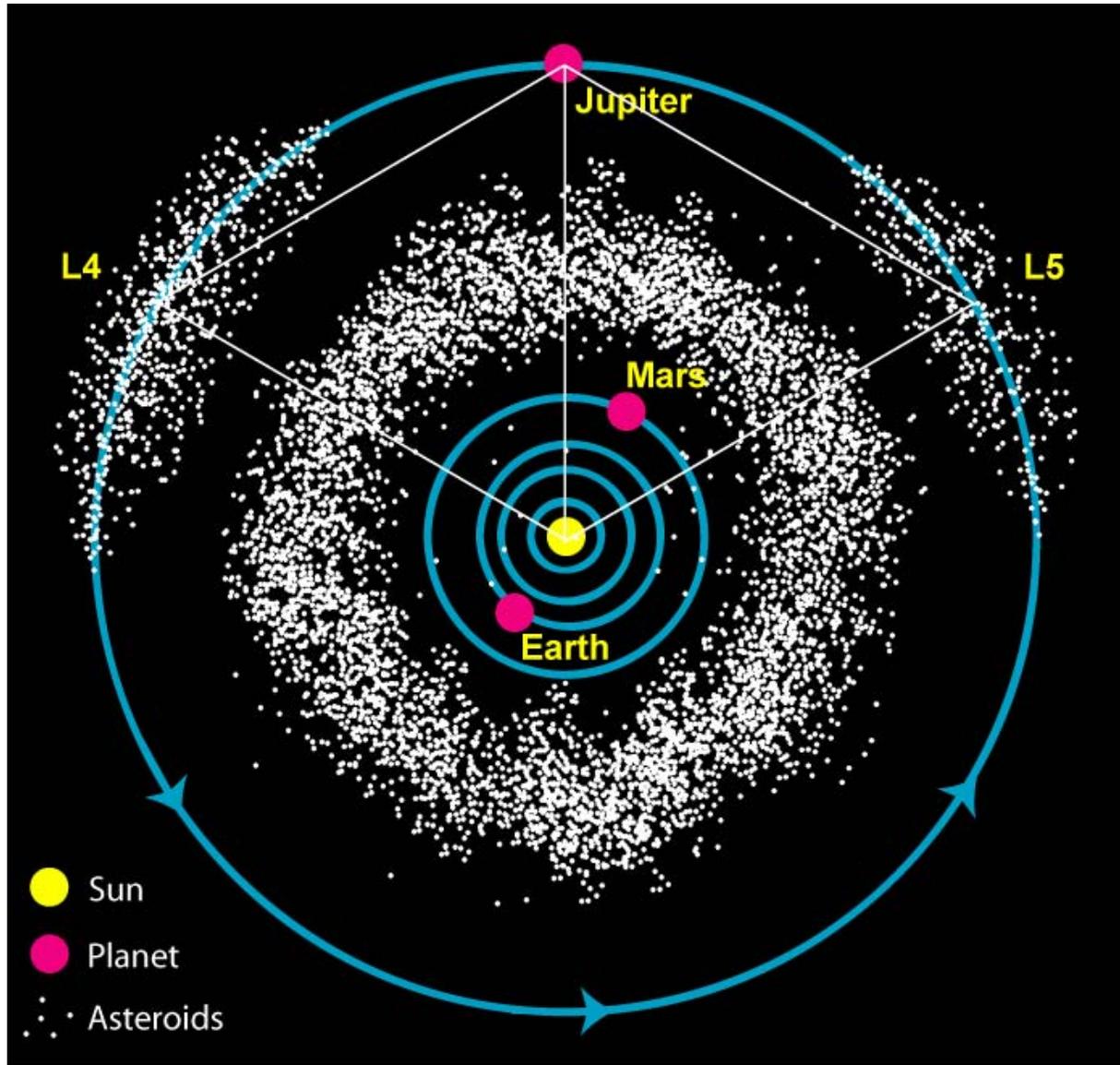


# Cuerpos menores del sistema solar

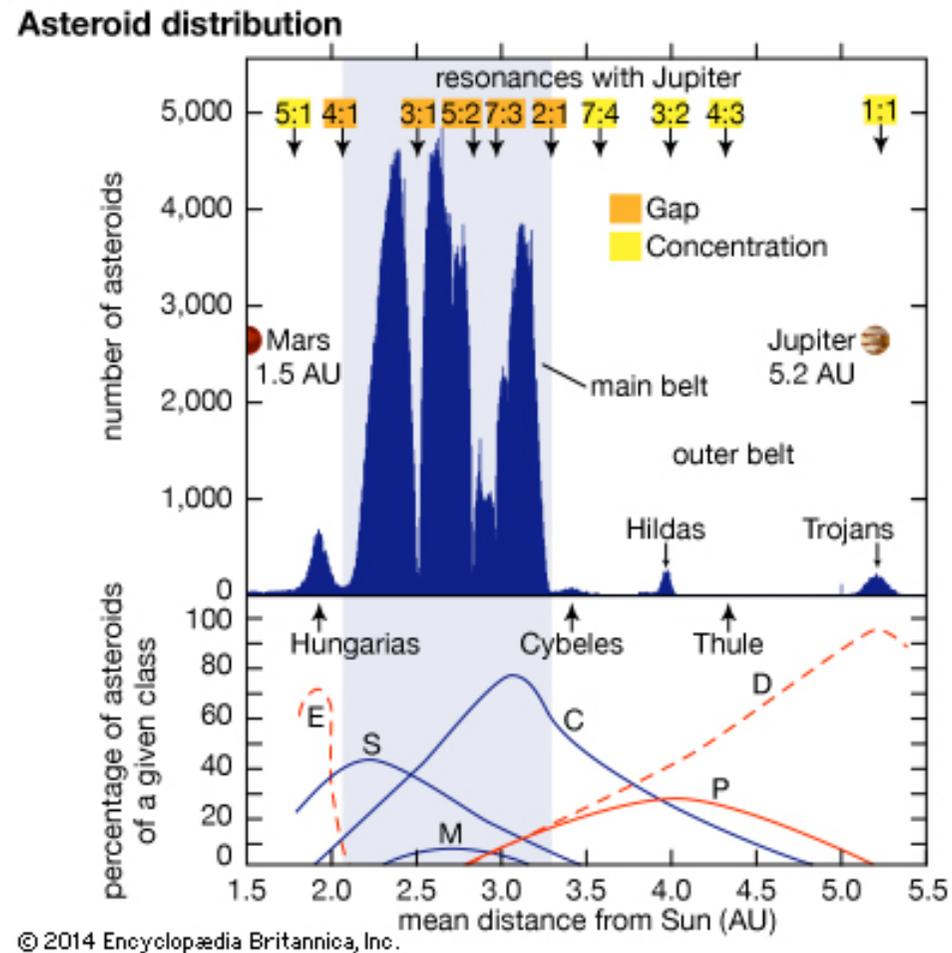


- \* Asteroides.
- \* Estructura dinámica. Colores y albedos de asteroides.
- \* Grupos taxonómicos.
- \* Rotación.
- \* Asteroides observados desde sondas espaciales.
- \* Cometas.
- \* Aspectos físicos y dinámicos.
- \* Objetos transneptunianos.
- \* Diferentes clases dinámicas.
- \* Albedos, colores y tamaños.
- \* Centauros.

# Asteroides

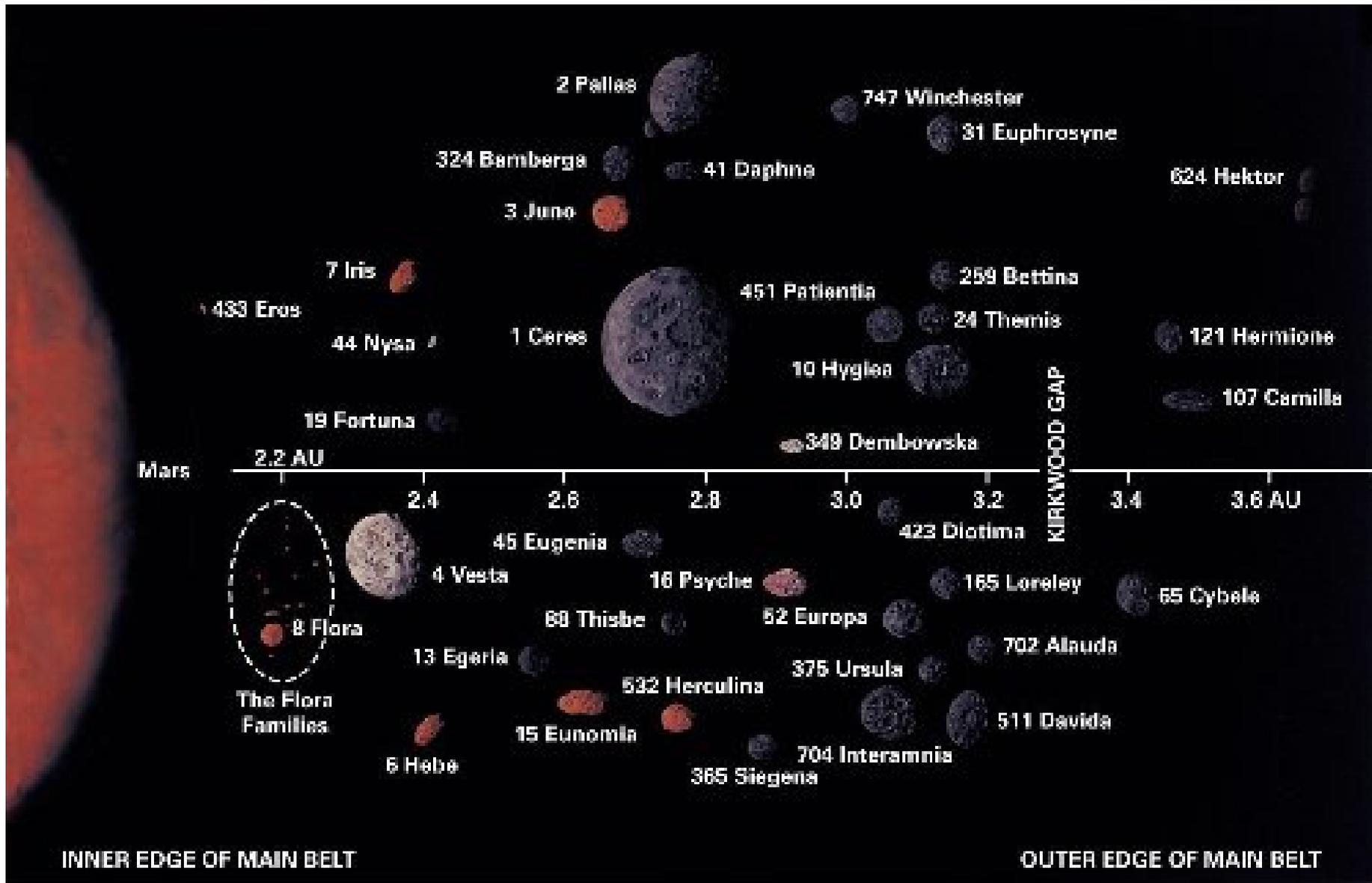


# Estructura dinámica



En 1867 Daniel Kirkwood notó la existencia de vacíos en la distribución de los semiejes mayores de los asteroides descubiertos hasta ese entonces. Esas brechas (*Kirkwood gaps*) corresponden a las principales resonancias de movimiento medio con Júpiter.

# Colores y albedos de los asteroides



Andrew Chalkin

# Taxonomía

A los asteroides se les asigna un tipo espectral según su espectro, color y algunas veces su albedo. Los tipos más comunes son: C correspondiente a objetos carbonosos oscuros, S por objetos pétreos (silicáceos) y U por aquellos no clasificables en los tipos anteriores. La *clasificación de Tholen* (1984) está basada en 8 colores y consiste de los siguientes tipos:

## Grupo C

Tipo B

Tipo F

Tipo G

Tipo C

## Tipo S

## Grupo X

**Tipo M:** Son objetos mayormente metálicos de albedos moderados (0.1-0.2). Asociados a este tipo se encuentran los siguientes 2 tipos:

Tipo E : Son de albedos altos ( $> 0.3$ ), sus espectros son de neutros a rojizos. Se considera que sus superficies son acondritas ricas en enstatita ( $\text{MgSiO}_3$ ).

Tipo P : Son asteroides de muy bajo albedo, quizá ricos en materia orgánica. Son algo más rojizos que los asteroides tipo S.

Además tenemos las siguientes clases pequeñas:

Tipo A (246 Asporina)

Tipo D (624 Hektor) : Muy bajo albedo; espectro rojizo sin bandas; composición de silicatos anhidros, posiblemente con hielo en su interior.

