

HACIA UNA TEORIA GALACTICA DEL CATASTROFISMO TERRESTRE

C.A. Olano
Instituto Argentino de Radioastronomía
Buenos Aires, Argentina

"My own view is that there is not longer any controversy except over the possible periodicity of the impacts, in which I am one of the few believers"

Luis Alvarez

Summary. The contemporary theories of terrestrial catastrophism are briefly reviewed. The role of Apollo-objects and some historical references to Tunguska-type cases are shortly described. Since the likely galactic origin of periodicities in the terrestrial record, the possibility that encounters with GMCs perturbed the Oort cloud is analyzed. The galactic orbits of the Sun and nearby GMCs were determined for the last 40 Myr. The result is that the Sun encountered probably Ori OB1 and Mon OB1 Clouds in coincidence with the dates of the Miocene and Eocene mass extinctions (see Figs.1, 2, 3 and 4). It is proposed that the Sun was for 250 Myr captive of a supercloud or association of GMCs (Gould's belt), of which the progenitors of Ori OB1 and Mon OB1 formed part. A computer simulation of Sun's orbit relative to the hypothetical cloud, to which the Sun would have been physically attached, is presented (see Figs. 5 and 6). The 25-30/13-15 Myr quasi-periodicities in the terrestrial record can be explained by the model.

1. INTRODUCCION

La evolución de las especies y su relación con la historia de la Tierra han intrigado a los naturalistas desde hace un siglo y medio. Los términos históricos en los que se desarrolló el debate son "uniformitarismo" y, en contraposición, "catastrofismo". Las dos ideas sintetizadas en dichas palabras, y presentadas como opciones claras, llevaron a una polarización de opiniones, que es hoy insostenible. En el enfoque moderno, se reconoce la potencialidad de las grandes convulsiones terrestres para provocar las extinciones masivas y crear así una ventana de oportunidades para el surgimiento de una nueva población. La discusión actual se centra fundamentalmente en el posible papel de las catástrofes en el proceso evolutivo. El padre del catastrofismo fue Cuvier, naturalista francés de la época napoleónica, quien postulaba la idea de una serie de catástrofes para explicar la presencia en las rocas de animales extinguidos. Los

registros paleontológicos siguen las eras geológicas de modo que el final de un período geológico se corresponde generalmente con un significativo episodio de extinción de especies. El más dramático de todos estos desastres fue uno que ocurrió a fines de la época pérmica, hace 250 millones de años (Ma), cuando el 75% de los anfibios, y un 50% de los reptiles desaparecieron de repente. Igualmente importante es la ocurrida a fines del Triásico. Uno de los eventos mejor documentados es el del fin del Cretácico (hace ~ 65 Ma) en el cual desaparecieron numerosas especies, entre ellas los dinosaurios. Se dice a menudo, correcta o erróneamente, que la extinción de los dinosaurios condujo a la aparición del hombre a través de las oportunidades que se les abrieron a los mamíferos con la desaparición de los dinosaurios. En esta revisión, se examinan en particular las posibles causas de las extinciones catastróficas, que se sucedieron casi periódicamente durante los últimos 250 Ma. Recientes hallazgos han dado nueva vida a este viejo y complejo problema, en cuyos aspectos astronómicos se hace aquí hincapié. En las secciones 6 y 7, se presentan resultados originales del autor, que apoyan la tesis de una vinculación galáctica como causa primaria del catastrofismo terrestre.

2. TEORIAS NEOCATASTROFISTAS : IMPACTO VS. VULCANISMO

En 1979, Luis Alvarez (Alvarez 1987), el descubridor del tritio y premio Nobel de física, encontró que la capa geológica correspondiente al Cretácico posee niveles anormalmente altos de iridio. Estos elementos son raros en la Tierra y, para explicar los hechos, Alvarez propone que un gran meteorito o cometa (~10 km de diámetro) chocó contra la Tierra a fines del período Cretácico. Posteriores estudios revelan que las capas geológicas de otras extinciones estarían también asociadas con un enriquecimiento de iridio (Alvarez 1982). La hipótesis del impacto fue tomada con entusiasmo por un grupo de destacados astrónomos, entre ellos, Clube y Napier (1979), pioneros en este campo. Por el lado de los geólogos se la considera con cierto escepticismo; prefieren invocar cataclismos debidos a procesos internos de la Tierra, (aunque no claramente fundamentados (Hallan 1988)). El vulcanismo muestra cierta correlación con las extinciones e incluso podría explicar el enriquecimiento de iridio. Ahora se sabe que hay un tipo particular de erupción volcánica capaz de acarrear iridio del núcleo, donde sí es relativamente abundante. Sin embargo, hay otras evidencias que inclinan la balanza en favor de la teoría del impacto. En la capa de iridio aparecen esférulas de mineral, es decir gotas de roca fundida y enfriadas en sus trayectorias balísticas que las esparcieron por todo el planeta. También se encuentran asociadas con granos de cuarzo impactado, una clara indicación de que la roca fue sometida a altas presiones por el choque de un cuerpo de alta velocidad. Aún más, se ha encontrado en la Península de Yucatán una estructura geológica de 200-300 km de diámetro que podría deberse al impacto del Cretácico, según todas las evidencias gravimétricas y magnéticas, junto a la presencia de granos de cuarzo impactado. Recientes estudios refuerzan dicha posibilidad. En efecto, mediante una técnica de datación muy precisa que utiliza las abundancias relativas de los isótopos del Argón se ha determinado que la edad del cráter de Yucatán es de 65.2Ma (Sharpton y otros 1993).

Las hipótesis del impacto y vulcanismo no serían mutuamente excluyentes, si entendemos que la actividad volcánica global fue desencadenada por el impacto cometario. A pesar de que el impacto de un gran cuerpo (8 ~ 10 km) puede haber jugado un papel central en la extinción del Cretáceo, las evidencias argumentan en favor de una historia más complicada, que incluiría múltiples impactos y complejos efectos sobre el medio ambiente .

