



Curso “Introducción a las Ciencias de la Tierra y del Espacio II”

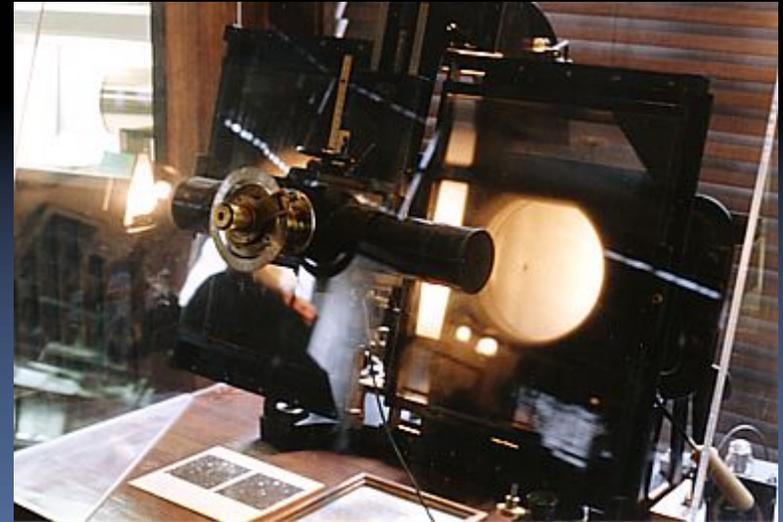
LA REGIÓN TRANSNEPTUNIANA

La región de Objetos Trans-Neptunianos

- Introducción
- Características dinámicas
- Características físicas
- Formación y evolución
- Estado del conocimiento actual
- Perspectivas

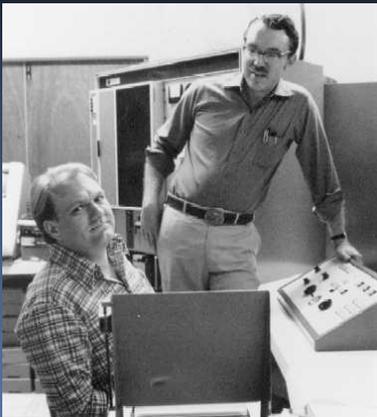
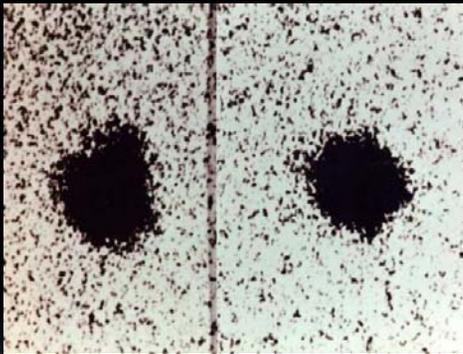
Introducción

- En 1908 William Pickering sugiere la existencia de un cuerpo masivo más allá de Neptuno, para explicar irregularidades observadas en el movimiento orbital de Urano.
- Entre 1905 y 1916 Percival Lowell lleva adelante la primera búsqueda del supuesto “planeta X”.
- En 1929 Clyde Tombaugh, desde el Lowell Observatory (Flagstaff, Arizona), inicia una búsqueda que lo lleva al descubrimiento de Plutón, el 18 de febrero de 1930.
- Tombaugh continua infructuosamente su búsqueda de planetas transneptunianos por 13 años más, cubriendo todo el cielo del hemisferio Norte, hasta la declinación -30° , y hasta la magnitud aparente $B = 16$.
- El inventario de objetos transneptunianos permanecería sin cambios por varias décadas más.

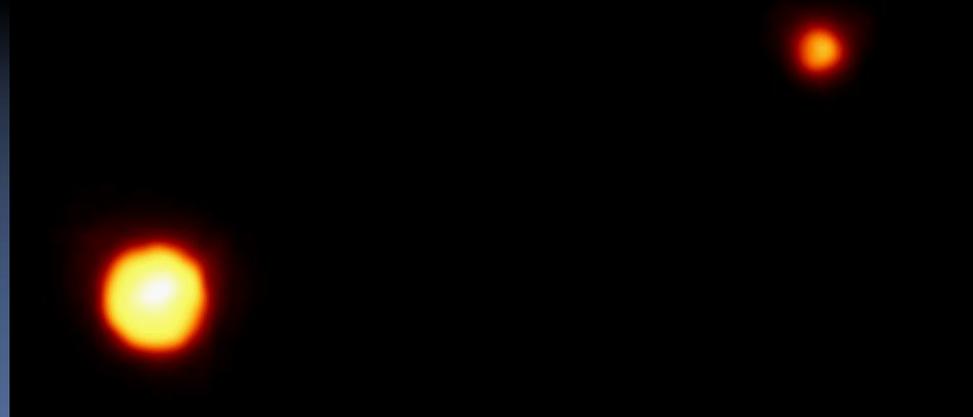


Introducción

- En el terreno observacional no sucedió nada significativo hasta el descubrimiento del satélite de Plutón, Caronte, por James Christy y Robert Harrington (U.S. Naval Observatory), quienes observan en placas fotográficas un “abultamiento” de Plutón (Julio 1978).



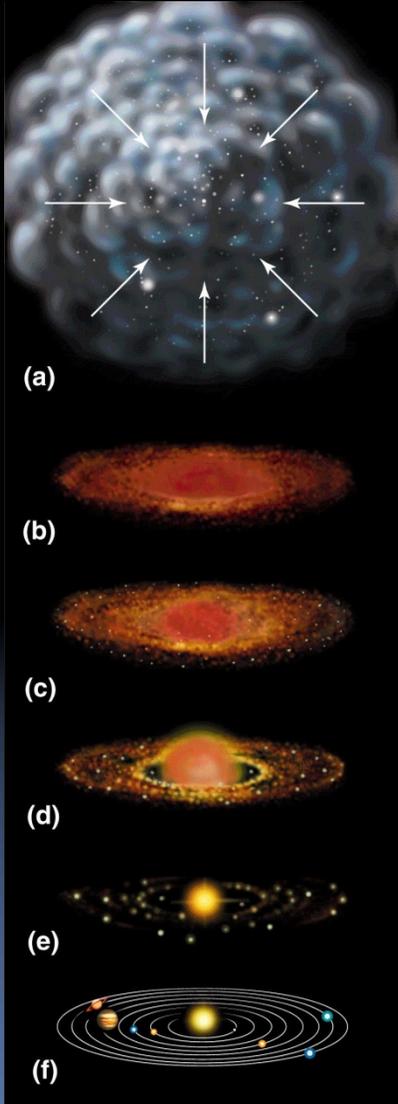
El sistema Plutón-Caronte
visto por el Telescopio
Espacial Hubble



Introducción

- Pero, en el dominio teórico la situación resultaba mucho más dinámica.
- Leonard (1930) especula que Plutón sería el primero de una población aún no descubierta de objetos “ultra-Neptunianos” y/o “ultra-Plutónicos”.
- Unos pocos años después Kenneth Edgeworth presenta la primera descripción cuantitativa de un **Cinturón Trans-Neptuniano** basándose en principios cosmogónicos.
- Edgeworth propone que el Sol primigenio estaba rodeado por un vasto disco de *meteoritos* que se extendía más allá de las órbitas planetarias: mientras en la región planetaria las inestabilidades gravitacionales llevaron a la formación de planetas, más allá de Neptuno las densidades habrían sido demasiado bajas.

Modelo “clásico o estándar” de formación planetaria

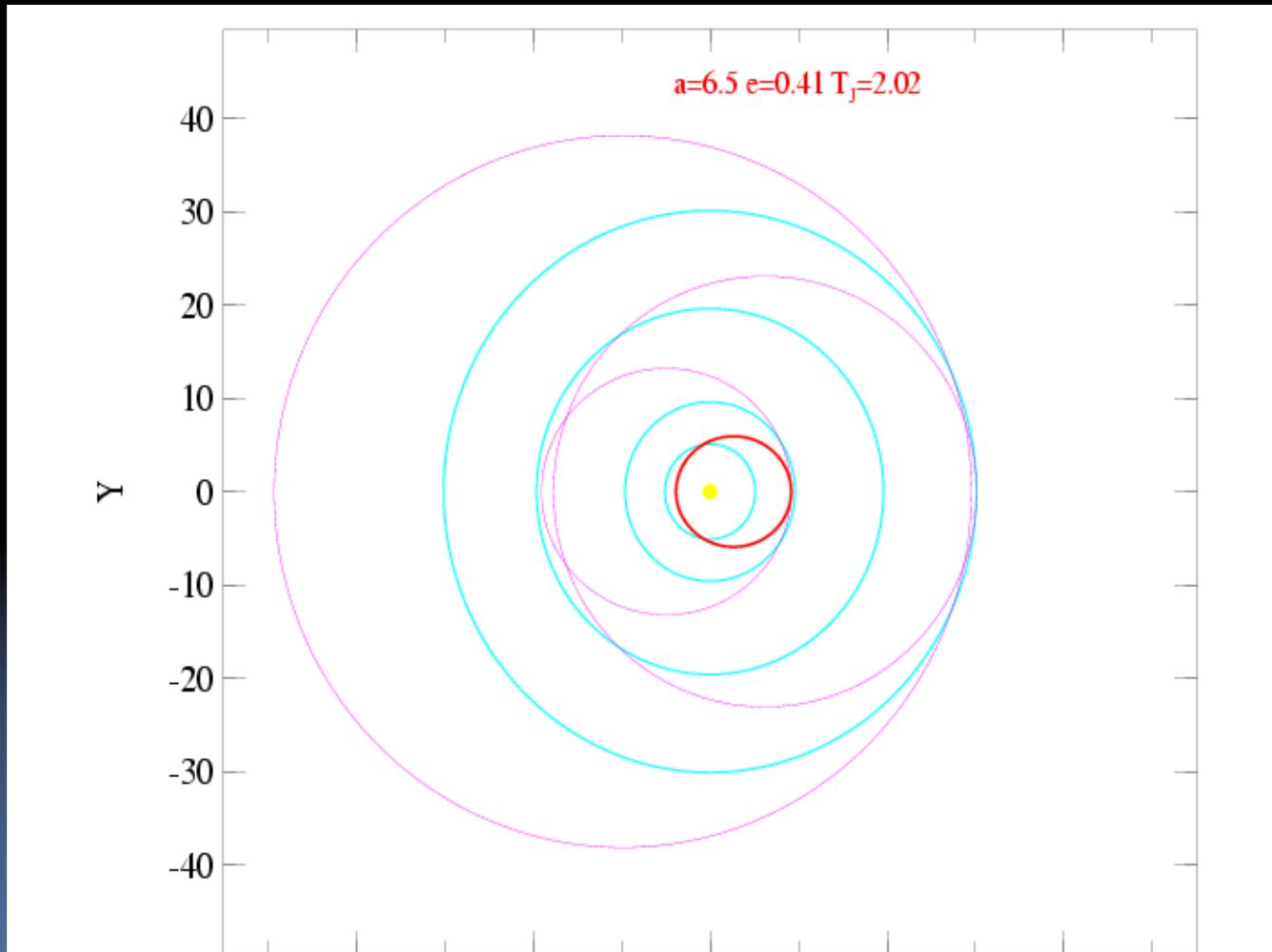


- a) y b) La nebulosa solar se contrae y aplanada hasta formar un disco en rotación.
- c) Los granos de polvo crecen por colisiones mutuas (acretan) hasta formar los *planetesimales*.
- d y e) Los *planetesimales* continúan colisionando entre sí, aumentando de tamaño hasta formar unos pocos protoplanetas .
- f) Luego de unos cientos de millones de años se formaron los planetas.
- Los planetesimales residuales en la región planetaria fueron dispersados.
- En la región más externa, donde no se formaron planetas, habría quedado un disco fósil.

