

## Los objetos trans-neptunianos

Adriano Campo Bagatin

Instituto Universitario de Física Aplicada  
a las Ciencias y las Tecnologías

Departamento de Física, Ingeniería de  
Sistemas y Teoría de la Señal

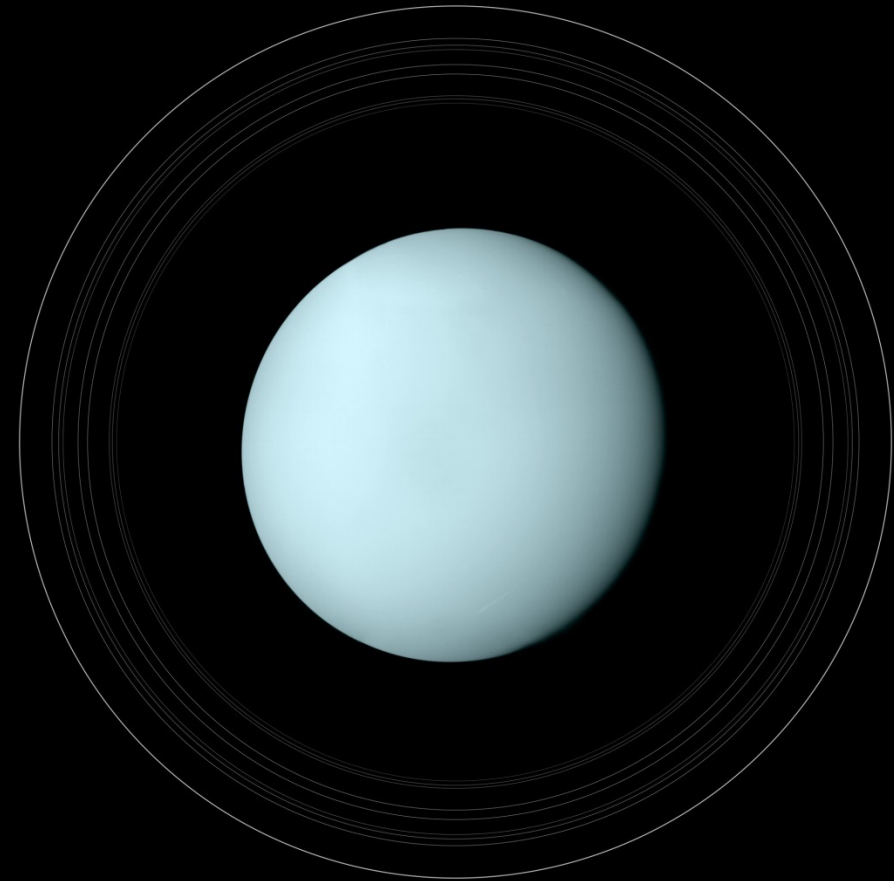
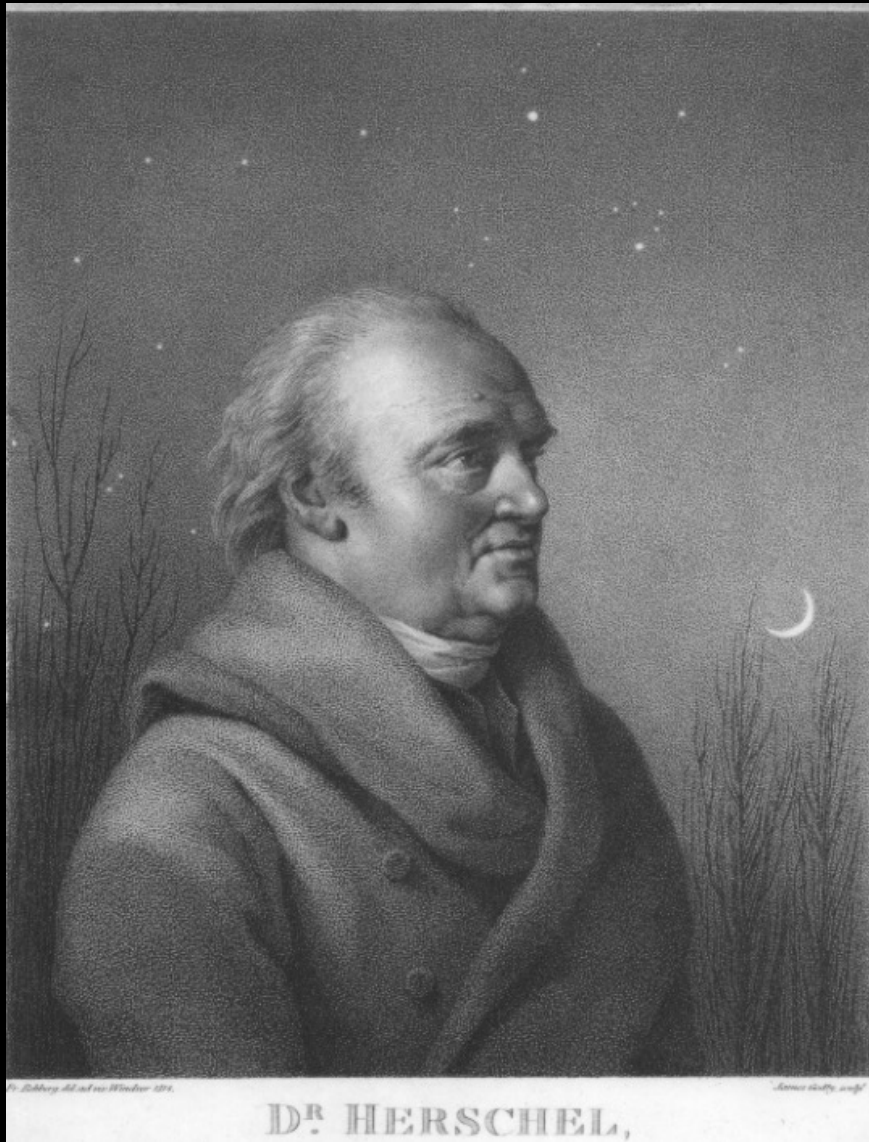


# Los objetos trans-neptunianos

- Una perspectiva histórica
- La 'trastienda' del Sistema Solar:  
arquitectura del SS exterior
- 'Zoología' de los TNOs
- ¿Cómo hemos llegado a esto?  
Génesis de los pequeños cuerpos del SS exterior

# Una perspectiva histórica





Voyager Image of Uranus

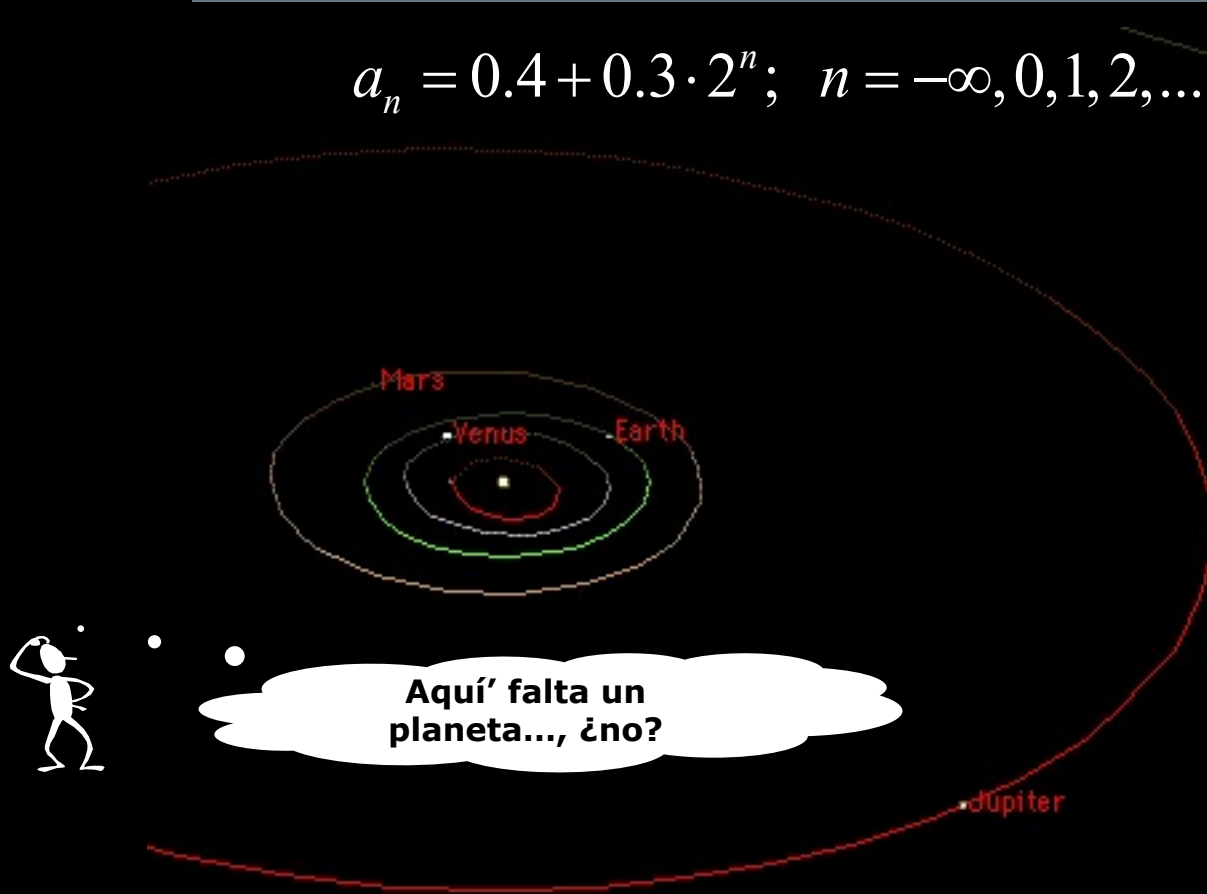
Copyright © 2004 Calvin J. Hamilton

1781: Descubrimiento de Urano.

"Inter Jovem et Martem planetam interposui ..."  
(Johannes Kepler)