El primer efecto que se consideró fue el del bloqueo de la luz solar debido al polvo y vapor arrojados a la alta atmósfera por el impacto, lo cual oscureció y enfrió a la Tierra durante meses. Este simple escenario de oscuridad y frío ha sido ampliado incluyendo factores tales como intensos vientos de 500 Km/h que duraron horas, incendios generalizados y otros de más larga duración como lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, efecto invernadero y vulcanismo inducido, etc.

El propio polvo inyectado en la atmósfera por un cometa puede producir también una sustancial extinción de la luz solar si los fragmentos son suficientemente pequeños. La densidad numérica de granos de 0.1 μ m en un cometa poroso $\rho = 0.1 \text{ g/cm}^3$ es $\approx 0.1(R_c / a_p)^3 = 10^{32}$, donde R_c y a_p son el radio del cometa y de los granos de polvo respectivamente. Distribuido en la atmósfera de la tierra, esto conduce a una densidad de columna de $N = 10^{32} / 4\pi R_r^2 \approx 2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ y una profundidad óptica en el ultravioleta de $(-N\pi a_p^2 Q_{ext}) \approx 10^4$. Dado que profundidades ópticas aún mucho más pequeñas pueden desatar una edad de hielo, los efectos climáticos de un cometa serían catastróficos.

El bombardeo al cual ha estado expuesto la Tierra es fácilmente constatable en la superficie de la Luna. Los mares lunares, formados de rocas magmáticas solidificadas hace 3500 Ma (según las muestras traídas por la misión Apolo), cubren el 16% de la superficie lunar y constituyen así una excelente base donde contar el número de cráteres y estimar en consecuencia la frecuencia de las colisiones. Resulta que se formó en promedio un cráter de al menos de 50 km de diámetro cada 120 Ma. El resultado lunar puede ser extrapolado a nuestro planeta. La superficie de la Tierra es 80 veces mayor que aquella de los mares lunares. En consecuencia, la Tierra sufrió uno de tales eventos cada 10 Ma.

3. OBJETOS APOLO, LLUVIAS METEORICAS Y EVENTOS TUNGUSKA

Los asteroides cuyas órbitas cortan la terrestre representan una amenaza y muchas veces nos han chocado en el pasado con graves consecuencias. El geólogo Shoemaker ha llevado a cabo un estudio de los cráteres pequeños de impacto en la Luna. Sobre la base de ese estudio, él estimó que en los 5000 años pasados hubo en promedio sobre la Tierra aproximadamente 17 impactos de 12 megatones, 7 de 30 megatones y uno de al menos de 800 megatones de energía. Los cuerpos capaces de inyectar estas energías tienen tamaños que van desde 100m a 2km. Estos objetos próximos a la Tierra pertenecen a una familia de asteroides conocidos como objetos Apolo-Amor.

Muchos de estos siguen órbitas que recuerdan las de los cometas de corto período conocidos y por lo tanto pueden ser cometas "extintos" como sugirió en un comienzo Öpik.

Hay en la historia referencias a sucesos relacionados con fenómenos violentos que nos permiten inferir la posible influencia de los cometas gigantes sobre la evolución terrestre. En la mañana del 30 de Junio de 1908, una extremadamente violenta explosión devastó una extensa zona boscosa, cerca del río Tunguska en la meseta Siberiana. La fecha del evento corresponde al pasaje de la Tierra por el máximo de la corriente beta de la Tauridas. Por lo tanto, la más adecuada explicación es que parte del Cometa Encke entró en la atmósfera terrestre y explotó justo sobre la superficie (para una interpretación distinta ver Chyba y otros (1993)). La energía de la explosión, calculada sobre la base de los registros barométricos de las ondas de presión detectadas en diferentes lugares del mundo, fue de 30 a 40 megatones (una docena de bombas atómicas comunes de hidrógeno).

Otra referencia histórica es una curiosa crónica de un monje medieval, Gervasio de Canterbury, en la que da cuenta de un suceso extraordinario: el 25 de Junio de 1178, un grupo de monjes de la catedral de Canterbury contemplaron una explosión en la Luna. Aparte de lo sugestivo de la fecha, coincidente con la de la corriente anual de las Tauridas, hay evidencias físicas que permiten afirmar que lo observado 800 años atrás fue el choque de un cuerpo contra la Luna. Se piensa que el cráter Giordano Bruno (26km) y la oscilación de 15 m de la superficie lunar sobre su eje polar, con un período de 3 años (determinado en base a precisas mediciones láser de la distancia Tierra-Luna), son productos de aquel evento. El choque liberó una energía de 100.000 megatones equivalente a diez veces el arsenal nuclear combinado del mundo, lo cual si ocurriera en la tierra, produciría una catástrofe climática de escala planetaria; "un invierno nuclear".

Más atrás en la historia, los anales chinos revelan que hubo un incremento notable en el flujo de bólidos al final del primer milenio. Este período de gran actividad celeste fue causado probablemente por la gradual desintegración, sobre un período de varias centurias, de un gran cuerpo en la corriente de las Tauridas (el progenitor del cometa Encke). Estos fenómenos deben haberse visto también en Europa. En efecto, es sabido que el Papa Urbano II instó, en 1095 en el famoso sermón de Clermont, a realizar la Primera Cruzada, conciente de la conmoción y creencias escatológicas que habían despertado las lluvias de meteoros. Crónicas de entonces informan sobre "intensos terremotos en diversos lugares" y "Se vieron a través de todo el mundo estrellas cayendo hacia la Tierra" (ver referencias en Bailey y otros (1990) y en Clube y Napier (1990)). Si bien estos relatos son muy sugestivos de por sí, aún no se han encontrado evidencias físicas de que hayan ocurrido en ese entonces sucesos del tipo Tunguska.