Introducción

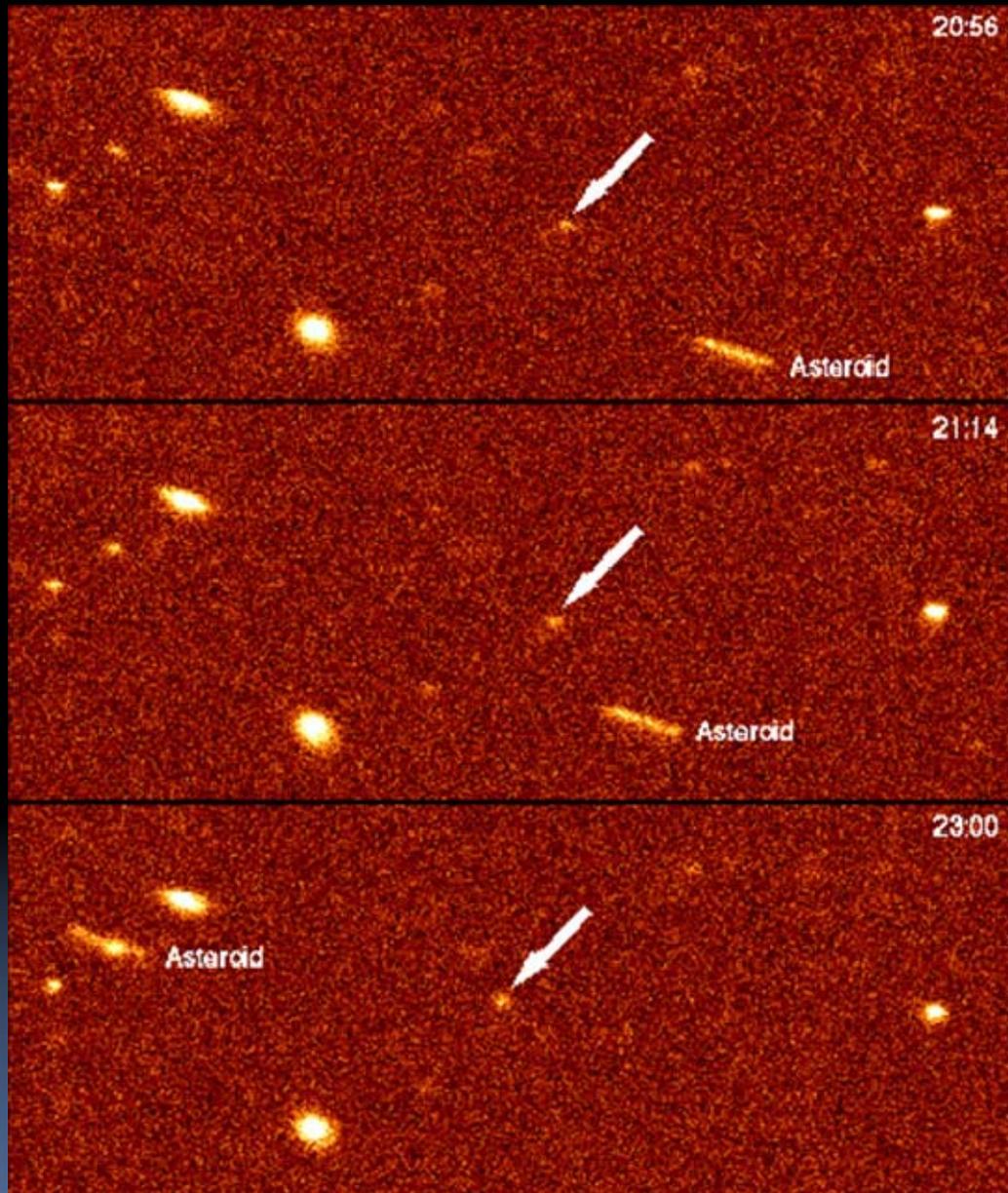
- Edgeworth propuso que ese reservorio más allá de Neptuno podría ser la fuente de los cometas observados (Edgeworth 1943, 1949).
- Gerard Kuiper, independientemente, argumenta que los planetesimales helados formados más allá de Neptuno no podrían haber acreetado en cuerpos masivos dadas las grandes escalas de tiempo colisionales a tales distancias del Sol, y habrían permanecido formando un *anillo* entre ~ 30 y 50 UA, estructura similar a la del Cinturón de asteroides (Kuiper 1951).
- Julio Fernández (1980) demuestra que los cometas de corto período (cometas de la Familia de Júpiter) no pueden provenir de la Nube de Oort, sino que un cinturón transneptuniano ($\sim 35 - 50$ UA), y propone un mecanismo dinámico por el cual los cuerpos helados de dicha región llegarían hasta el Sistema Solar interno, convirtiéndose en los cometas de la Familia de Júpiter observados.

Ejemplo del mecanismo de transferencia de objetos (“pasamanos”) desde el TNB hacia la región planetaria interna donde se transforman en cometas de la Familia de Júpiter.



La confirmación observacional de las predicciones de Edgeworth, Kuiper y Fernández.

- David Jewitt y Jane Luu descubren el tercer TNO - 1992QB1 – con el telescopio de 2.2 m de Mauna Kea, Hawaii (Jewitt & Luu 1993).
- La búsqueda se centró en 1 grado^2 de cielo hasta $V = 25$. Este objeto fue descubierto a una distancia heliocéntrica de 41.2 UA. La determinación orbital dio como resultado: $a = 43.82 \text{ AU}$, $e = 0.088$, $i = 2.21^\circ$, i.e. resultó ser un objeto de inclinación y excentricidad bajas, de acuerdo a lo esperado para un TNO.
- El objeto presentó una magnitud aparente $R = 22.8$, lo cual, suponiendo un albedo de 0.04, correspondería a un diámetro $\sim 250 \text{ km}$, i.e. mayor que los tamaños asteroidales típicos.
- A partir de entonces el número de TNOS descubiertos fue creciendo, alcanzando a más de 500 en solo 10 años. En los últimos años la tasa ha decaído, y actualmente se están produciendo pocos descubrimientos.