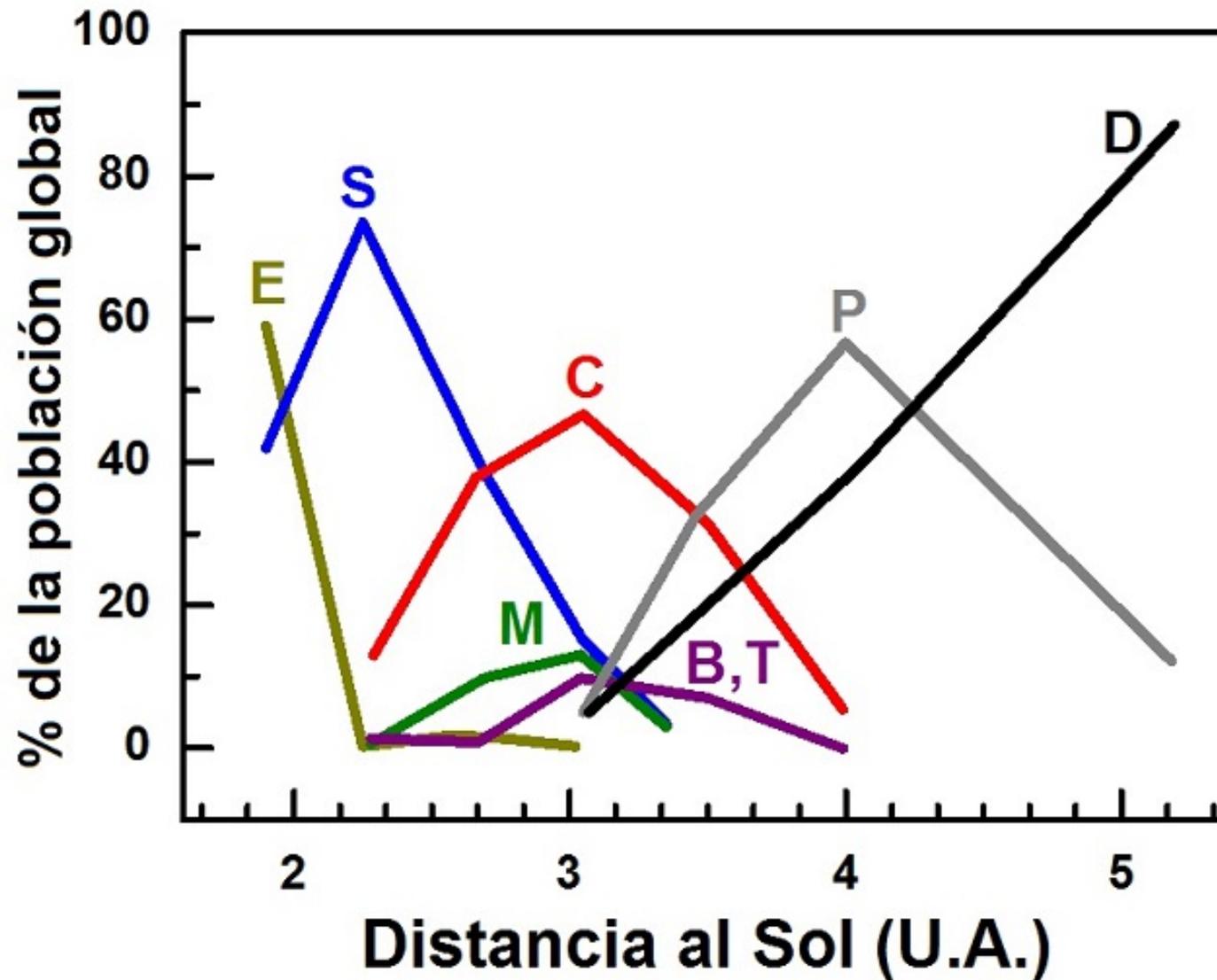
Tipo T (96 Aegle)

Tipo Q (1862 Apollo)

Tipo R (249 Dembowska)

Tipo V (4 Vesta) : O Vestoides presentan espectros similares a 4 Vesta. Pudieron originarse con fragmentos de la corteza de Vesta.

## Distribución espacial de los distintos tipos espectrales



# Espectros de reflexión de distintos tipos

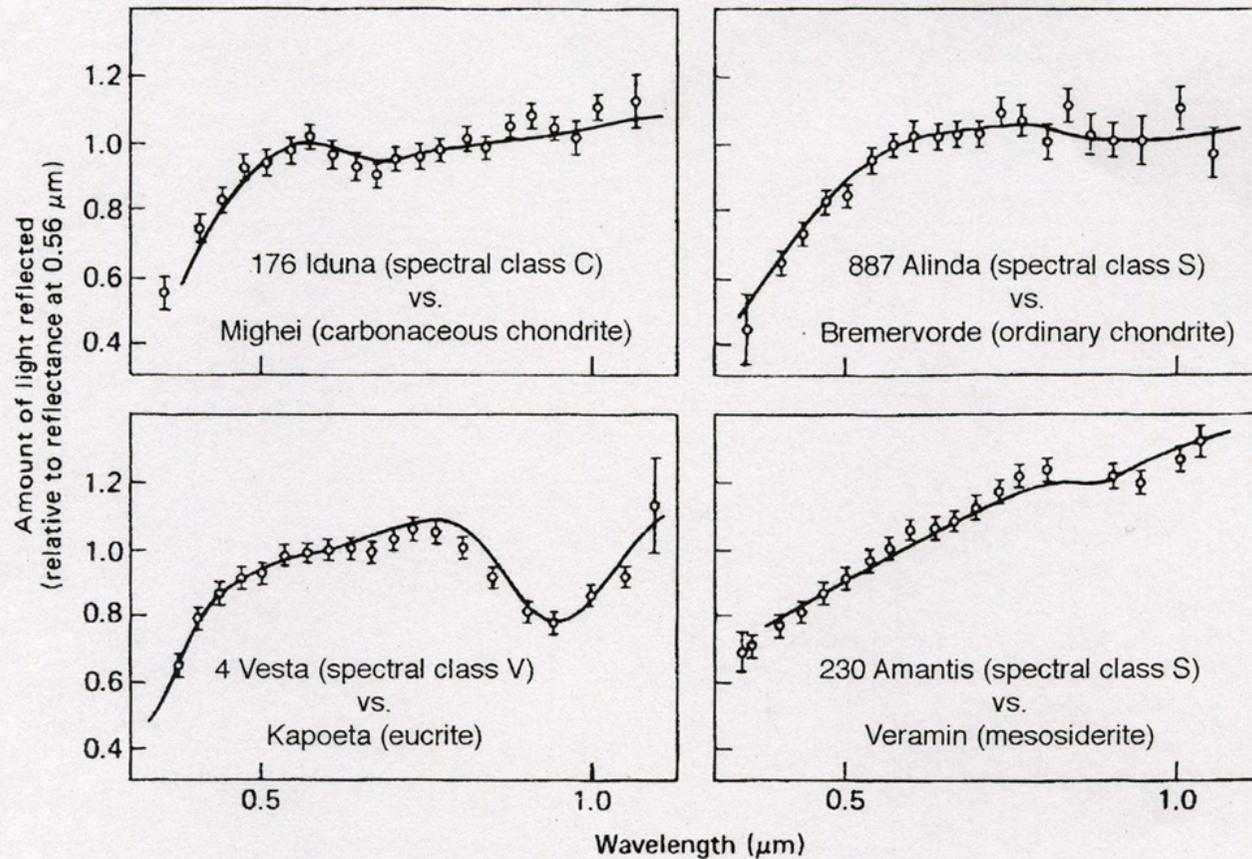


Figure 6.6 Comparison of reflection spectra of four asteroids (points with error bars; measured with ground-based telescopes) with spectra of powdered samples of four meteorites (solid curves). (After C. R. Chapman, 1976. Reprinted from *Geochim. Cosmochim. Acta*, Volume 40, C. R. Chapman, "Asteroids as meteorite parent bodies: The astronomical perspective," pp. 701–719. Copyright 1976, with permission from Elsevier Science.)

# Distribución color-albedo

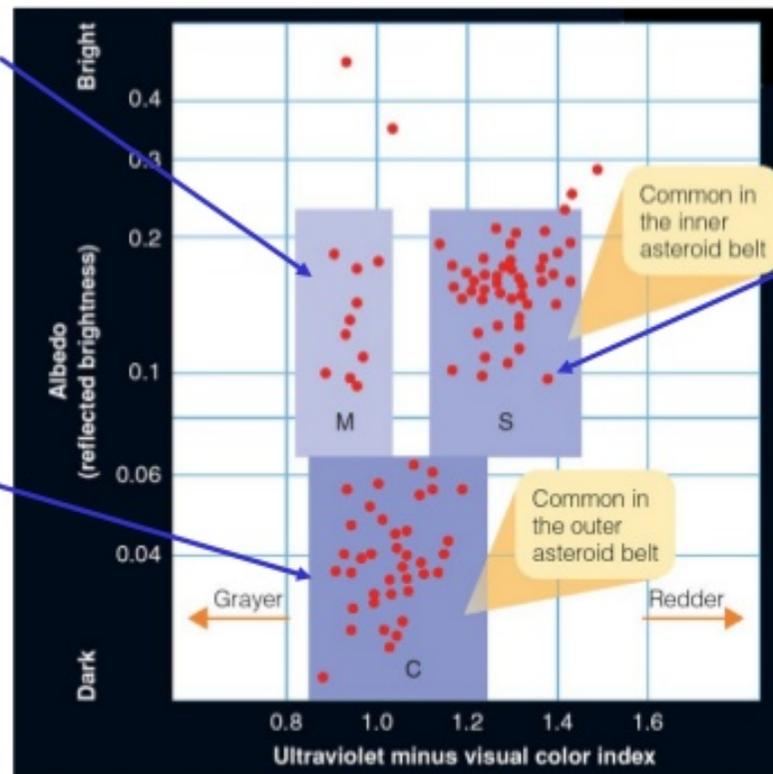
## Colors of Asteroids



“Colors” to be interpreted as albedo (reflectivity) at different wavelengths.

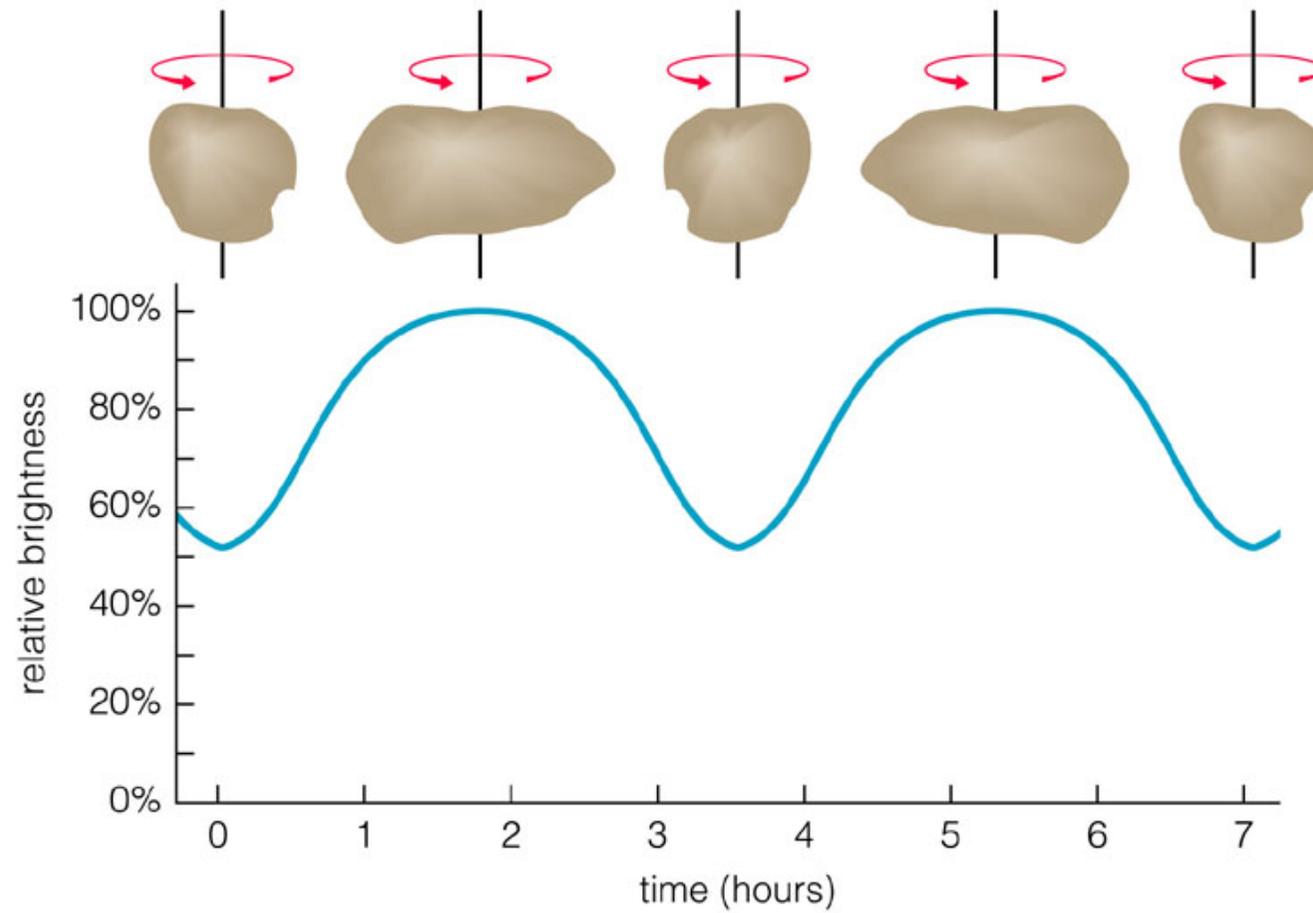
M-type: Brighter, less reddish asteroids, probably made out of metal-rich materials; probably iron cores of fragmented asteroids

