

2.2. Piazzini y el Descubrimiento de los Pequeños Planetas.

2.2.1. Introducción:

La gran separación existente entre la órbita de Marte y de Júpiter llamó la atención de los astrónomos desde los tiempos de Copérnico. Kepler había utilizado el tetraedro para representar ese gran espacio (por ser el poliedro regular con una mayor razón entre el radio de la esfera circunscrita y la esfera inscrita). Kepler llegó incluso a sugerir la existencia de un planeta desconocido en esa gran laguna entre Marte y Júpiter. En su búsqueda de la armonía en el sistema solar Kepler llegó finalmente a la tercera ley del movimiento planetario, que relaciona semi-ejes mayores y períodos de revolución, pero no encontró la “armonía” de los semi-ejes entre sí.

En el siglo XVIII el alemán **J. Daniel Titius** (1729-1796), profesor de física en Wittenberg, encontró una relación numérica que reproduce con una buena aproximación los semi-ejes mayores de las órbitas planetarias. La publicó en 1772 en una nota a pie de página en un libro que tradujo. Esta serie pasó inadvertida hasta que **Johan Elert Bode** (1747-1826), director del Observatorio de Berlín, la dio a conocer en 1778 y ahora es referida como la “*ley de Titius-Bode*”, o simplemente como *ley de Bode*, doble error pues no es una “ley” ni tampoco es de Bode.

Partiendo de una sucesión formada por el número 0 y los términos de una progresión geométrica de razón 2 y primer término 3 (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, ...), si le agregamos 4 a cada término y luego dividimos por 10, resulta la serie: 0,4 0,7 1,0 1,6 2,8 5,2 10,0 19,6 38,8 ... Esta serie representa muy bien las distancias de los planetas al Sol, desde Mercurio hasta Saturno, empezando en orden desde el primer término, pero omitiendo el quinto. [Las distancias media al Sol son: Mercurio 0,39; Venus 0,72; La Tierra 1,0; Marte: 1,52; Júpiter 5,20; Saturno: 9,54].

Planeta	“Ley de Bode”	Distancia al Sol
Mercurio	0,4	0,39
Venus	0,7	0,72
Tierra	1,0	1,00
Marte	1,6	1,52
????	2,8	
Júpiter	5,2	5,20
Saturno	10,0	9,54
Urano	19,6	19,18

El descubrimiento de Urano, hecho por William Herschel en Marzo de 1781, mostró que el nuevo planeta estaba a una distancia media al Sol de 19,18 unidades

astronómicas, siendo 19,6 la predicción de la relación de Titius. Esto trajo a primer plano la ley de Bode y los astrónomos, que lamentaban en su fuero íntimo no haber “salido a buscar” un planeta que estaba al alcance de la mano [Urano llega a ser visible a simple vista en la oposición], empezaron a pensar seriamente si a 2,8 unidades astronómicas no habría un planeta que aún no había sido descubierto.

2.2.2 Búsqueda y descubrimiento:

En 1800 el astrónomo alemán **Franz Xaver, barón de Zach** (1754-1832), editor de la revista astronómica “*Monatliche Korrespondenz*”, reunió en Lilienthal a 24 astrónomos con el objeto de organizar una búsqueda sistemática de este hipotético miembro desconocido del sistema solar. Dividieron la región zodiacal del cielo en 24 zonas encargando a cada astrónomo el patrullaje de una de ellas. Sin embargo la suerte no estuvo de parte del grupo de Lilienthal, pues fue **Giuseppe Piazzi** (1746-1826), astrónomo italiano, que no participó en la reunión de Lilienthal, quien tuvo el privilegio del descubrimiento.

CERES AT 200



Giuseppe Piazzi nació en Ponte, Valtelina en 1746 y murió en Nápoles en 1826. En 1764 ingresó a la orden de los Teatinos, haciendo estudios en Milán, Turín, Roma y Génova. Enseñando unas veces filosofía y otras matemáticas tanto en Génova como

en Malta, Ravena y Cremona. En 1779 fue nombrado profesor de teología en Roma y en 1781 de astronomía en Palermo, Sicilia. Fue también director del Observatorio de Palermo. En 1817 fue nombrado director del Observatorio del Reino de las Dos Sicilias. Piáís fue un astrónomo muy hábil y gozó en su época de fama universal. El Gobierno de Sicilia le encargó importantes misiones como la reforma del sistema de pesos y medidas de Sicilia, de acuerdo al sistema métrico.

Piazzi realizando en Palermo observaciones para un gran catálogo estelar (publicado en 1814 con las coordenadas para 7.646 estrellas) descubrió el 1º de Enero de 1801, primer día del siglo XIX, un objeto de séptima magnitud que en las noches siguientes fue cambiando de posición en el cielo con respecto a las estrellas vecinas. Lo observó hasta el 24 de Enero, fecha en que envía la información de su descubrimiento a Bode en Berlín.

Desgraciadamente Piazzi enfermó el 11 de Febrero y la carta llegó a manos de Bode sólo hacia fines de Marzo, época en la cual el nuevo objeto se había acercado mucho al Sol (en su posición aparente en el cielo) lo cual hacía imposible la observación. Piazzi intentó computar una órbita para el nuevo objeto (que él pensó era un cometa de apariencia estelar). Sus esfuerzos fueron estériles pues no existía un método para calcular una órbita salvo que ésta fuese circular o parabólica. El método había sido desarrollado por Heinrich Olbers (1758-1840) en Alemania. Había que suponer que la excentricidad de la órbita era cero (órbita circular) o uno (órbita parabólica). Piazzi calculó una órbita circular pues ya había descartado la idea que se tratase de un cometa. Cuando iniciaron la búsqueda después del período de invisibilidad, el objeto no fue encontrado en el lugar calculado.