## "Ley de Titius-Bode"

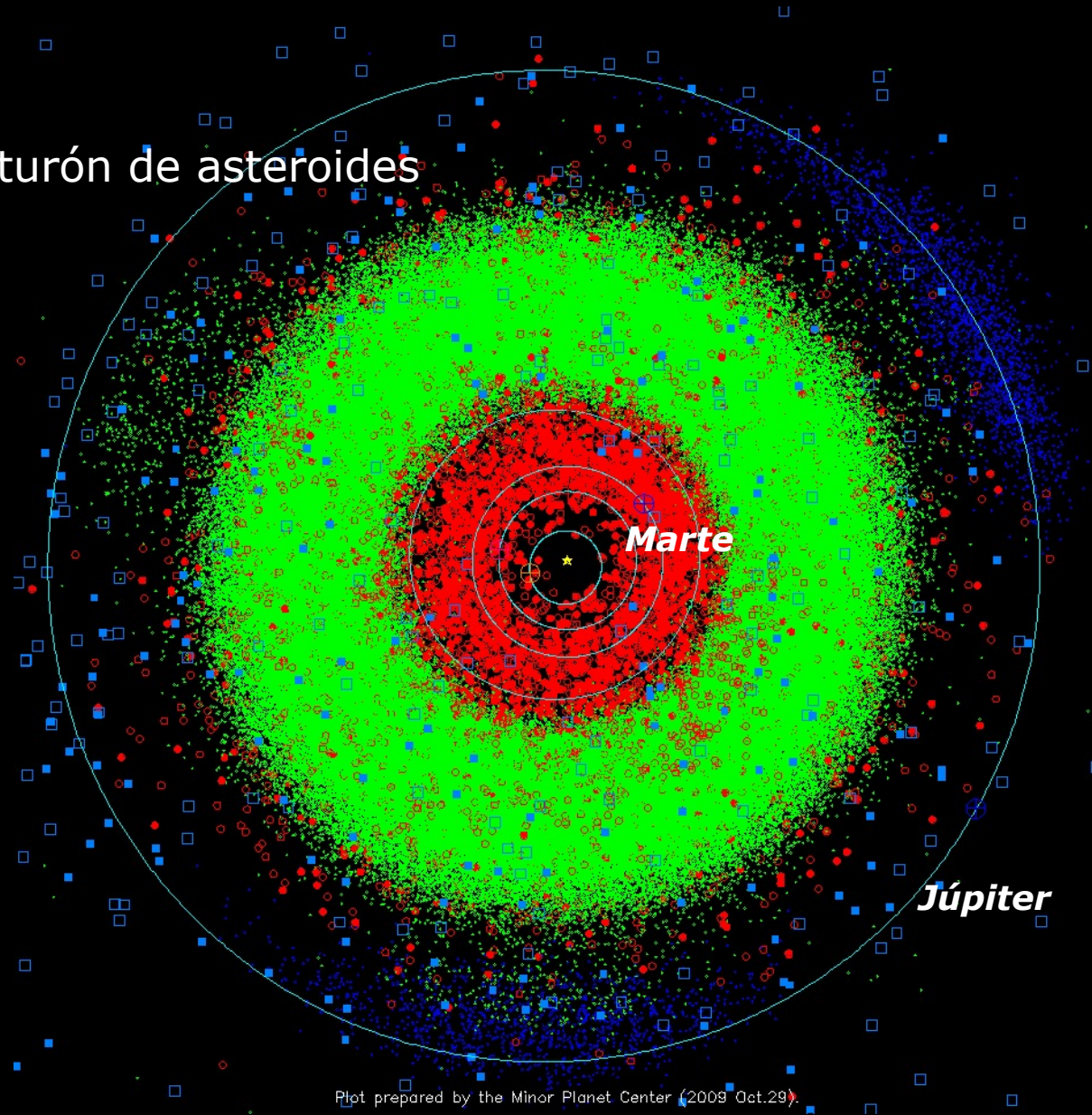
$$a_n = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n; \quad n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$$



Giuseppe Piazzi

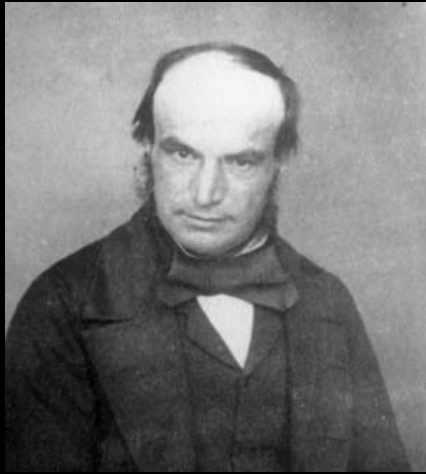
1801: Descubrimiento de Ceres, el primer asteroide.

# El cinturón de asteroides



Plot prepared by the Minor Planet Center (2009 Oct.29)

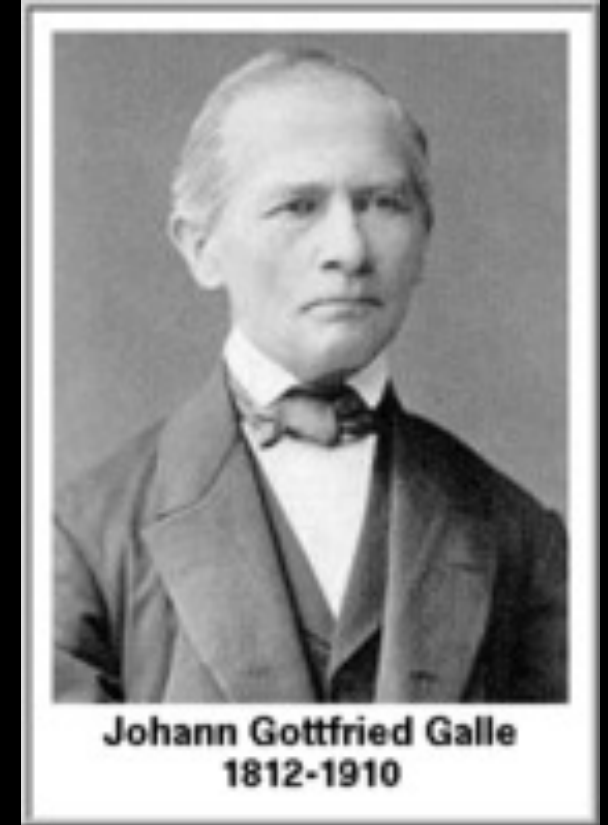
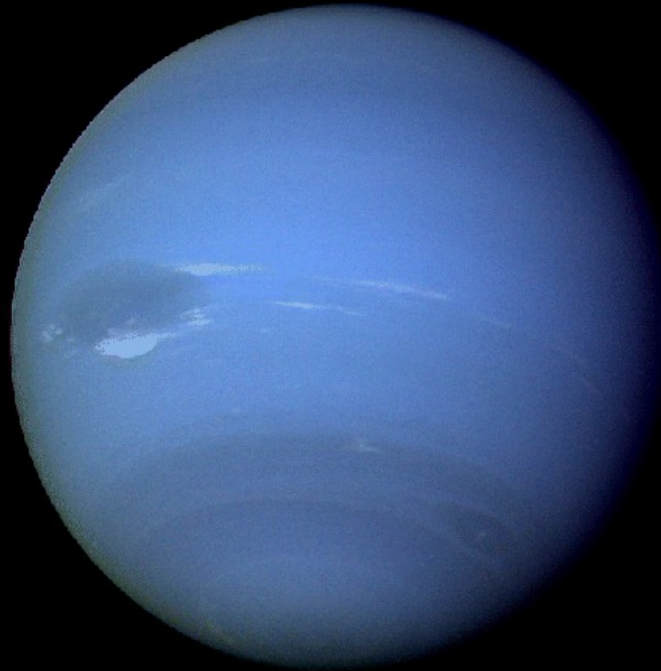
# 1846: El 8º planeta, Neptuno



***J.C. Adams***

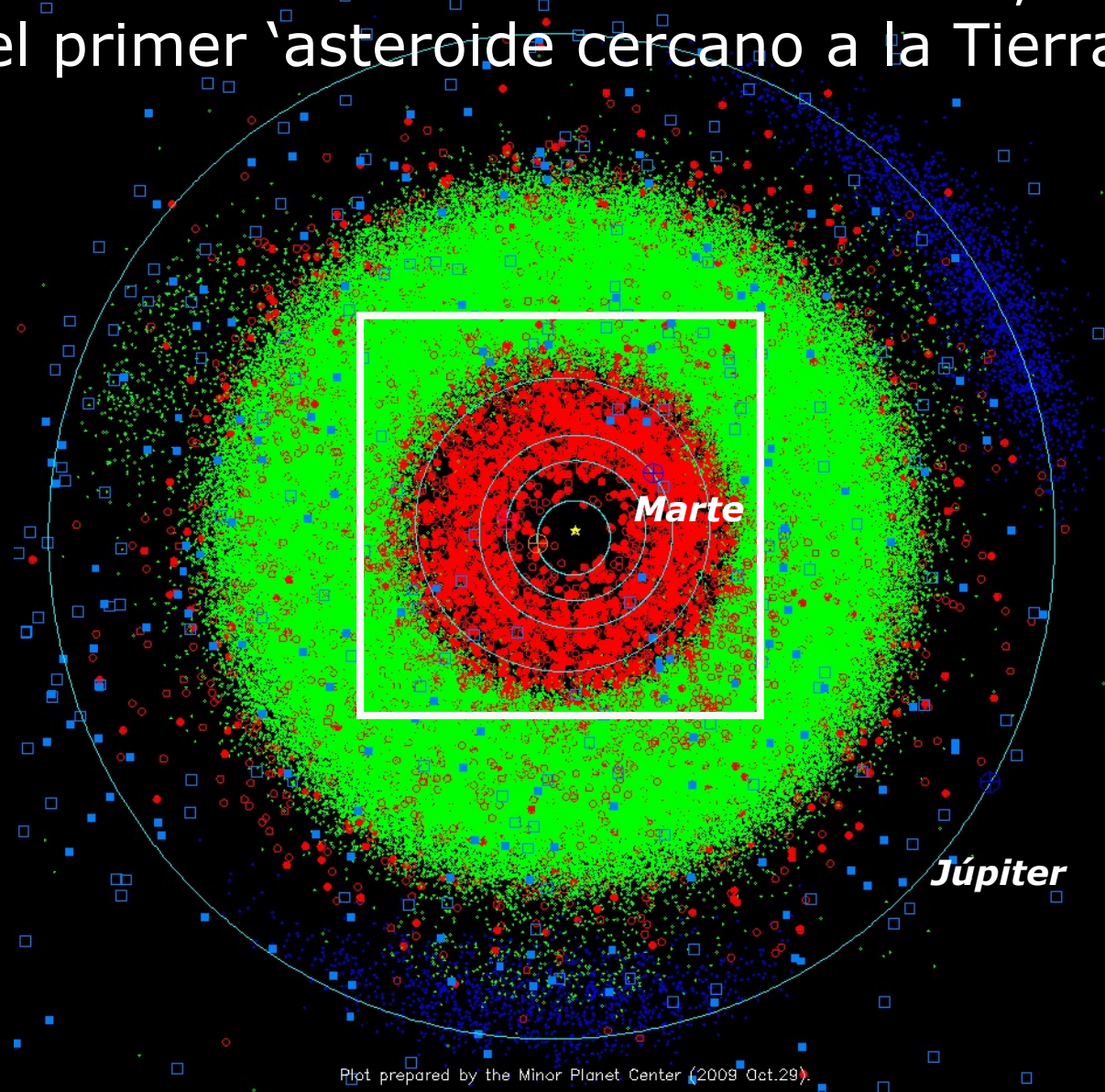


***U.J.J. Le Verrier***



**Johann Gottfried Galle  
1812-1910**

# 1898: Descubrimiento de 'Eros', iel primer 'asteroide cercano a la Tierra'!

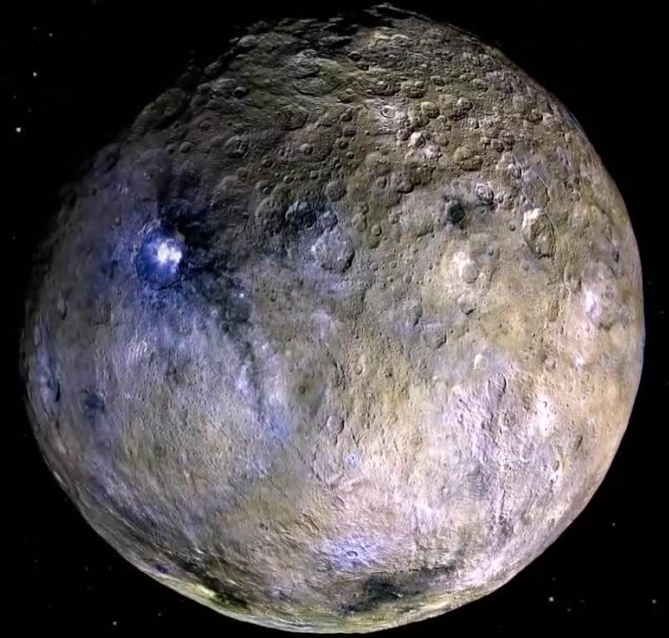






## Primeras páginas de historia del SS

- Entre Marte y Jupiter no hay ningún planeta, hay un 'cinturón de asteroides'
  - Jupiter se formó rápidamente
- Hay asteroides que tienen órbitas cercanas a la de la Tierra
  - Los planetas internos (y la Luna) sufrieron muchas colisiones
  - Los meteoritos son de origen no-terrestre
- Hay asteroides que siguen la órbita de Jupiter
  - Júpiter capturó asteroides (¿de dónde?)