El descubrimiento de 1992 QB1

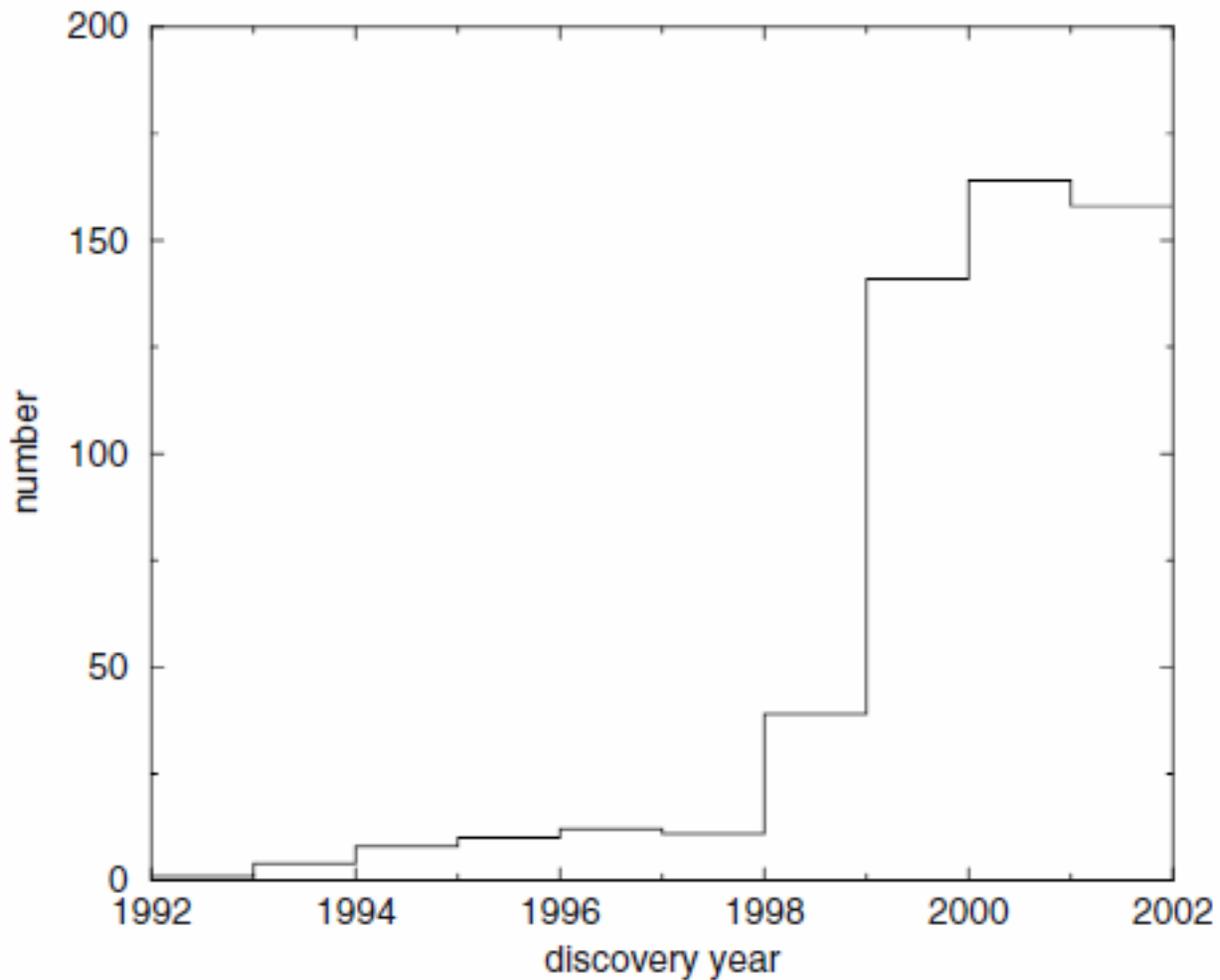
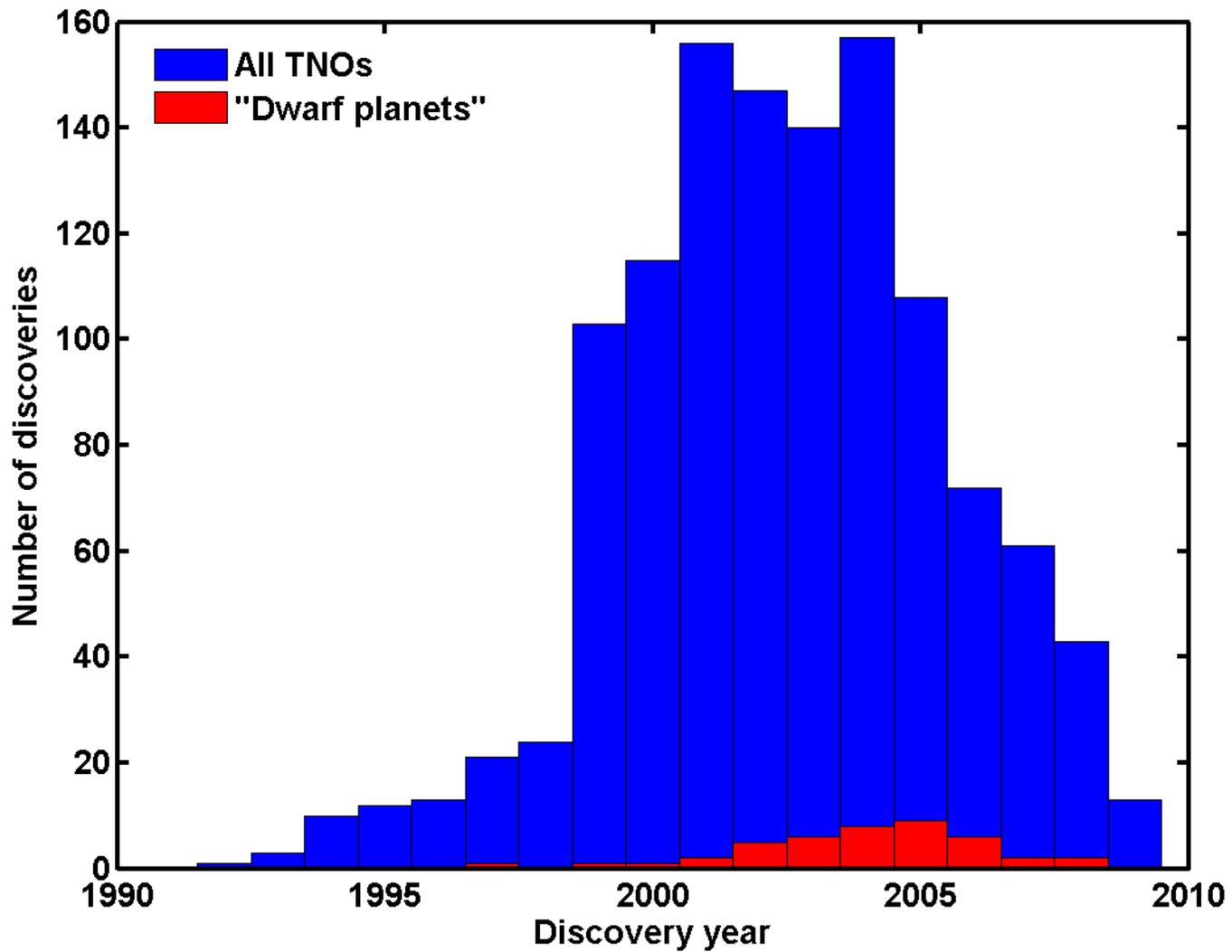
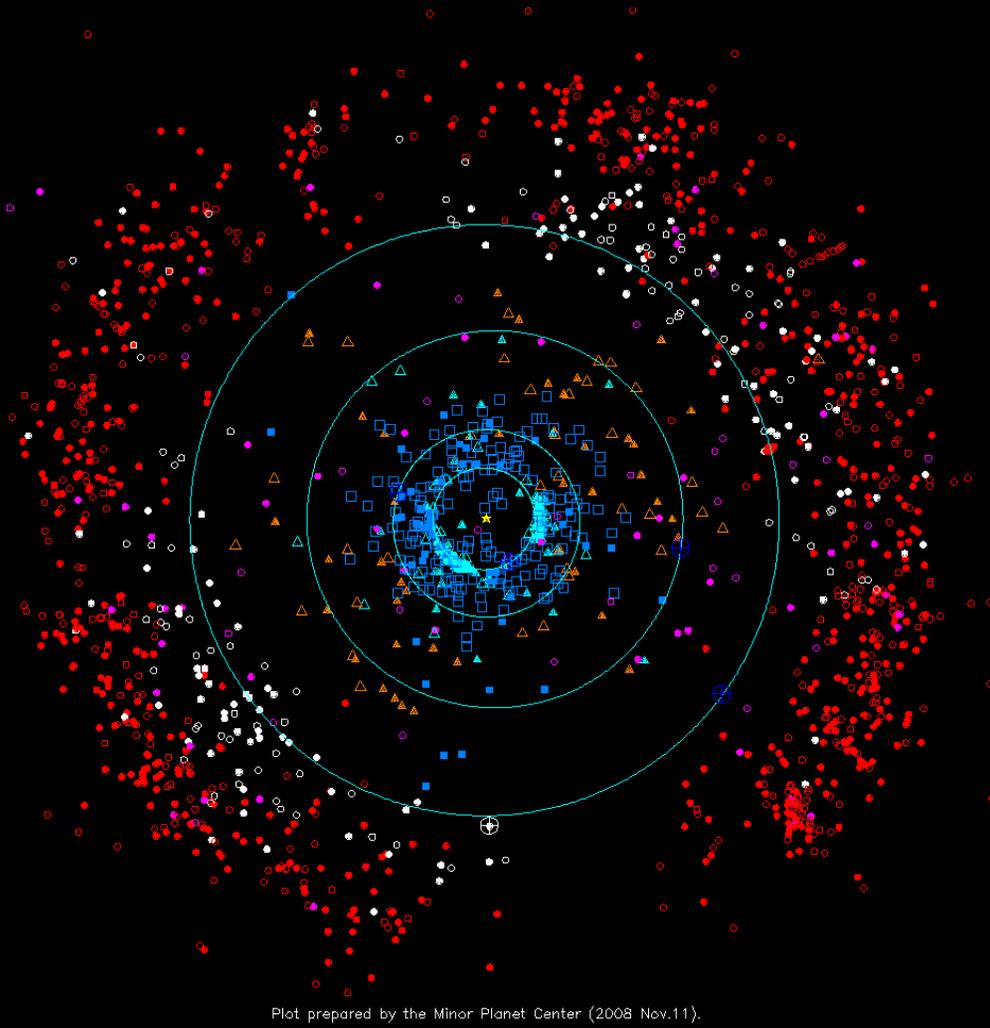


Figure 8.1. The discovery rate of trans-neptunian bodies through the first decade. Data from the Minor Planet Center's Web site: <http://cfa-www.harvard.edu/iau/Ephemerides/Distant/Soft00Distant.txt>



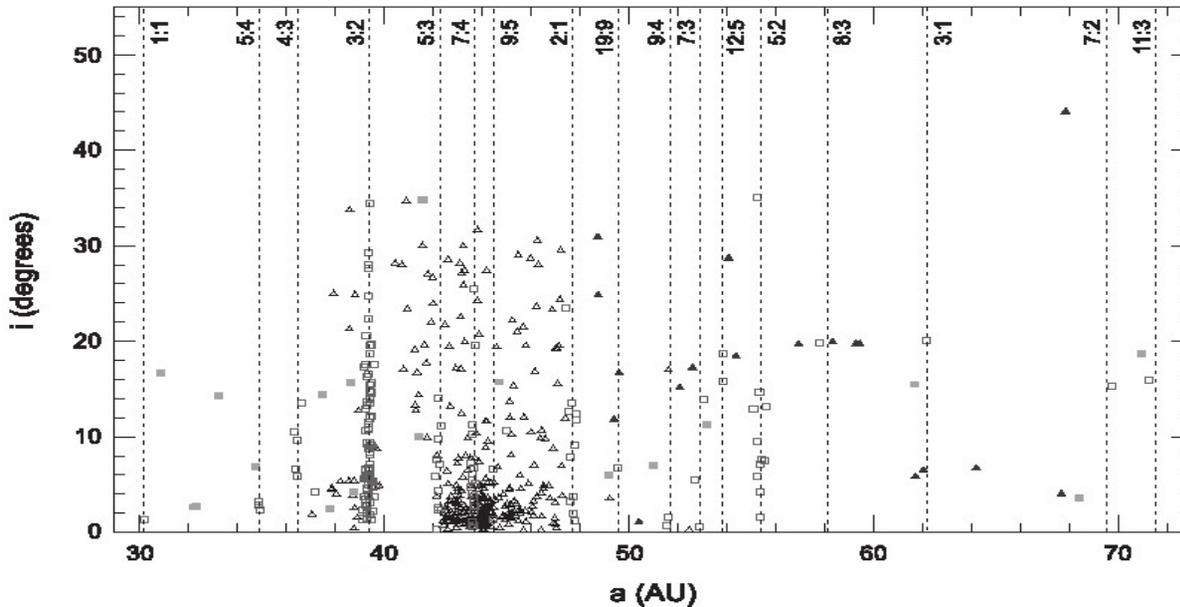
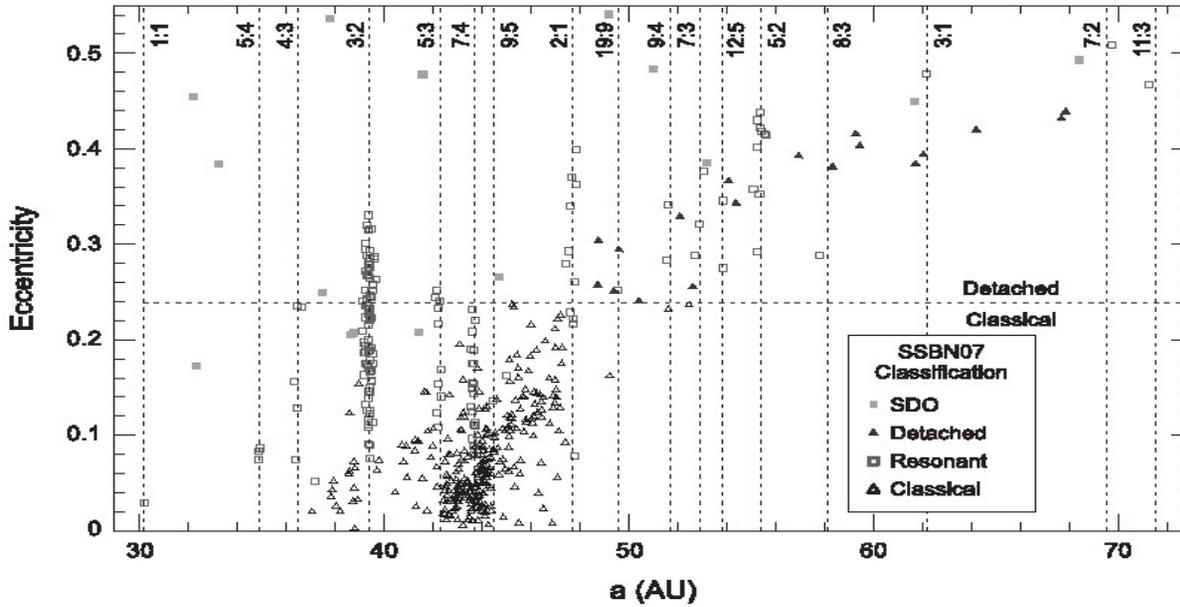
Distribución espacial de TNOs