El gran matemático alemán **Carl Friedrich Gauss** (1777-1855) que estaba trabajando en el problema de órbitas planetarias dirigió entonces su atención al perdido objeto de Piazzi, al recibir en octubre una carta de von Zach donde explicaba la dificultad para recuperar el objeto y le detallaba las observaciones. Con su nuevo método de cálculo y las observaciones de Piazzi pudo determinar una órbita que llevó a recuperar el objeto perdido el 7 de Diciembre de 1801, en el lugar predicho por Gauss, muy distinto del sitio donde se había buscado previamente [el método de cuadrados mínimos lo desarrolló Gauss en esa época junto con un método general de cálculo de órbitas donde los seis elementos de la órbita, incluyendo la excentricidad, se determinan a partir de un conjunto de observaciones, con un mínimo de tres; el nuevo método lo publicó Gauss en 1809]. La órbita indicaba que se trataba de un objeto ubicado entre Marte y Júpiter, con un período cercano a 4 años y con una distancia media al Sol (2,77 UA) muy de acuerdo con la ley de Bode. Piazzi lo designó con el nombre de **Ceres**, la diosa tutelar de Sicilia. Ceres corresponde en la mitología romana a Demeter de la mitología griega, hermana de Zeus. Ceres (Demeter) es la diosa de las cosechas.

El tamaño de Ceres es menor de mil kilómetros de diámetro, notablemente menor que cualquier planeta y también más pequeño que la Luna y los grandes satélites de Júpiter y Saturno. Dado que no era el planeta que se esperaba y dada la frustración del grupo de Lilienthal la búsqueda continuó. El 28 de Marzo de 1802

Heinrich Wilhem Mathias Olbers (1758-1840) descubrió un segundo pequeño planeta: **Palas**. Olbers era médico y ejercía la medicina en Bremen pero en sus ratos libres se dedicaba con pasión a la astronomía. La órbita de Palas es casi del mismo tamaño que la de Ceres pero con una fuerte inclinación con respecto a la eclíptica (35°). Posteriormente K. L. Harding, del Observatorio de Göttingen, el 1 de Septiembre de 1804, descubrió **Juno** y luego Olbers, el 29 de Marzo de 1807, descubrió **Vesta**.

Asteroide	Período orbital (años)	a (U.A.)	Excentricidad	Inclinación (en grados)	Diámetro en kilómetros
Ceres	4,607	2,769	0,0780	10,61	993
Palas	4,611	2,770	0,2347	34,81	525
Juno	4,359	2,668	0,0258	13,00	267
Vesta	3,629	2,361	0,0906	7,14	510

Se habían encontrado 4 nuevos planetas en lugar de uno, en la ubicación indicada por la ley de Bode, pero además todos eran muchísimo más pequeños que Júpiter o Marte, pues su brillo alcanza sólo a la milésima parte de la de éstos y su apariencia en el telescopio es perfectamente estelar. Fueron designados con el nombre de **pequeños planetas** o **asteroides**. Sus órbitas están entre 2,3 y 2,8 UA y sus períodos de revolución entre 3,6 y 4,6 años.

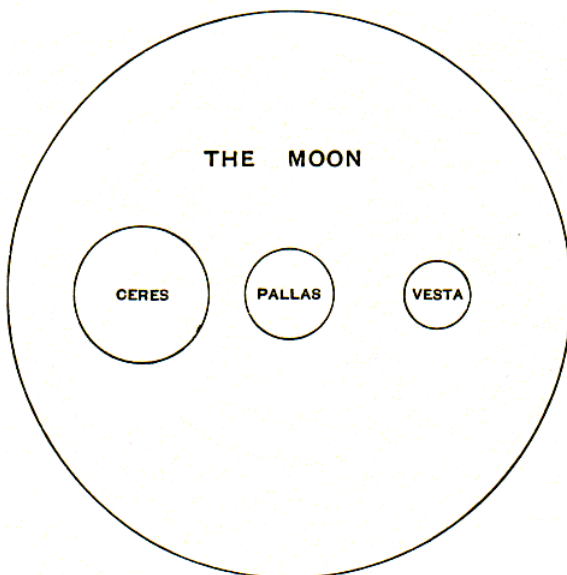


FIG. 90.—Comparative sizes of three minor planets and the moon.

Por muchos años sólo se conocieron 4 pequeños planetas. Recién en 1845 se descubrió el quinto. Con la construcción de mapas estelares hasta la novena magnitud, hecha en el Observatorio de Berlín para la zona zodiacal, se posibilitaron nuevos descubrimientos. Ya en 1855 el número de pequeños planetas conocidos había aumentado a 26; en 1870 se alcanzó a los 105. Con la introducción de la fotografía en astronomía fue posible descubrir con facilidad pequeños planetas más débiles que magnitud 10. Al exponer una placa fotográfica durante una hora, las estrellas se registran como

objetos puntuales pero los asteroides, que se desplazan durante la exposición, se detectan fácilmente como trazos. Así en 1900 el número de asteroides se había elevado a 436. Al mejorar la técnica fotográfica y utilizando nuevos métodos de búsqueda fue posible elevar rápidamente ese número. En el año 1937 se conocían 1.417 y en 1977 había 2.000 pequeños planetas numerados, con órbitas muy bien conocidas y un gran número (5.000) de asteroides con órbitas preliminares. Los

primeros cuatro planetoides descubiertos tienen tamaños entre 500 y 1.000 kilómetros de diámetro. Los más débiles que se descubren tienen tamaños de 10 kilómetros, o menos.