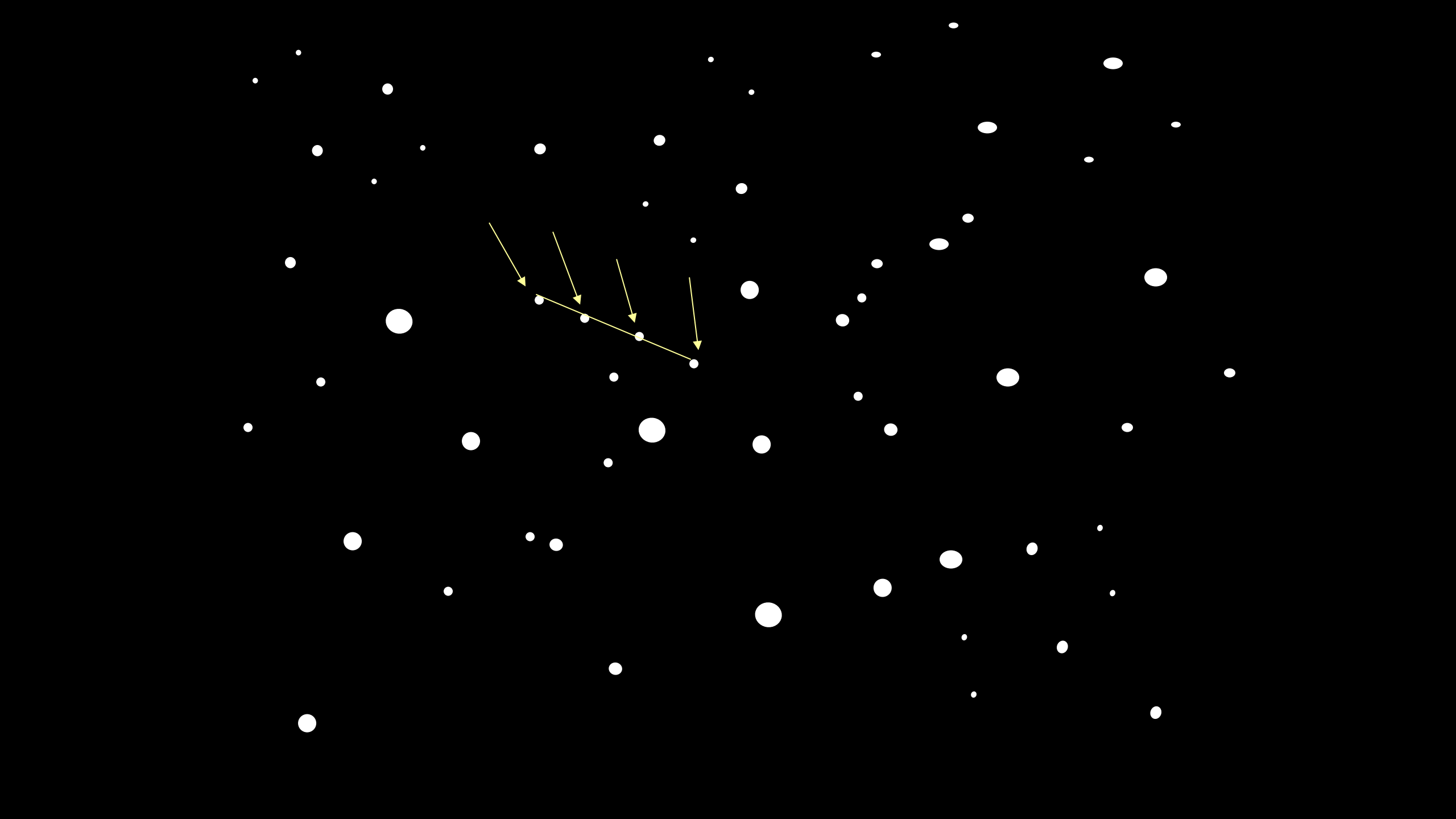


***New Horizons,  
NASA 2015***

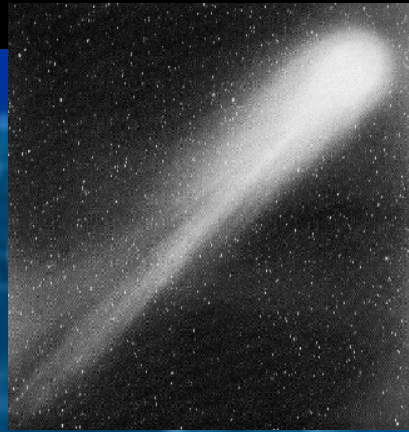
**Plutón, 1930**

***Clyde Tombaugh***

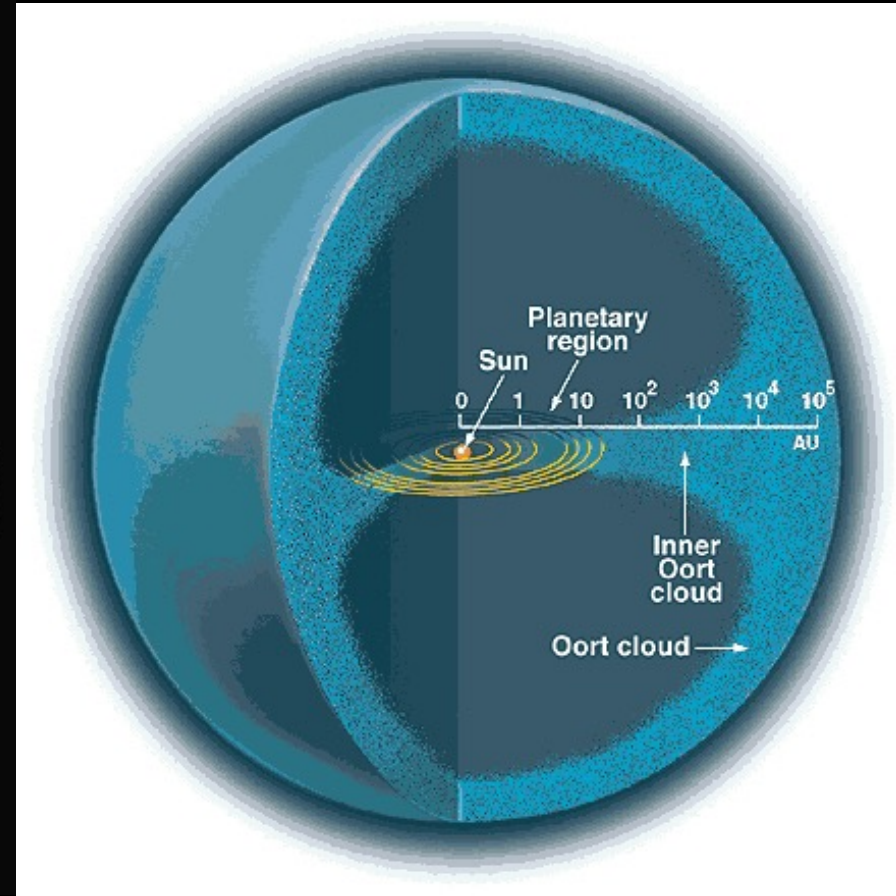
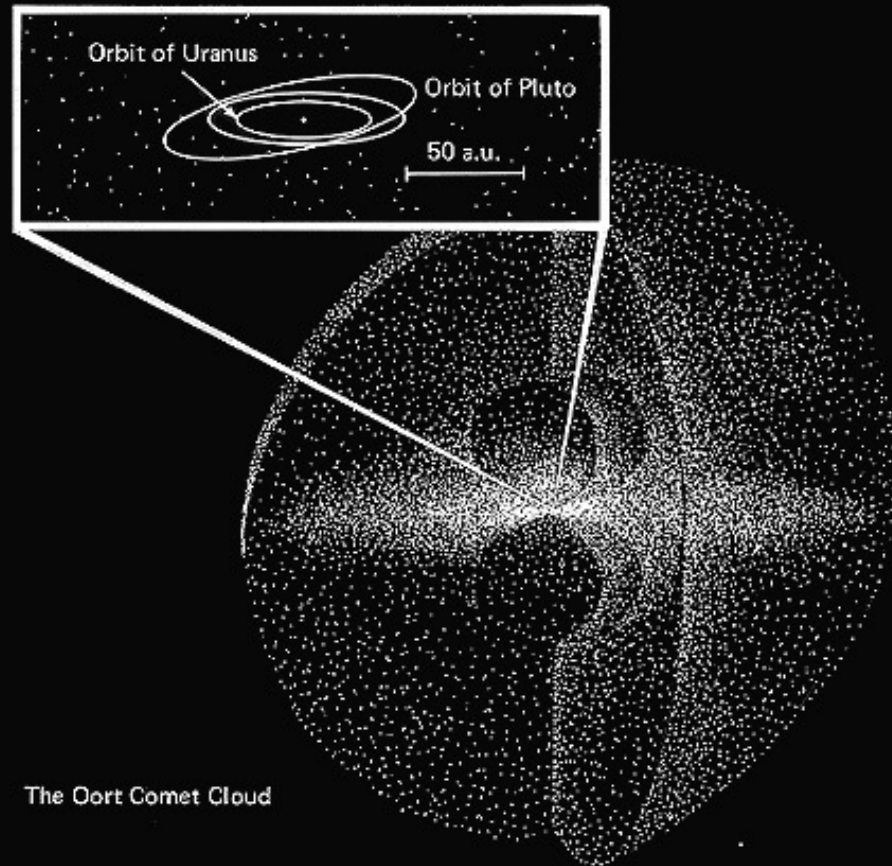




**¿ DE DÓNDE VIENEN LOS COMETAS ?**



# Cometas de "largo periodo" ( $T > 300$ años)



La Nube de Oort (Jan E. Oort, 1950)

# Cometas de "corto periodo" ( $T < 300$ años)

## On the existence of a comet belt beyond Neptune FREE

Julio A. Fernández

*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 192, Issue 3, October 1980,  
Pages 481–491, <https://doi.org/10.1093/mnras/192.3.481>