Plot prepared by the Minor Planet Center (2008 Nov.11).

- Unusual high-e objects - cyan triangles
- Centaur objects - orange triangles
- Plutinos (2:3 reson. with Neptune) - white circles
- (Pluto itself is the large white symbol)
- Scattered-disk objects - magenta circles
- "classical" or "main-belt" objects - red circles.
- Objects observed at one opposition - open symbols
- Objects with multiple-opposition orbits - filled symbols.
- Numbered periodic comets - filled light-blue squares.
- Other comets - unfilled light-blue squares.

Propiedades dinámicas de los TNOs



Propiedades dinámicas y peculiaridades

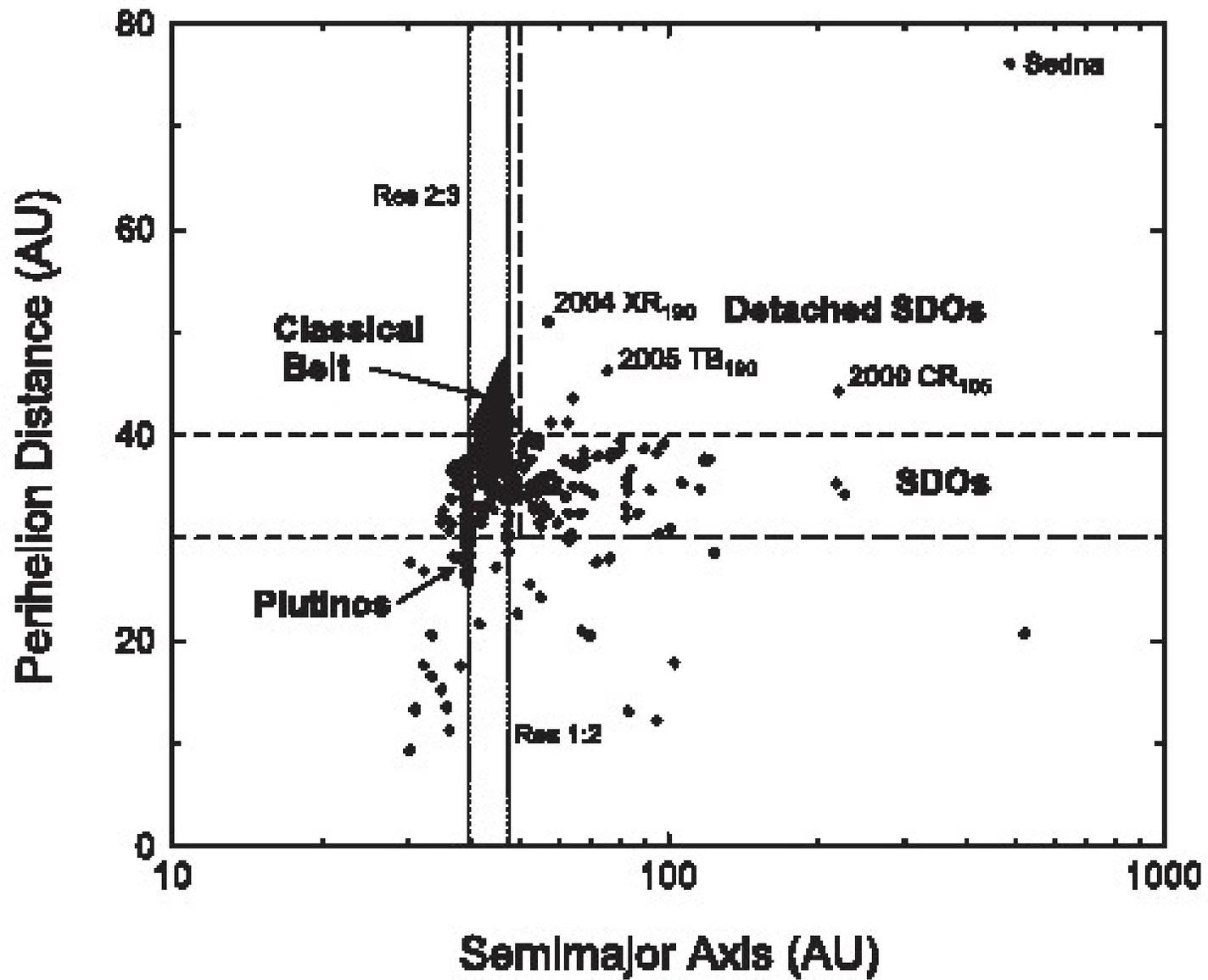
■ Diversas poblaciones:

- Objetos resonantes (Plutinos, etc.)
- Disco clásico (Cubewanos, $40 < a < 48$ UA)
- Disco disperso ($q > 30$ UA, $a > 50$ UA)
- Objetos desprendidos ($q > 40$ UA, $a > 50$ UA)
- Sedna ($a > 200$ UA)

El Modelo “Niza” (Morbidelli, Gomes, Tsiganis y Levinson 2005) explica varias propiedades del SS actual, incluyendo algunas peculiaridades de las distintas poblaciones de TNOs.

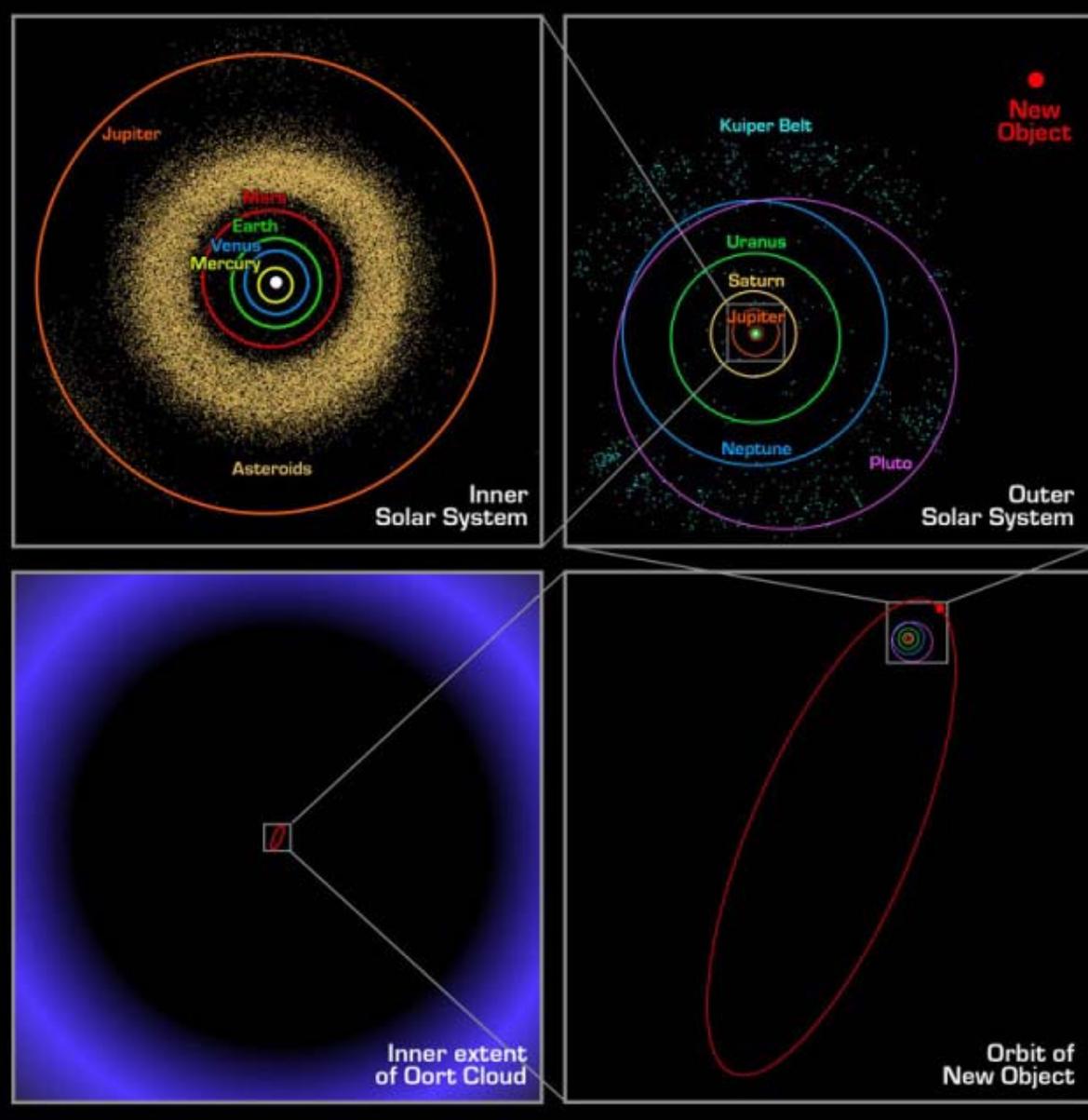
■ Disco clásico:

- Corte abrupto en 48-50 UA
- Disco frío:
 - Tamaños pequeños y enrojecidos
 - Vacío entre 40-42 UA (resonancias seculares)
 - Pocas órbitas circulares entre 43-48 UA
 - Muchos binarios
- Disco caliente:
 - Tamaños y colores diversos
 - Pocos binarios (destruidos por colisiones primordiales?)
- Déficit de masa; remoción de 99% de la masa inicial?