Actualmente con la mayor capacidad de los telescopios es posible descubrir muchos pequeños planetas. Su número crece incesantemente al alcanzar objetos de menor tamaño. Se estima que el número total de asteroides sobrepasa los 100.000. Es posible que no exista límite pues los más débiles son simplemente rocas de 1 kilómetro o menos. En placas fotográficas obtenidas en la Estación Astronómica de Cerro El Roble, de la Universidad de Chile, con el astrógrafo Maksutov de 70 centímetros de abertura, se logran registrar hasta 100 asteroides en una placa fotográfica de 5°x5°, que detecta objetos hasta magnitud 19. Esto indicaría unos cien mil pequeños planetas hasta magnitud 19. Con telescopios grandes, como el de 4 metros de Tololo se detecta un número considerable hasta magnitud 23.

En 1866 el astrónomo Daniel Kirkwood (1815-1895), estudiando las órbitas de los pocos pequeños planetas conocidos a esa fecha, señaló que los períodos no se distribuían al azar en torno al promedio de 4,7 años. Encontró que había ausencia de asteroides con períodos de 5,93 años, 4,74 años y de 3,95 años, que corresponden a $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{5}$ y a $\frac{1}{3}$ del período de Júpiter. Estudios posteriores, utilizando un mayor número de pequeños planetas (Kirkwood tenía inicialmente datos para sólo 88 asteroides), han confirmado las lagunas de Kirkwood, agregando otra correspondiente a $\frac{3}{7}$ del período de Júpiter. Naturalmente estas lagunas en la distribución de los períodos deben ser causadas por Júpiter que no acepta esa conmensurabilidad y perturba sacando de esas posiciones a los asteroides [las lagunas en los períodos se traducen en lagunas en los semi-ejes mayores, zonas del espacio donde no hay pequeños planetas]. Estas lagunas de Kirkwood constituyen un hecho que la mecánica celeste del siglo XIX no había predicho. Estas resonancias con la órbita de Júpiter saca a cualquier objeto de esa zona, sin embargo algunos pequeños planetas están atrapados en las resonancias 1:1 de los Troyanos o de 2:3 de los tipo Hilda.

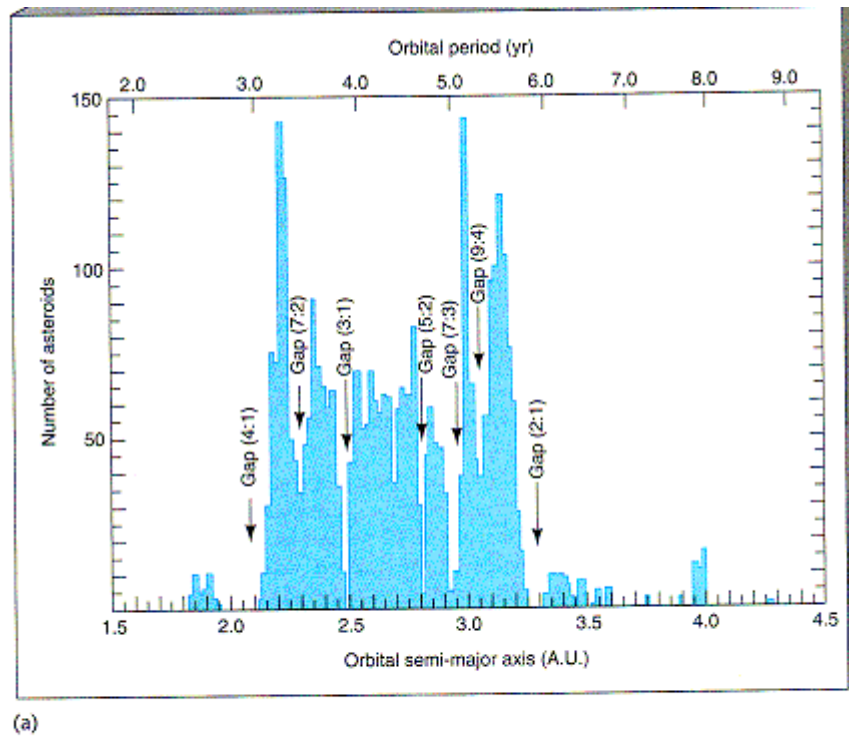


Figure 14.4 (a) The distribution of asteroid semi-major axes shows some prominent gaps caused by resonances with Jupiter's orbital motion. Note, for example, the prominent gap at 3.3 A.U., which corresponds to the 2:1 resonance—the orbital period is 5.9 years, exactly half that of Jupiter.

En 1906 se descubrieron, en un corto intervalo, 4 pequeños planetas con un período de 12 años, exactamente igual al período de Júpiter, que viajan en una órbita similar, pero que se ubican a 60° de Júpiter, vistos desde el Sol, ya sea precediéndolo o siguiéndolo. Esta situación había sido predicha por Lagrange, quien encontró que esa configuración triangular es estable en el problema de tres cuerpos. Estos son los puntos L4 y L5 de Lagrange; los puntos L1, L2 y L3 están en la línea que conecta los dos cuerpos, L1 entre ellos y L2 y L3 fuera de ellos. Los cinco puntos de Lagrange son puntos de equilibrio pero sólo L4 y L5 son estables. Pequeños cuerpos están allí “en equilibrio estable”, bajo la acción combinada del Sol y Júpiter. Un análisis posterior mostró que los pequeños cuerpos pueden oscilar en torno a dichos punto, en las así llamadas libraciones, siempre acompañando a Júpiter a 60° de distancia (de longitud eclíptica). Estos objetos fueron nombrados como *Aquiles*, *Héctor*, *Patroklus*, *Nestor* y otros héroes de la guerra de Troya; al grupo se los conoce genéricamente como los asteroides *troyanos*.