**Published:** 01 October 1980    **Article history** ▼

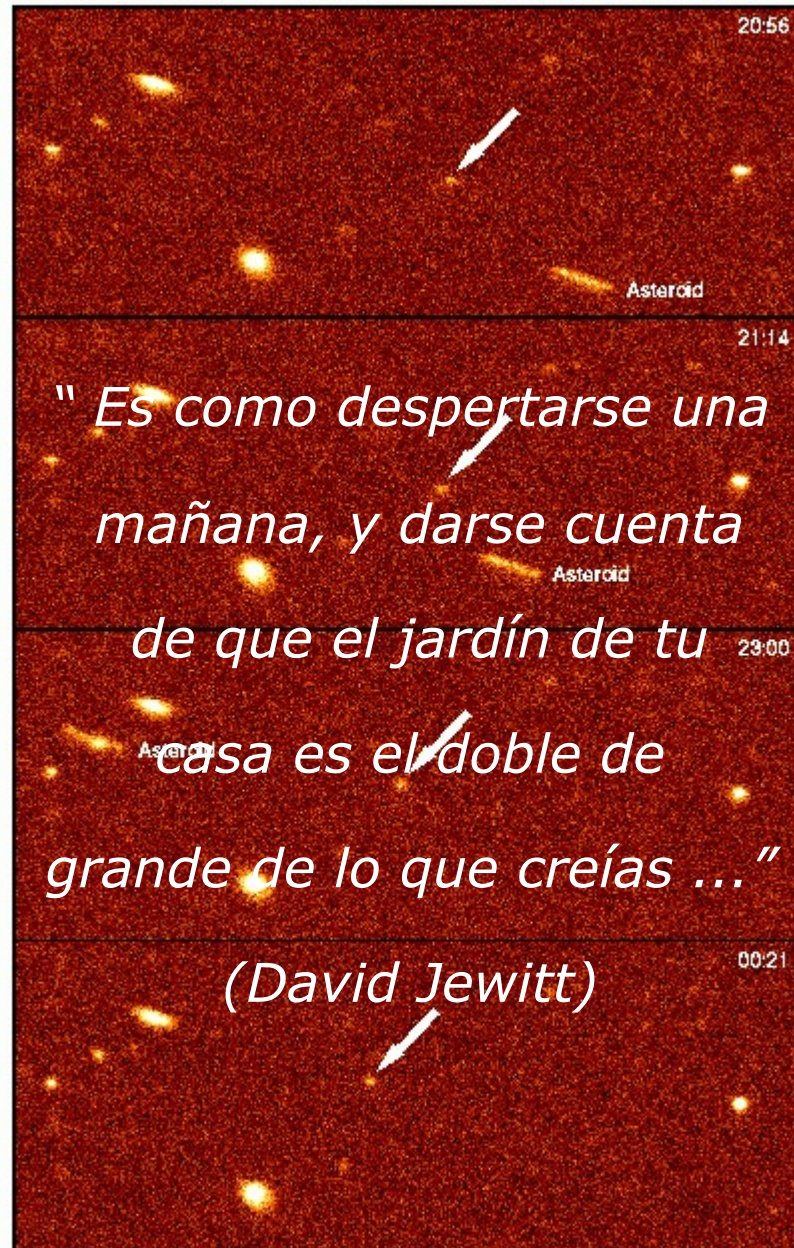


**K. E. Edgeworth**  
(1943, 1949)





D. Jewitt



30 agosto de 1992

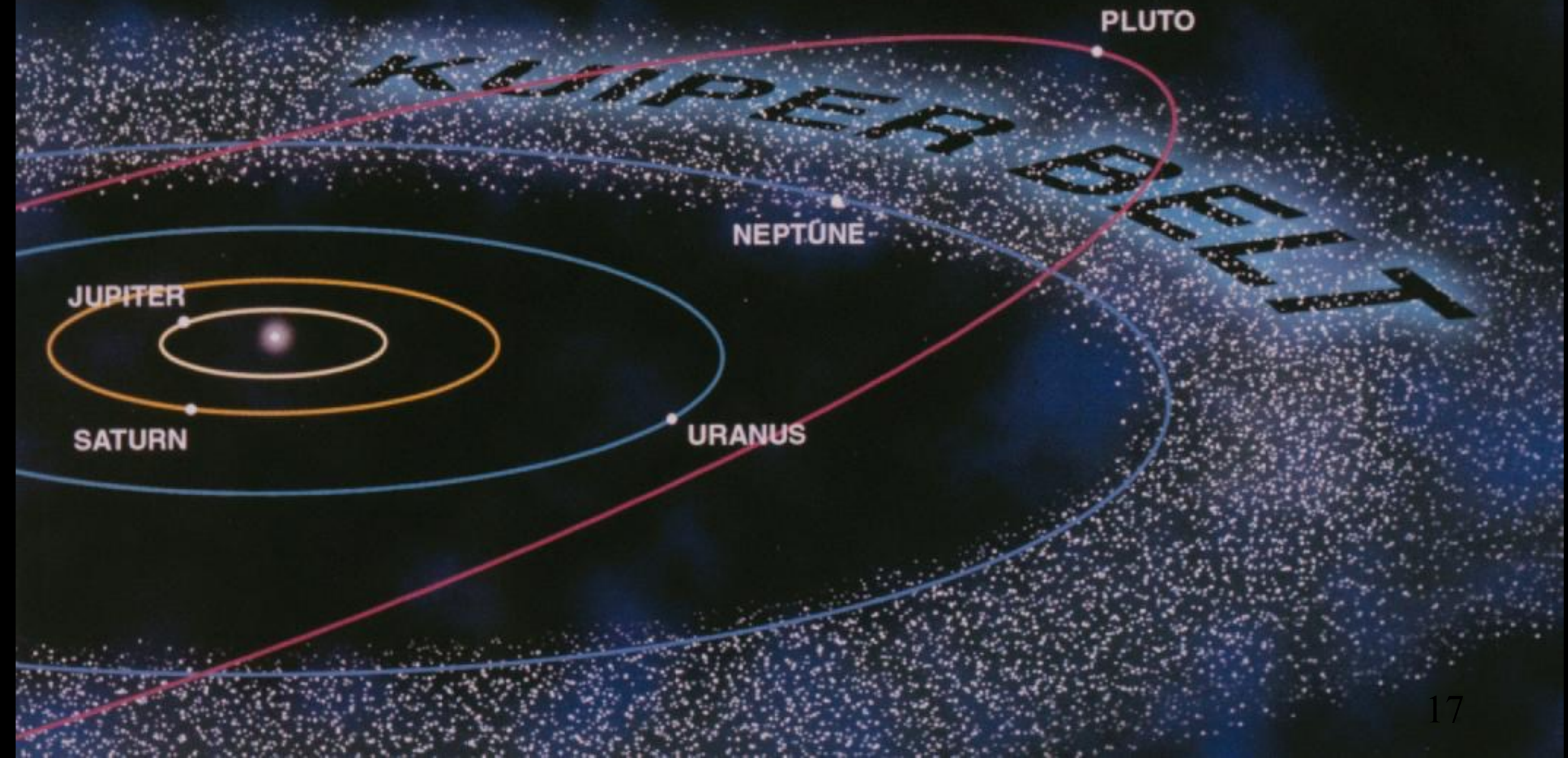
**1992QB1**



J. Luu



Cinturón de Edgeworth-Kuiper  
Objetos Trans-neptunianos (TNOs)



# REUNIÓN DE LA I.A.U. PRAGA, 14-25 AGOSTO 2006

Resolución final de la Unión Astronómica Internacional.

Un planeta es un cuerpo celeste que:

***(a) Está en órbita alrededor del Sol.***

***(b) Tiene masa suficiente para que su propia gravedad venza a las fuerzas de estado sólido, y su forma sea la determinada por el equilibrio hidrodinámico.***

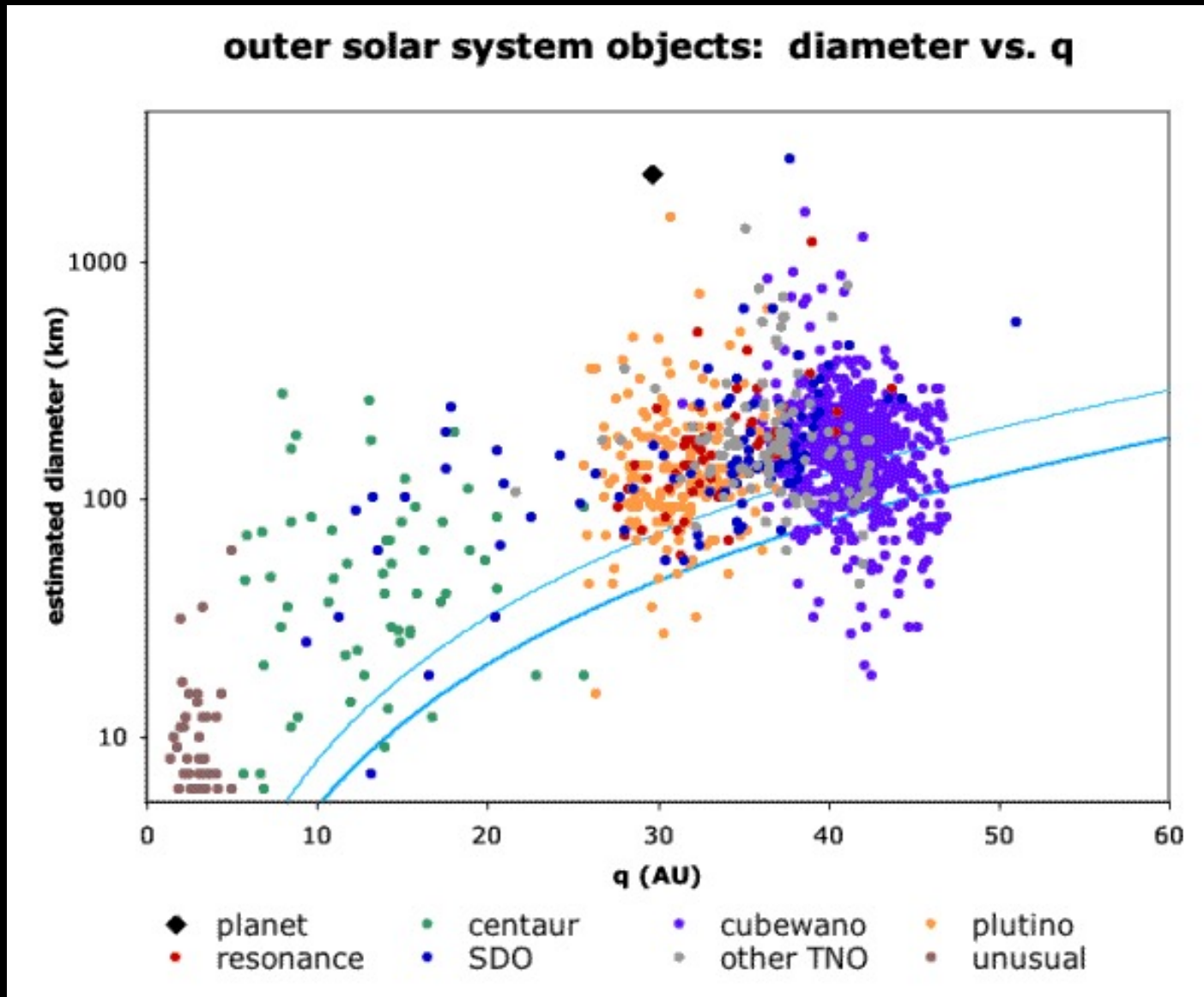
***(c) Ha despejado las cercanías de su órbita.***

**Los objetos que cumplen (a) y (b), pero no cumplen (c), se llaman "*planetas enanos*".**

**Todos los demás se denominan "*pequeños cuerpos del S.S.*".**  
(El término "*cuerpos menores*" queda obsoleto y no debería utilizarse ya.)

# La 'trastienda' del Sistema Solar: arquitectura del SS exterior

# Descubrir objetos lejanos es complicado



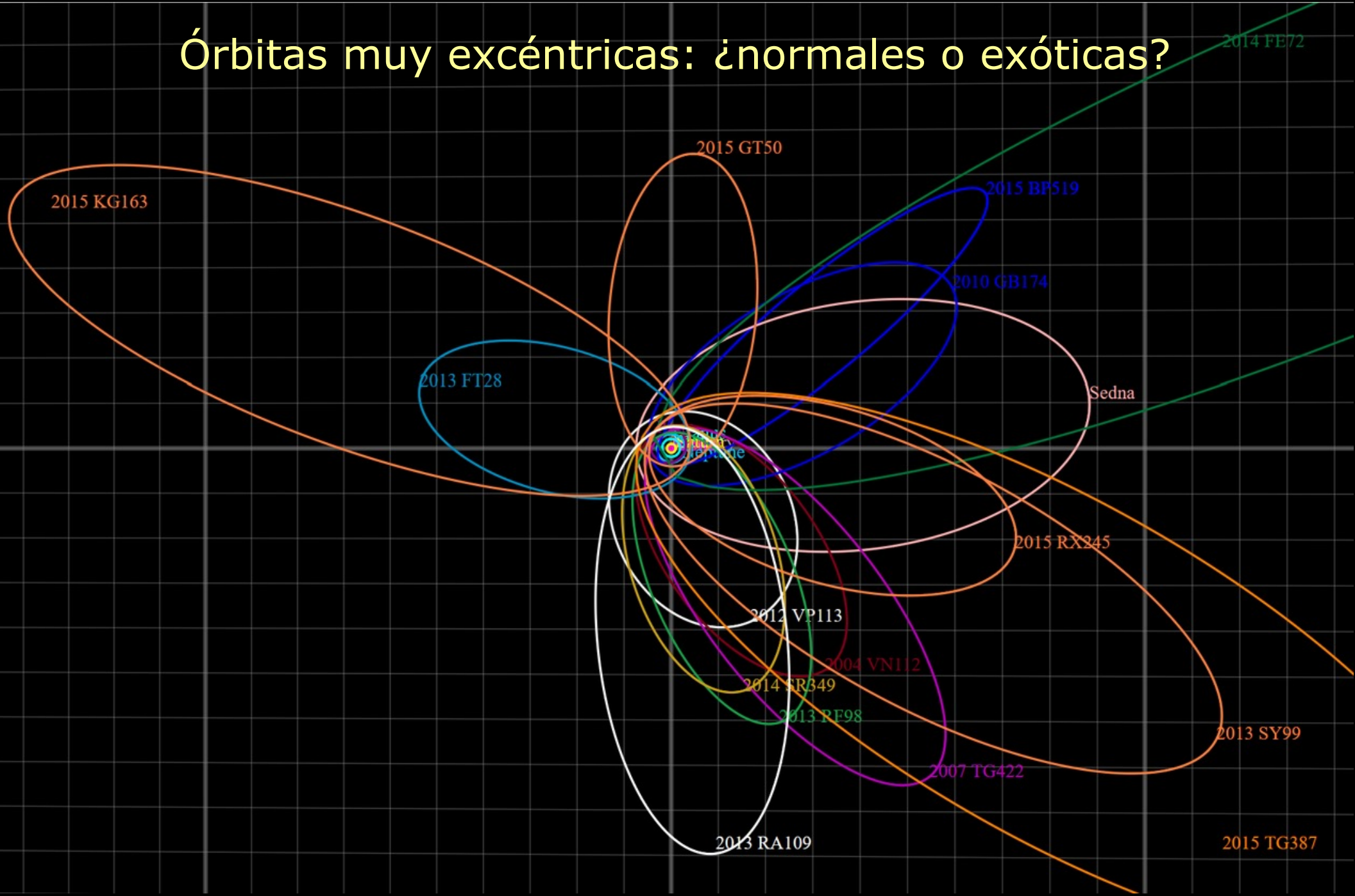
$$\text{Luminosidad: } L \propto A \cdot \frac{D^2}{R^4}$$