C-type: Dark asteroids, probably made out of carbon-rich materials (carbonaceous chondrites); common in the outer asteroid belt



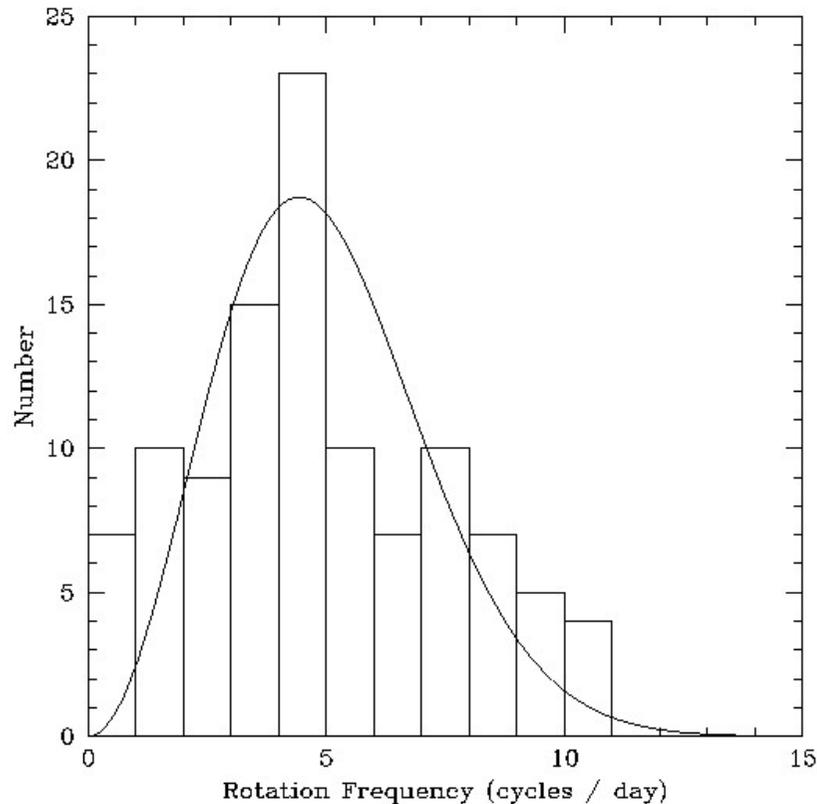
S-type: Brighter, redder asteroids, probably made out of rocky materials; very common in the inner asteroid belt

# Curvas de luz - Períodos de rotación



Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison Wesley.

# Distribución de períodos de rotación



Histograma que muestra la distribución de 107 asteroides con diámetros  $< 10$  km. La distribución se trunca a  $P = 2.27$  hs donde asteroides “pila de escombros” (“rubble piles”) se disgregarían.

La condición de velocidad angular crítica  $\omega_c$  para inestabilidad gravitacional es:

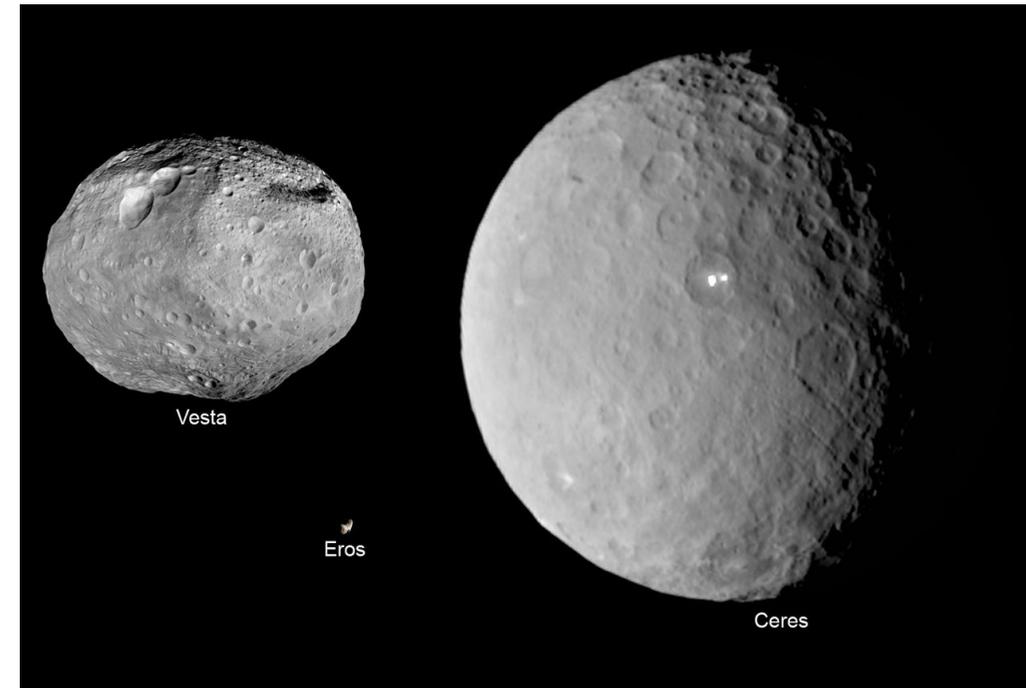
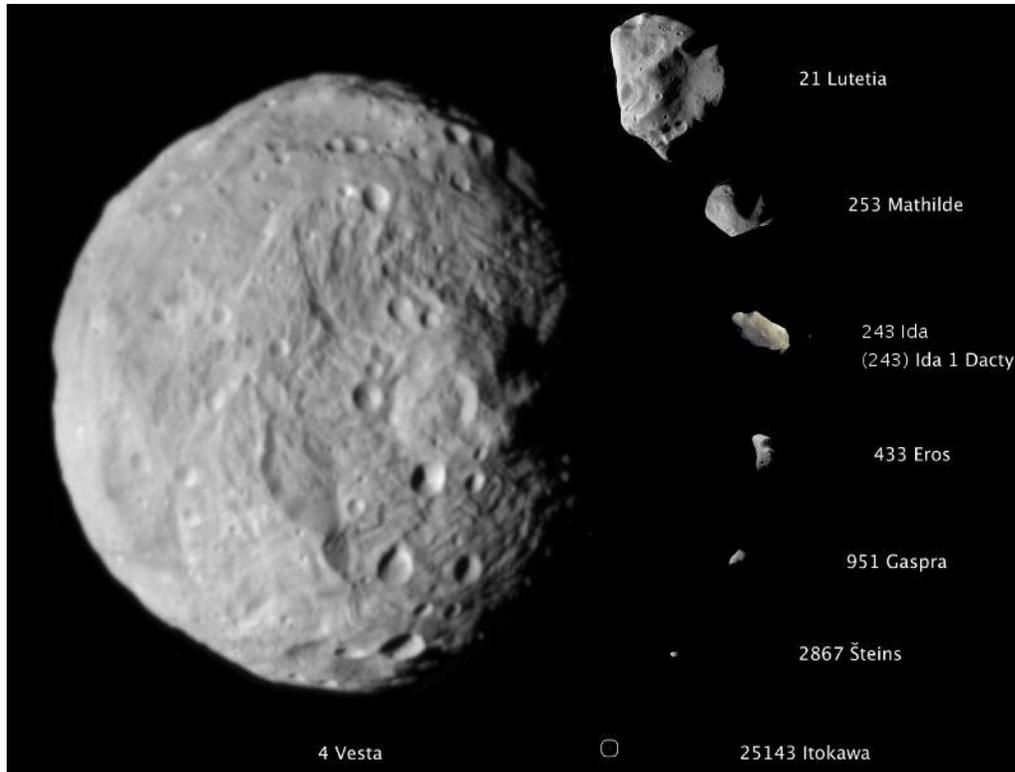
$$\frac{Gm}{a^2} = \omega_c^2 a$$

que conduce a un período crítico:

$$P_c \approx \frac{3.3 \text{ h}}{\sqrt{\rho}}$$

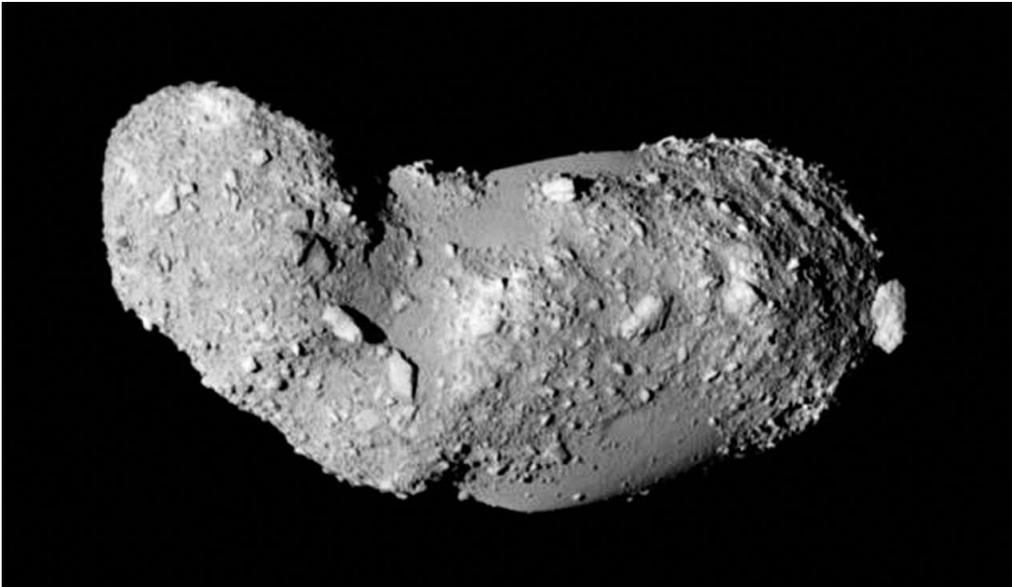
donde  $m = 4/3\pi a^3 \rho$

## Asteroides observados desde sondas espaciales

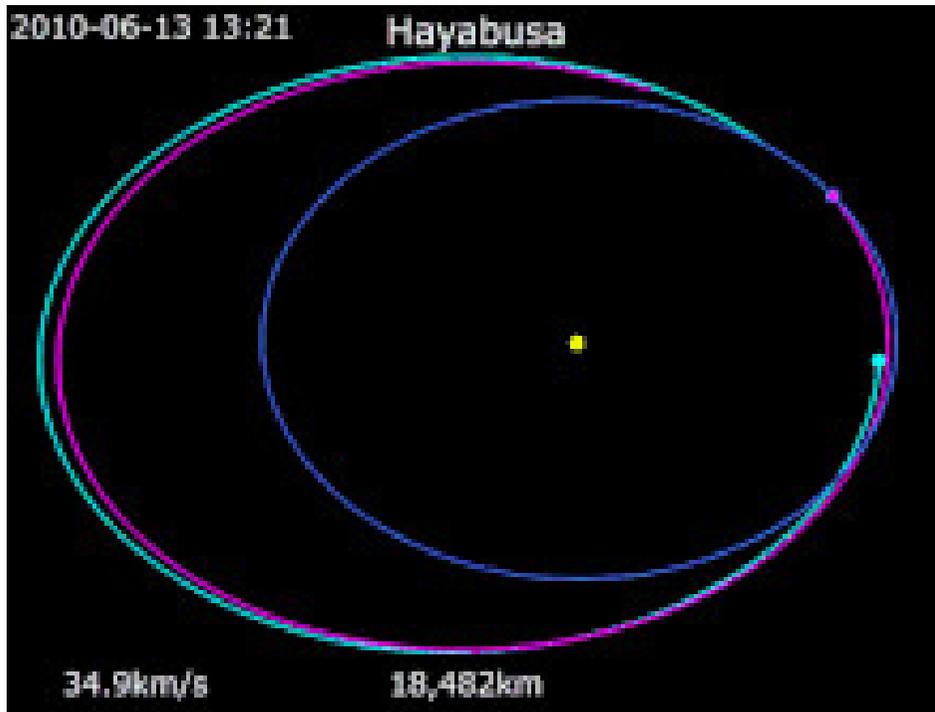


Áreas brillantes en Ceres: son consistentes con depósitos de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), que indica actividad geológica reciente.

## La sonda Hayabusa al asteroide Itokawa



Fue lanzada en 2003 para alcanzar el asteroide que cruza la órbita de la Tierra Itokawa. El encuentro con el asteroide se produjo en 2005 y realizó una maniobra exitosa de posarse suavemente sobre su superficie para aspirar partículas de polvo de su superficie.