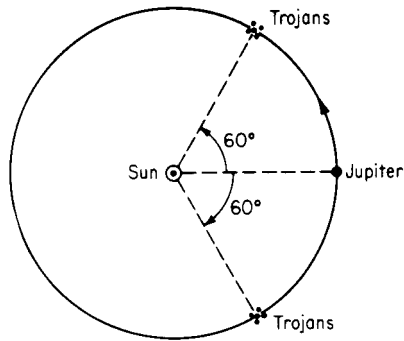


Fig. 12.1-2 Orbits of the Trojan asteroids.

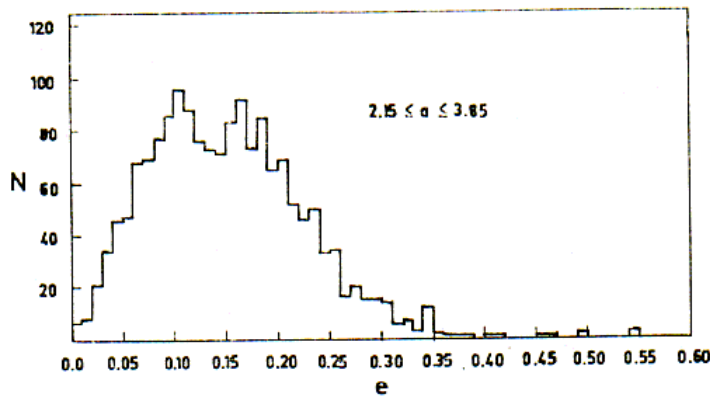


Fig. 4.—Número de asteroides como función de la excentricidad.
H. Alfvén y G. Arrhenius.

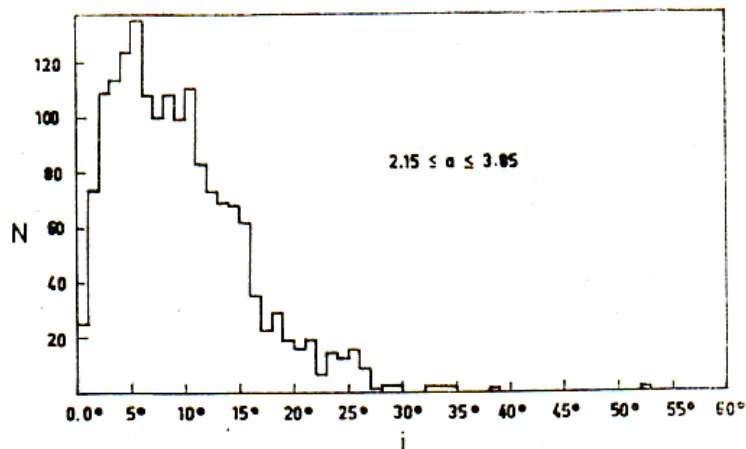


Fig. 5.—Número de asteroides como función de la inclinación.
H. Alfvén y G. Arrhenius.

Otro importante grupo de asteroides son aquellos que sus órbitas los llevan a pasar muy cerca de Marte y la Tierra. Un ejemplo de este tipo es el pequeño planeta Eros. Fue descubierto por Gustav Witt en Berlín en 1898. En su perihelio se acerca al Sol bastante más que la órbita de Marte llegando a una cercanía con la Tierra. En la

oposición 1900-1901 llegó a 0,27 UA de la Tierra. Mejor aún en la oposición de 1930-1931 llegó a tan sólo 0,17 UA. Su paralaje geocéntrico es excelente para medir el paralaje Solar (el paralaje solar es 8,8" por lo que el paralaje de Eros es de aproximadamente 52" muy fácil de medir). Eros es el más notable miembro de la familia de los asteroides tipo **Apolo-Amor**. El perihelio del asteroide **Apolo** es menos de 1 UA y el perihelio de **Amor** está entre las órbitas de la Tierra y Marte. Existe una pequeña probabilidad de que uno de estos pequeños planetas que cruzan la órbita terrestre choque con ella. En 1989 Henry Holt descubrió un asteroide tipo Apolo que se acercó a 800.000 kilómetros de la Tierra. En 1992 el asteroide *Toutatis* pasó a sólo 4 millones de kilómetros de la Tierra. En 1993 Tom Gehrels encontró otro, de 10 km de diámetro, que pasó a sólo 140.000 km, menos de la mitad de la distancia a la Luna. Se ha anunciado que el 26 de octubre del 2028 pasará un asteroide a 1 millón de kilómetros de la Tierra. Se calcula que puede ocurrir una colisión con la Tierra cada millón de años.