A : Albedo (% luz incidente reflejada).

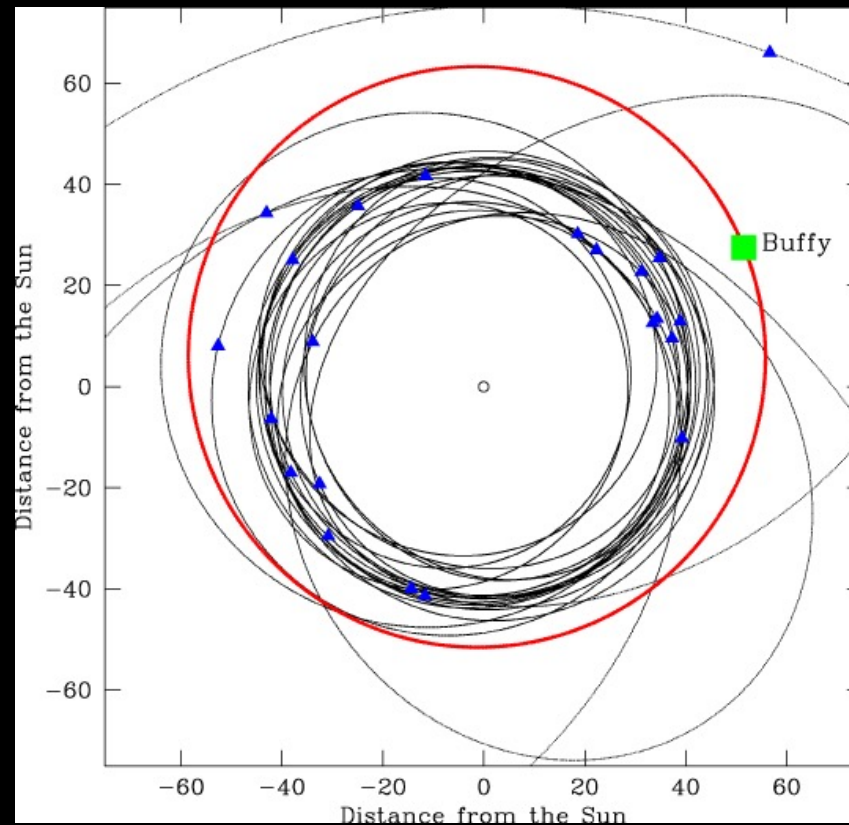
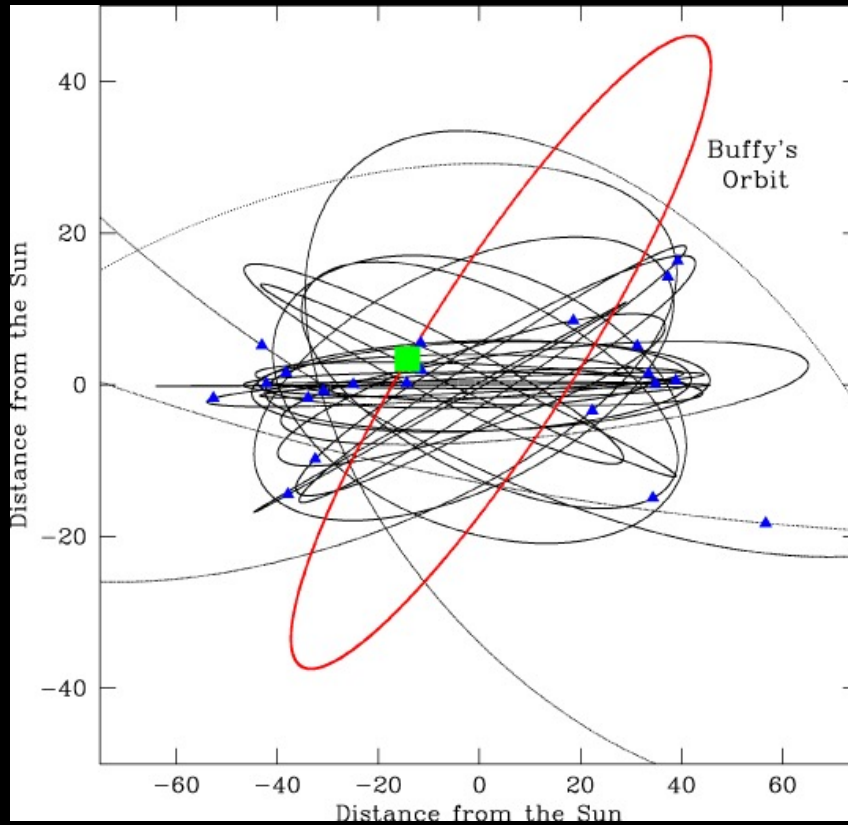
D: Tamaño.

R: Distancia heliocéntrica.

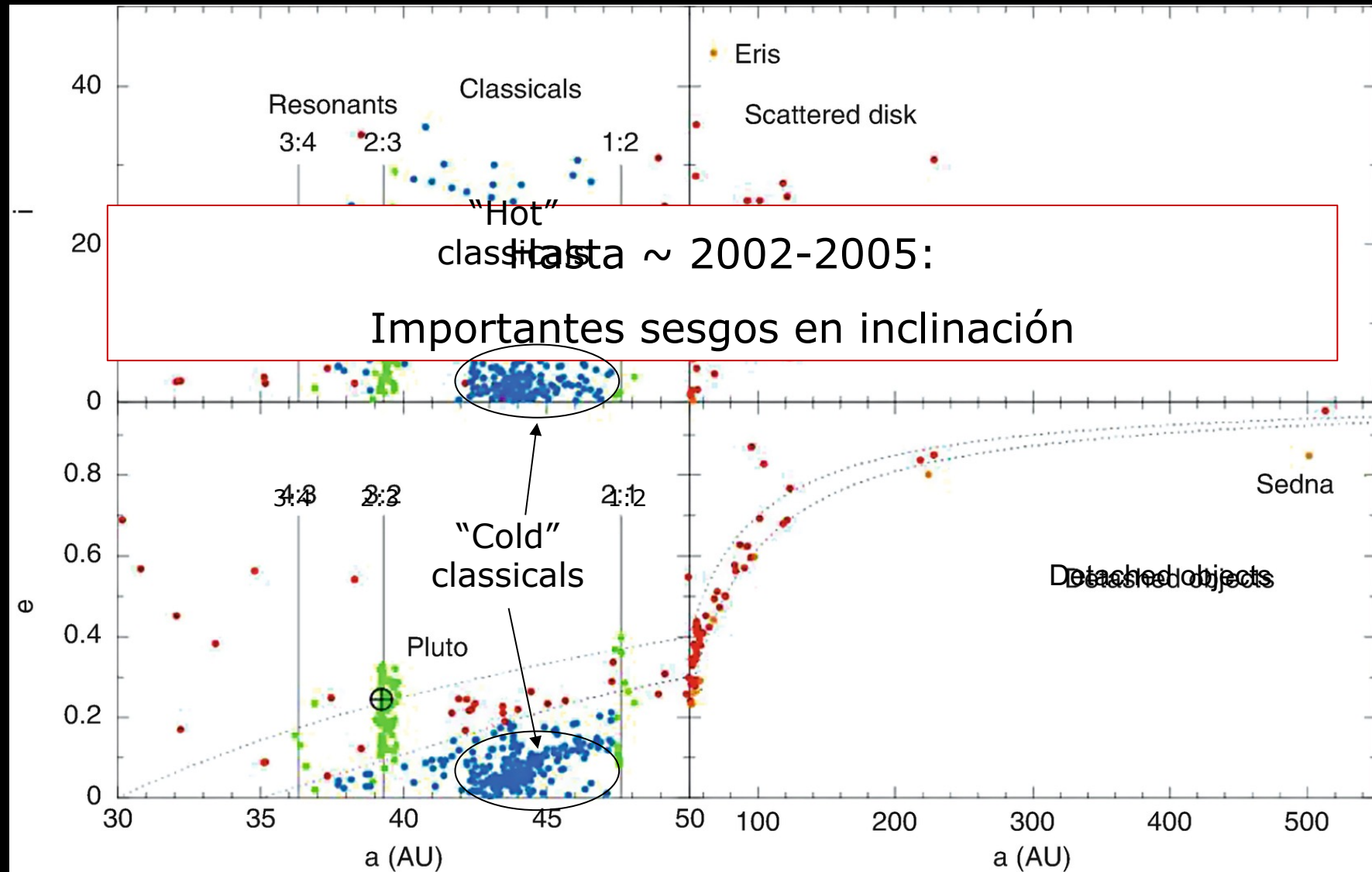
# Órbitas muy excéntricas: ¿normales o exóticas?