Los eventos Tunguska producen solo daños locales en un radio de 100 Km. En cambio aquellos como el del relato de Canterbury tienen consecuencias ecológicas globales. La NASA está llevando a cabo un proyecto de detección y de eventual protección contra objetos que puedan amenazar nuestra civilización (Ahrens y Harris 1992).

4. LA NUBE DE OORT, UN NEXO ENTRE EL SOL Y LA GALAXIA

Las órbitas de los cometas de largo período (> 200 años) están orientadas esencialmente al azar, mientras que las de corto período se concentran fuertemente hacia la eclíptica. La primera impresión que se tiene es que los cometas de largo período provienen del exterior del sistema solar, pero ello no es así. A pesar de que ellos alcanzan distancias muy grandes, mucho más allá de los planetas más alejados, no se han encontrado órbitas hiperbólicas. Ello llevó a Oort a postular que el Sol está rodeado de una nube de cometas del orden de 1 pc de tamaño. Actualmente la población de la nube de Oort se estima en 10^{12} cometas. Los encuentros lejanos con estrellas y la fuerza de marea del disco galáctico termalizan las órbitas de la capa exterior de la nube hasta un radio interior de $a = 30.000$ UA, de modo que siempre hay una fracción de cometas con los parámetros orbitales justos para que se acerquen al Sol dentro del área de visibilidad (2 UA). Esto asegura un flujo estacionario de cometas del orden de uno o dos cometas por año dentro de la zona de visibilidad.

La probabilidad de colisión de los cometas de largo período con la Tierra es 10^{-8} por cometa por año. Este número es aproximadamente igual al cociente del área proyectada de la Tierra con el de su órbita alrededor del Sol. Por lo tanto ello explica un 10 % de la tasa de producción de cráteres en la Tierra. Si se toman en consideración los cometas de corto período naturalmente un porcentaje mayor de la tasa de producción de cráteres puede explicarse. Según el punto de vista convencional, una fracción de los cometas de largo período se convierten en cometas de corto período debido a las perturbaciones planetarias que los confinan al interior del sistema solar. Los cometas de corto período son fundamentalmente los proveedores de objetos Apolo-Amor, los cuales son en última instancia los que chocan contra la Tierra.

Si la distribución de energía de los cometas es expresada por $n(E) = |E|^{-\gamma}$, la distribución radial de densidad es aproximadamente una ley de potencia de índice $\gamma - 4$. Se espera que en 100 Ma una estrella de $0.6 M_{\odot}$ pase dentro de 7800 UA del Sol. Según Fernández e Ip (1987), si $\gamma = 2$, el número de cometas lanzados hacia dentro del sistema planetario por tal pasaje aumentaría sobre el de fondo en un factor mayor que 30.

5. PERIODICIDADES EN LOS REGISTROS TERRESTRES: LA IMPRONTA GALACTICA

Otro hecho sorprendente es la aparente periodicidad del orden de 25-30 Ma en el patrón de las extinciones, como así también de varios indicadores geológicos. Raup y Sepkoski (1988) encuentran a partir de un estudio detallado de extinciones de géneros y familias, una regular periodicidad de 26 Ma durante los últimos 250 Ma. Este período estimado puede considerarse seguro dado que otros fenómenos globales, como las edades de los cráteres terrestres (Alvarez y Muller 1984), el vulcanismo etc. presentan periodicidades similares y en fase con aquella. La frecuencia de las inversiones del

campo magnético terrestre también varía en esos tiempos; sus períodos son 30 y 15 Ma, determinados con una incerteza de tan solo 2 Ma.

Los registros paleomagnéticos de las inversiones de polaridad son relativamente completos (abarcen los últimos 150 Ma), y pueden reflejar disturbios de la interfase entre el núcleo y el manto terrestre como consecuencia de traumas de impacto y climáticos. El ciclo de 15 Ma es considerado (Mazaud y otros 1983) como el fundamental y más prominente ciclo terrestre jamás encontrado. Una relación entre los eventos de inversiones y climáticos parece estar bien establecido al menos para el Pleistoceno. Recientes estudios sugieren que al menos parte de las variaciones geomagnéticas seculares son inducidas por anomalías de temperatura en el manto sólido (Gubbins 1987). El enfriamiento del manto controlaría así la convección en el núcleo y, en consecuencia, el ritmo de producción de las inestabilidades responsables de las inversiones del campo magnético.

Las lluvias de cometas inducidas por las perturbaciones estelares no pueden evidentemente dar periodicidades. Muchos intentos se han hecho para encontrar periodicidades astronómicas de ese orden. Una idea es que el Sol tiene una estrella compañera, Némesis, la cual orbita al Sol con un período de 30 Ma. Cuando esta estrella se acerca periódicamente al Sol, perturba las órbitas de los cometas y produce una avalancha de cometas hacia el interior del sistema solar. Sin embargo, esta idea no es viable debido a que la órbita de la hipotética estrella Némesis sería inestable (Clube 1988).

Otra periodicidad de la magnitud requerida es el tiempo de oscilación del Sol a través del plano galáctico. El período de este movimiento en la coordenada Z (perpendicular al plano galáctico) es del orden de 60 Ma. El período de las interacciones es la mitad de aquel, el intervalo entre cruces por el plano galáctico. Esta hipótesis ha sido defendida por Stother y Ramponi (1986), para quienes al pasar el Sol a través del plano galáctico, hacia donde se concentran las nubes interestelares, se perturbaría la nube de Oort. Esta teoría también tiene algunas contras. La amplitud de la oscilación en Z del Sol es del mismo orden que el espesor de la capa galáctica. Por otra parte, las nubes más abundantes no tienen masa suficiente para perturbar significativamente a la nube de Oort.

Sin embargo veremos en las siguientes secciones que la teoría galáctica puede quedar aún en pie si una hipótesis auxiliar se incorpora.

