

Nacimiento y muerte de los Cometas

El almacén de los cometas

La revolución decisiva vino de la mano de Newton y Halley hacia finales del siglo XVII cuando, por el estudio detallado de las órbitas de algunos cometas, llegaron a la conclusión de que las órbitas eran elípticas, y por lo tanto similares a las que daban lugar al movimiento periódico de los planetas. Esto significaba que para alguno de estos cometas se podían suponer pasos previos (confirmados luego por el análisis histórico) y predecir futuras apariciones (que también ocurrieron puntualmente). Entonces los cometas entraron a formar parte del grupo de cuerpos que gravitan entorno al Sol con órbitas perfectamente descritas según las leyes de Kepler.

El estudio analítico de las órbitas de los cometas surgió pronto, a parte del hecho de estar caracterizadas por una elevada excentricidad orbital (lo que significa órbitas fuertemente elípticas), se vio la posibilidad de realizar una primera clasificación de estos objetos en base al valor del periodo orbital. Se identificaron así los cometas de largo periodo, caracterizados por órbitas con periodos superiores a unos 200 años, y los cometas de corto periodo, cuyo retorno al perihelio era mas frecuente y, comúnmente, inferior a 200 años.

El grupo más numeroso está representado por los cometas de largo periodo, que constituyen la mayor parte (84%) de los cometas con órbita conocida. Estos cometas entran en la zona planetaria del Sistema Solar bajo cualquier ángulo, la inclinación respecto a la eclíptica es al azar, alrededor del 50% está caracterizado por la revolución retrógrada (1).

A pesar de la extremada limitación de los datos disponibles (una veintena de cometas de largo periodo de los que se conocía la órbita original), en 1950 J. H. Oort presentó un estudio acerca de la procedencia de los cometas: hoy, aunque con algunas correcciones, el cuadro trazado por el astrónomo holandés no ha sido modificado sustancialmente. Partiendo de las observaciones de la probabilidad de las características orbitales, J. H. Oort concluyó que la zona de procedencia debe ser una nube esférica (hoy exactamente la Nube de Oort); Analizando entonces la distancia de los afelios de los cometas, en 1950 determinó el radio de la capa de mayor densidad de esta nube, cuantificándolo en 40.000 U.A. Esta hipótesis ha sido confirmada por las observaciones más recientes: las órbitas de los cometas nuevos (de largo periodo) indican que todos proceden de esta nube, cuyo radio ha sido estimado en unas 50.000 U.A. Actualmente se distinguen en la nube de Oort dos regiones diferentes llamadas respectivamente “nube externa” y “nube interna”. La nube externa es mas o menos esférica y se extiende a partir de alrededor de 20.000 U.A. Su población se estima en 2×10^{12} objetos, alrededor del 40% de la población original. La nube interna se estima que contenga $2 \times 10^{12} - 10^{13}$ cometas; su localización está entre 3.000 y 20.000 U.A. y a diferencia de la externa, no tendría forma esférica, sino más bien achatada, en forma de toro.

La hipótesis inicial de Oort preveía que los cometas pudieran haberse formado en el cinturón de asteroides para seguidamente alejarse del Sistema Solar bajo la acción gravitacional de Júpiter. Esto habría requerido una enorme masa de cometas ya que, estadísticamente, la masa expulsada definitivamente del Sistema Solar debería ser mucho mayor que la que permaneció en la nube de Oort. Juega también a favor de esta hipótesis una valoración de la temperatura la cual debe permanecer próxima a la de Júpiter para excluir la formación de moléculas más complejas que la del agua. Según Cameron (1976) los cometas se forman directamente en la nube de Oort, a grandes distancias del Sol, de hecho, el gas en vías de colapso de la nebulosa solar primordial no habría tenido una densidad suficiente para permitir la agregación en cuerpos suficientemente grandes, por lo que estas agregaciones se detendrían dando origen a los núcleos cometarios. El propio Cameron, sin embargo, sugiere un posible mecanismo alternativo: supongamos que la nebulosa inicial estuviese fraccionada, es decir constituida por un fragmento central más grande (que pudo dar origen al Sol y al disco protoplanetario) y de fragmentos de dimensiones menores (que habrían originado de este modo la “nebulosa cometaria”) orbitando a su alrededor. Ocurriría que esta nebulosa (en forma de disco) sería el lugar de formación de los cometas, y de esta nebulosa orbitando entorno al Sol podrían ser extraídos, por medio de mecanismos de perturbaciones que se describen mas adelante; los cometas de largo periodo (Figura 1 - Cameron, El origen y la evolución del Sistema Solar, pag. 30).