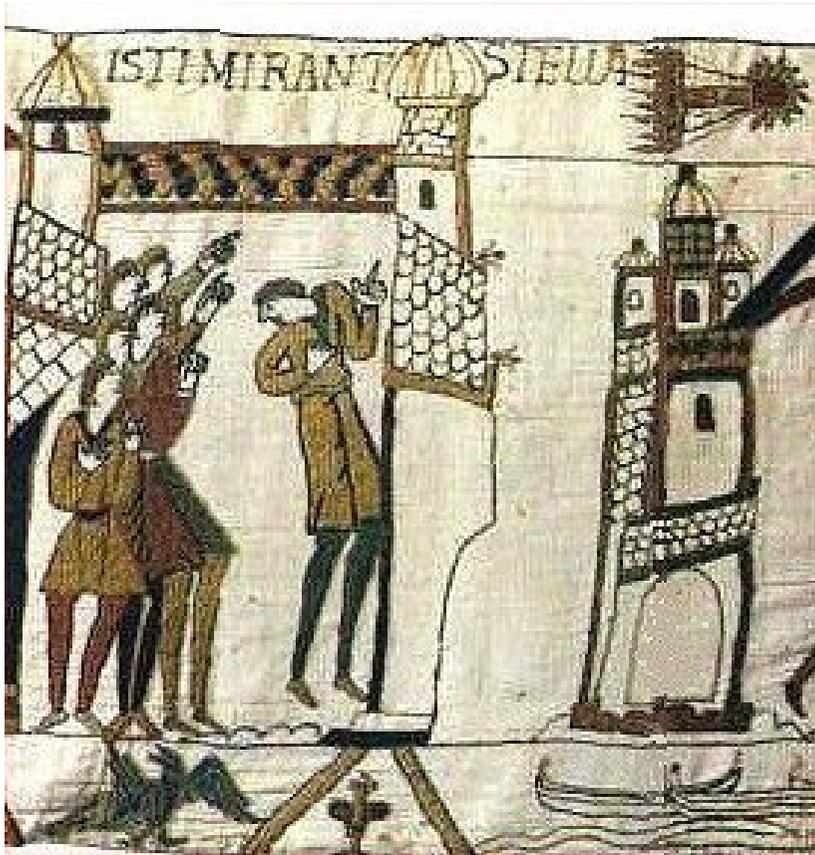
Una vez completada la misión de encuentro con Itokawa, la nave retornó a la Tierra las partículas de polvo contenidas en una cápsula que descendió en una zona desértica de Australia en 2010.

## ¿Qué son los cometas?



Cometa C/1995 O1 (Hale-Bopp)

## Los cometas en la historia



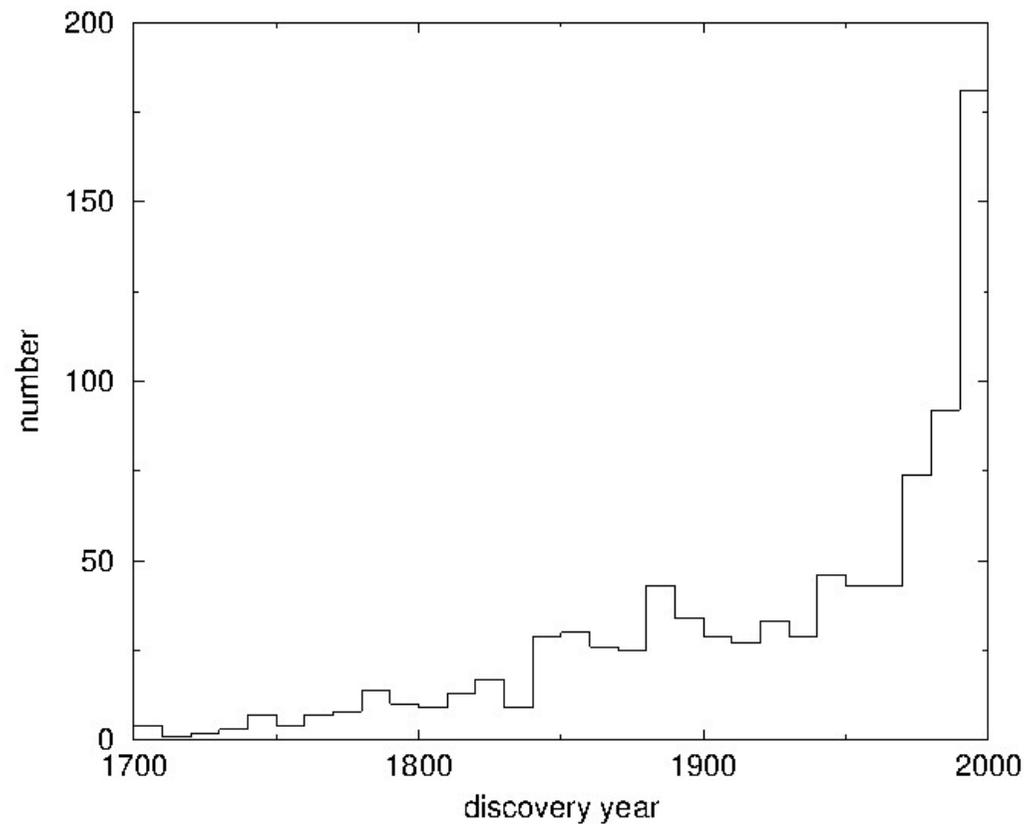
Cometa observado en 1066 luego identificado con el cometa Halley



El Gran Cometa de 1577 observado en toda Europa.

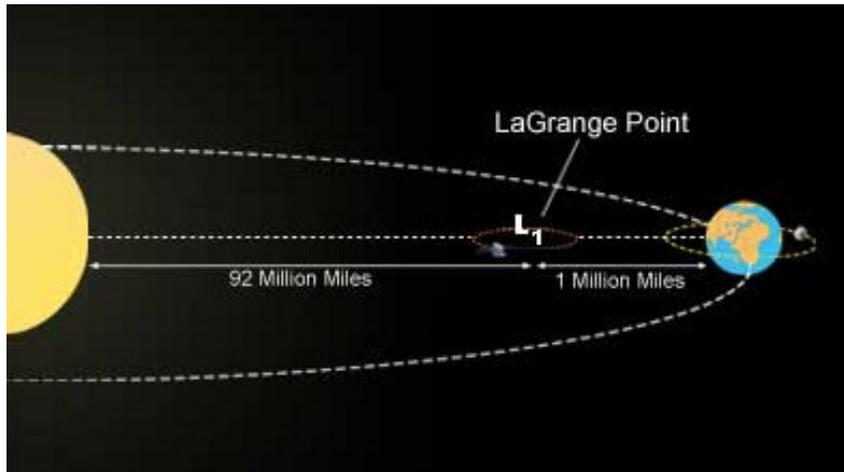
Los cometas causaron admiración, asombro y miedo a través de la historia por su apariciones espectaculares que violaban la supuesta regularidad de los cielos.

# Cometas en el presente: El incremento en la tasa de descubrimiento

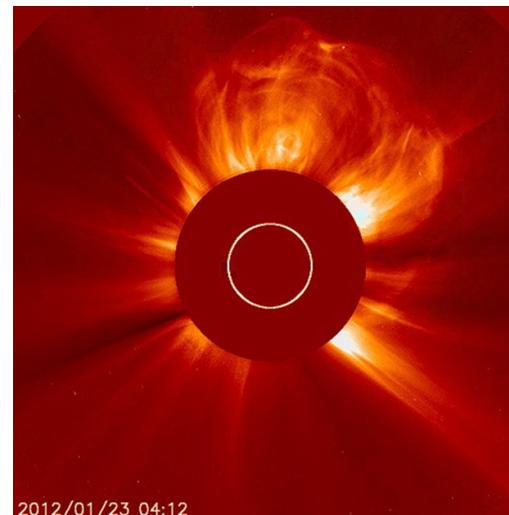
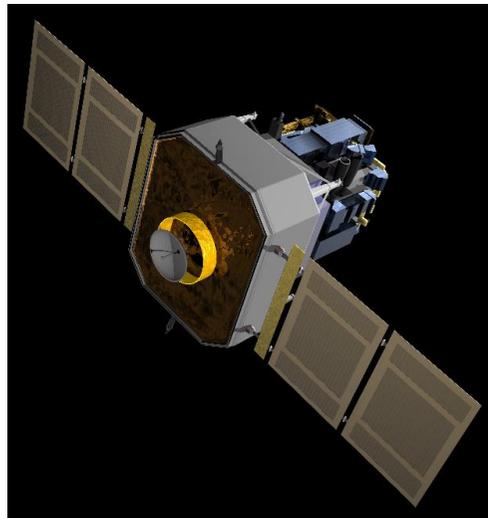


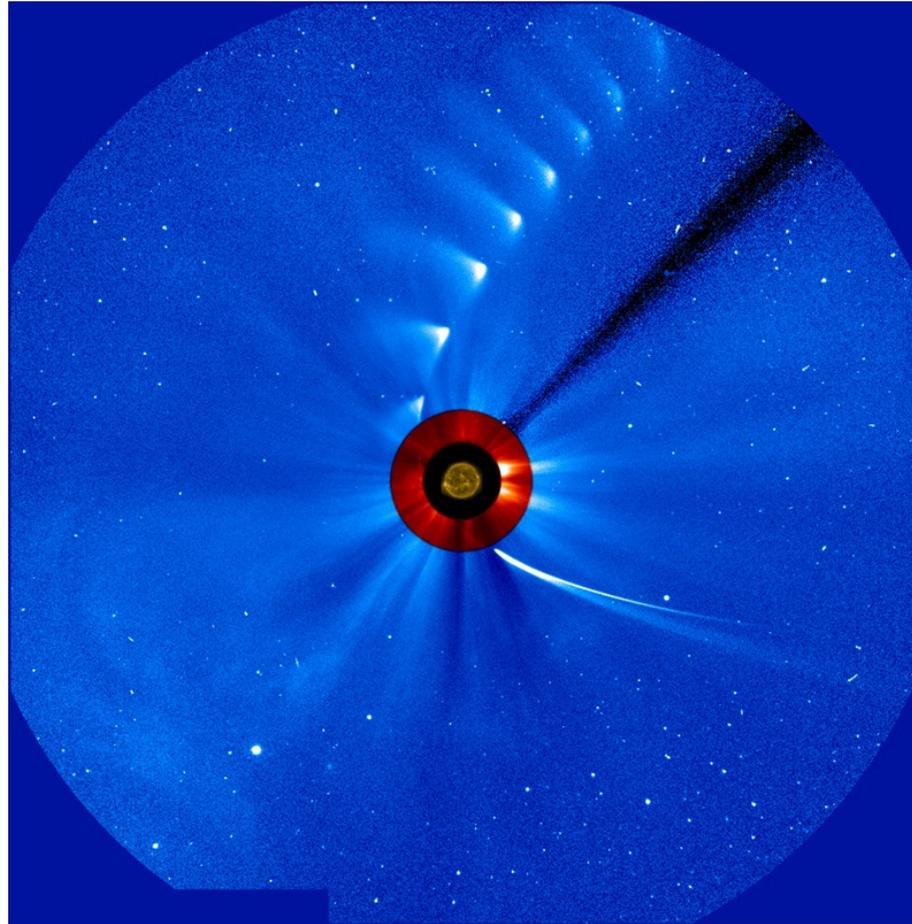
En épocas recientes la tasa de descubrimiento se ha incrementado notoriamente gracias a la implementación de programas de búsqueda de NEOs tales como LINEAR, NEAT, LONEOS, Catalina, Siding Spring, WISE, NEOWISE, PanSTARRS.

# El descubrimiento de *sungrazers* con el satélite *Solar and Heliospheric Observatory (SOHO)*



SOHO está localizado entre el Sol y la Tierra en el punto Lagrangeano L<sub>1</sub> (punto de equilibrio). El satélite monitorea la corona solar y objetos que se aproximan al Sol como los cometas. Contiene un disco pequeño para bloquear la intensa luz del Sol.

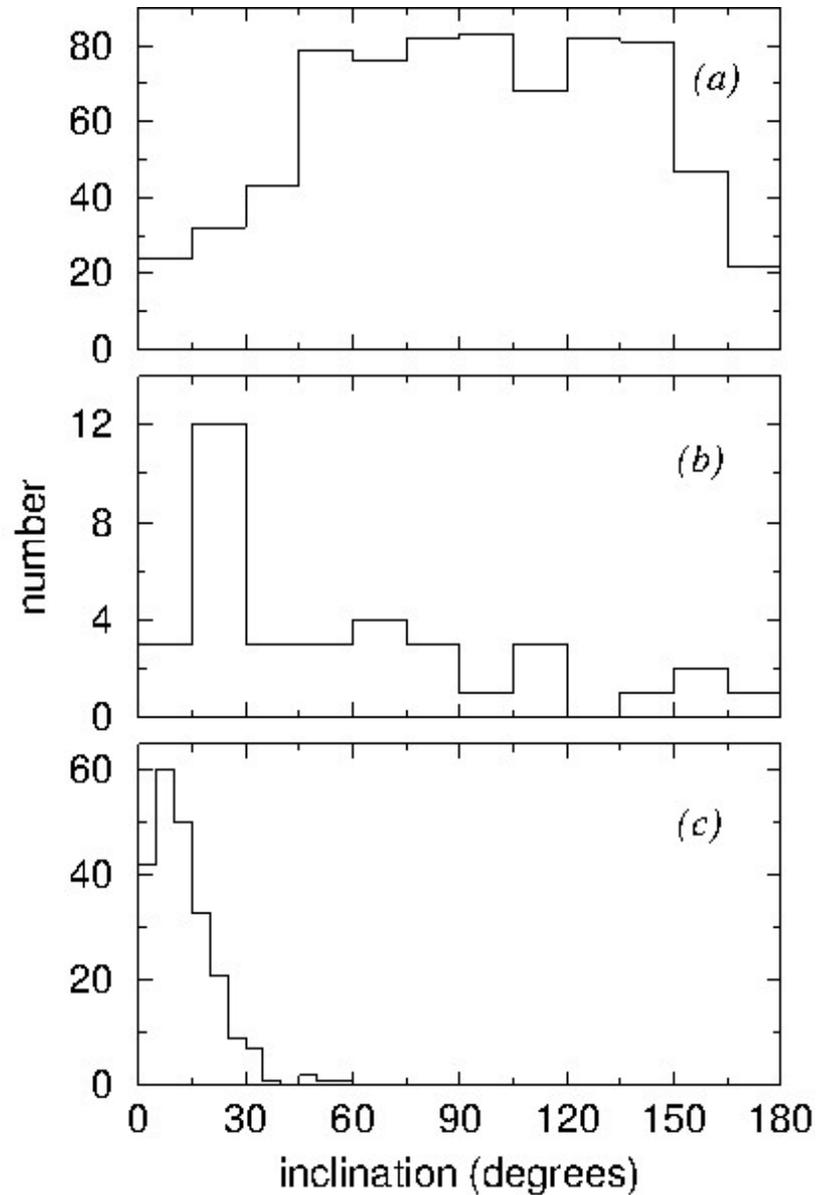




El cometa C/2012 S1 (ISON) se aproxima al sol por el lado inferior derecho y emerge por el lado superior derecho ya en proceso de disrupción y disipación. Fecha: 28 noviembre 2013 (Crédito: ESA/NASA/SOHO/SDO/GSFC).