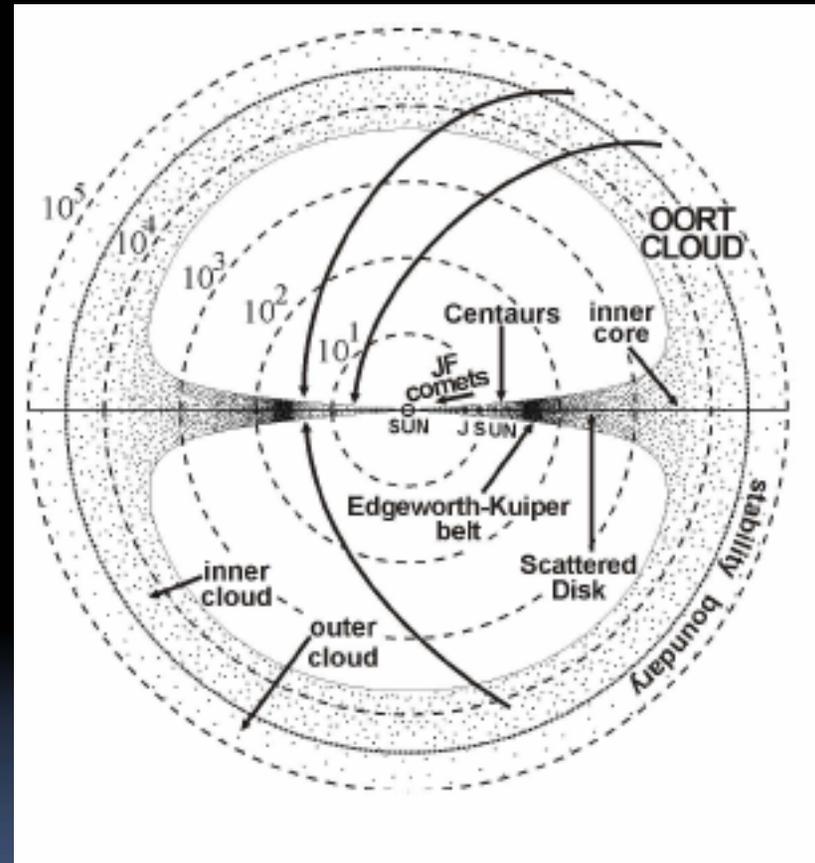
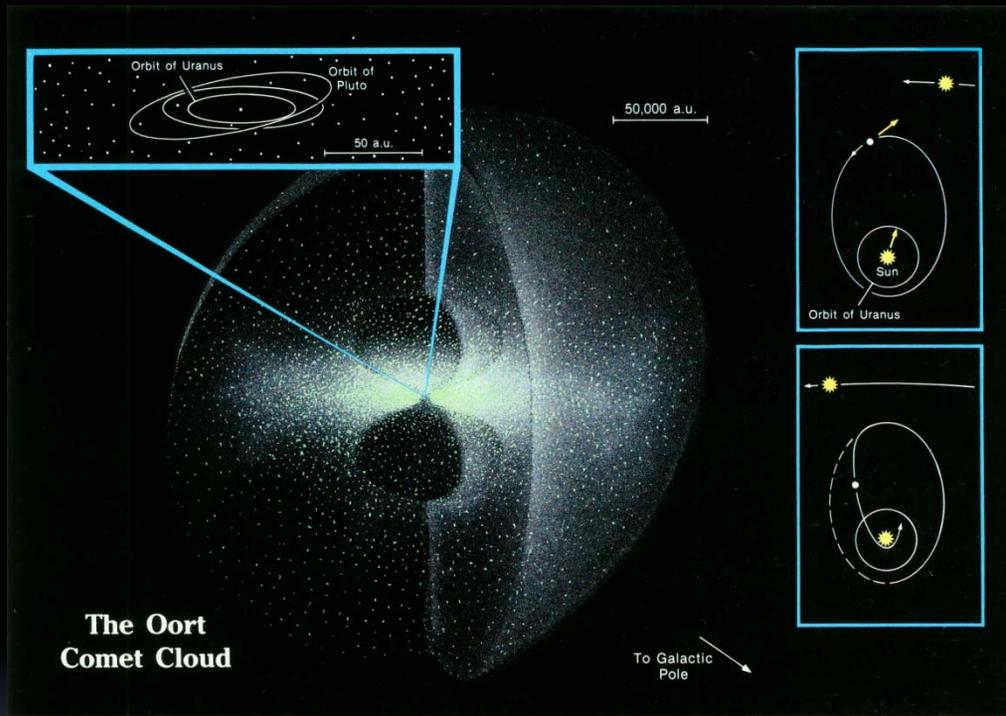
Propiedades dinámicas de los TNOs

- 1392 objetos descubiertos (marzo 2010), de los cuales 1130 son Clásicos y Plutinos, 256 son del Disco Disperso y Centauros, y 6 son troyanos de Neptuno.
- El Disco Disperso representa la población en tránsito hacia la región de Júpiter y hacia la Nube de Oort.
- Masa estimada del SD: $\sim (0.01 - 0.1$ masas terrestres).

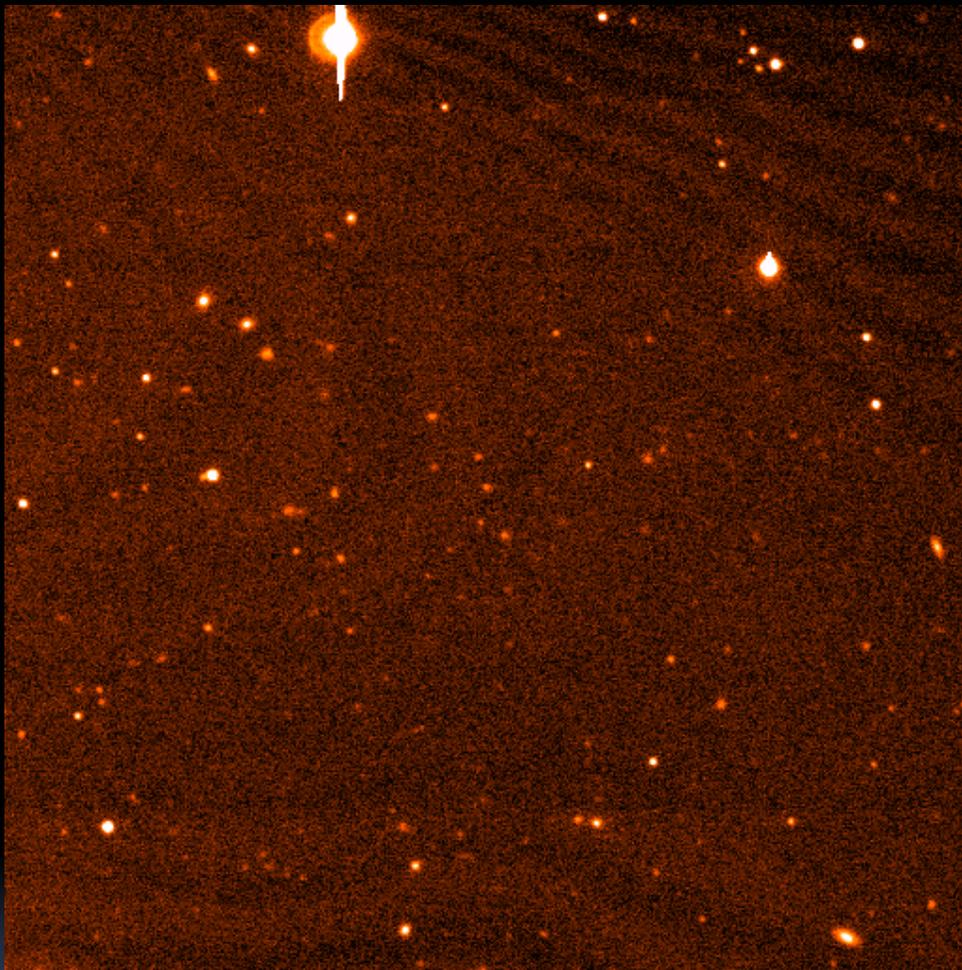


Sedna en el espacio circunsolar

Origen de Sedna (difícil de explicar mediante perturbaciones de los planetas gigantes):
 ¿Existencia de un compañero masivo distante del Sol? (Un planeta como Neptuno a 1200 UA tendría magnitud aparente 24).
 ¿Captura de objetos de otra estrella vecina al Sol? ¿Formación de una Nube de Oort en un medio galáctico denso?