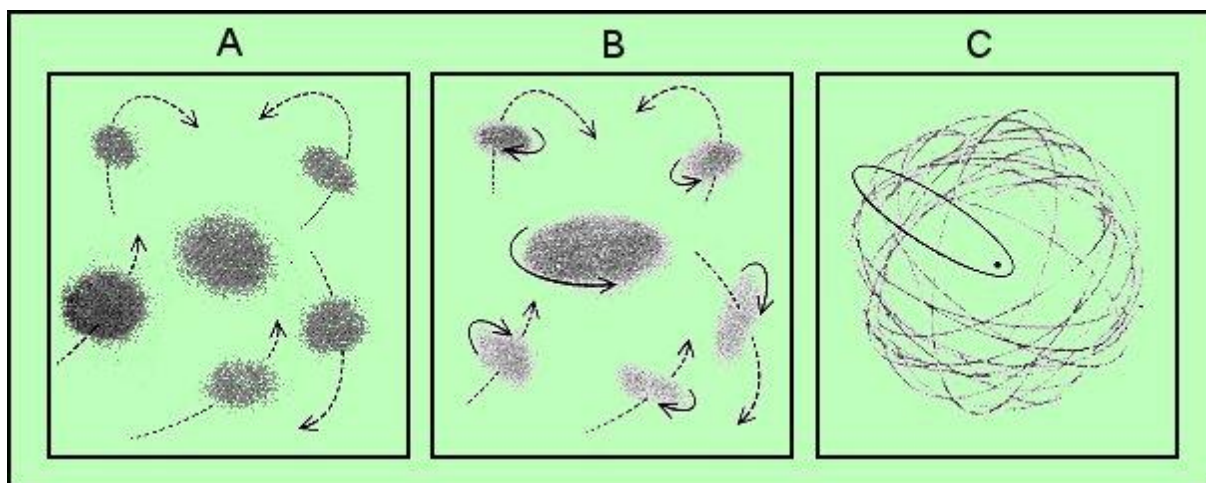


Figura 1. Hipótesis de Cameron sobre la formación de los cometas:
 A) fragmentos de la nebulosa originaria orbitando entorno al fragmento principal
 B) fase de condensación (formación del disco)
 C) situación después del "pulido" operado por el viento T-Tauri.

Otra hipótesis (Fernandez e Ip, 1983) liga la formación de la nube de Oort a la agregación más lenta de Urano y Neptuno respecto a la de los demás planetas. En la zona de formación de estos planetas habría una gran disponibilidad de planetesimales y el mecanismo de agregación estaba caracterizado por una baja eficiencia a causa de la ausencia de gas (situación bien distinta a la que habría llevado a la rapidísima acreción de Júpiter y, sucesivamente, Saturno). Este factor doble habría hecho que los planetesimales pudieran sentir los efectos gravitatorios de Urano y Neptuno (a pesar de sus dimensiones inferiores a las actuales) hasta el punto de ser lanzados en órbitas parecidas a las de los cuerpos que constituyen la nube de Oort.

Se puede sin embargo afirmar que la nube externa de Oort señala los confines del Sistema Solar y se piensa que se puede extender hasta cubrir cerca de 1/3 de la distancia a Próxima Centauri, es decir entorno a 80.000 U.A.

Resulta inevitable que a estas distancias enormes del Sol los cometas puedan ser perturbados fácilmente en su movimiento. Dos factores son los responsables fundamentales de las perturbaciones del movimiento:

1. El paso próximo al lado del Sol de otra estrella (evento que sucede con una frecuencia típica de algunos millones de años);
2. Fuerzas de marea de la vía láctea (evidencias de que los cometas nuevos tienden a evitar el plano galáctico y sus polos).

El movimiento del Sol en la Galaxia, de hecho, está caracterizado también por una componente vertical a través del disco galáctico: en el tiempo en que el Sol efectúa una rotación completa entorno al centro galáctico ($T \sim 3 \times 10^8$ años) completa cuatro o cinco oscilaciones por encima y por debajo del plano galáctico (Gratton, 1978), y estos pasos, con una periodicidad de unos 30 millones de años, inducen unas ligeras perturbaciones en la nube.

Hay otra explicación de esta periodicidad en la que se recurre a la hipótesis Némesis (2) basada en el registro de las grandes extinciones periódicas en masa (periodicidad por otro lado todavía por confirmar) que han caracterizado la evolución biológica sobre nuestro planeta y a la cual se han referido siempre hablando del riesgo de impactos de cuerpos celestes con la Tierra.