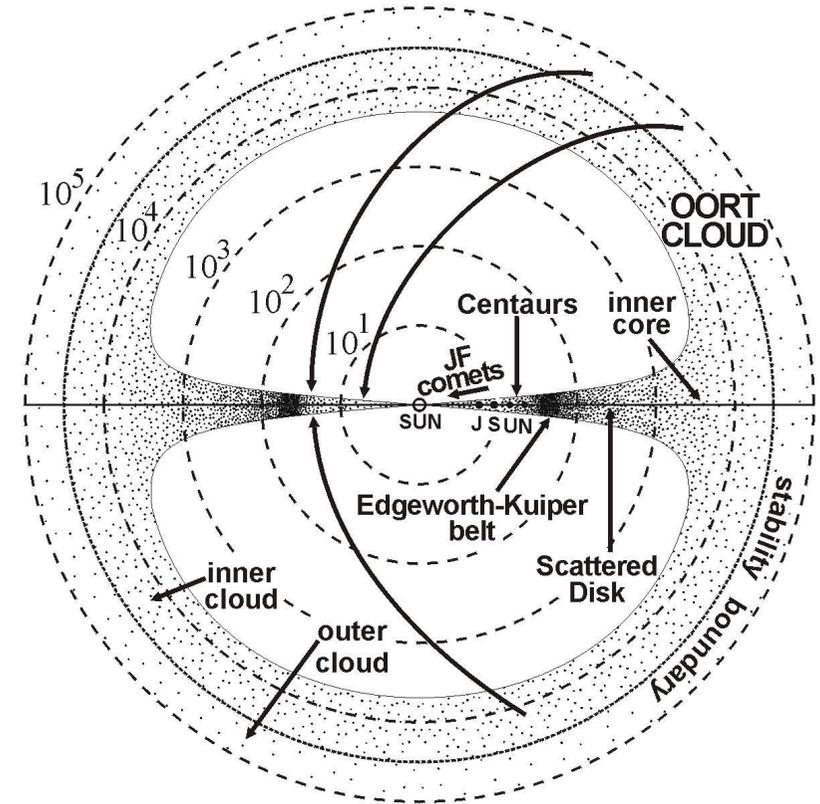
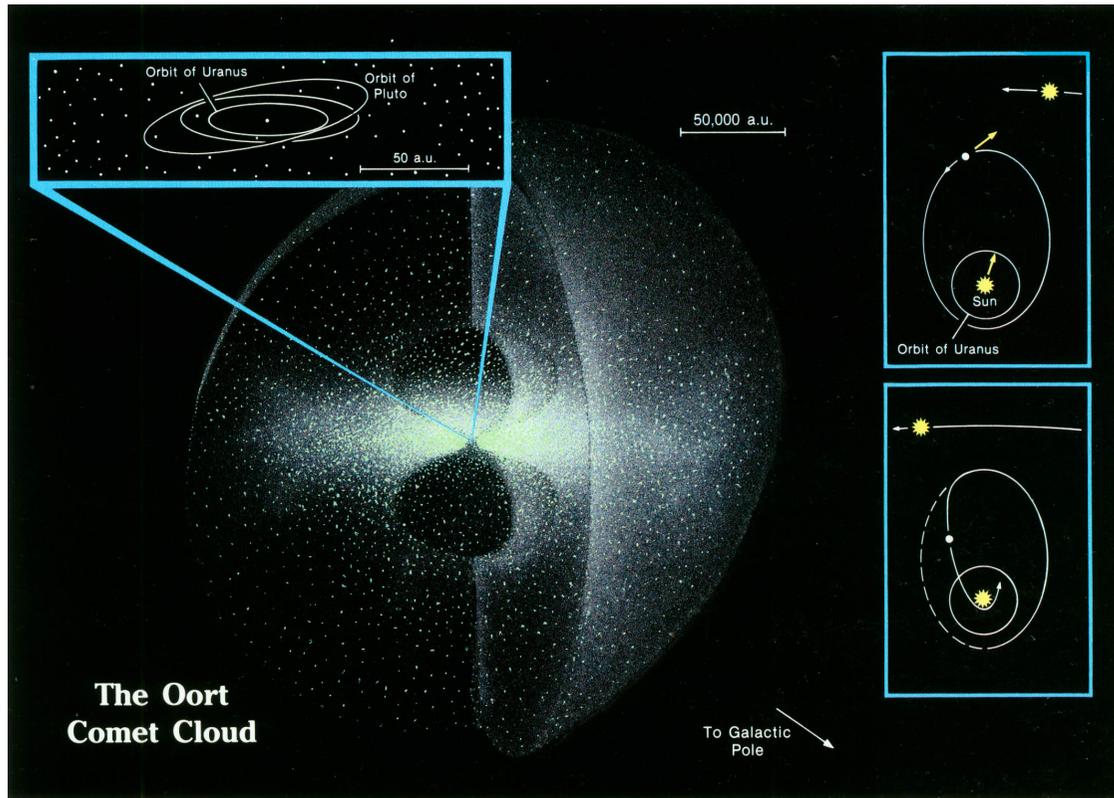
**SOHO ha descubierto alrededor de 3000 sungrazers!**

# Cometas de largo período y periódicos



Por convención, cometas de largo período (LPCs) son aquellos con períodos orbitales  $P > 200$  años. Estos muestran una distribución aleatoria de sus planos orbitales. Los cometas con  $P < 200$  años son periódicos (*Halley-type comets* (HTCs) aquellos con parámetros de Tisserand  $T < 2$  y *Jupiter family comets* (JFCs) aquellos con  $2 < T < 3$ ). En estos la distribución de inclinaciones no es aleatoria.

# ¿De donde provienen los cometas de largo período?: la nube de Oort

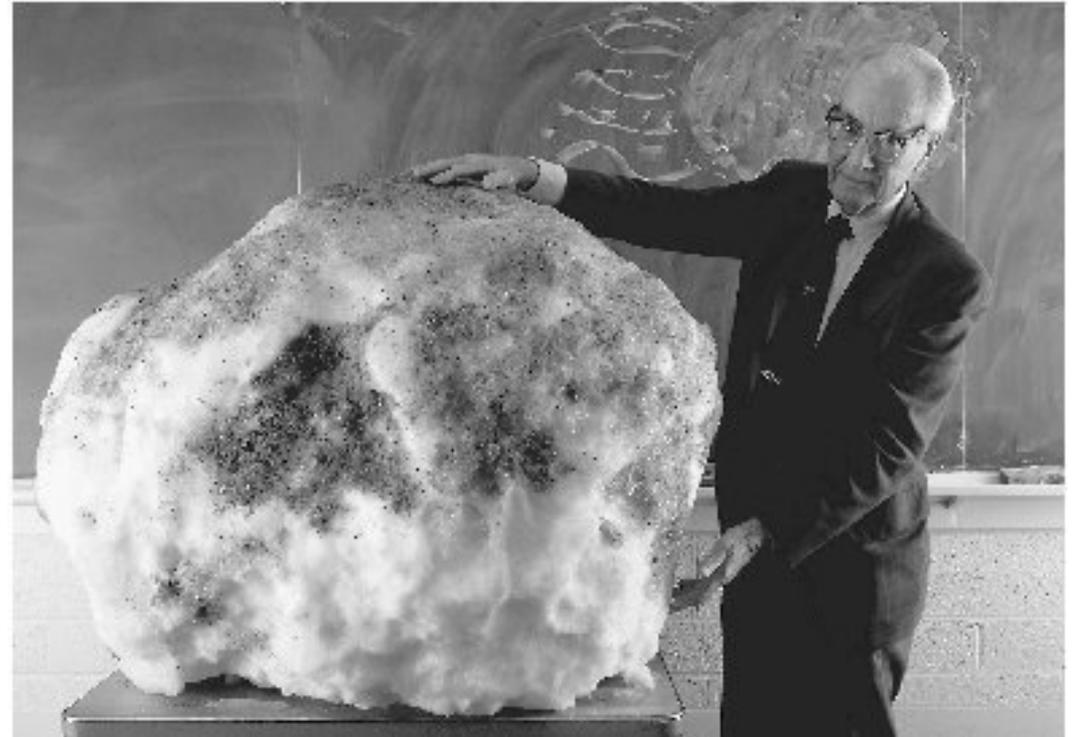


\* LPCs provienen de un gran reservorio que rodea el sistema solar a distancias  $\gtrsim 10^4$  ua, teoría que fue propuesta por Oort (1950). A tales distancias los cometas están sujetos a perturbaciones por estrella cercanas y fuerzas de marea galáctica que los pueden direccionar hacia la región planetaria interior.

# El modelo de Fred Whipple de la “bola de nieve sucia” (*“dirty snowball model”*)

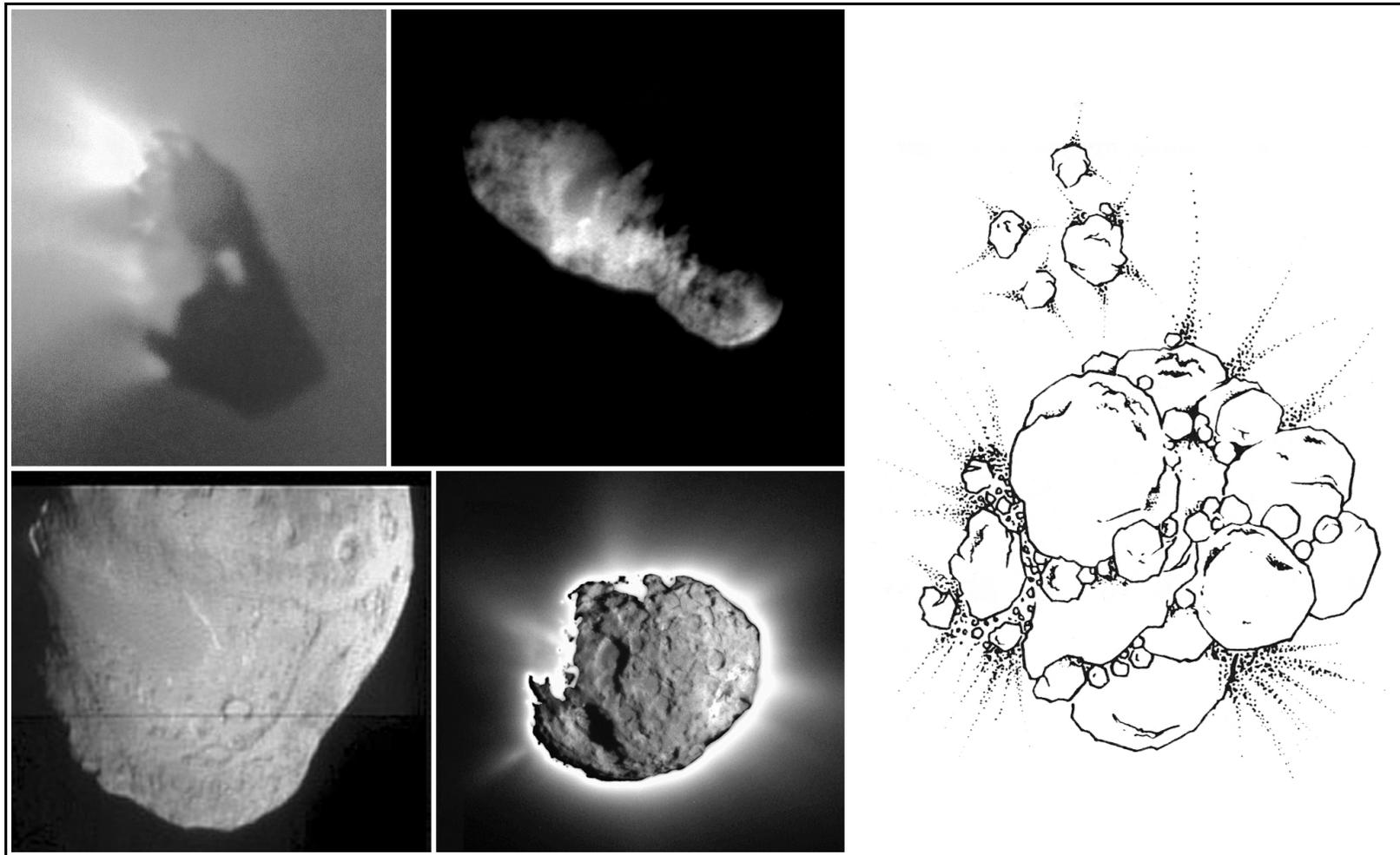


Concepción artística del núcleo cometario según el modelo de Whipple en boga en los años 1970.