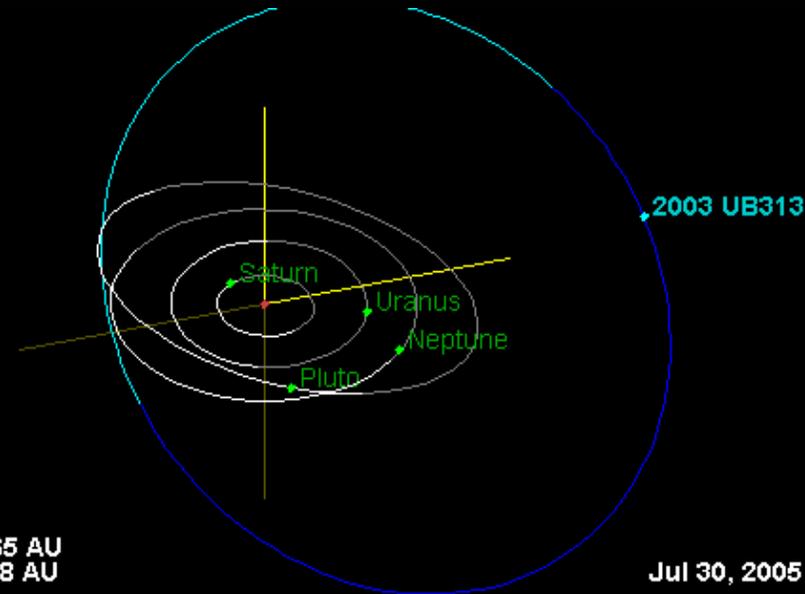


2003 UB313 (Eris)



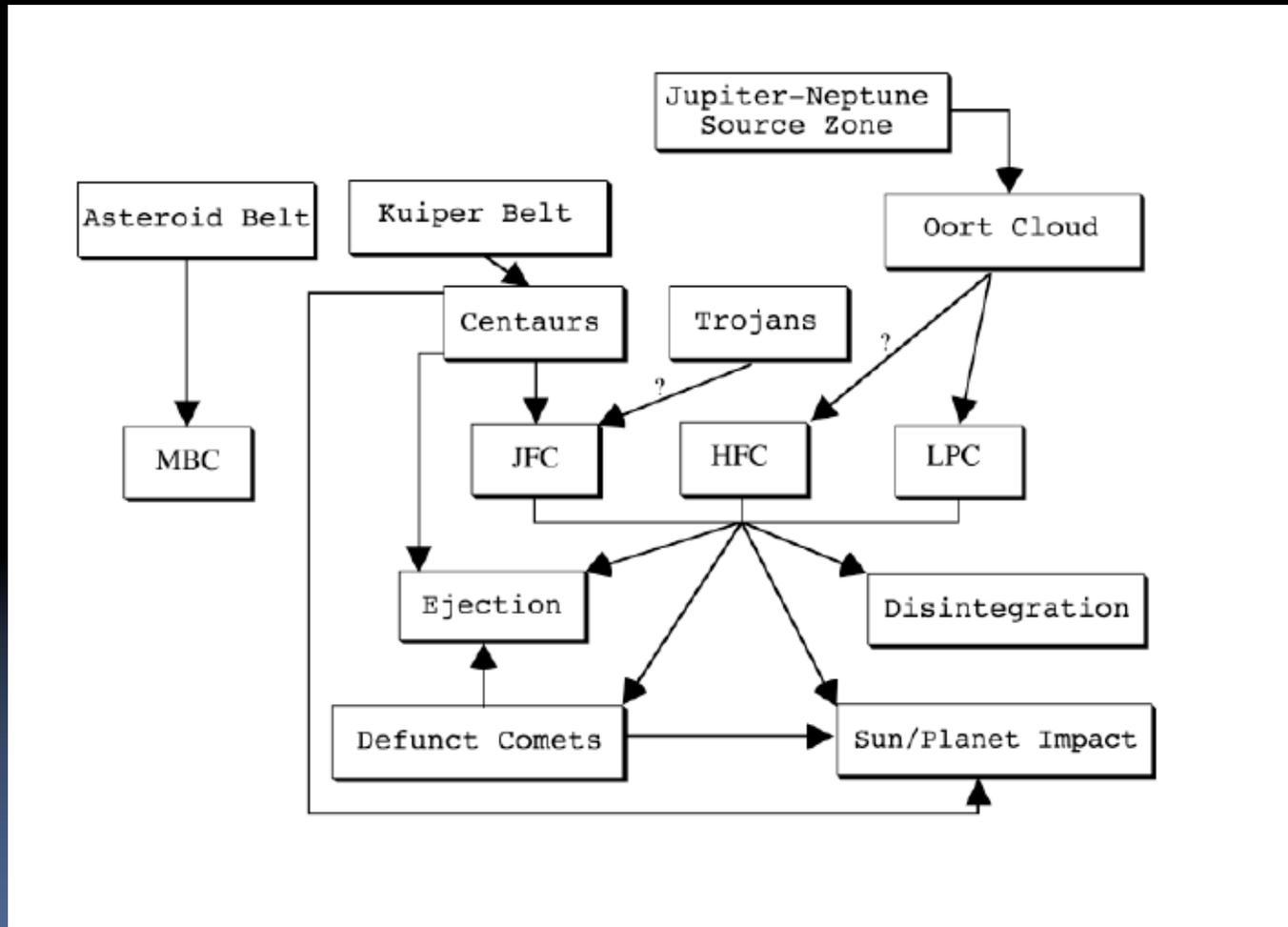
Tamaño superior a
Plutón (D = 2400 km)
pero en órbita muy
excéntrica e inclinada

Earth Distance: 96.665 AU
Sun Distance : 96.938 AU



Jul 30, 2005

Vínculos entre los TNOs y otras poblaciones de cuerpos menores



Propiedades físicas

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Eris



Pluto



Makemake



Haumea



Sedna



Orcus



Quaoar



Varuna



En 2006 la UAI resuelve que los planetas y otros objetos de nuestro Sistema Solar, con la excepción de los satélites, son definidos en tres distintas categorías de la siguiente manera:

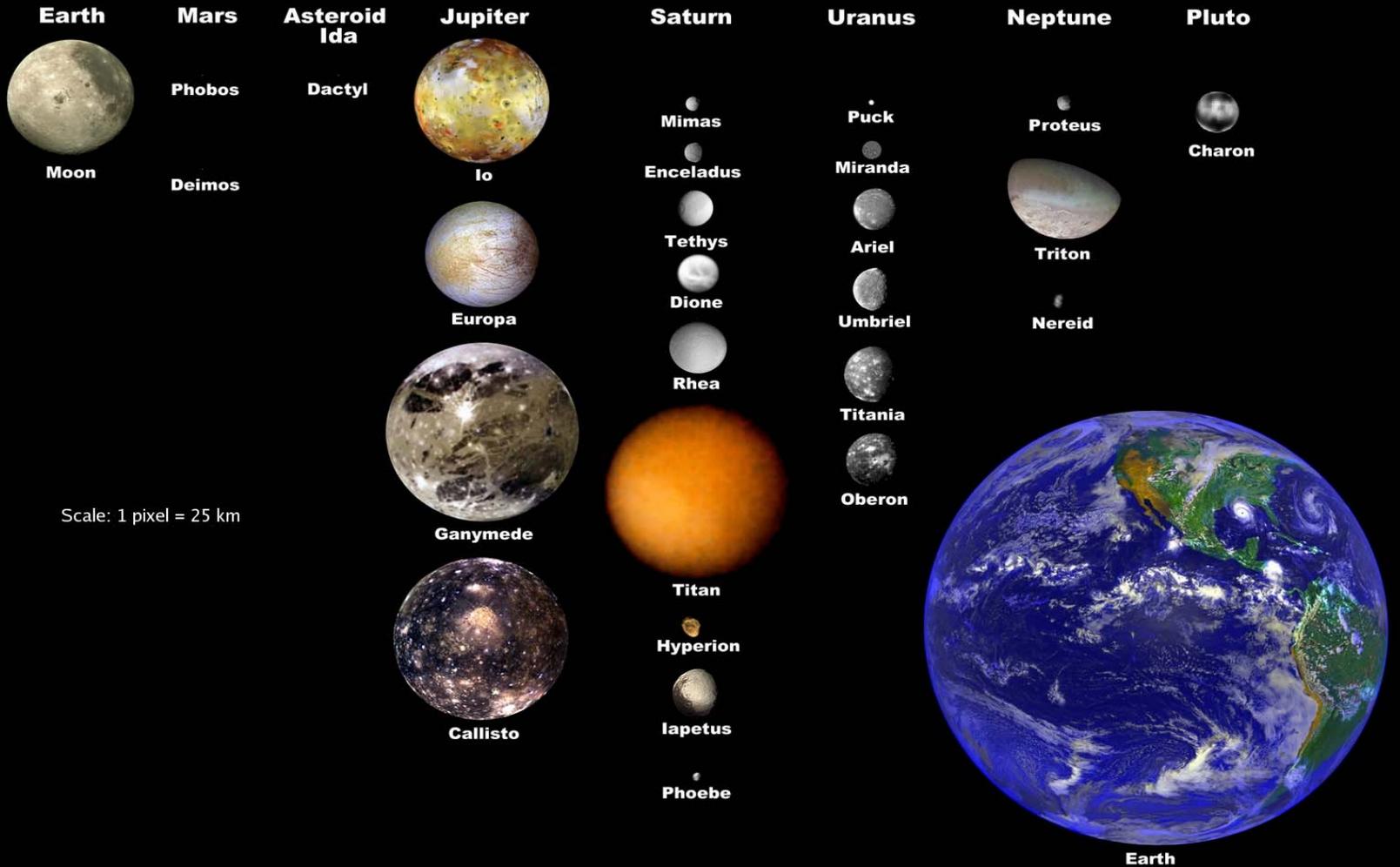
- (1) Un planeta ¹ es un cuerpo celeste que (a) está en órbita alrededor del Sol, (b) tiene una masa suficiente para que su autogravedad supere las fuerzas de rigidez del cuerpo, adquiriendo una forma por equilibrio hidrostático (cuasi-redondo), (c) haya limpiado la vecindad entorno de su órbita.
- (2) Un “planeta enano” es un cuerpo celeste que (a) está en órbita alrededor del Sol, (b) tiene una masa suficiente para que su autogravedad supere las fuerzas de rigidez del cuerpo, adquiriendo una forma por equilibrio hidrostático (cuasi-redondo) ², (c) no haya limpiado la vecindad entorno de su órbita, y (d) no es un satélite.
- (3) Todo el resto de los objetos ³, excepto los satélites, que orbitan el Sol deberían ser denominados colectivamente como “Cuerpos Menores del Sistema Solar”.

¹ Los 8 planetas son: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

² La UAI establecerá un procedimiento para asignar objetos en la categoría de “planeta enano” u otras categorías.

³ Esta categoría incluye la mayor parte de los asteroides, la mayor parte de los Objetos Trans-Neptunianos (TNOs), cometas, y otros cuerpos pequeños.

