial Scimitars*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09513-4>
- Sekanina, Z. (1991). Encke, the comet. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 85, 324-376.
- Shapley, H. (1930). *Flights from chaos; a survey of material systems from atoms to galaxies, adapted from lectures at the College of the city of New York, Class of 1872 foundation*. In New York. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1930fcsm.book.....S>
- Sigüenza y Góngora, C. de. (1681). *Manifiesto filosófico contra los cometas despojados del imperio que tenían sobre los tímidos*. <https://www.revistadeluniversidad.mx/download/453be1d6-612d-49d0-b050-efb559726e39?filename=manifiesto-filosofico-contra-los-cometas-despojados-del-imperio-que-tenian-sobre-los-timidos>
- Soderblom, L. A., Becker, T. L., Bennett, G., Boice, D. C., Britt, D. T., Brown, R. H., Buratti, B. J., Isbell, C., Giese, B., Hare, T., Hicks, M. D., Howington-Kraus, E., Kirk, R. L., Lee, M., Nelson, R. M., Oberst, J., Owen, T. C., Rayman, M. D., Sandel, B. R., ... Yelle, R. V. (2002). Observations of Comet 19P/Borrelly by the Miniature Integrated Camera and Spectrometer Aboard Deep Space 1. *Science*, 296(5570), 1087-1091. <https://doi.org/10.1126/science.1069527>
- Spohn, T., Breuer, D., y Johnson, T. V. (Eds.). (2014). *Encyclopedia of the solar system* (Third edition). Elsevier.
- Tsou, P., Brownlee, D. E., Anderson, J. D., Bhaskaran, S., Chevront, A. R., Clark, B. C., Duxbury, T., Economou, T., Green, S. F., Hanner, M. S., Hörz, F., Kissel, J., McDonnell, J. A. M., Newburn, R. L., Ryan, R. E., Sandford, S. A., Sekanina, Z., Tuzzolino, A. J., Vellinga, J. M., y Zolensky, M. E. (2004). Stardust encounters comet 81P/Wild 2. *Journal of Geophysical Research*, 109(E12), E12S01. <https://doi.org/10.1029/2004JE002317>
- Voelzke, M. R. (2006). Disconnection Events Processes in Cometary Tails. *Earth, Moon, and Planets*, 97(3-4), 399-409. <https://doi.org/10.1007/s11038-006-9073-y>
- Weaver, H. A., A'Hearn, M. F., Arpigny, C., Boice, D. C., Feldman, P. D., Larson, S. M., Lamy, P., Levy, D. H., Marsden, B. G., Meech, K. J., Noll, K. S., Scotti, J. V., Sekanina, Z., Shoemaker, C. S., Shoemaker, E. M., Smith, T. E., Stern, S. A., Storrs, A. D., Trauger, J. T., ... Zellner, B. (1995). The Hubble Space Telescope (HST) Observing Campaign on Comet Shoemaker-Levy 9. *Science*, 267(5202), 1282-1288. <https://doi.org/10.1126/science.7871424>
- Webster, C., Lucotti, C., y miquel, Án. (1988). *De Paracelso a Newton: La magia en la creación de la ciencia moderna*. Fondo de Cultura Económica.
- Wehinger, P. A., Wyckoff, S., Herbig, G. H., Herzberg, G., y Lew, H. (1974). Identification of H₂O in the Tail of Comet Kohoutek (1973f). *The Astrophysical Journal*, 190, L43. <https://doi.org/10.1086/181500>
- Whipple, F. L. (1950). A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. *The Astrophysical Journal*, 111, 375. <https://doi.org/10.1086/145272>
- Whipple, F. L. (1951). A Comet Model. II. Physical Relations for Comets and Meteors. *The Astrophysical Journal*, 113, 464. <https://doi.org/10.1086/145416>
- Wilkening, L. L., y Matthews, M. S. (1982). *Comets*. University of Arizona Press.
- Zahnle, K., y Low, M.-M. M. (1994). The Collision of Jupiter and Comet Shoemaker-Levy 9. *Icarus*, 108(1), 1-17. <https://doi.org/10.1006/icar.1994.1038>
- Zakharov, V. V., Rotundi, A., Della Corte, V., Fulle, M., Ivanovski, S. L., Rodionov, A. V., y Bykov, N. Y. (2021). On the similarity of dust flows in the inner coma of comets. *Icarus*, 364, 114476. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114476>

Manuscrito recibido: 27 de marzo de 2023

Manuscrito corregido recibido: 23 de mayo de 2023

Manuscrito aceptado: 29 de mayo de 2023