Estas perturbaciones de la situación dinámica de los cometas pudieron tener consecuencias opuestas entre sí: o el cometa fue lanzado sobre una órbita hiperbólica, y por lo tanto se desligó de la atracción gravitatoria del Sol y fue expulsado del Sistema Solar, o bien fue empujado a la zona de los planetas donde podría de nuevo sufrir profundas modificaciones orbitales. En el mismo periodo en que Oort avanzaba su nueva teoría, se teorizaba sobre la existencia de un gran anillo de restos primordiales más allá de la órbita de Neptuno, una especie de "anillo de Saturno" que rodearía al Sistema Solar, constituido por los restos que no habrían podido condensarse en cuerpos grandes: la teoría propuesta en 1951 por G. Kuiper (de aquí la definición de Cinturón de Kuiper) e incluso anteriormente, en 1949, por K.E. Edgeworth, se muestra correcta hoy en día, gracias a las aportaciones del H.S.T. El cinturón de Kuiper está actualmente localizado entre la órbita de Neptuno y 100 U.A., con la presencia también de una laguna entre el propio cinturón y la nube interna de Oort. La población característica del cinturón de Kuiper está constituida por objetos muy pequeños (radio de pocos km) y por cuerpos de dimensiones mayores (50-200 Km). El descubrimiento de estos cuerpos está prácticamente prohibida a la observación desde Tierra, excepto, quizás, para aquellos objetos de dimensiones mayores, como ha demostrado el descubrimiento inicial de D. Jewitt y J.Luu en marzo 1992 con la identificación de 1992 QB1. Es indispensable, por lo tanto, recurrir a la observación espacial. Y ha sido gracias a las prestaciones

concurrentes en el H.S.T. que han sido identificados, en órbitas situadas más allá de la de Neptuno, 29 objetos cuyo radio, suponiendo un albedo del 4%, se ha estimado en 5-10km (Cochran et al., 1995). Una aproximación estadística basada en los descubrimientos efectuados hasta ahora permite pensar, en la región comprendida entre 20 y 50 U.A., en la existencia de una población de $\sim 10^{10}$ elementos (Stern, 1995). Estos Objetos parecen confinados dentro de un disco bastante fino aplastado según el plano de la eclíptica, y esto no hace más que favorecer la identificación de esta zona con el reservorio del cual provienen los cometas de corto periodo. Una prueba posterior a favor de esta teoría procede de integraciones numéricas: se ha demostrado la estabilidad dinámica de una parte significativa de los objetos que se forman en el cinturón de Kuiper, pero al mismo tiempo se ha evidenciado la posibilidad, debido a pequeñas inestabilidades gravitatorias inducidas por los planetas gigantes, de que estos objetos pueden suministrar adecuadamente la población de los cometas de corto periodo (Stern, 1995). La importancia de este descubrimiento (Cochran et al., 1995), reside en el hecho de que es la primera vez que se han descubierto objetos de las dimensiones de los cometas de corto periodo en su zona de origen. Y es también la primera vez que se tiene éxito en identificar en base observacional una región del Sistema Solar que origina los cometas de corto periodo. Por todo ello parece evidente como, en el estado actual, se considera cierta la existencia de un disco de materia en la periferia de la zona planetaria, tal como el sugerido por Edgeworth y Kuiper en los años 50.

No ha sido siempre evidente la conexión entre los cometas, sobre todo los de corto periodo, y las regiones más periféricas del Sistema Solar (nube de Oort o cinturón de Kuiper); Se ha intentado, de hecho, muchas veces identificar otros reservorios más cercanos al Sol, pero con resultados no siempre aceptados por la comunidad científica. Recordemos con este propósito la teoría del astrónomo soviético S.K. Vsekhsvyatskii que, en los años 70, imaginaba un origen ligado a las erupciones volcánicas ocurridas en planetas mayores o en sus satélites (Maffei, 1977). En aquellos mismos años Rabe pensaba que una posible fuente de los cometas de corto periodo podría ser identificada con el mecanismo de evolución dinámica de los asteroides Troyanos, cuya similitud física con los núcleos de los cometas extintos había llevado ya a pensar en un mecanismo inverso, es decir la captura de núcleos cometarios por parte de Júpiter. Recientes simulaciones dinámicas (Marzari et al., 1995) han intentado evaluar de manera fiable la eficiencia del mecanismo de “evaporación” de los Troyanos como posible fuente de los cometas de corto periodo, pero las conclusiones no son muy definitivas, debido al escaso conocimiento de los parámetros reales de estos asteroides. Queda sin embargo el dato de que el mecanismo evolutivo por colisiones evaluado es capaz de enviar una fracción significativa de los miembros de la familia de cometas simulada hacia órbitas caóticas.