# Órbitas muy inclinadas: ¿normales o exóticas?



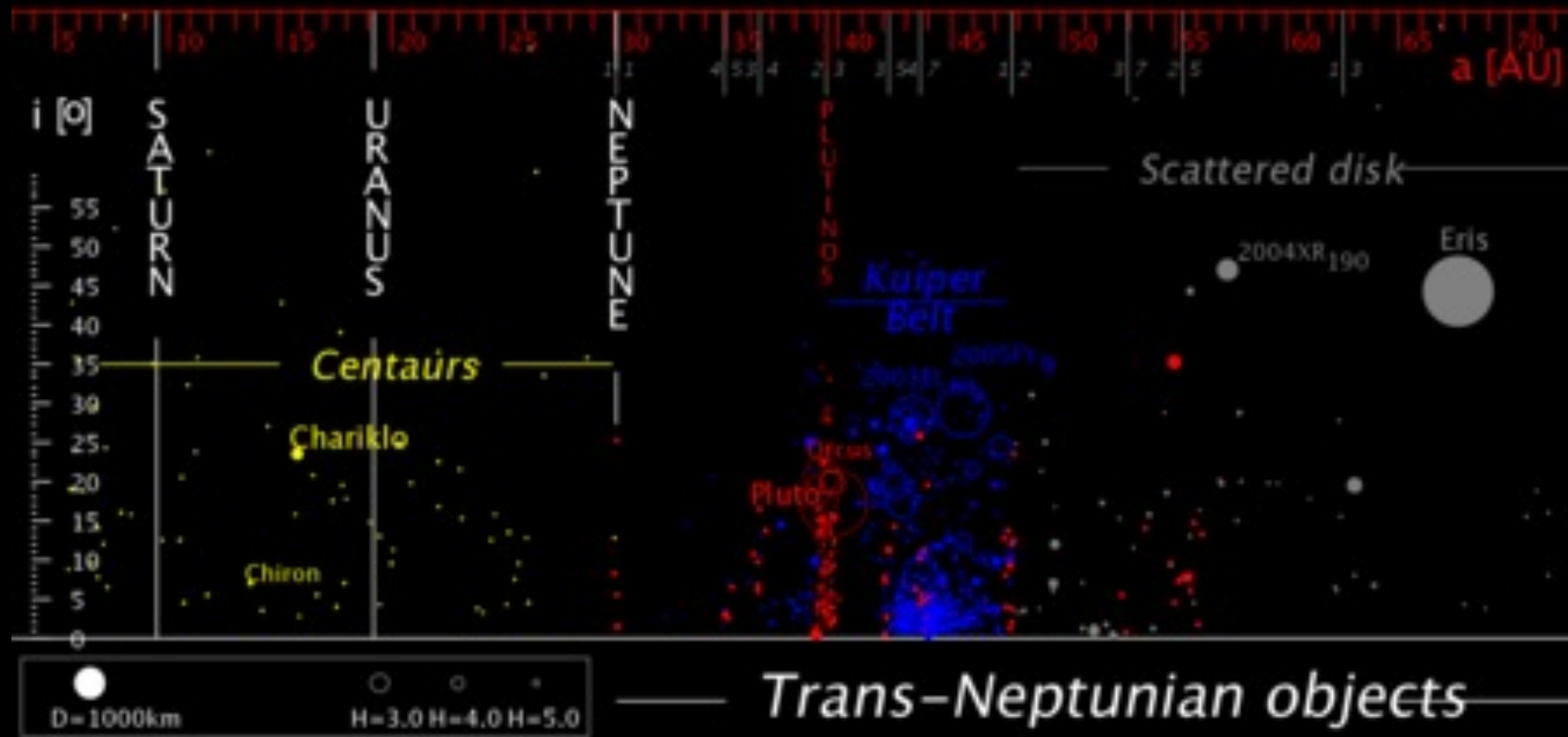
# Distribución de los elementos orbitales



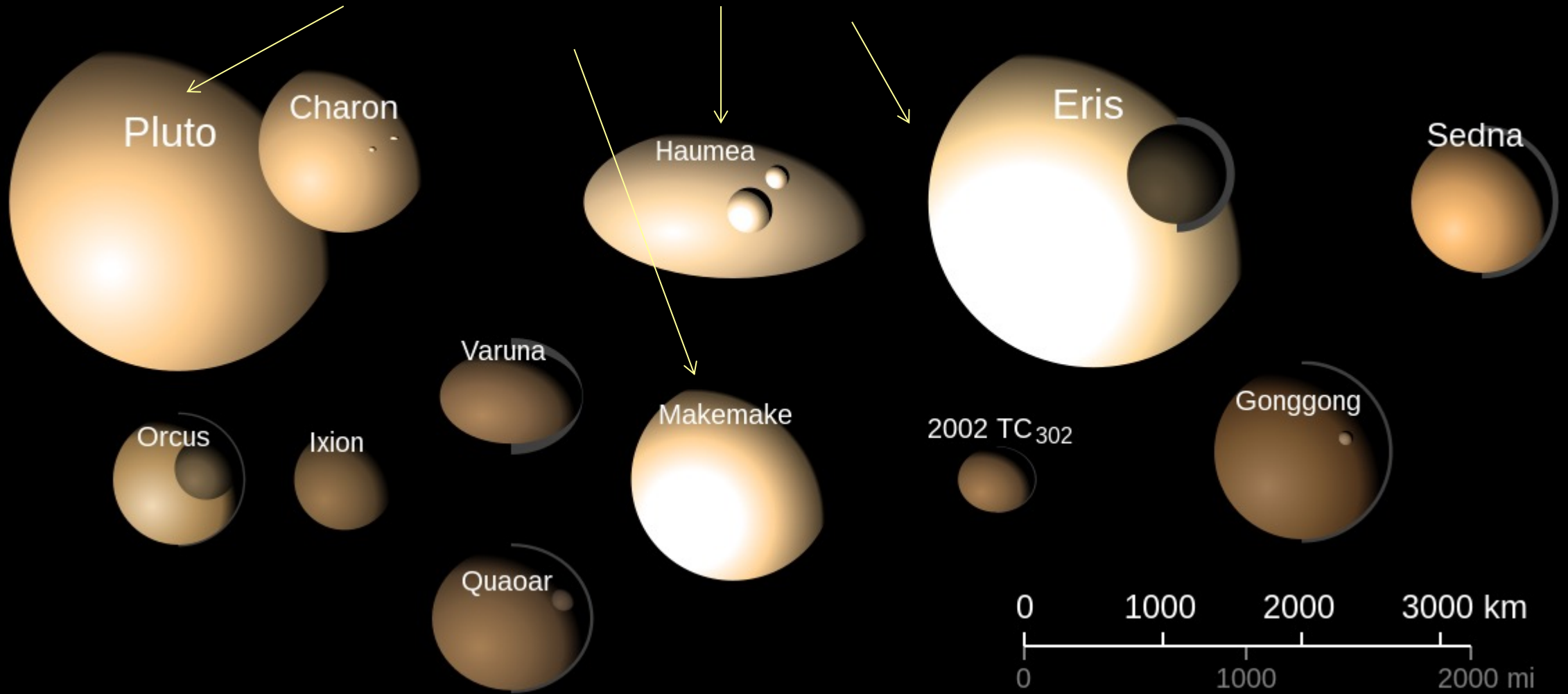
# 'Zoología' de los TNOs



# Una "fauna" muy dispersa en el SS exterior



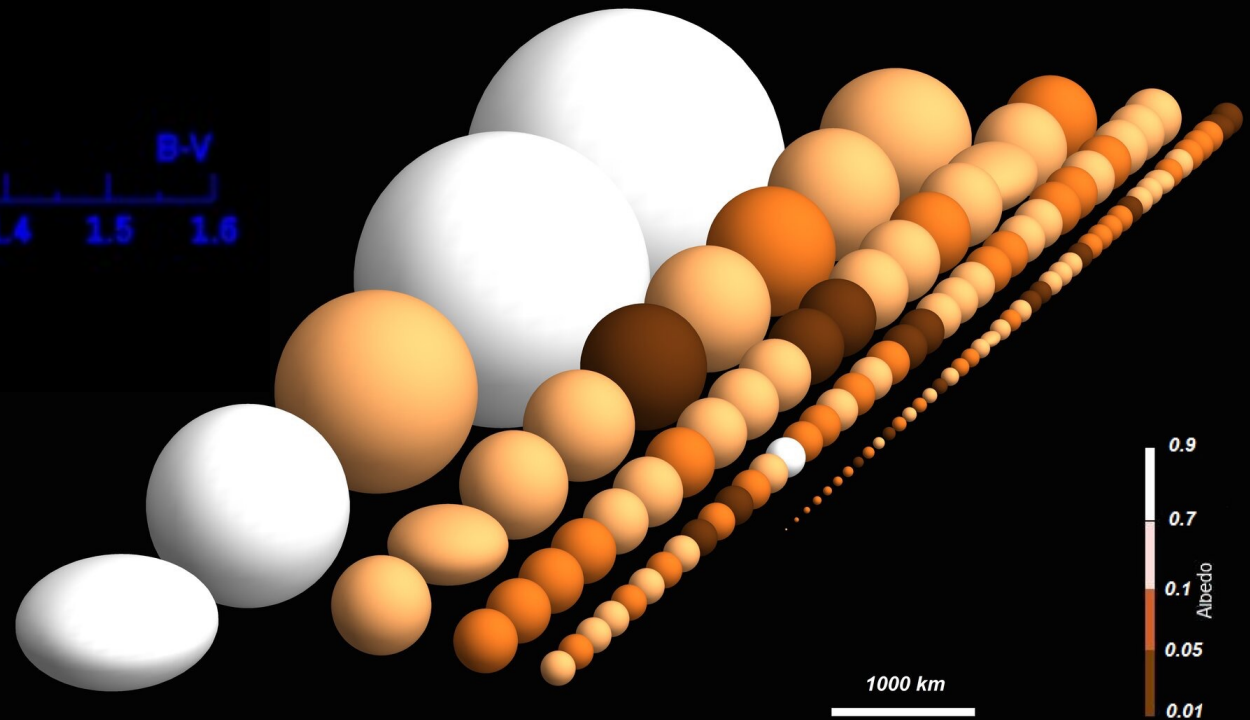
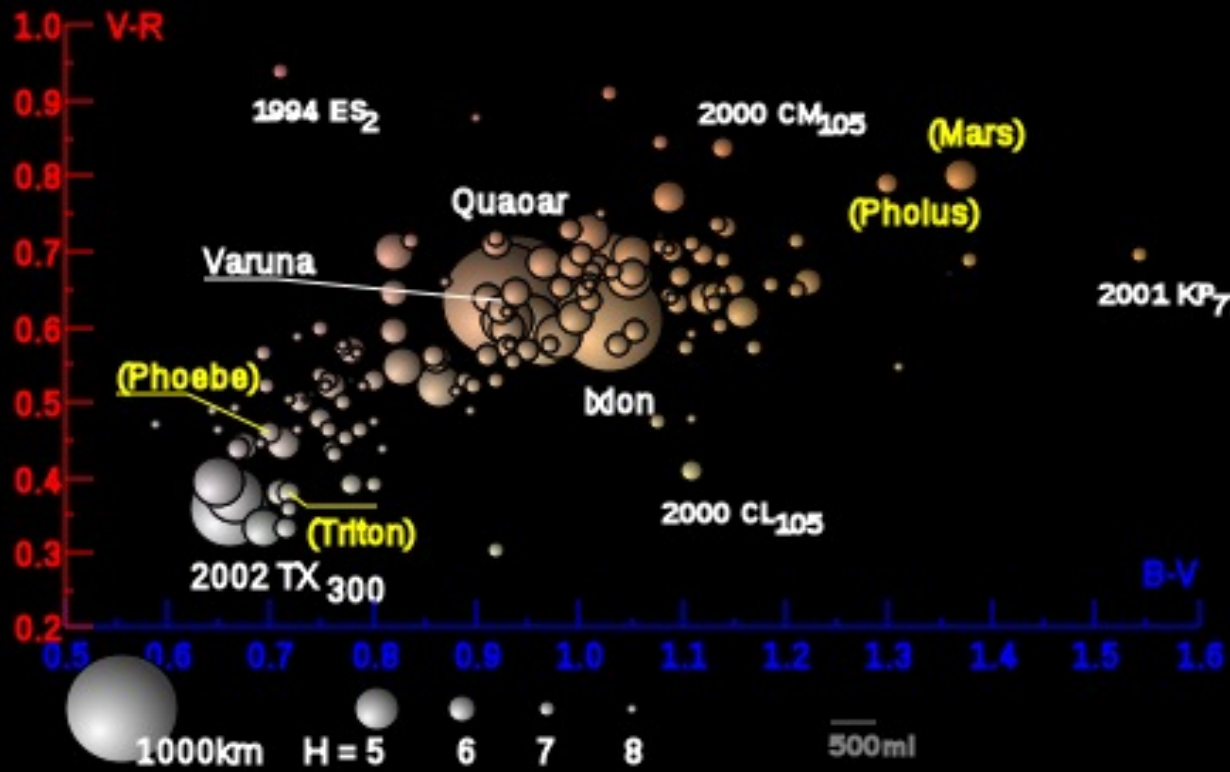
# Dwarf planets (IAU 2006)