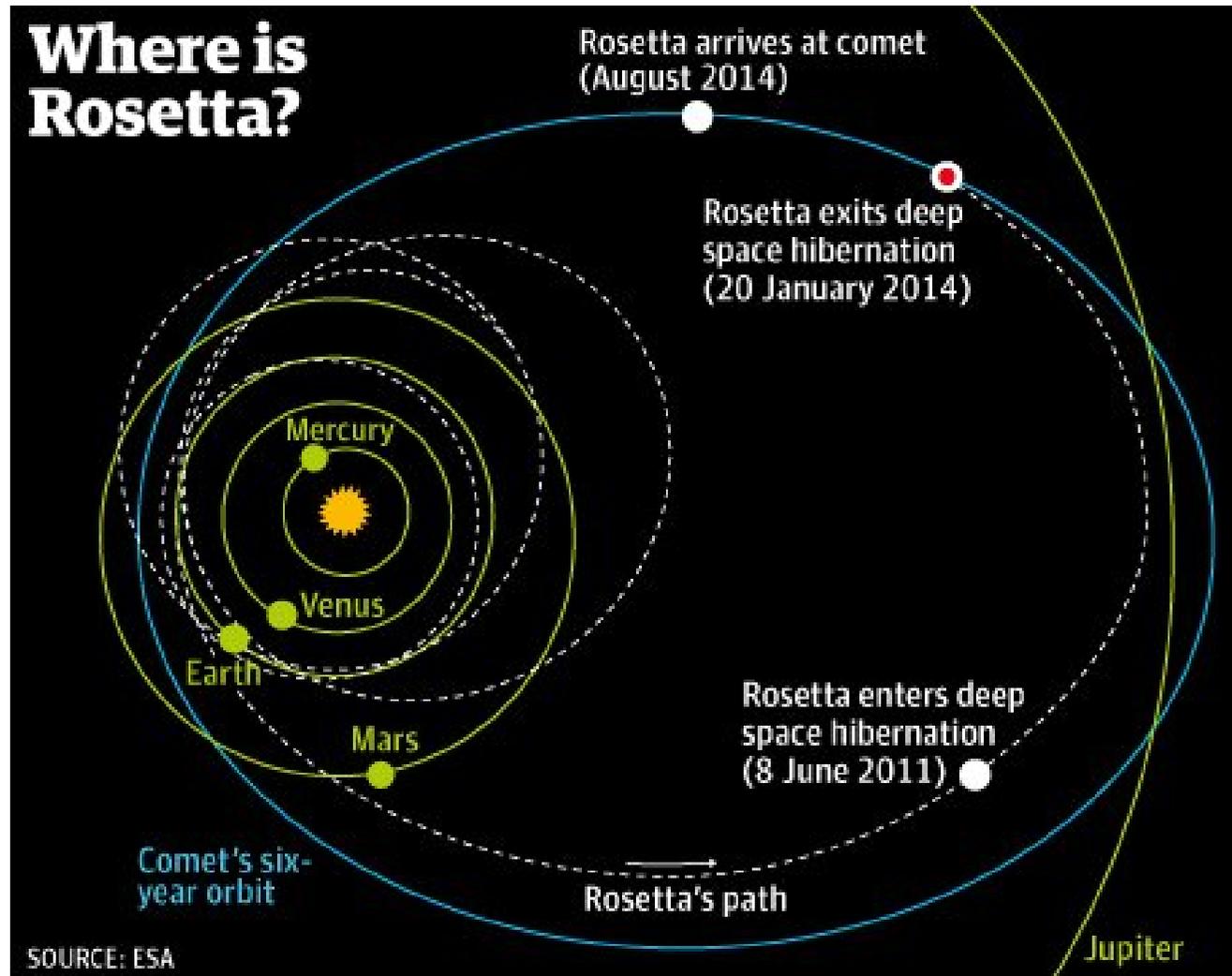
Fred Whipple muestra su modelo de bola de nieve sucia consistente en una bola de nieve de 250 kg cubierta con suciedad.

# Núcleos cometarios observados desde sondas espaciales



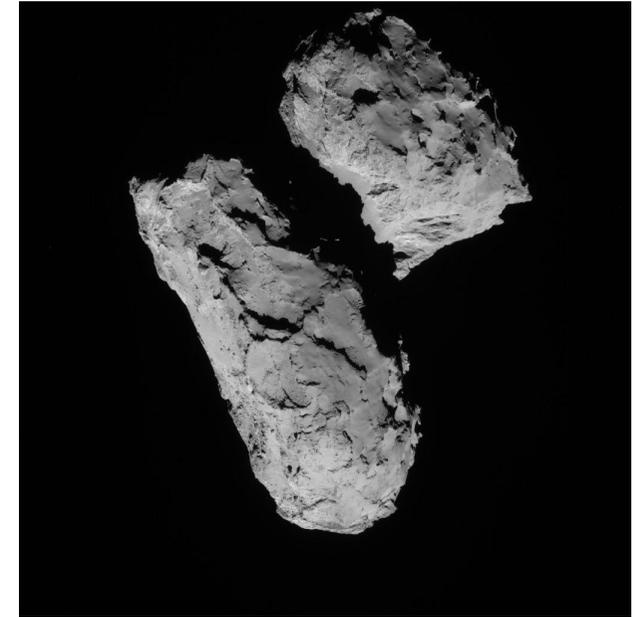
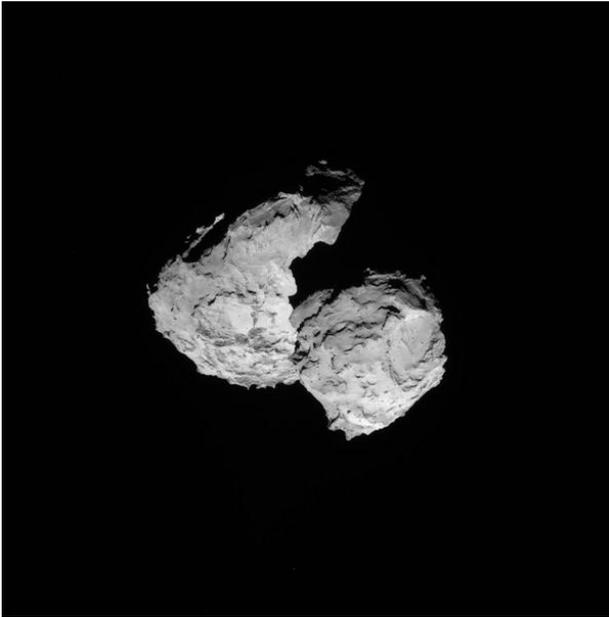
Imágenes de los cometas Halley, Borrelly, Tempel 1 y Wild 2 tomadas desde sondas espaciales a corta distancia (izquierda). El “modelo de pila de escombros” (*“rubble-pile”*) (Weissman 1986) (derecha).

# La misión Rosetta



La misión *Rosetta* de ESA fue lanzada en 2004 al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko en un viaje de 10 años.

## Imágenes del cometa Churyumov-Gerasimenko

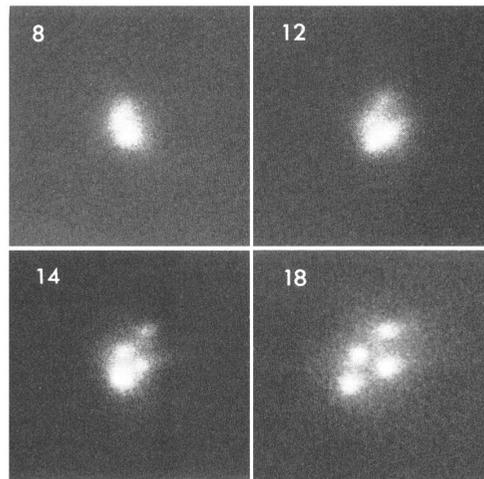


Las imágenes muestran que el núcleo consiste de 2 lóbulos unidos en un cuello. El cometa tiene aproximadamente 4 km de longitud. Presumiblemente se fragmentó en una colisión y luego los fragmentos más grandes se reacumularon.

## Outbursts y splittings de núcleos cometarios

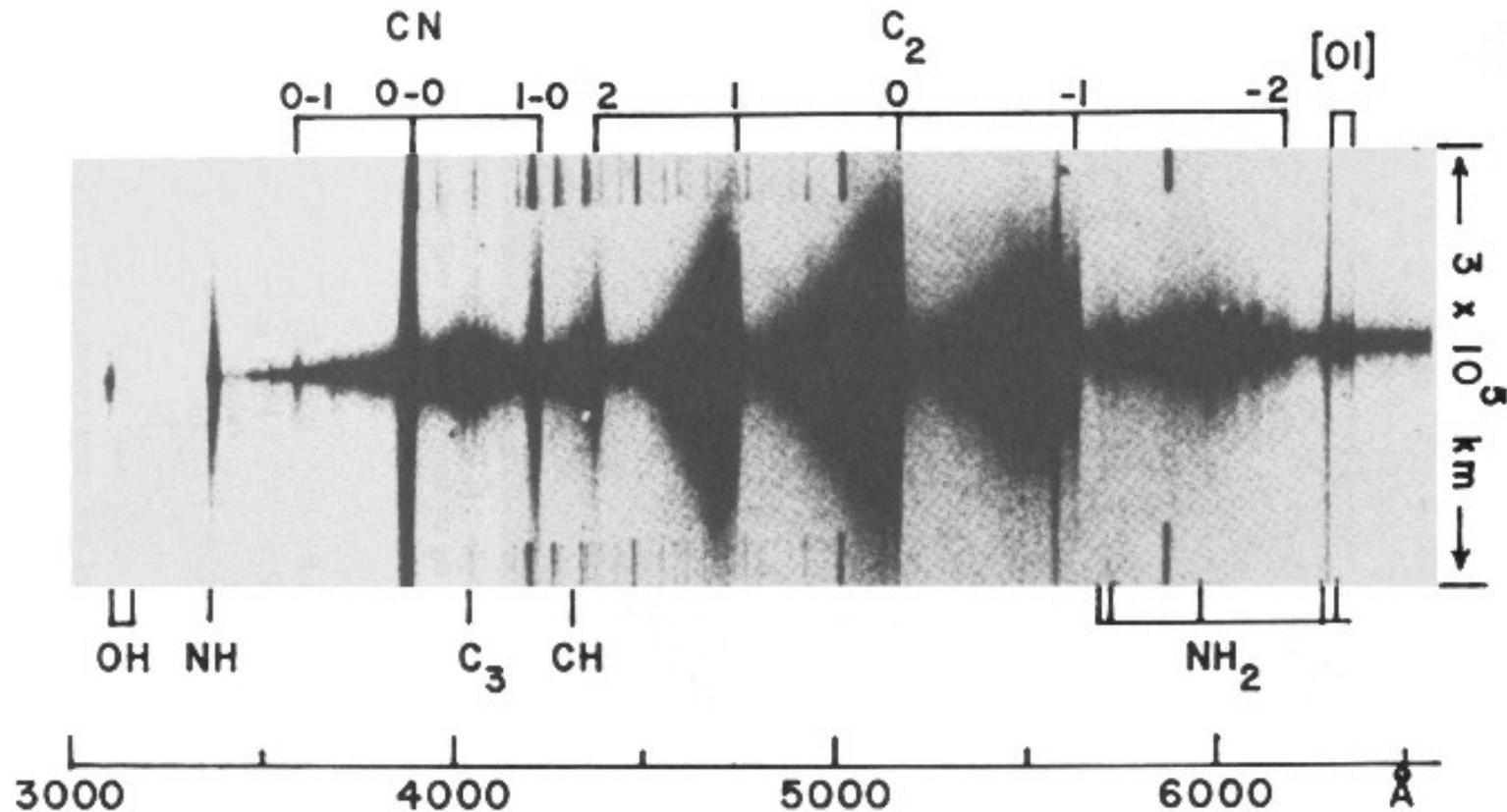


Incremento de brillo espectacular ( $\sim 14$  magnitudes) del JFC 17P/Holmes (octubre 2007).



Proceso de fragmentación del cometa C/1975 V1 (West) en 4 pedazos principales entre 8-18/marzo/1976 (New Mexico State University, Las Cruces).