Selected Moons of the Solar System Scaled to Earth's Moon



Comparación entre TNOs y MBAs grandes



OFFICIAL "DWARF PLANETS"

2003 UB₃₁₃



PLUTO



2003 EL₆₁



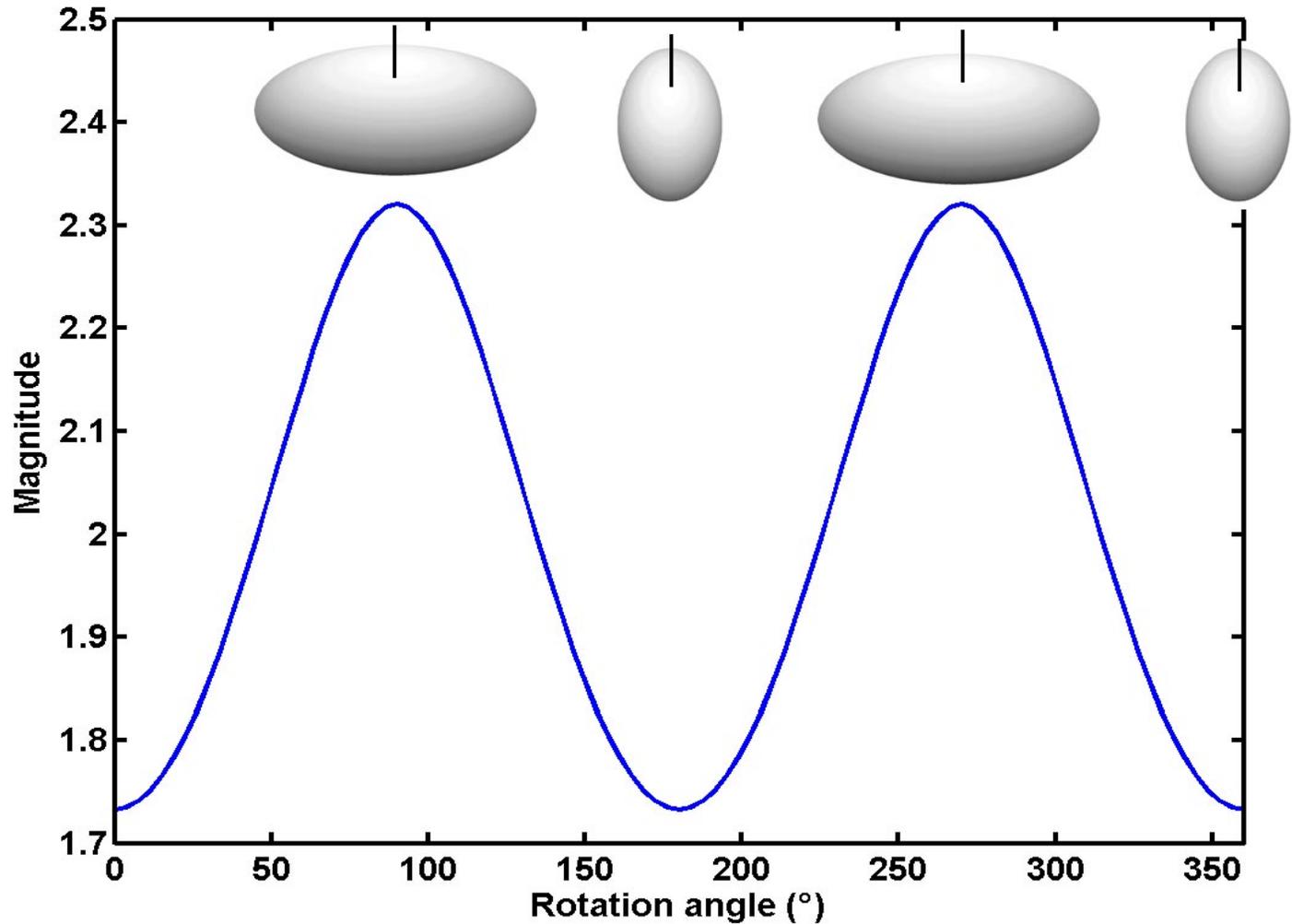
2005 FY₉



Ceres

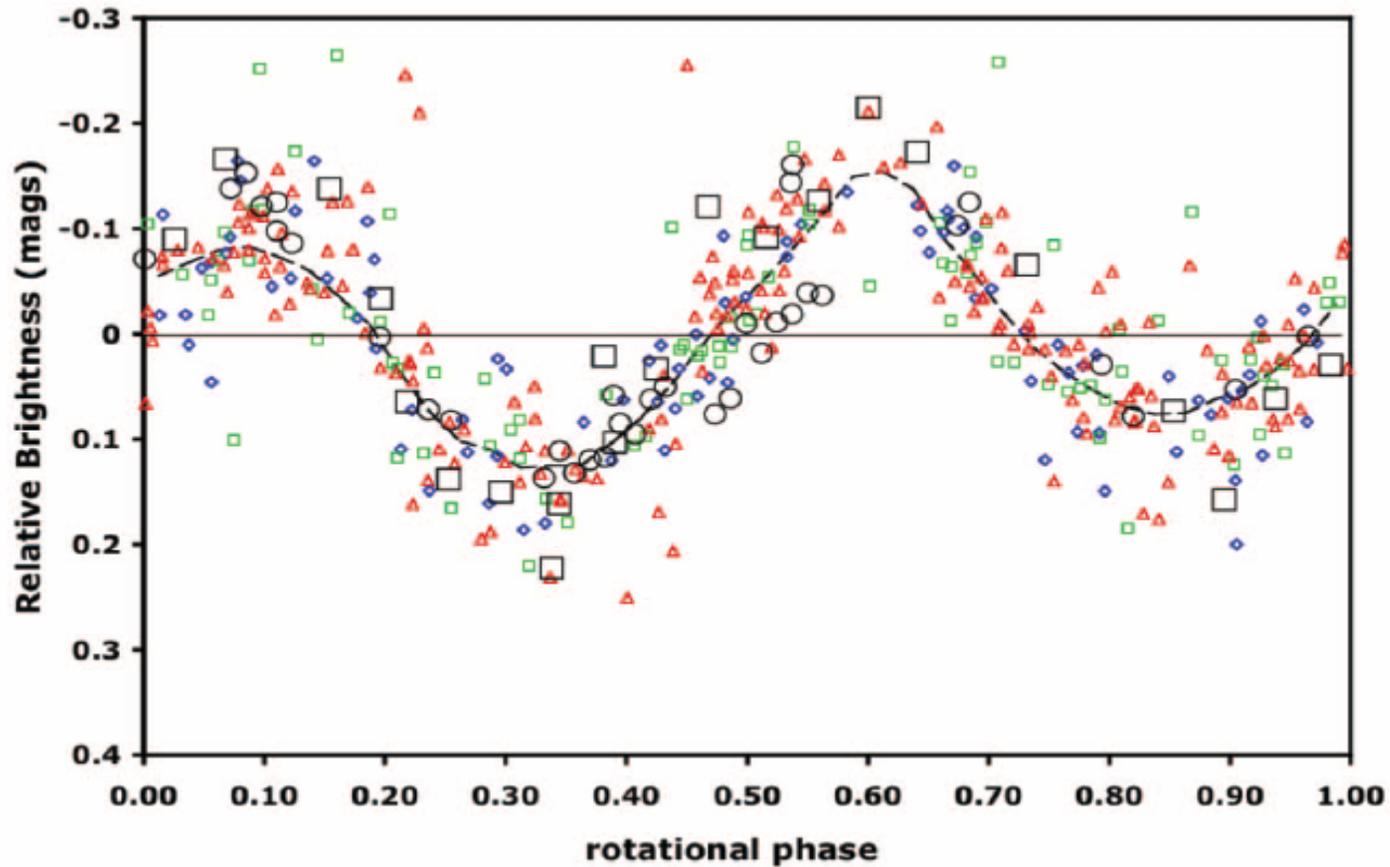


Curva de luz de un elipsoide



Curvas de luz de TNOs

2003 EI61



Curvas de luz de TNOs

Sedna

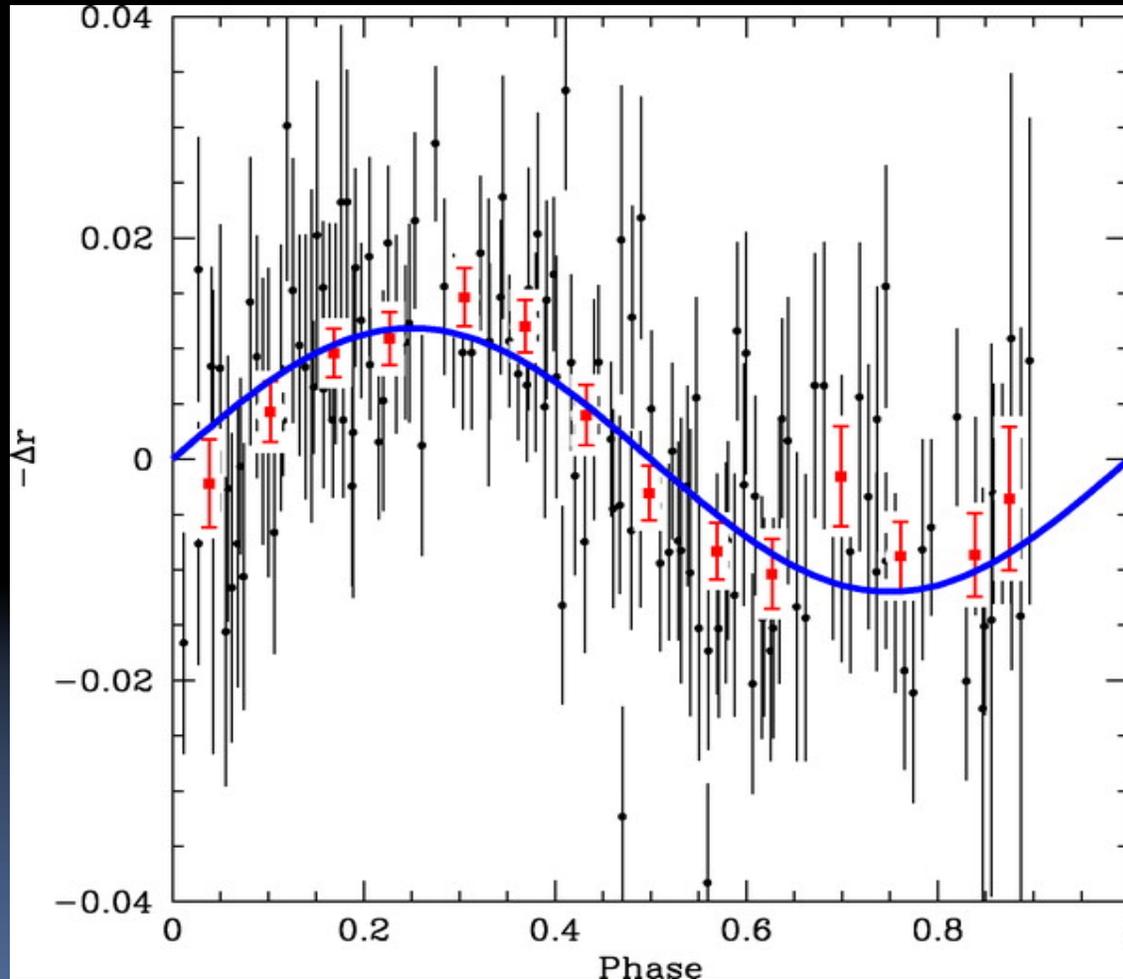


TABLE 1. Diameter (in kilometers), ices observed, taxonomic group (*Barucci et al.*, 2005b), and dynamical group (C: Centaurs, Cl: classical, R: resonant, S: scattered, and D: detached objects), as defined in the chapter by Gladman et al., of the TNOs and Centaurs available in the literature.