6. ENCUENTROS CON NUBES MOLECULARES GIGANTES

Las nubes moleculares gigantes son potencialmente los mayores perturbadores de la nube de Oort. Estas poseen masas de hasta millones de masas solares (M_{\odot}) y en un encuentro cercano con el Sol son ciertamente capaces de perturbar significativamente la nube de Oort. Por lo tanto, una pregunta básica es si el Sol se ha encontrado realmente con alguna de ellas digamos en los últimos 40-60 Ma, en sincronismo con las extinciones (Olano 1991, 1993). Más allá de 50 Ma es difícil reconstruir determinísticamente la historia orbital del Sol por las razones que más abajo serán evidentes.

En la Fig. 1, se representan en el plano galáctico las órbitas epicíclicas del Sol y de las nubes moleculares gigantes relacionadas a asociaciones OB de la vecindad solar (ver también Olano (1982), Olano y Pöppel (1987)). Los círculos mayores y el símbolo del Sol en el extremo de su órbita indican la posiciones presentes de las nubes y del Sol. Los círculos menores indican las posiciones pasadas a intervalos de 10 Ma. En la Fig. 2 se consideró que el sistema de movimientos propios del FK5 posee una rotación absoluta de $0.001''/\text{año}$, la incerteza estimada. Si tenemos en cuenta el gran parámetro de impacto de las nubes moleculares gigantes, vemos que hay un significativo acercamiento del Sol con Orión (hace 10-20 Ma) y con Mon OB1 hace 40-50 Ma .

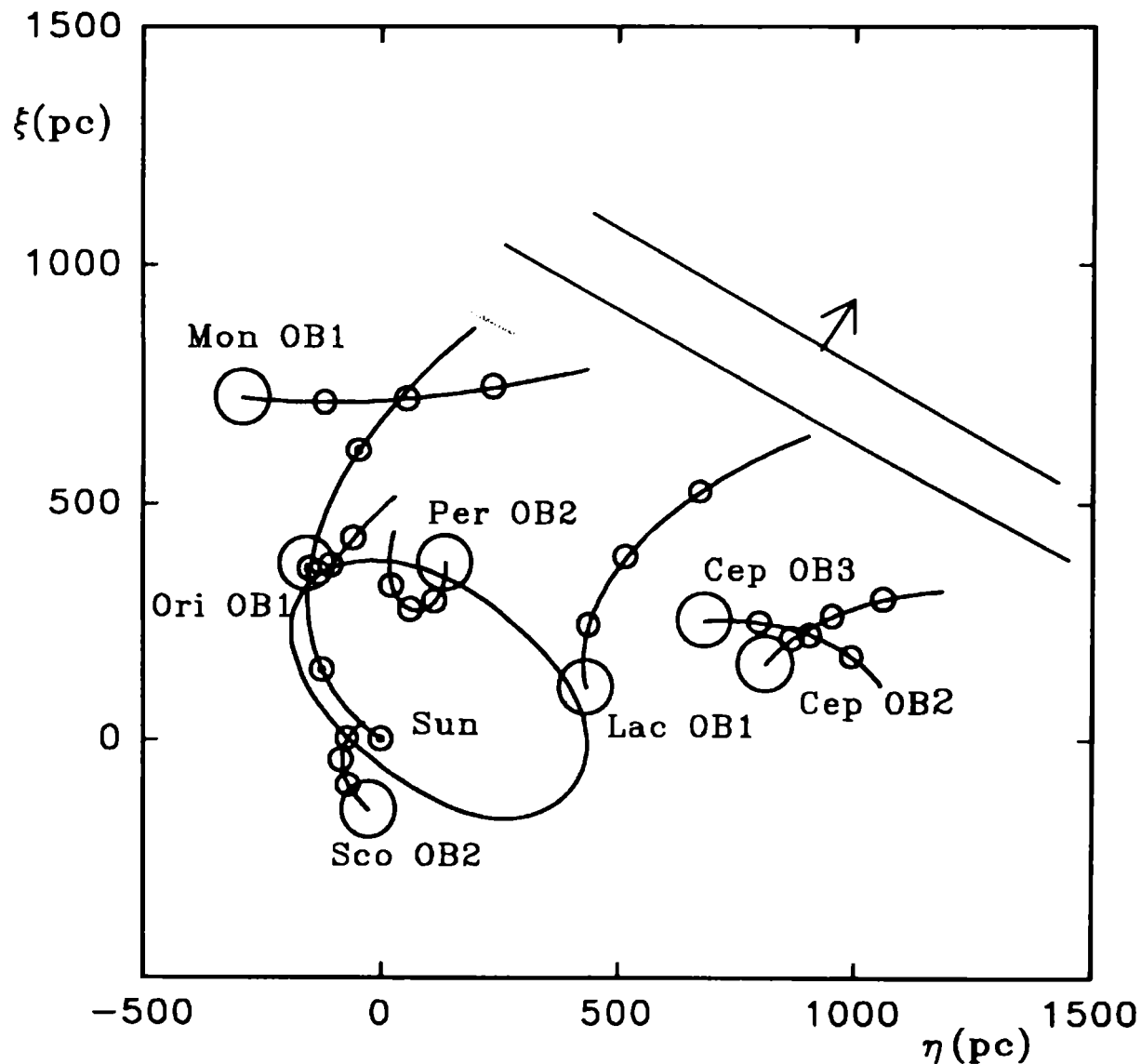


Fig1. Órbitas del Sol (\odot) y de las asociaciones estelares locales en el plano galáctico. Los círculos mayores representan las posiciones presentes. Las posiciones pasadas cada 10 Ma están indicadas con los círculos menores. La curva elipsoidal corresponde al anillo del Cinturón de Gould (Olano 1982) en su configuración presente. El eje η apunta en la dirección de la rotación galáctica, y el eje ξ hacia el anticentro.