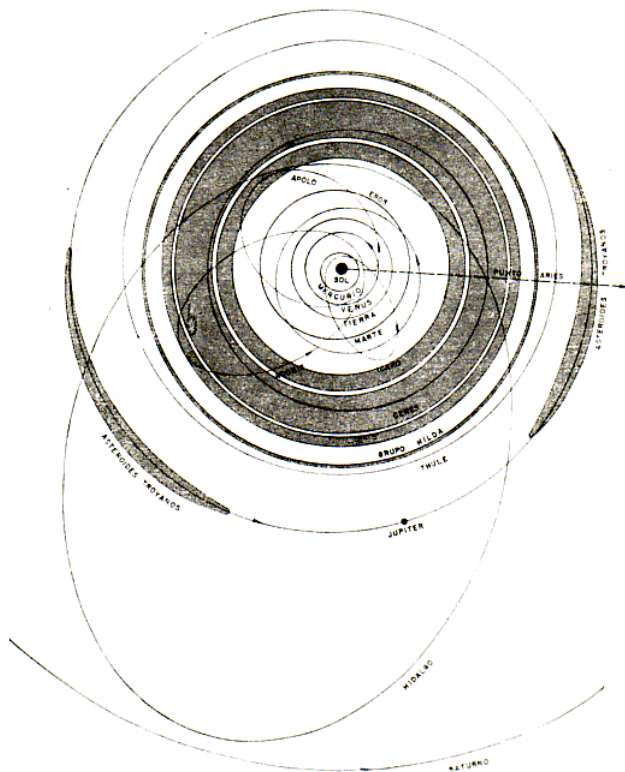


Fig. 6.—Gráfico de situación de los asteroides del anillo principal y de los grupos Hilda y Troyanos. Se encuentran en las zonas sombreadas. Se dibujan también algunas órbitas de pequeños planetas excepcionales. R. S. Richardson.

En 1976 Eleanor Helin descubrió el asteroide Aten cuya distancia media al Sol es menor a una unidad astronómica de distancia, permaneciendo su órbita todo el tiempo más cerca del Sol que la Tierra. Los asteroides Amor, Apolo y Aten conforman genéricamente una familia de Objetos cercanos a la Tierra, en inglés *Near Earth Objects*, abreviados **NEOs**.

Los **NEOs** son motivo de estudio en la actualidad para la NASA y el mundo entero. Hoy se han catalogado mucho miles de ellos, todos los que poseen un tamaño superior a un kilómetro, cuyo eventual impacto con la Tierra podría producir una catástrofe global. Ahora se trabaja en descubrir y catalogar todos los NEOs de más de 300 metros, que podrían producir

una conmoción regional o local. La idea detrás de estos estudios es poder tener una alerta temprana de una colisión con la Tierra y poder tomar medidas.

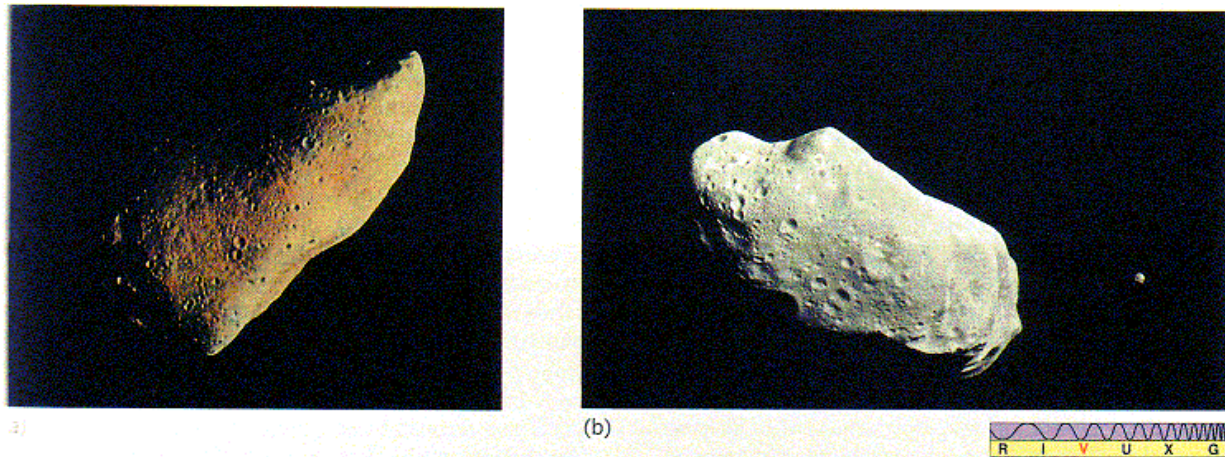


Figure 14.5 (a) The asteroid Gaspra as seen from a distance of 1600 km by the probe *Galileo* on its way to Jupiter. (b) The asteroid Ida, photographed by *Galileo* from a distance of 3400 km. (Ida's moon, Dactyl, is visible at the right of the photo.) The resolution in these photographs is on the order of 100 m. True-color images showed the surfaces of both bodies to be a fairly uniform shade of gray. Sensors on board the spacecraft indicated that the amount of infrared radiation absorbed by these surfaces varies from place to place, probably as a result of variations in the thickness of the dust layer blanketing them.

En 1920 Walter Baade descubrió el primer asteroide que cruza la órbita de Júpiter y llega casi hasta Saturno. Se lo denominó Hidalgo y fue por mucho tiempo el asteroide que más se alejaba del Sol.