TNOs: Variedad de tamaños, formas y colores



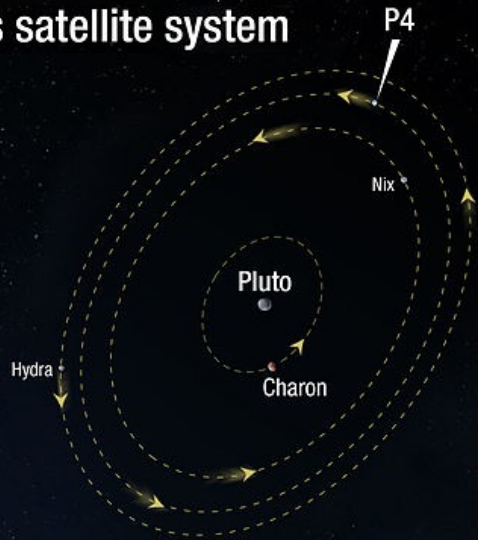
# TNOs: Colores, tamaños y albedos



# Plutón, Caronte, ...



Pluto's satellite system

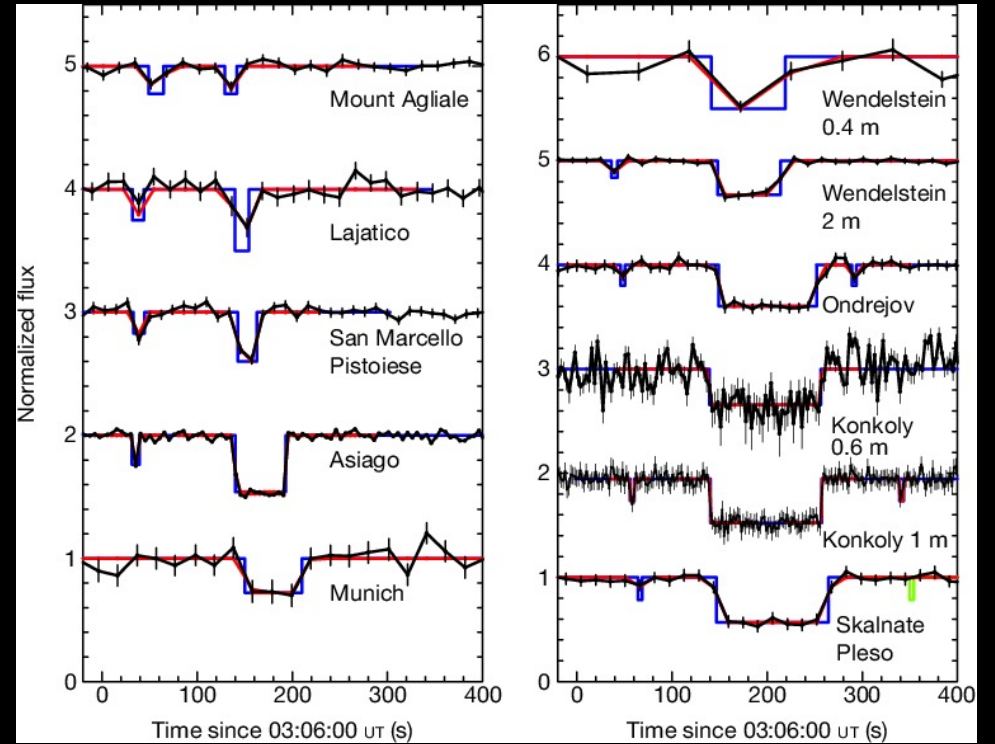
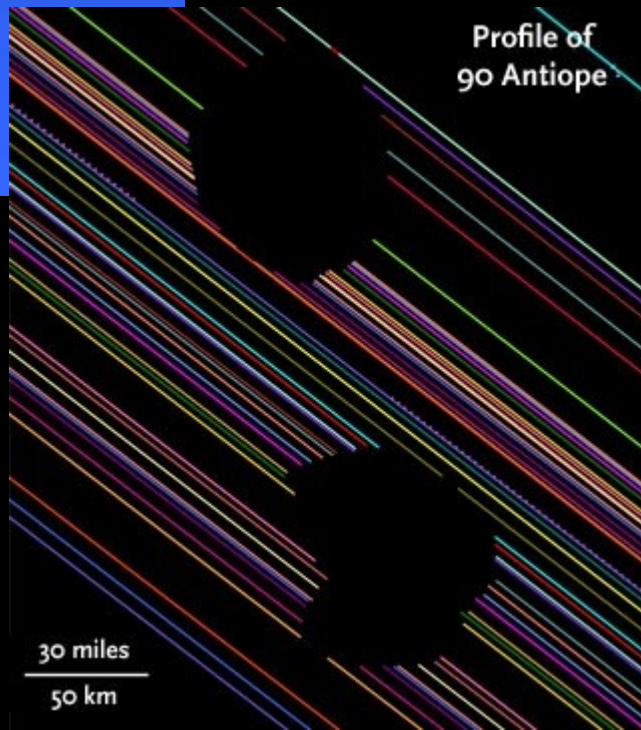
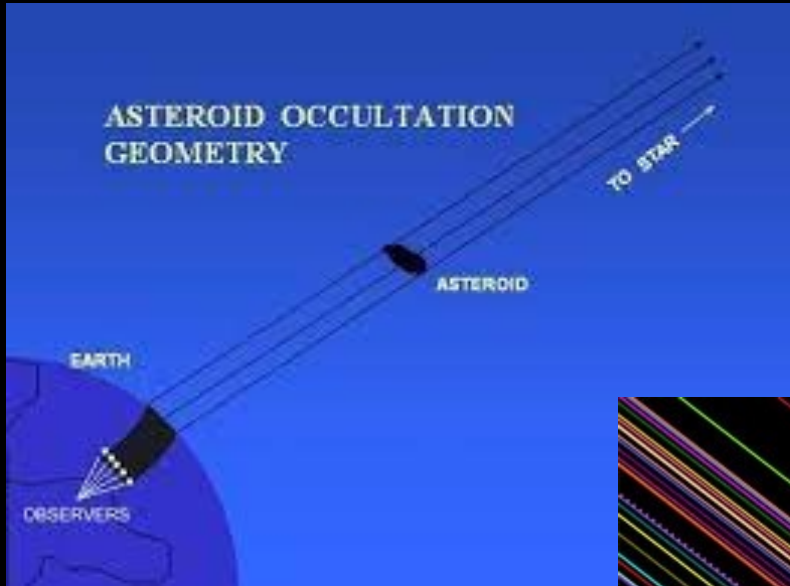


New Horizons (NASA) 2015

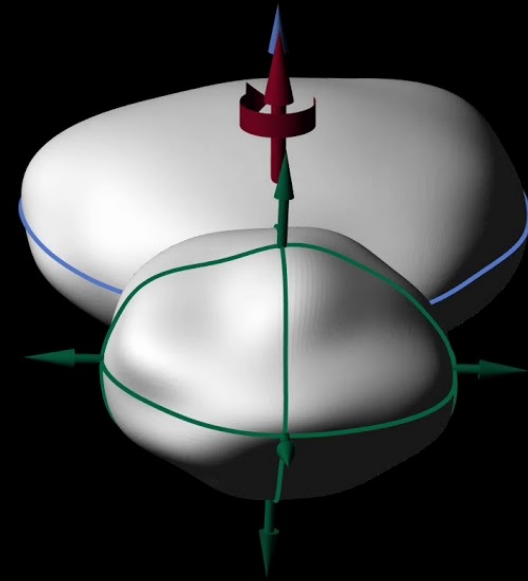


Haumea: dos satélites, un anillo y una "familia"