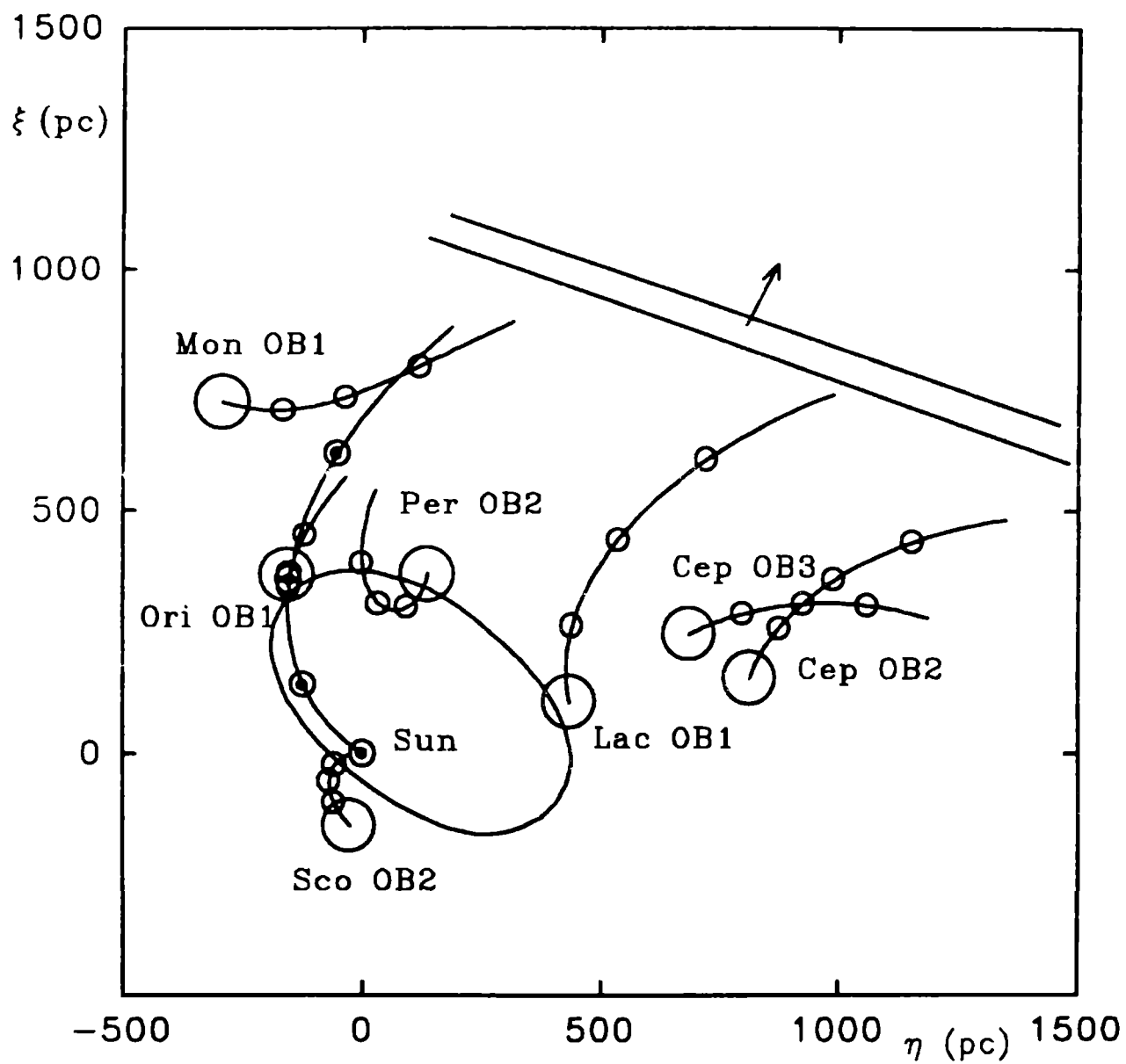


Fig.2 . Lo mismo que en la Fig.1 pero aquí se adoptó una rotación absoluta del FK5 $\sim 0.001''/\text{año}$ ($= 6\text{km/s/Kpc}$) en el sentido de la rotación galáctica.

Ello se ve claramente en las Figs.3 y 4 donde se representan las distancias, proyectadas sobre el plano galáctico (Fig.3) y sobre el eje Z (Fig.4), que Ori OB1 y Mon OB1 tuvieron con respecto al Sol en el pasado. Las incertezas que indican las barras de error se estimaron a partir de los errores de distancia, velocidad y movimientos propios de los complejos de gas y estrellas. Los números que acompañan a las curvas se refieren a distintos valores (-6, 0 y 6 km/s/kpc) para la rotación absoluta del sistema FK5.

Nótese que las dos épocas de encuentro, 10-20 y 40-50 Ma, coinciden aproximadamente con las de las dos últimas extinciones en masa (Mioceno y Eoceno).