Siempre surgen serias dudas sobre el hecho de que los cometas de corto periodo hayan podido tener origen en el reservorio gigantesco de cometas de la nube de Oort. El análisis de sus parámetros orbitales (sobre todo el bajo valor de la inclinación) conlleva, de hecho, gran perplejidad acerca de la posibilidad de que una órbita inicialmente caracterizada por una inclinación al azar (en cuanto que procede de una nube esférica) pueda ser modificada y aplanada de una forma tan eficiente por las perturbaciones planetarias.

En un estudio reciente, A. Stern y H. Campins (1996) identificaron dos posibles regiones que constituirían el reservorio de los cometas de corto periodo:

1. una primera región es la zona más allá de la órbita de Neptuno, en la cual las perturbaciones de los planetas gigantes son de tal grado que pueden modificar la excentricidad de las órbitas en escalas de tiempo comparables a la edad del Sistema Solar. Es esta estabilidad del mecanismo a gran escala, de hecho, el criterio principal de identificación del lugar de origen de los cometas de corto periodo.

2. la segunda región se identifica con la lenta evaporación dinámica de los Troyanos, pero el mecanismo de extracción de objetos de esta segunda zona, sin embargo, habiendo sido simulado dinámicamente con anterioridad (Marzari et al., 1995), parece mucho menos eficiente.

El reciente descubrimiento de objetos de tipo Halley en el cinturón de Kuiper (Cochran et al., 1995) y la valoración dinámica de las poblaciones allí situadas (Stern, 1995) no hacen más que favorecer la primera hipótesis. El análisis dinámico, por otra parte, sugiere que la población cometaria no sea primordial, sino el producto de un proceso de colisiones en cascada, que ha vuelto a suministrar el número de cuerpos pequeños (~ 1 Km.) inicialmente carente. Aceptando, sin embargo, para los cometas de corto periodo un origen, más próximo a la nube de Oort no se podría dejar de pensar en una composición química que los haga diferentes de los cometas de largo periodo.

Una tesis ciertamente a no despreciar en este mosaico que se va componiendo es justo el descubrimiento de la fuerte presencia de etano (C_2H_6) producida en la zona nuclear del cometa Hyakutake, que ya se interpreta como discriminante de posibles tipologías diferentes de cometas (Mumma et al., 1996). Estudios de laboratorio relativos a la posibilidad de captura (difusión o intercalación) del gas durante la formación del hielo a temperaturas muy bajas ha sido utilizado para simular los mecanismos de formación de los núcleos cometarios a diferentes distancias del Sol. A tal propósito se ha visto que la temperatura juega un papel fundamental sea en relación con la cantidad total de gas o bien por la proporción relativa. Dado que la captura de N_2 es ineficiente, todos los planetesimales formados en el interior de la órbita de Neptuno estarían caracterizados

por la carencia de Nitrógeno, semejando de tal modo, por lo relativo a los valores de la relación C/N, a los planetas internos.

Del análisis de esta relación, Owen y Bar-Nun (1995) concluyeron en función de su lugar de origen, tres tipologías de cometas diferentes:

Tipo	Zona de formación	Temperatura de formación	Situación actual	C/N
I	Júpiter- Saturno	100 K	principalmente escapados (*)	20±10
II	Urano - Neptuno	50 K	Nube de Oort	20±10
III	Transneptuniana	30 K	Cinturón de Kuiper	3

(*) algunos en la nube de Oort.

En lo relativo a la composición química, los dos investigadores propusieron las siguientes características para las diversas tipologías de los cometas:

Tipo I	- falta de N ₂ , CO, gases nobles y sustancias orgánicas volátiles a causa de la temperatura demasiado elevada en su zona de formación; - presencia de CHON*; - posibilidad de que hayan capturado amoníaco y otros compuestos del Nitrógeno.
Tipo II	- pequeña cantidad de N ₂ , CO y gases nobles; - presencia de CHON.
Tipo III	- mezcla de N ₂ , CO y gases nobles en proporciones solares; - presencia de CHON.

*CHON: estos son los principales elementos biogénicos (C carbono, H hidrógeno, O oxígeno y N nitrógeno)

Sugieren además que la razón N₂ / CO puede proveer indicación sobre el lugar del origen de los cometas en cuanto que los cometas nuevos (procedentes de la nube de Oort) presentan valores sistemáticamente más elevados que los que se obtienen para los cometas de corto periodo. Tales previsiones están relacionadas con un mecanismo doble de producción de CO: por un lado hay una fuente de tipo molecular (una posible molécula madre puede ser el H₂CO) caracterizada por una producción sustancialmente constante, y por otro lado, la pérdida, del gas atrapado en el hielo cometario, cuya liberación es muy rápida. Los repetidos pasos por el perihelio terminarían por agotar el gas atrapado (CO y N₂), mientras que la producción molecular permanecería prácticamente invariable y este hecho implicaría la disminución de la razón N₂ / CO. Se podría, por otra parte, explicar el elevado valor de la razón C/N típico de la atmósfera de la Tierra y de Venus por la aportación de materiales por parte de los cometas de tipo I, mientras que la aportación de los gases nobles debe ser explicada necesariamente por otras tipologías cometarias.