## Espectros cometarios



Espectrograma del cometa C/1975 N1 (Kobayashi-Berger-Milon) que muestra las bandas moleculares principales en el visible y UV cercano. La banda angosta en el medio del espectro a lo largo del eje  $\lambda$  es el continuo producido por la difusión de luz solar por las partículas de polvo en la coma interior (radio  $\sim 10^4$  km) (Wyckoff 1982).

## Composición química

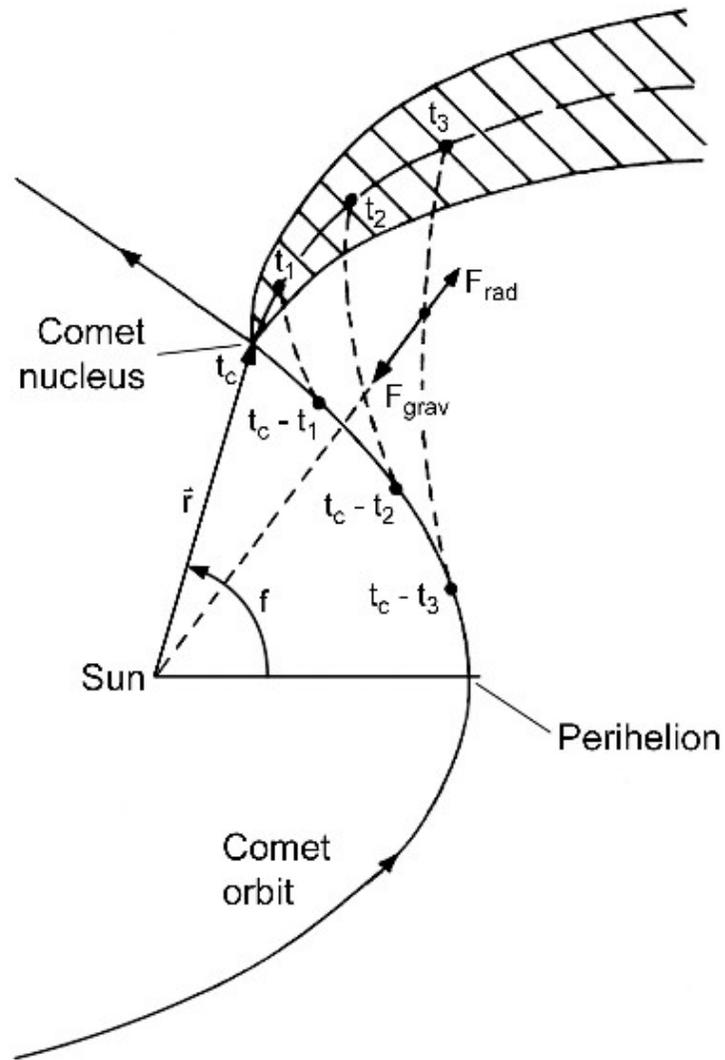
Abundancias relativas de especies moleculares en cometas

Molécula	Fracción de masa
H <sub>2</sub> O	~ 100
CO	~ 7-8
CO <sub>2</sub>	~ 3
H <sub>2</sub> CO	~ 0-5 (formaldehído)
NH <sub>3</sub>	~ 1-2
HCN	~ < 0.02-0.1
CH <sub>3</sub> OH	~ 1-5 (metanol)

Otras moléculas detectadas de interés biológico :

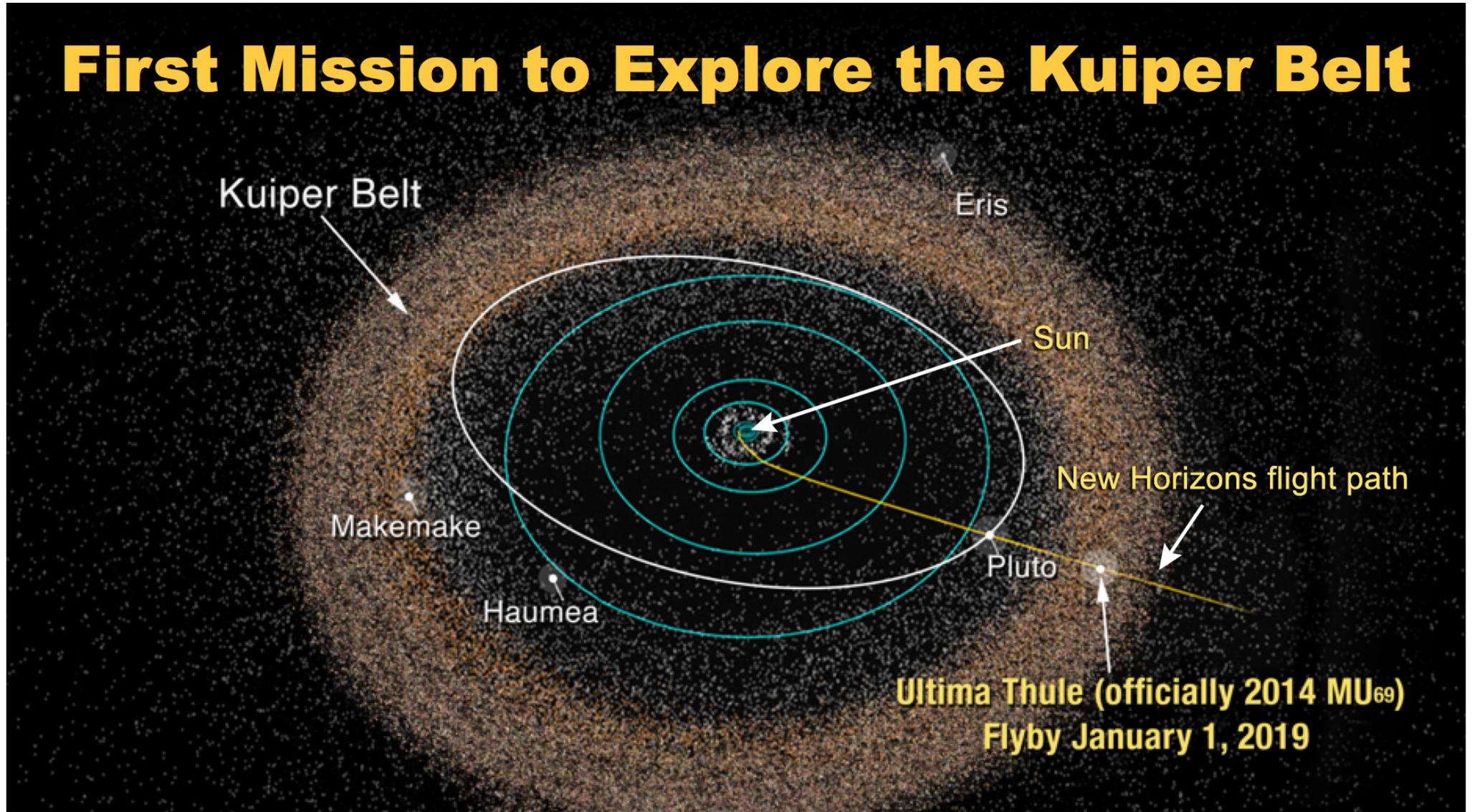
HNCO, HC<sub>3</sub>N, OCS, H<sub>2</sub>CS, NH<sub>2</sub>CHO, HCOOH,  
HCOOCH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>CHO, HNC, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

# La cola de polvo

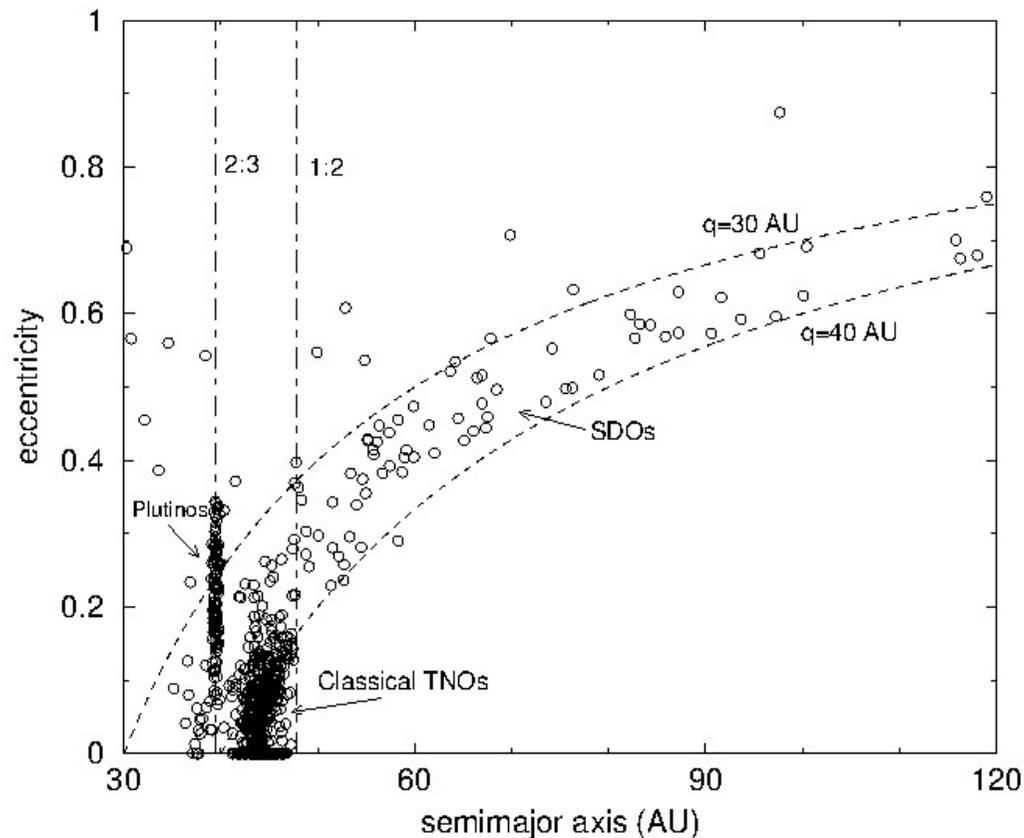


## El cinturón transneptuniano

# First Mission to Explore the Kuiper Belt



# Las diferentes clases dinámicas



Distribución de los TNOs observados en un mapa  $(e, a)$ . Se muestra la localización de las resonancias 2:3 y 1:2, así como las curvas correspondientes a objetos con  $q = 30$  au y  $q = 40$  ua. El mapa permite distinguir las diferentes clases dinámicas de TNOs: cinturón clásico (“frío” y “caliente”), Plutinos y Scattered Disc Objects (SDOs) (Fernández, Gallardo & Brunini 2004).

## Tamaño de las diferentes poblaciones

\* TNOs clásicos:  $N_{CTNO}(D > 100km) = 3.8_{-1.5}^{+2.0} \times 10^4$

\* Plutinos:  $N_{Plutino}(D > 100km) \approx 1400$ .

\* 1:2 Resonancia:  $N_{1:2} \approx N_{Plutino}$

\* Proporciones relativas entre las diferentes clases dinámicas:

Clásicos : Scattered : Plutinos : Resonancia 1:2  $\Rightarrow$  1.0:0.8:0.04:0.07

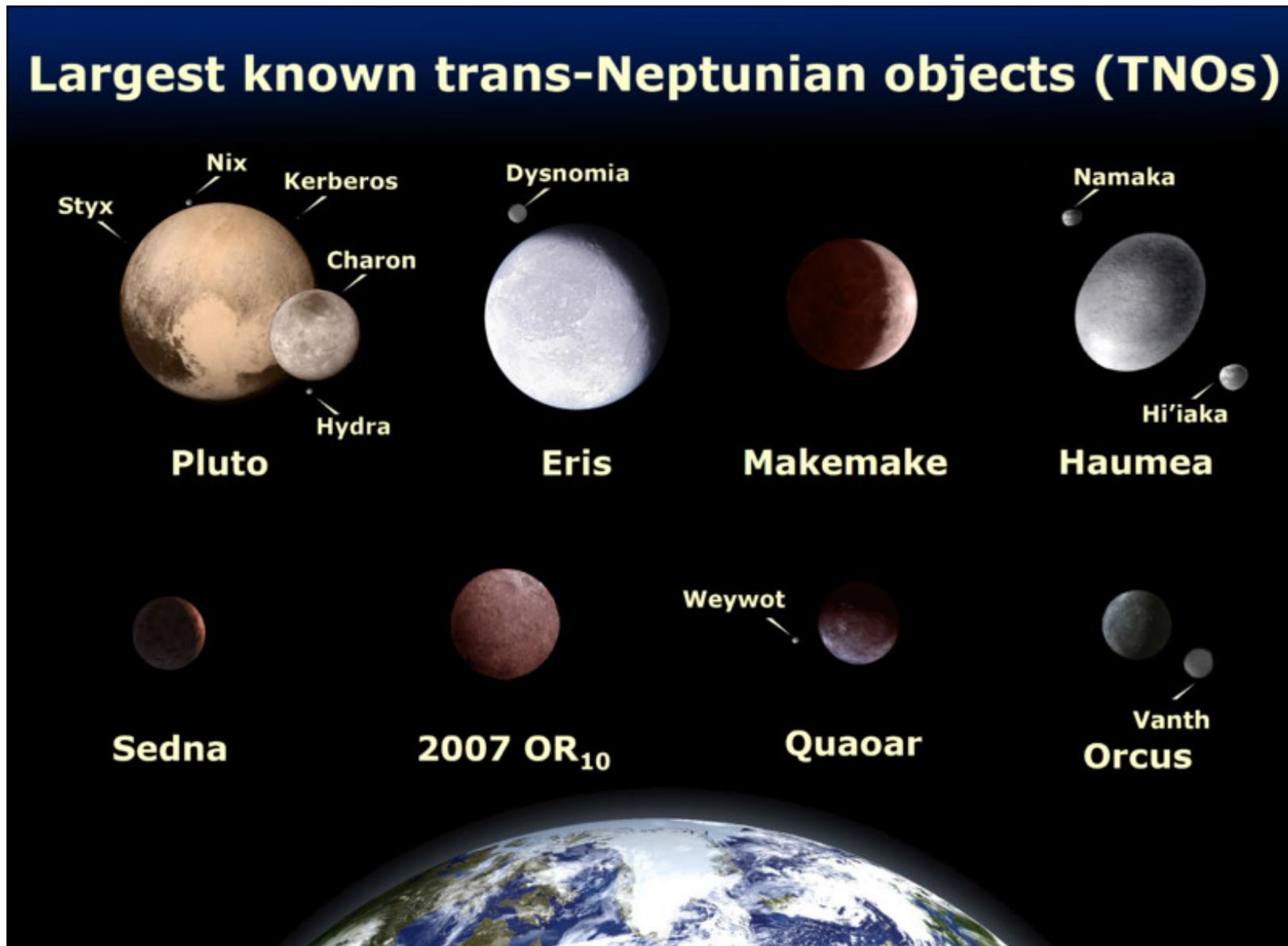
Masa total de TNOs en el cinturón clásico con diámetros  $100 < D < 2000$  km:

$$M_{TNO}(D > 100km) \approx 0.03M_{\oplus} \left( \frac{\rho_{TNO}}{1 \text{ g cm}^{-3}} \right) \left( \frac{0.04}{p_R} \right)^{1.5}$$

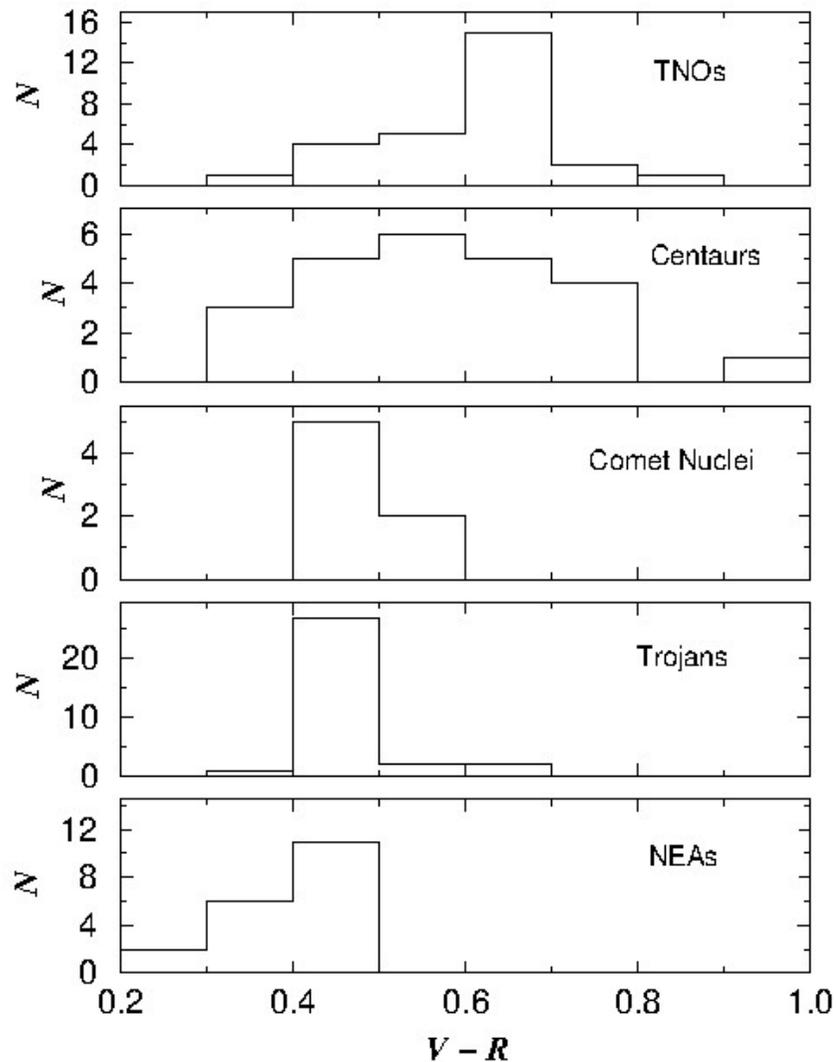
donde  $\rho_{TNO}$  es la densidad de masa de TNOs y  $p_R$  es el albedo (rojo) geométrico.

Si extrapolamos la ley potencial de distribución de tamaños hasta un radio  $\sim 1$  km, la masa total del cinturón TN se incrementaría a  $\sim 0.1 M_{\oplus}$  (Jewitt et al. 1998).

# Los más grandes TNOs conocidos (planetas enanos o plutoides)

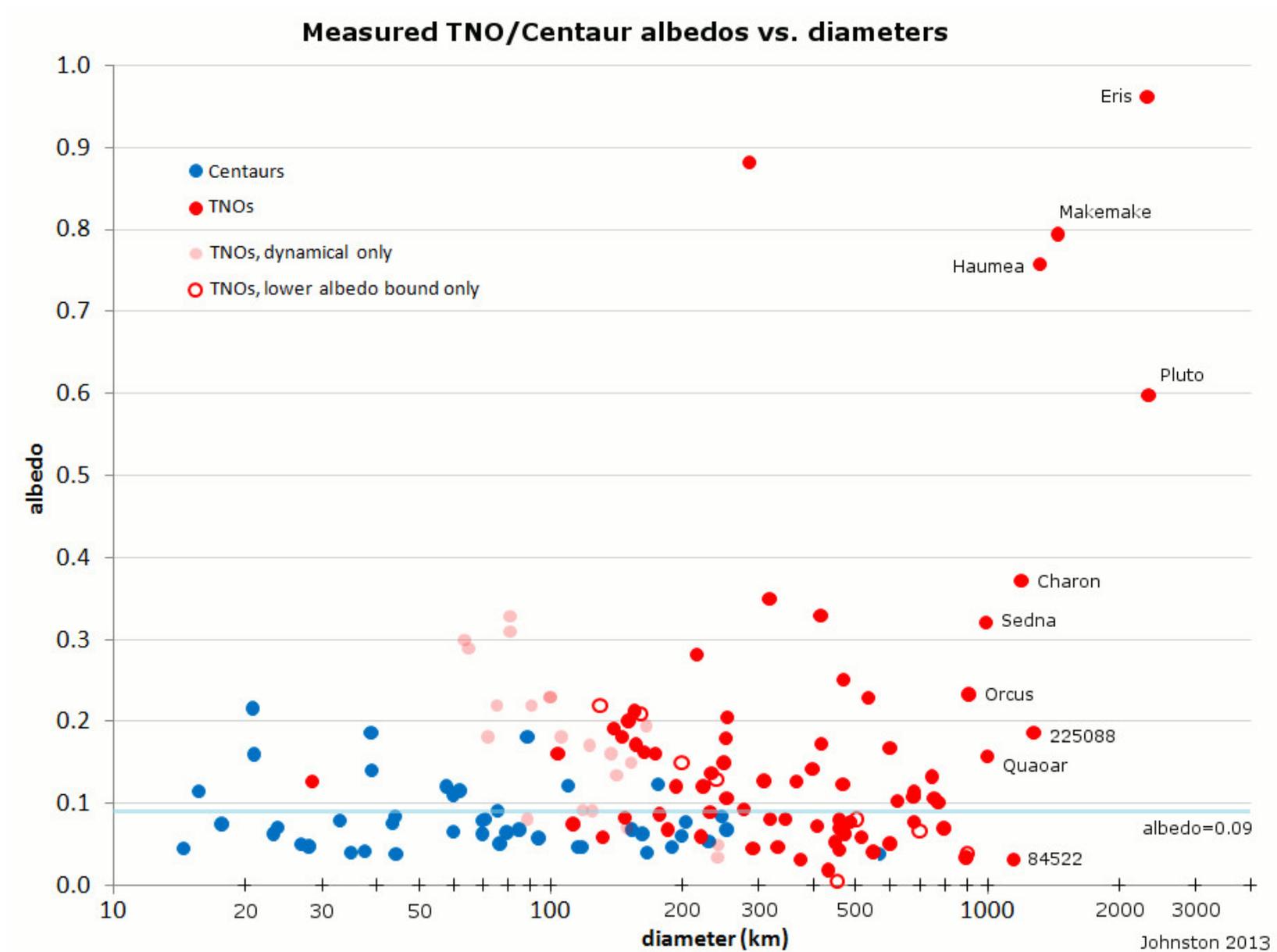


# Centauros y TNOs: propiedades físicas

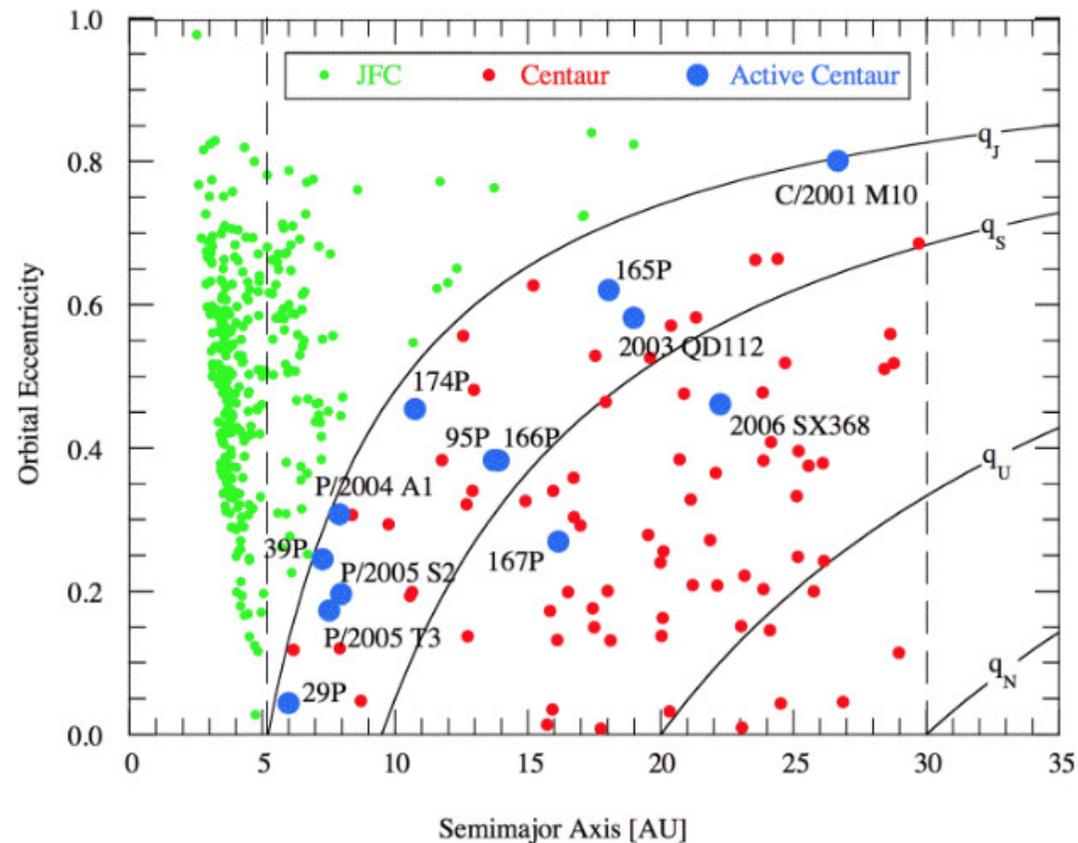


Centauros y TNOs son más rojizos que NEAs, núcleos cometarios y Troyanos (Luu & Jewitt 2002). La transición de colores rojizos a más neutros puede ser debida a la exposición del material de la superficie a la más intensa radiación UV solar y el calor, que podría alterar su composición química por la remoción del hidrógeno de las moléculas.

# Albedos vs tamaños de centauros y TNOs)



# ¿Porqué algunos Centauros son activos y otros no?



(Jewitt 2009)

¿Proviene de la misma región?, ¿han estado los Centauros inactivos cerca de la región cercana a Júpiter por tiempos más extensos?, ¿está la actividad relacionada a la distancia perihélica?

## EJERCICIO 14

(a) Estime el período de rotación límite de un asteroide de densidad  $\rho = 2,5 \text{ g/cm}^3$  asumiendo que está constituido de un material poco consolidado cuya resistencia interna se puede despreciar. (b) Si el asteroide tuviera un radio de 5 km, ¿cuál sería su velocidad de rotación límite?