# La técnica de las ocultaciones estelares



35 km



Arrokoth  
New Horizons (NASA) 2019

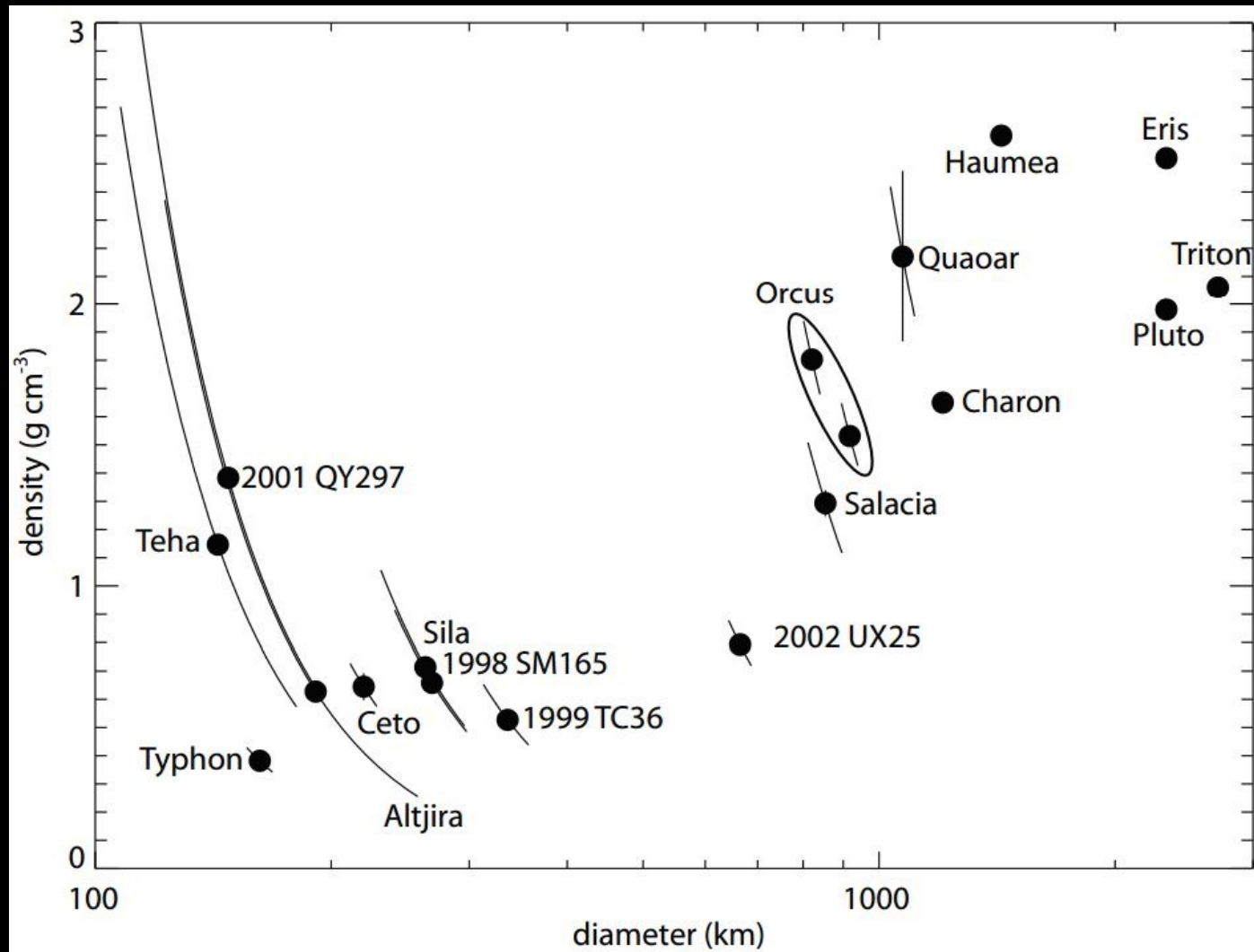
6.5 km



Comet Churyumov-Gerasimenko  
Rosetta (ESA) 2014

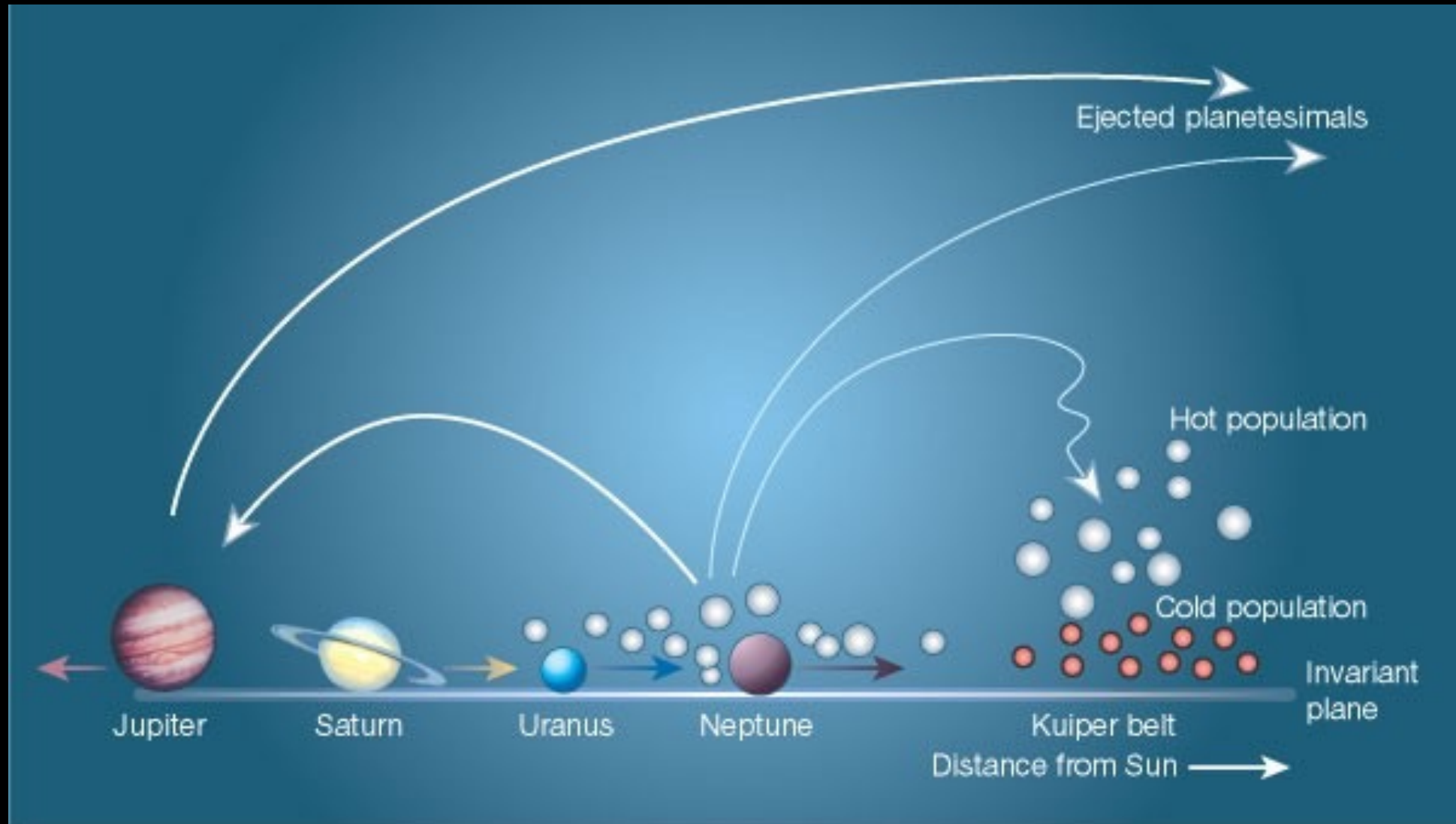


# ¿Relación entre densidad y tamaño?

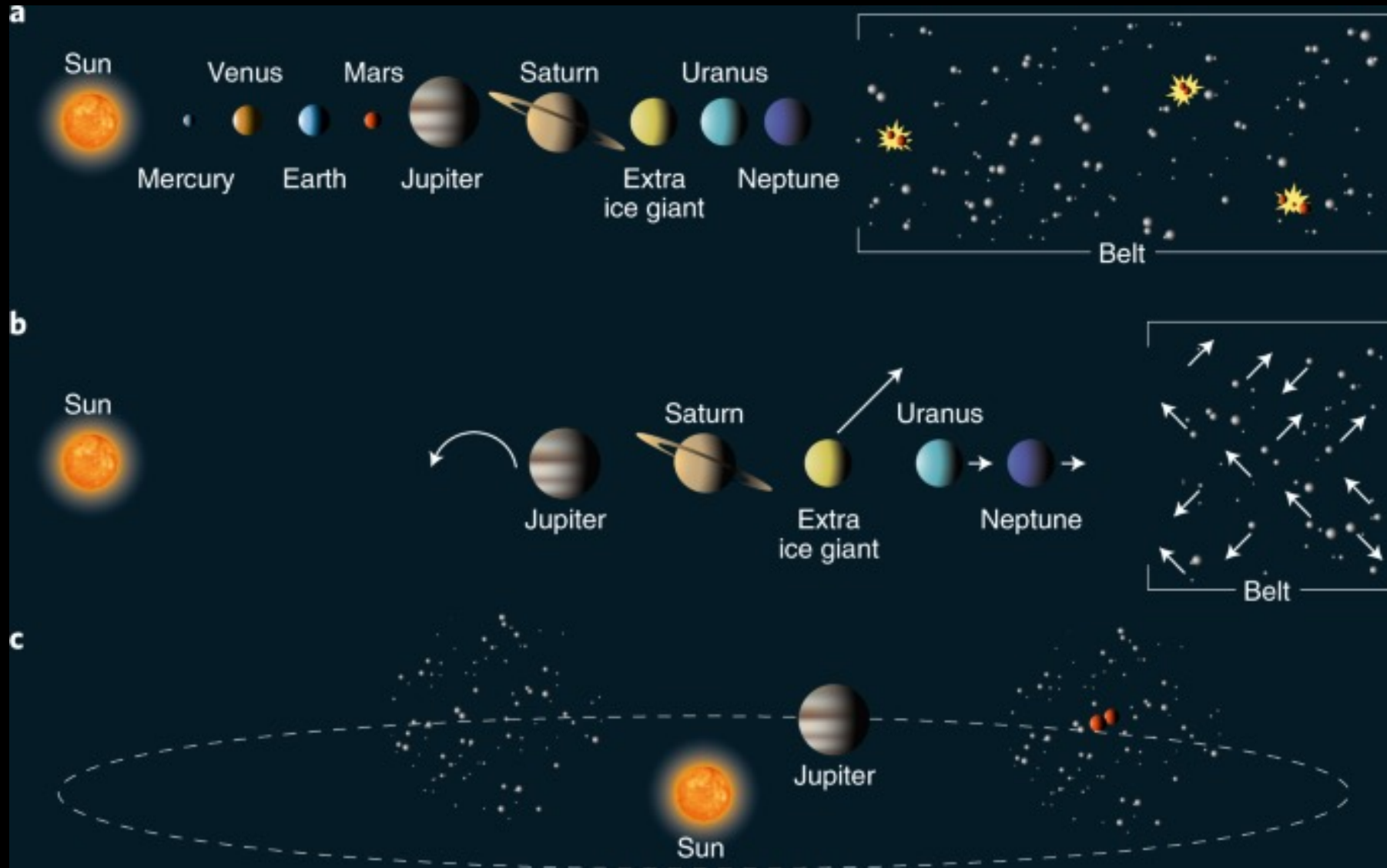


¿Cómo hemos llegado hasta aquí?  
Génesis de los pequeños cuerpos del SS exterior

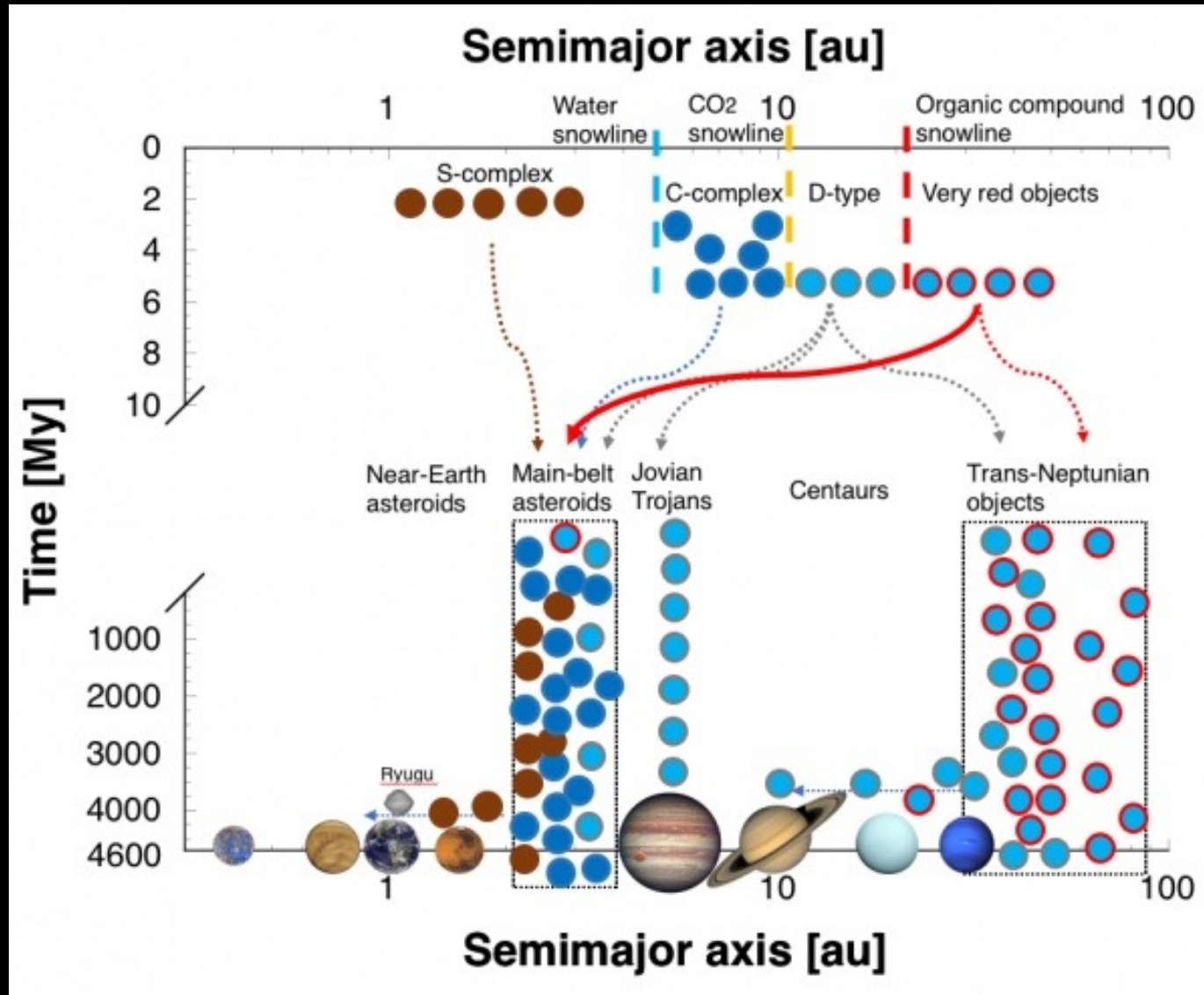
# El 'modelo de Niza'



# El 'modelo de Niza' actualizado (¿...el planeta 9...?)



# El resultado: el sistema solar actual



## Alguna página más de historia del SS

- Fuerte interacción dinámica entre los planetas y el disco primordial de planetesimales (20-30 MT)
  - Migración de los planetas gigantes
  - Vaciamiento del disco primordial (+99%)
  - Formación del cinturón TNOs
  - Formación de la nube de Oort
  - Captura de los Troyanos por Júpiter  
y algunos satélites irregulares + Tritón (Neptuno)
  - Mezcla de cuerpos en el cinturón de asteroides
    - Probable expulsión de cuerpos de masa marciana?
    - Posible expulsión de un planeta gigante?