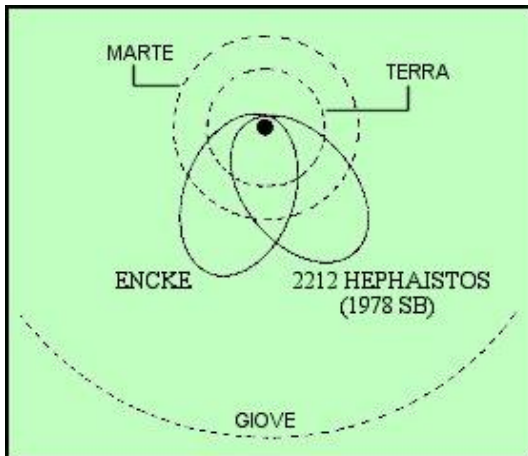
Adquiere por lo tanto una importancia crucial el tratar de reconstruir la composición de las atmósferas planetarias originales, la valoración de la aportación de los objetos de tipo cometario por medio de mecanismos de impacto; son el evento que ha contribuido de manera determinante en la composición de las atmósferas de los planetas de tipo terrestre. Y un dato hoy en día completamente aceptado, de hecho, es que las atmósferas actuales de los planetas de tipo terrestre no son como las primitivas, sino, que en el transcurso del tiempo, se han sucedido varias atmósferas cuya formación y desaparición ha estado estrechamente gobernada por los episodios de impactos. Probablemente el único cuerpo del Sistema Solar interior que haya mantenido su atmósfera original sea Titán (Taylor, 1992), y con este propósito se espera que el módulo Huygens (parte integral de la misión Cassini) destinado a posarse sobre la superficie del satélite de Saturno en noviembre del 2004 dé información exhaustiva.

Una de las dificultades a superar en el intento de reconstrucción de las composiciones atmosféricas planetarias primitivas está dada por la presencia inevitable de reacciones químicas entre sus componentes, con la consiguiente alteración de las sustancias presentes. A esta tipología de cambio escapan los gases nobles, y esta peculiaridad los hace indicadores óptimos y fiables para los intentos de reconstrucción de las atmósferas originales. La procedencia del Argón, Kriptón y Xenón ha sido siempre relacionada con los fenómenos meteoríticos, pero un problema no resuelto era el dar razón de la baja abundancia del Xenón respecto de los demás gases. La explicación propuesta por Owen y Bar-Nun (1995) es que la aportación imputable a origen meteorítico (condritas carbonáceas) no es suficiente para justificar la cantidad actualmente observable de Xenón y, por lo tanto, se debe buscar una fuente adicional para dar razón de la mayor abundancia de Argón y Kriptón, fuente que los dos investigadores identifican con la contribución cometaria en el periodo inicial de intenso bombardeo. Un aspecto extremadamente importante del problema de la aportación cometaria a la composición actual de nuestro planeta está ligado a la identificación de la procedencia del agua, elemento indispensable para el desarrollo de la vida, pero para profundizar en este tema se requiere un tratamiento más general del problema de los impactos de los cometas y asteroides con la Tierra.

Fase evolutiva final

Después de haber analizado la procedencia, es natural preguntarse cual será el destino último de los cometas, la etapa final de su camino evolutivo. La situación ciertamente menos traumática en la que podemos pensar para un cometa es seguramente la que prevé el agotamiento del material volátil del que están constituidos o la imposibilidad para el gas de abandonar el núcleo cometario. Los repetidos pasos por las cercanías del Sol hacen que el calor y la acción del viento solar dispersen en el espacio el material volátil y el polvo, dando lugar de este modo a las apariciones espectaculares de estos cuerpos celestes visibles desde la Tierra. La duración de la vida de un cometa está por lo tanto, en este caso, influenciada por la cantidad de materia inicial y por el ritmo de pérdida de masa, factor, este, estrechamente ligado a su vez al valor del perihelio, al tiempo que el cometa transcurre en el entorno del Sol y al número de pasos por su órbita. Una vez agotado el material volátil, el cometa pierde su característica esencial transformándose en un cuerpo típicamente asteroidal que no modificará su propia órbita, y resultará difícilmente identificable desde la Tierra.