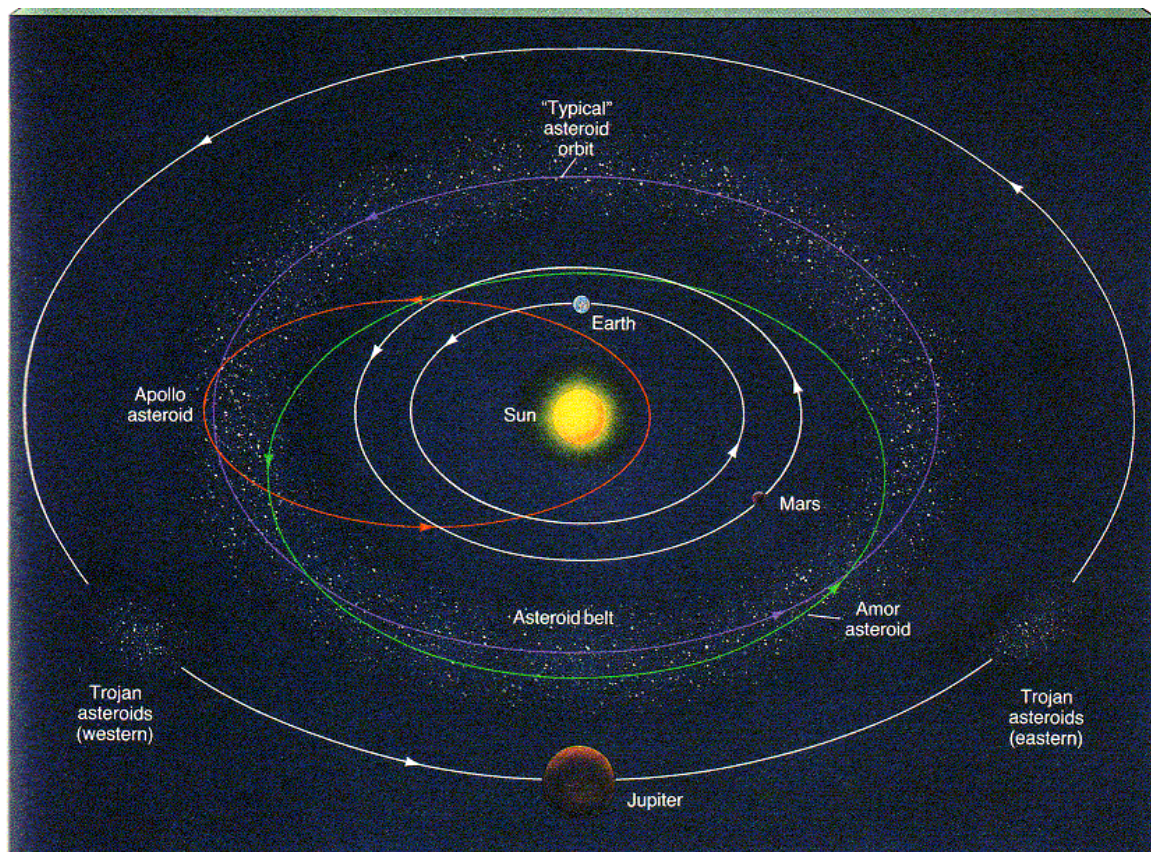


Figure 14.1 The asteroid belt, along with the orbits of Earth, Mars, and Jupiter. The main belt, the Trojan asteroids, and some Apollo (Earth-crossing) and Amor (Mars-crossing) orbits are shown.