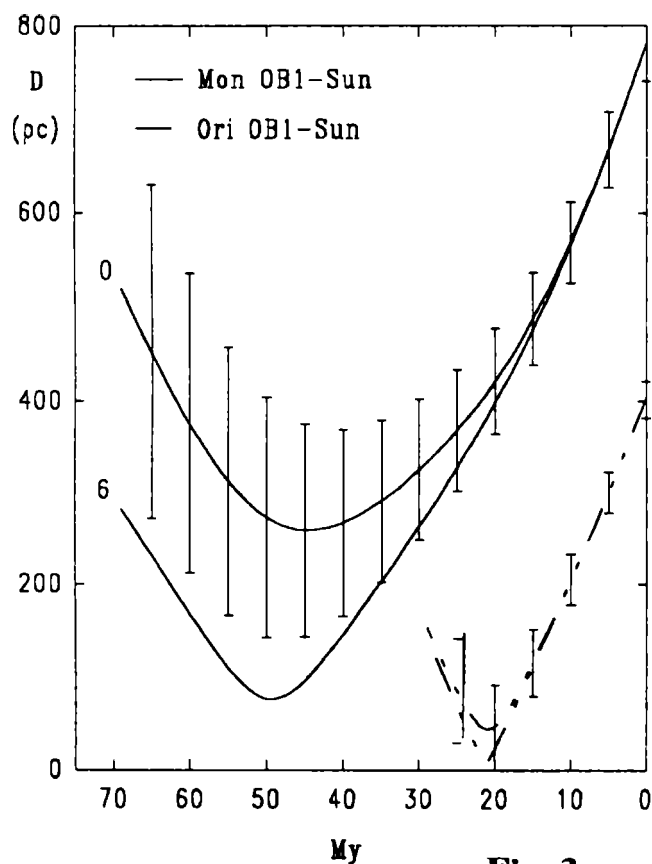


Fig. 3

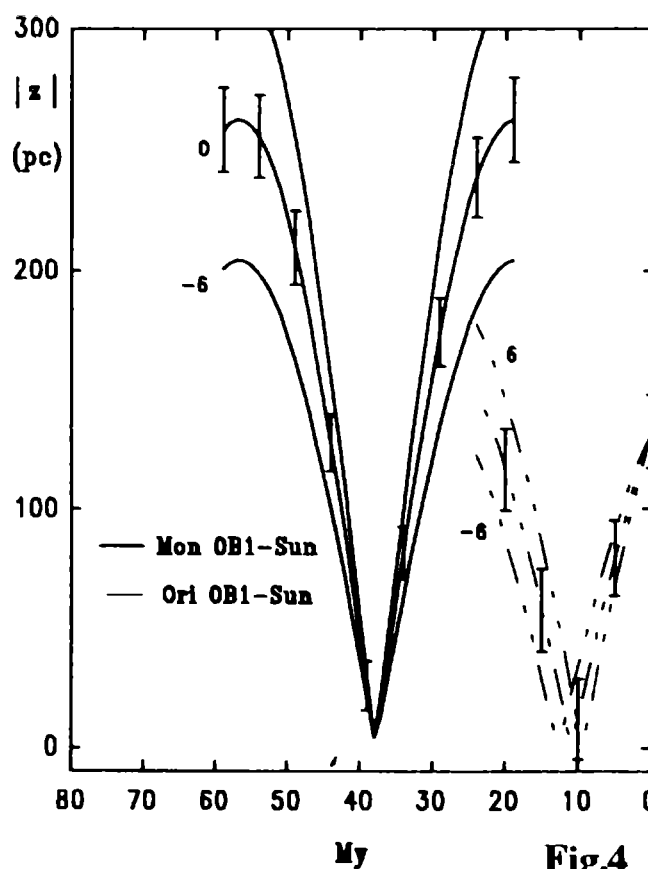


Fig.4

Fig.3 . Distancias relativas al Sol (en pc), proyectadas sobre el plano galáctico, de Ori OB1 (trazos) y de Mon OB1 (línea llena) en función del tiempo pasado en Ma. Los valores de la rotación absoluta del sistema FK5 (-6,0 y 6 km/s/kpc) con los cuales se trazaron las curvas son indicados .

Fig.4 . Lo mismo que en la Fig.3 pero para el módulo de las proyecciones sobre el eje Z (perpendicular el plano galáctico) de las distancias Sol - Ori OB1 y Sol- Mon OB1 en pc.

7. UNA SOLUCION POSIBLE : EL SOL CAUTIVO DE UNA NUBE INTERESTELAR GIGANTE

La primera sospecha de que el Sol ha tenido interacción con una nube interestelar surge del hecho de que el Sol tiene una velocidad mucho menor que otras estrellas de su edad (Bailey y otros 1987). Vemos (Figs.1 y 2) que el Sol está ahora emergiendo del borde interno de lo que podríamos denominar una asociación de nubes moleculares gigantes. El Sol se encontró con dos de sus miembros, 10-20 Ma atrás con Orión OB1 y 40 Ma con Mon OB1. Una hipótesis interesante es que el Sol estaba ligado a la supernube. El paso de un frente de choque galáctico o la colisión con otra nube frenó rápidamente a la supernube y como consecuencia el Sol que se encontraba hace 50 Ma cerca del progenitor de Mon OB1 se precipitó hacia el interior de la supernube (ahora en desintegración). El frente de choque está marcado probablemente por la alineación que tenían hace 50 Ma Mon OB1, Lac OB1 y las asociaciones de Cefeo (en las Figs.1 y 2 se indica el presunto frente con dos rectas paralelas).

Para estudiar el movimiento del Sol bajo la atracción gravitatoria del disco galáctico y de la nube a la cual el Sol estuvo unido, se representa la distribución de masa de la nube por una superposición de dos elipsoides homogéneos, concéntricos y achatados hacia el plano galáctico. Con ello consideramos que esencialmente la nube consistía en un denso y delgado disco rodeado de un halo masivo. La masa total adoptada para la nube es de $5 \times 10^6 M_{\odot}$. La densidad, el semieje mayor y la excentricidad del elipsoide interior son $\rho = 0.89 M_{\odot} / pc^3$, $a = 150 pc$ y $e = 0.98$ respectivamente. Para el exterior que representa el halo $\rho = 0.18 M_{\odot} / pc^3$, $a = 200 pc$ y $e = 0.87$. Suponemos que la nube oscilaba armónicamente con una amplitud de 40 pc, respecto al plano galáctico. Las ecuaciones de movimiento se resolvieron numéricamente. La captura del Sol por la nube 300 Ma atrás y el escape, ocurrido 40 Ma atrás; son simulados perturbando adecuadamente la velocidad del Sol. Se supone que al cruzar el Sol el plano de la nube, las subestructuras del denso disco perturban la nube de Oort desencadenando una lluvia cometaria "mortífera". En el cálculo de la órbita, se considera que por cada cruce del plano hay un encuentro en el disco de la nube que adiciona a la velocidad del Sol una componente de 1 Km/s en módulo y orientada al azar. La Fig. 5 muestra la órbita meridional del Sol con respecto a la nube. En la Fig. 6 se representan las coordenadas en Z (perpendicular al plano galáctico y con origen en él) del Sol y de la nube en función de la cantidad de años antes del presente.