De una comparación de las órbitas de los cometas con algunas órbitas de asteroides (sobretudo algunos N.E.A.) surge algo más que la simple sospecha de que se pueden tratar de núcleos de cometas de periodo corto ahora extinguidos capturados por la acción perturbadora de la Tierra o bien puestos en estas órbitas por mecanismos dinámicos de resonancia citados. De esta posibilidad se ha hablado a propósito del asteroide 4179 Toutatis y del grupo de los Tauridos; una comparación gráfica entre la órbita del cometa Encke y la del asteroide 2212 Hephaisstos (un objeto Apolo, perteneciente también a las Tauridas, que, con diámetro de 8,7 Km., es probablemente el mayor de los Earth-crossers conocidos), se puede notar la semejanza efectiva de las dos órbitas (Figura 2 - Pancaldi, Vagabundos del cielo, pag. 90).



Situación análoga a la del agotamiento del material volátil ocurre también en el momento en que la corteza de material inerte sobre la superficie del núcleo alcanza tal espesor que impide la emisión posterior de materiales volátiles. Con estos términos me refiero a un fenómeno doble: por una parte a la fragmentación limitada del núcleo del cometa, por otra parte a la pulverización total, y de ambas situaciones se pueden hallar observaciones. Un ejemplo de la fragmentación limitada del núcleo ha sido la del Ikeya-Seki (1965), que penetró en la corona solar pasando a unos 450 mil Km. de la superficie del Sol, y en su reaparición mostró el núcleo despiezado en dos. La diferenciación de los dos núcleos cometarios era completa, como lo demuestra el hecho de que los dos nuevos cometas estaban caracterizados por periodos diferentes (878 y 1055 años). Un segundo ejemplo todavía

más esclarecedor de la posibilidad de la fragmentación del núcleo de un cometa ha sido representado por el cometa West (1975), cuyo núcleo se dividió en cuatro partes dando lugar entonces a nuevos cometas. El último evento de este tipo acaecido hacia mediados de noviembre de 1995 ha sido en relación con el cometa Schwassmann-Wachmann 3. Este cometa estaba entre los observados con particular atención porque podría haber sido el objetivo de una misión espacial de la ESA preparando el estudio cercano de un núcleo cometario (Misión ROSETA en un programa del primer decenio del siglo XXI). De las observaciones del Schwassmann-Wachmann 3 (Observatorio de Meudon) en septiembre-octubre de 1995 salían algunos datos inesperados, una intensa producción de moléculas de oxidrilo OH y un elevado incremento de magnitud (una luminosidad unas 1000 veces mayor de la prevista). Las observaciones efectuadas con instrumentos más potentes y con el empleo de CCD (ESO 3,5 m NTT) pusieron en evidencia (12/12/1995) la fragmentación del núcleo en tres partes distintas, a las cuales se sumó una cuarta descubierta con observaciones en el IR lejano (10 micrómetros). La fragmentación esta vez no se pudo achacar a Júpiter (como en el caso del Shoemaker-Levy), sino que la causa presumible fue el stress térmico que afectó al interior del núcleo con ocasión del paso por el perihelio (septiembre 1995) a una distancia de 0,93 U.A. del Sol. La presencia de grandes grietas en la estructura del núcleo habría permitido, en el momento de mayor acercamiento, la evaporación de una gran cantidad de material interno y este fenómeno habría aumentado posteriormente las brechas desencadenando de este modo el proceso de disgregación. La fragmentación del núcleo tiene como resultado no solo la inevitable reducción de su masa con la consiguiente reducción de la vida del cometa (también es este ciertamente el efecto más evidente), sino que además provoca un fuerte desequilibrio térmico inducido por las fracturas, responsable de situaciones mucho más catastróficas. Es el caso del cometa de Biela, un cometa de corto periodo (6,7 años) descubierto en 1826, observado en pasos anteriores (respectivamente 1772 y 1805) y posteriormente observado de forma regular hasta el 1845, año en que se verificó el proceso de fragmentación del núcleo de dos partes. Los dos nuevos cometas fueron observados nuevamente en su paso siguiente (1852), pero después se pierde toda traza. El dato importante es que en 1877 fue observada una lluvia de meteoros (estrellas fugaces), enseguida relacionada por G.