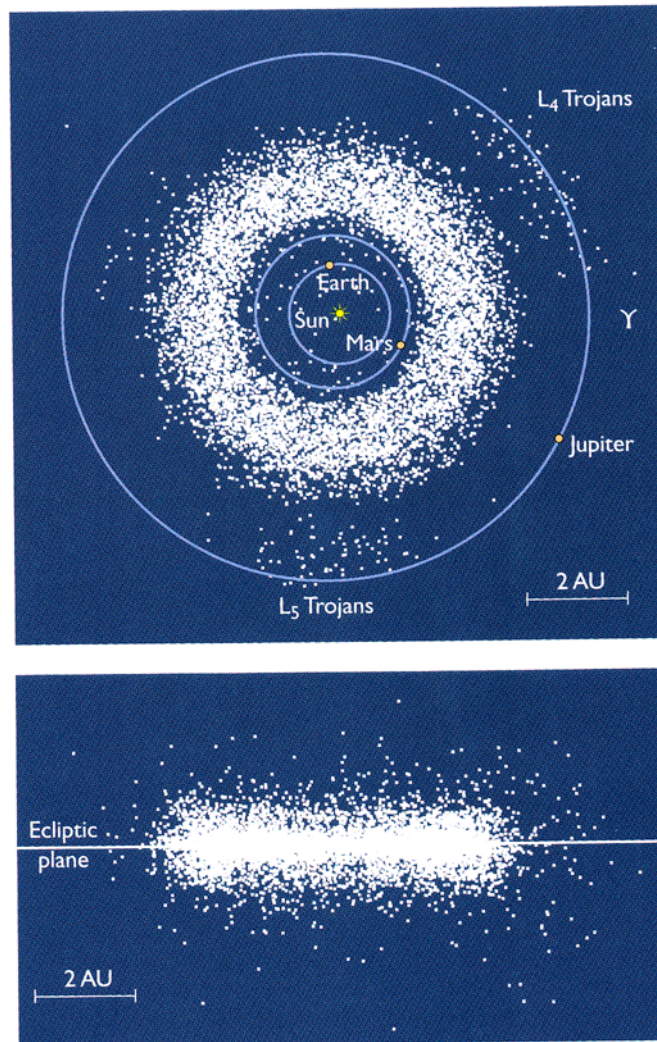


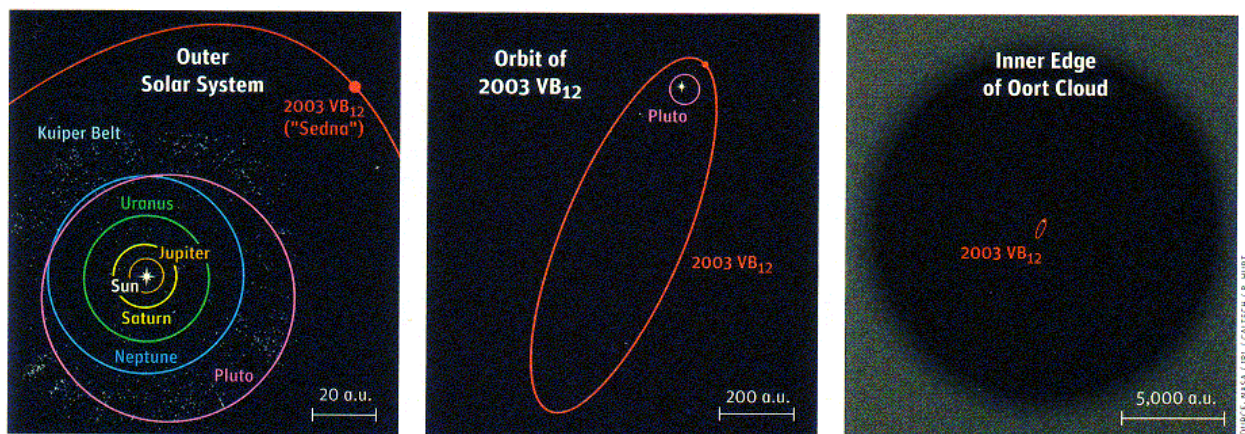
Figure 1. A computer snapshot of more than 8,000 numbered asteroids, positioned as they would have appeared as seen from above (upper panel) and along the ecliptic plane on 1 January 1998. The loose clusters situated ahead of and behind Jupiter along its orbit are the Trojan asteroids. Note that the inner margin of the main belt is not circular but instead concentric with the rather eccentric orbit of Mars.

Posición de más de 8.000 asteroides el día 1 de Enero de 1998. La inmensa mayoría de los objetos están ubicados entre las órbitas de Marte y Júpiter. Se aprecian claramente los asteroides troyanos.

En 1977 Charles Kowal descubrió un objeto que orbita el Sol entre Saturno y Urano, con un período de 51 años. Fue catalogado como el asteroide 2060, **Chiron**. Tiene un diámetro de 200 kilómetros; su órbita es elíptica lo cual lo hacer acercarse a Saturno en su perihelio y a Urano en su afelio. Chiron resultó ser el primero de un grupo de asteroides entre Saturno y Urano que han sido llamados los **Centauros**, con distancias medias al Sol entre 13 y 25 UA lo que sitúa a varios de ellos más allá de la órbita de Urano.

Recientemente, a partir de 1992, se han descubierto pequeños planetas más allá de la órbita de Neptuno (y de la de Plutón), con distancias medias al Sol entre 40 y 45 UA. Estos han sido llamados **objetos Trans-Neptunianos** (*Trans-Neptunian Objects* o **TNOs** abreviados en inglés). Se estima que existen 35.000 objetos como ellos, con órbitas entre 30 y 50 UA, llamados **el cinturón de Kuiper** (Kuiper belt). Estos objetos han atraído la atención de los astrónomos pues son objetos cuya composición química sería la primigenia de la nube solar primitiva; se trataría de remanentes de la formación del sistema solar que no se integraron en ningún cuerpo mayor y que su gran distancia al Sol los ha hecho permanecer inalterados desde entonces.

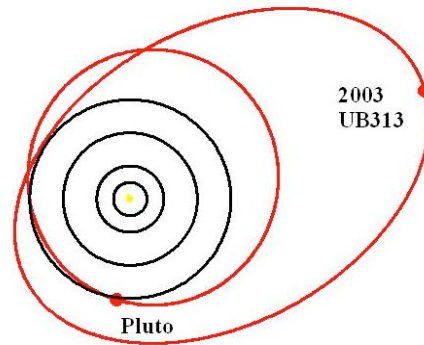
Recientemente ha sido descubierto un TNO muy alejado del Sol que quizás sea el objeto más grande descubierto desde 1930 (fecha en que se descubrió Plutón). Ha sido designado como **Sedna**; está situado ahora a 89 unidades astronómicas del Sol. Con un diámetro estimado entre 1.200 y 1.700 kilómetros tiene un tamaño que es la mitad de la Luna y casi comparable con Plutón. Los descubridores Michael Brown (CalTech), Chad Trujillo (GEMINI) y David Rabinowitz (Yale) lo descubrieron el 14 de Noviembre del 2003 en tres imágenes tomadas por el telescopio Schmidt de Monte Palomar en EE.UU. Ellos sugirieron bautizarlo Sedna, diosa Inuit que vive en una fría y oscura caverna en el fondo del mar Ártico. Se han encontrado imágenes pre-descubrimiento que llegan hasta 1990. Con todas ellas se ha calculado una órbita que muestra ser muy alargada (muy excéntrica) que hace que Sedna en el perihelio se ubique a 76 U.A. pero llega hasta 950 U.A. en el afelio y su órbita tiene un período de 11.500 años. El TNO que poseía el anterior record era el 2000 CR₁₀₅ que va de 44 hasta 410 U.A en una órbita de 3,400 años. Sedna es un poco distante para ser un objeto del cinturón de Kuiper pero no llega lo suficientemente lejos para ser parte de la nube de Oort. Es un objeto que está situado en una posición intermedia entre los TNOs y los cometas de largo período.