Object	Ices (Ref)	Diameter (Ref)	Tax. G	Dyn. G.	H ₂ O depth
2060 Chiron (1977 UB)	H ₂ O, var. (Lu00, Fo99, Ro03)	150 ± 10 (Fe02)	BB	C	—
5145 Pholus (1992 AD)	H ₂ O, CH ₃ OH (Cr98)	155 ± 44 (St)	RR	C	12 ± 3
8405 Asbolus (1995 GO)	none (Ke00*, Ba00, Br00a, Ro02)	85 ± 12 (Fe02, St)	BR	C	—
10199 Chariklo (1997 CU ₂₆)	H ₂ O (BrK98, Dot03c)	262 ± 18 (St)	BR	C	11 ± 3
31824 Elatus (1999 UG ₅)	H ₂ O, var. (Bau02)	48 ± 14 (St)	RR	C	—
32532 Thereus (2001 PT ₁₃)	H ₂ O, var. (Ba02a, Me05, Li05)	61 ± 13 (St)	BR	C	—
52872 Okyrhoe (1998 SG ₃₅)	H ₂ O? (Dot03a)	52 ± 10 (St)	BR	C [§]	—
55576 Amycus (2002 GB ₁₀)	H ₂ O? (Dor05)	77 ± 12 (St)	RR	C	—
63252 (2001 BL ₄₁)	none (Dor03)	20 [‡]	BR	C	—
83982 Crantor (2002 GO ₉)	H ₂ O (Dor05)	67 ± 19 (St)	RR	C	—
15789 (1993 SC)	none (Je01)	330 ± 66 (Th00)	RR	R	0 ± 10
15874 (1996 TL ₆₆)	none (Lu98)	630 ± 90 (Th00)	BB	S	0 ± 8
15875 (1996 TP ₆₆)	none (Bark07)	171 ± 49 (St)	RR	R	-1 ± 11
19308 (1996 TO ₆₆)	H ₂ O, var. (Br99)	<900 (A104)	BB	Cl	65 ± 5
19521 Chaos (1998 WH ₂₄)	none (Bark07)	450 [‡]	IR	Cl	-6 ± 4
20000 Varuna (2000 WR ₁₀₆)	H ₂ O? (Li01), (Bark07)	624 (-140, +179) (St)	IR	Cl	6 ± 3
24835 (1995 SM ₅₅)	H ₂ O (Bark07)	140 [‡]	BB	Cl	43 ± 13
26181 (1996 GQ ₂₁)	none (Dor03) H ₂ O, CH ₃ OH (Bark07)	400 [‡]	RR	R	9 ± 3
26375 (1999 DE ₉)	H ₂ O (Je01, Bark07)	461 ± 45 (St)	IR	R	18 ± 5
28978 Ixion (2001 KX ₇₆)	H ₂ O? (Li02, Boe04, Bark07)	574 ± 140 (St)	IR/RR	R	9 ± 4
29981 (1999 TD ₁₀)	H ₂ O (Bark07)	104 ± 13 (St)	BR	S	13 ± 4
38628 Huya (2000 EB ₁₇₃)	H ₂ O? (Br00b, Je01, dB04)	540 ± 40 (St)	IR	R	6 ± 3
42301 (2001 UR ₁₆₃)	none (Bark07)	620 [‡]	RR	R	-7 ± 10
47171 (1999 TC ₁₀)	H ₂ O (Dot03a, Me05)	414 ± 38 (St)	RR	R	14 ± 4

Barucci et al 2008)

42301 (2001 UR ₁₆₃)	none (Bark07)	620 \ddagger	RR	R	-7 \pm 10
47171 (1999 TC ₃₆)	H ₂ O (Dot03a, Me05)	414 \pm 38(St)	RR	R	14 \pm 4
47932 (2000 GN ₁₇₁)	none (dB04, Bark07)	400 (Sh02), 322 \pm 54 (St)	IR	R	-8 \pm 6
50000 Quaoar (2002 LM ₆₀)	H ₂ O (Je04)	1280 \pm 190 (Br04)	RR?	Cl	20 \pm 1
54598 Bienor (2000 QC ₂₄₃)	H ₂ O (Dot03a)	206 \pm 30 (St)	BR	S	—
55565 (2002 AW ₁₉₇)	H ₂ O (Dor05), none (Bark07)	700 \pm 50 (Cr05)	IR	Cl	0 \pm 3
55636 (2002 TX ₃₀₀)	H ₂ O (Li006b, Bark07)	643 \pm 210	BB	Cl	65 \pm 4
55637 (2002 UX ₂₅)	none (Bark07)	682 \pm 114	IR	Cl	3 \pm 3
55638 (2002 VE ₉₅)	H ₂ O, CH ₃ OH (Bar06)	400 \ddagger	RR	R	20 \pm 4
65489 Ceto (2003 FX ₁₂₈)	H ₂ O (Bark07)	229 \pm 18	—	D	14 \pm 11
66652 (1999 RZ ₂₅₃)	none (Bark07)	280 \ddagger	RR	Cl	-13 \pm 13
79360 (1997 CS ₂₉)	none (Gr05)	400 \ddagger	RR	Cl	0 \pm 10
84522 (2002 TC ₃₀₂)	none (Bark07)	1149 \pm 325	—	S	-1 \pm 7
84922 (2003 VS ₂)	H ₂ O? (Bark07)	729 \pm 188(St)	—	R	7 \pm 2
90377 Sedna (2003 VB ₁₂)	CH ₄ , N ₂ (Ba05a, Tr05 \ddagger)	2000 \ddagger	RR	D	—
90482 Orcus (2004 DW)	H ₂ O (Fo04a, dB05, Tr05)	951 \pm 74 (St)	BB	R	22 \pm 4
119951 (2002 KX ₁₄)	none (Bark07)	565 \pm 182	—	C	1 \pm 17
120178 (2003 OP ₃₂)	H ₂ O (Bark07)	850 \ddagger	BB?	Cl	77 \pm 4
134340 Pluto	CH ₄ , CO, N ₂ (Ow93)	2350 \pm 60 (Mi93, Th89)	BR	R	—
136108 (2003 EL ₆₁)	H ₂ O (Tr07)	2000 \pm 500 (Ra) 1342 \pm 133 (St)	BB	Cl	55 \pm 1
136199 Eris (2003 UB ₃₁₃)	CH ₄ , N ₂ ? (Br05, Mer06)	3000 \pm 300 (Be06) 2450 \pm (Br06)	BB	D	—
136472(2005 FY ₉)	CH ₄ (Li06a)	1905 \pm 100 (St)	BR	Cl	—

(Barucci et al 2008)

TABLE 1. (continued).

Object	Ices (Ref)	Diameter (Ref)	Tax. G	Dyn. G.	H ₂ O depth
2003 AZ ₈₄	H ₂ O (Bark07)	688 ± 99(St)	BB	CI	22 ± 7
2005 RN ₄₃	none (Bark07)	220‡	—		0±3
2005 RR ₄₃	H ₂ O (Bark07)	200‡	—		60±7
Charon	HO ₂ O, NH ₃ (Br00c)	1208 ± 15 (Si06, Gu06)	BB?	~	58 ± 3
S/2005 (2003 EL ₆₁) 1	H ₂ O (Bark06)		BB?		87 ± 11

*Kern *et al.* (2000) claimed to have detected water ice on one side, but the results have been contradicted by later observations.

†Trujillo *et al.* (2005) obtained a largely featureless spectrum.

‡If we assume an albedo of 0.10.

§Now classified as JFC (see chapter by Gladman *et al.*).

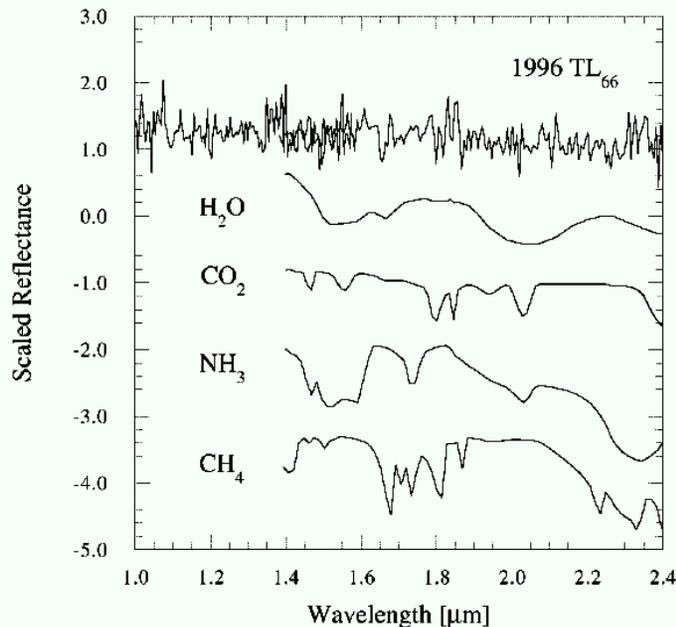


FIG. 2.—IR reflectance spectrum of 1996 TL₆₆ compared with spectra of H₂O, CO₂, NH₃, and CH₄ ices (Fink & Sill 1982; Larson & Fink 1972). All spectra have been normalized at 2.2 μm, and the ice spectra have been offset for clarity. There is no evidence for spectral features in the spectrum of TL₆₆.

(Barucci *et al* 2008)

La espectroscopía en el Visible y en el Cercano Infrarrojo permite conocer la composición superficial (hielos, silicatos y orgánicos) y propiedades de los granos.

Perspectivas

- La búsqueda y estudio de TNOs es una de las áreas de mayor desarrollo actual.
- Detección de TNOs sub-kilométricos mediante observaciones de ocultaciones estelares al azar.
- La misión de la NASA *New Horizons* llegará al sistema Plutón-Caronte en 2015.
- Otras campañas observacionales se están planificando para cubrir el cielo con telescopios terrestres en el rango 2-8 m.