Schiaparelli con el tránsito de la Tierra por una zona muy próxima a la órbita original del cometa de Biela; tal evento se repitió en 1885 y la interpretación que se le dio fue la de una destrucción profunda del núcleo del cometa, cuyos restos se estaban dispersando en el espacio. Hoy en día son observables muchos sucesos de este tipo, como se puede ver en la siguiente tabla:

Nombre	Máximo	Cometa asociado
Líridas	21 Abril	Thatcher (186 II)
Eta Acuaridas	5 Mayo	Halley (1910 II)
Dracónidas	26 Junio	Pons-Winnecke (1858 II)
Beta Taúridas	30 Junio	Encke (1819 I)
Capricornidas	1 Agosto	1948 n
Perseidas	12 Agosto	Swift-Tuttle (1862 III)
Dracóidas	10 Octubre	Giacobini-Zinner (1933 III)
Orióidas	22 Octubre	Halley (1910 II)
Taúridas	1 Noviembre	Encke (1819 I)
Leónidas	16 Noviembre	Tempel-Tuttle (1866 I)
Andromeidas	22 Noviembre	Biela (1852 III)
Úrsidas (UMI)	22 Diciembre	Tuttle (1858 I)

La tercera razón para la desaparición de un cometa se puede identificar con la modificación de la órbita, hecho que puede implicar la posible expulsión del cometa del Sistema Solar, o bien el evento más traumático de impacto con otro cuerpo celeste (hecho no tan raro como podría parecer). La presencia de pequeños cráteres perfectamente alineados (que han sido observados en Callisto, Ganímedes y sobre la propia Luna) fue inicialmente interpretada como causada por la re-caída de material después de un impacto de un asteroide grande (ocurrido en modo rasante para justificar la asimetría de la estructura), pero se evidenciaron a menudo grandes dificultades en la identificación del cráter primario, cuyas dimensiones, entre otros, no habrían podido ser despreciables. El suceso Shoemaker-Levy (julio 1994) ha, hecho abandonar esta hipótesis haciendo inclinarse por la destrucción del núcleo cometario provocada por la acción de las fuerzas de marea del planeta como consecuencia del paso próximo (dentro del límite de Roche(3)). El cálculo del ritmo de destrucción de cometas por parte de Júpiter ha sido estudiado por H.J. Melosh y P.Schenk, quienes han calculado una media de un suceso cada 80 años; han avanzado un hipótesis relativa a la Tierra (un suceso cada 20 mil años), pero en este caso la estadística se reduce a únicamente dos casos encontrados en la superficie de nuestro satélite (Lamberti, 1996).

Recientemente se anunció el descubrimiento de una cadena de cráteres de impacto también en la Tierra, en el Chad; los cráteres se descubrieron gracias a las imágenes radar del sistema Spaceborn Imaging Radar C/X-band Synthetic Aperture Radar instalado a bordo del Shuttle Endeavour en abril y octubre de 1994: las imágenes muestran exactamente dos nuevos cráteres (a confirmar con el análisis sobre el terreno) cerca del lugar llamado Aorunga en el norte del Chad. La identificación de estas señales de impacto están sin embargo todavía sujetas a investigación y no se ha obtenido una confirmación definitiva, también según A. Ocampo del J.P.L. y K. Pope del Geo Eco Arc Research se estima para el evento una datación de hace unos 360 millones de años (época por otro lado afectada por una de las grandes extinciones en masa que han caracterizado la historia de nuestro planeta) (Caprara, 1996).

Permanecen sin embargo todavía muchas dudas acerca del origen de los cometas en cuanto al mecanismo de destrucción por marea funciona perfectamente también en el caso de asteroides no compactos, formados por más cuerpos débilmente compactados por su gravedad recíproca; la única diferencia podría estar en las dimensiones finales de los objetos originados en la disgregación, que, en el caso de cuerpos asteroidales, estarían caracterizados por dimensiones también notables, mientras que para los núcleos de los cometas se cree que los fragmentos deben tener dimensiones mucho más reducidas (los fragmentos del Shoemaker-Levy caídos sobre Júpiter tenían un diámetro máximo de 2-3 Km.). Pero volvamos a ocuparnos más en detalle de los mecanismos que pueden modificar la órbita original de un cometa, que los planetas (sobre todo los de mayor masa o más distantes al Sol) podrían tener un papel importantísimo en las perturbaciones de las órbitas de otros cuerpos celeste ya lo había imaginado P. S. de Laplace, quién introdujo a este propósito el concepto de esfera de actividad, entendiendo con este término la esfera, concéntrica con el planeta, dentro de la cual la acción gravitatoria del Sol era inferior a la del propio planeta (el radio de la esfera de actividad de un planeta genérico está dada por la fórmula: $R_p = a_p * (M_p/M_{Sol})^{2/5}$). Por medio de un cálculo aproximado de la fórmula de Laplace se puede observar como los planetas de mayor masa no son automáticamente los de mayor influencia:

en el gráfico que se muestra en la Figura 3 se puede observar de hecho la importancia que reviste Neptuno gracias a su enorme distancia al Sol (4,5 mil millones de Km.).