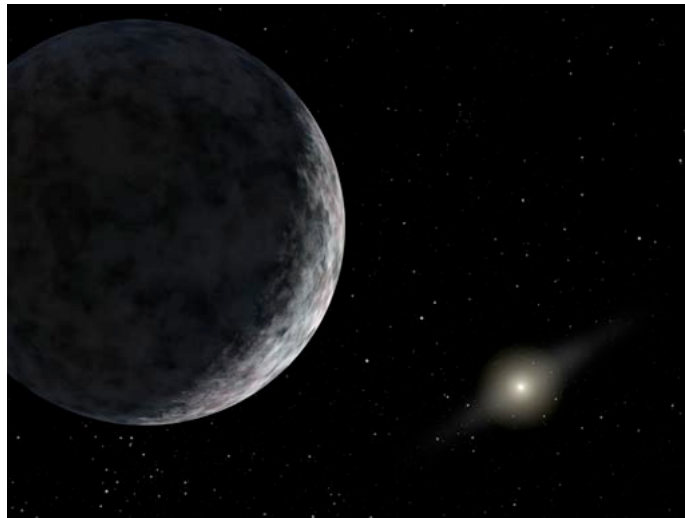
SEDNA está situado más allá del cinturón de Kuiper pero no alcanza a las distancias de la nube de Oort donde se encuentran los cometas de largo período del sistema solar. Note la órbita muy alargada de Sedna ($e=0,85$) órbita típica de cometas.

El 29 de Julio del 2005 se ha anunciado el descubrimiento del objeto del sistema solar más grandes desde 1846 (fecha del descubrimiento de Neptuno). El objeto, descubierto en el 2003 y anunciado en julio del 2005, orbitaría el sol en 557 años en

una órbita con una excentricidad mayor que la típica de los planetas pero no tan grande como la de los cometas. El nombre provisorio el objeto es 2003 UB313. Fue descubierto por el mismo grupo que descubrió Sedna, esto es Michael Brown, Chad Trujillo y David Rabinowitz. En el afelio el objeto 2003 UB313 alcanza las 97 unidades astronómicas (U.A.) mientras en el perihelio se acerca al Sol hasta 35 U.A. La excentricidad del objeto es $e = 0,47$ y su semi-eje mayor es de 66 U.A. El nuevo objeto está situado muy cerca de su máxima distancia al Sol (afelio) y tiene magnitud 19. Si se hacen suposiciones razonables acerca de su reflectividad (albedo) el tamaño del objeto se sitúa entre 2.390 km y 3550 km de diámetro. El tamaño de Plutón como comparación es de 2.280 kilómetros de diámetro. El nuevo objeto, al igual que Sedna, podría ser llamado un nuevo planeta. Sin duda se trata de un objeto trans-Neptuniano, pero aún es prematuro para afirmar que se trata de un nuevo planeta. La Unión Astronómica Internacional es la entidad rectora que debe pronunciarse acerca de la naturaleza del objeto y su nombre definitivo. La costumbre es nombrar a los TNOs como deidades griegas y en el caso de los plutinos (objetos que comparten las características orbitales de Plutón) con deidades griegas del inframundo (Plutón era el dios del inframundo).



órbita de 2003 UB313



Visión artística de cómo podría verse 2003 UB313; es Sol se ve como un objeto lejano.

Para explicar el origen de los pequeños planetas se han sostenido dos puntos de vista totalmente opuestos. Para algunos serían los fragmentos de un planeta de tamaño normal que se desintegró en un gran cataclismo. Esta hipótesis fue propuesta por Olbers a comienzos del siglo XIX. Para otros se trataría de los componentes a partir de los cuales no logró constituirse un planeta normal. Si esta última hipótesis fuese la correcta se trataría de material primigenio que no llegó a aglomerarse para constituir un planeta. Cabe señalar que los planetas exteriores al cinturón de asteroides (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón) poseen características muy diferentes de las de los planetas dentro del cinturón (Marte, Tierra, Venus y Mercurio). Esto parece indicar que la parte externa del Sistema Solar se formó bajo condiciones muy diferentes a las imperantes durante la formación de los planetas interiores. Esa transición habría ocurrido cuando debía formarse un planeta a 2,8 UA y tal vez ese cambio brusco de temperatura hizo imposible la formación de un planeta de hielo, como los jovianos, o de un planeta rocoso, como los terrestres. La materia prima quedó dispersa en esa zona. En todo caso no es una gran cantidad de masa: se estima que la masa de todos los asteroides no es más de 0,004 la masa terrestre. Lo que ahora habría no es suficiente para formar un planeta comparable ni con Mercurio, el más chico de los terrestres, con una masa de 0,055 masas terrestres.

Bibliografía:

- Berry, A. "A Short History of Astronomy", Dover, N. York, 1961; pp.320–353.
- Crowe, M.J. "Modern Theories of the Universe, from Herschel to Hubble", Dover, N. York, 1994.
- Papp, D. Y Babini, J. "Panorama General de la Historia de la Ciencia", Vol. X; B. Aires, 1958; pp 53–56.
- Pascual Martínez, Miguel de, 1979 "Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1979", pp. 339-528.
- "The Cambridge Concise History of Astronomy", M. Hoskin (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Sky&Telescope*, Junio 2004, p.14.