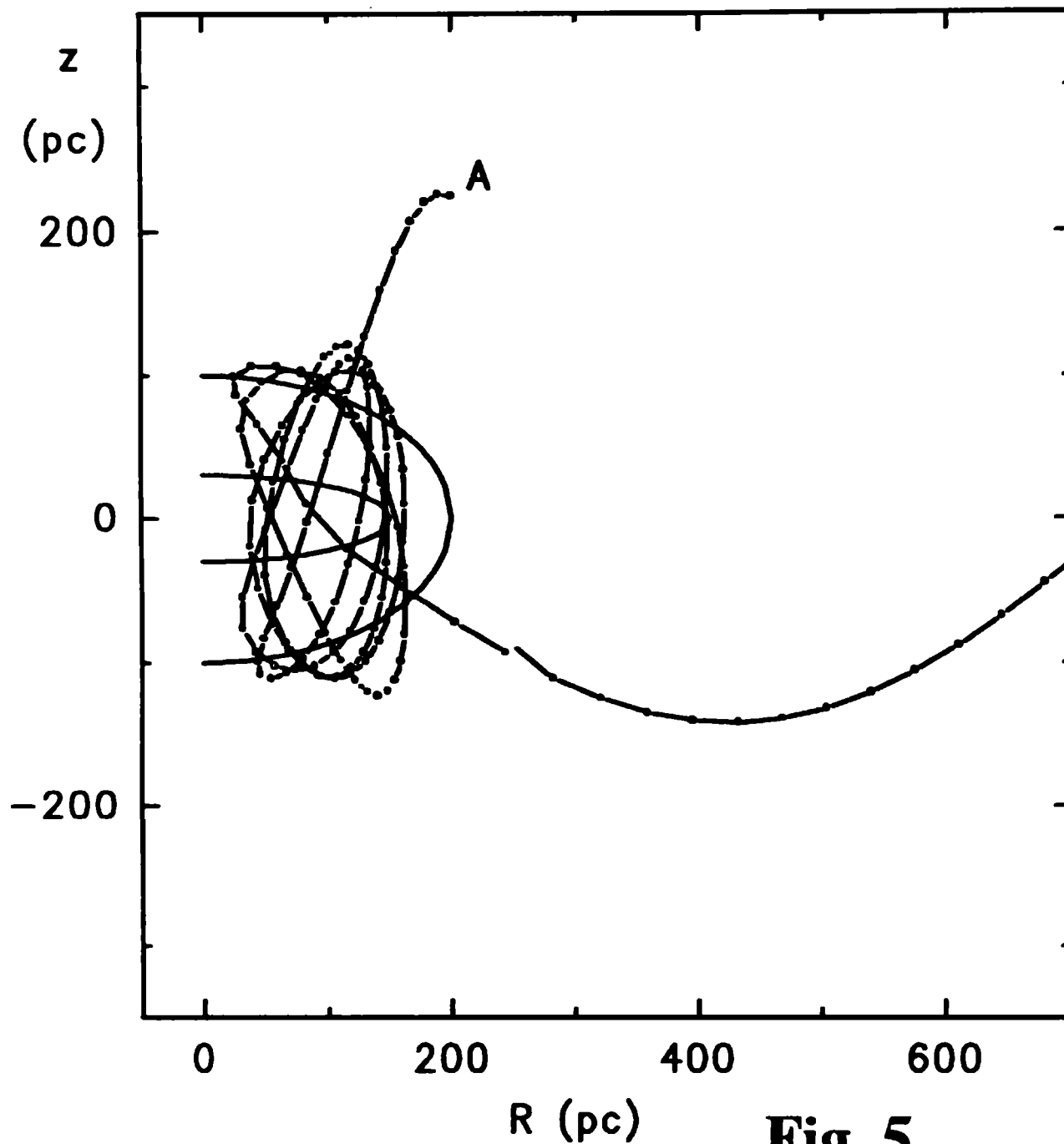


Fig.5 Orbita meridional simulada del Sol (línea de trazos) con respecto a la nube (Elipses). En la ordenada, se representa una distancia z relativa: la altura del Sol sobre y debajo del plano medio de la nube, considerado paralelo al plano galáctico. En la abcisa, se representa la distancia del Sol relativa al centro de la nube y proyectada sobre el plano galáctico. La letra A indica la posición inicial del Sol (300 Ma atrás).