Las perturbaciones de las órbitas han sido siempre objeto de estudio y análisis (es el problema sin resolver de los n cuerpos de la mecánica celeste); en el caso de los cometas, además, la situación perturbadora está notablemente agravada por la exigua masa de estos cuerpos celestes.

Es evidente que cuanto más se acerque un cometa a la esfera de actividad de un planeta, tanto más su órbita original podrá ser modificada sustancialmente. Esto, obviamente,

no significa automáticamente una transformación de un cometa nuevo (que proviene por primera vez de la nube de Oort o del cinturón de Kuiper) en un cometa de corto periodo, algunas veces podría comportar, sin duda, la emisión del cometa en una órbita hiperbólica o parabólica (con la subsiguiente expulsión del Sistema Solar) o en una órbita de colisión con el Sol o con cualquier otro planeta (del cual el citado impacto del Shoemaker-Levy 9 con Júpiter en Julio de 1994 es un ejemplo significativo). La situación dinámica ilustrada en la Figura 4 (Maffei, I mostri del cielo, pag. 26, fig. 5) no se refiere a ningún cometa real, pero muestra como la órbita original del cometa es transferida a una órbita diferente y, consecuentemente, la que era originalmente la zona del perihelio se vuelve, bajo la acción del planeta, en el afelio de la nueva órbita. Si esta acción perturbatriz lleva al cometa al interior de la zona planetaria del Sistema Solar es inevitable que el mecanismo descrito anteriormente se pueda repetir con otro planeta (Júpiter es ahora el de mayor influencia) y se habla en este caso de captura gradual. El mecanismo descrito genera para cada planeta perturbador una familia de cometas, todas caracterizadas por los afelios cerca de la órbita del planeta: con tal propósito la Figura 5 (Maffei, I mostri del cielo, pag.27, fig. 6) muestra la órbita de algunos cometas de la familia de Júpiter.

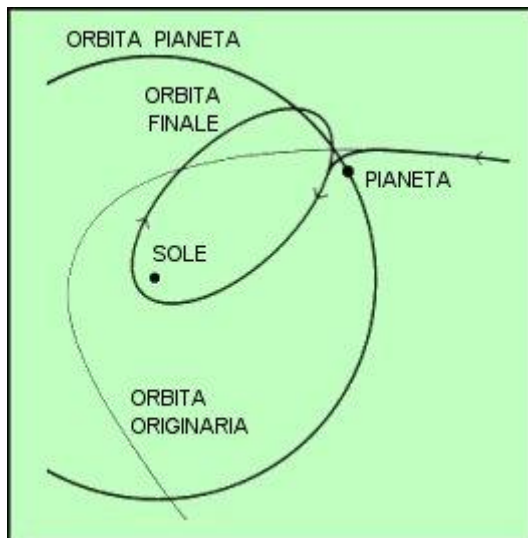


Figura 4: Mecanismo de captura de un cometa por parte de un planeta.

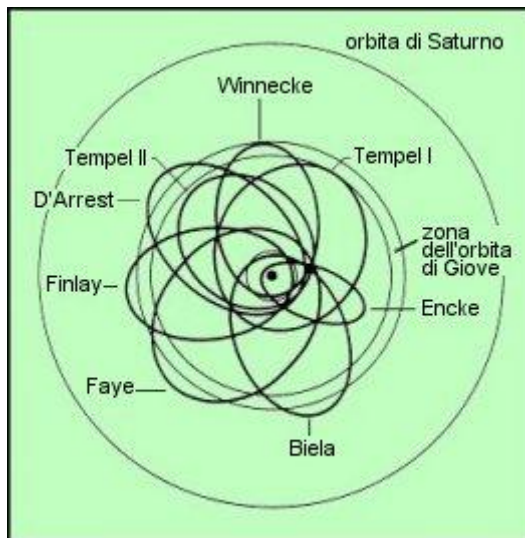


Figura 5: Órbita de algunos cometas de la familia de Júpiter.

Notas de traducción:

- (1) Revolución retrógrada se considera cuando la inclinación de la órbita supera los 90 grados.
- (2) La "Teoría Némesis" fue un desarrollo del descubrimiento de Alvarez et al., de que el impacto de un cometa grande (10 Km. de diámetro) o asteroide fue el responsable de la gran extinción en masa que tuvo lugar hace 65 millones de años. <http://muller.lbl.gov/pages/lbl-nem.htm>
- (3) El límite de Roche es un radio, entorno de un astro, dentro del cual las fuerzas de marea se hacen tan intensas que son capaces de disgregar los cuerpos sólidos.

AUTOR: Dr. Claudio Elidoro, Nascita e morte delle Comete <http://digilander.iol.it/elidoro/>. Traducido por Juan Lacruz.