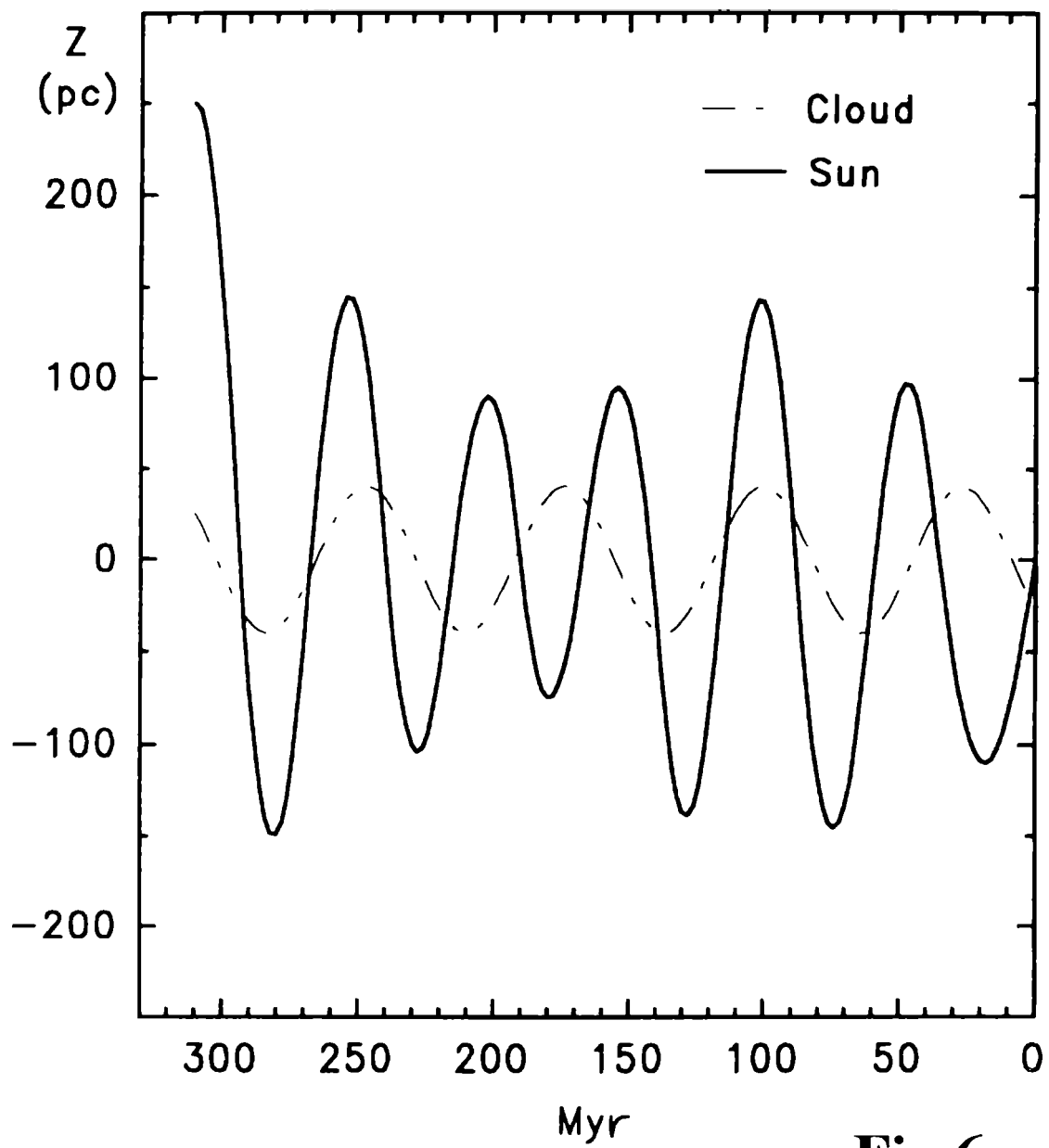


Fig.6

Fig.6 Distancias Z (alturas), con respecto al plano galáctico, del Sol y de la nube en función del tiempo para el mismo modelo de la Fig.5.

Vemos que la solución en Z es cuasi periódica, el Sol cruza el plano de la nube cada 25 ± 3 Ma (1/2 del período). El gas está concentrado hacia el plano de la nube y en cada pasaje del Sol, las irregularidades gravitatorias debidas a las subestructuras, perturban significativamente la nube cometaria de Oort (Olano 1996). Ello explica el ciclo de 25-30 Ma de los registros terrestres. Los encuentros con subestructuras del halo de la nube no son efectivos para perturbar la nube cometaria de Oort (debido a la baja masa de estas), excepto los ocurridos en los extremos de la excursión en Z del Sol donde la baja velocidad relativa del encuentro hace importante la perturbación al Sistema Solar. La alternancia de las perturbaciones originadas al atravesar el disco de la nube y aquellas más débiles de las subnubes del halo en los extremos superior e inferior de la órbita del Sol genera en promedio un ciclo de 13-15 Ma (1/4 del período de oscilación del Sol relativo al plano medio de la nube). Ello explicaría el ciclo de 15 Ma de las inversiones del campo magnético.

Agradecimientos. El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. F.R. Colomb por sugerirle este tema de investigación y al Dr. I. N. Azcárate por leer críticamente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Ahrens T.J., Harris A.W.: 1992, *Nature* **360**, 429
 Alvarez L.W. ,1987. *Physics Today*, Julio , **24**
 Alvarez, W. et al., 1982 . *Science* **216**, 886
 Alvarez W. y Muller R.A. ,1984. *Nature* **308**, 718
 Bailey M.E., Clube S.V.M. y Napier W.M. , 1990 . *The Origen of Comets Pergamon-Press*
 Bailey M.E., Wilkinson D.A. y Wolfendale A.W. ,1987. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **227**,863
 Chyba C.F., Thomas P.J. y Zahnle K.J. , 1993 . *Nature* **361**, 40
 Clube V. M. 1988, *Catastrophes and Evolution* (editor Clube V.M.), 81
 Clube V. y Napier B. , 1990. *The Cosmic Winter*. Basil Blackwell
 Fernández, J.A. y Ip, W.H., 1987. *Icarus* **70**.
 Gubbins D. 1987. *Nature* **326**, 167
 Hallam A., 1988 . *Catastrophes and Evolution* (editor Clube V.M.), 25
 Mazaud, A., Laj. C., de Seze, L. y Verosub, K.L., 1983. *Nature* **304**, 328
 Napier W.M. y Clube V.M. ,1979. *Nature* **282**,455
 Olano C.A. , 1991. *Transaction of the International Astronomical Union*, Vol. **XXIB**,354
 Olano C.A. , 1993. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica* **26**, 118
 Olano C.A. 1982, *Astr. Astrophys.* **112**, 195
 Olano C.A. , 1996 (en preparación)
 Olano C.A., Pöppel W.L.G. ,1987. *Astr. Astrophys.* **179**, 202

Rampino M.R. y Stothers R.B., 1986. *The Galaxy and the Solar System*. (editores :
Smoluchowski R., Bahcall J.N., Matthews M.S.), 241
Raup y Sepkoski , 1988. *Science* **241**, 94
Sharpton et al. ,1993. *Nature* **359**, 819

