

Propiedades de colores y tendencias de los TNOs

Doreessoundiram, Boehnhardy, Tegler & Trujillo
(2007)

1. Introducción.
2. Fotometría de TNOs.
3. Diversidad de colores y gradiente espectral.
4. Distribución de colores.
5. Colores y propiedades superficiales.
6. Origen de la anisotropía de los colores y escenarios propuestos.
7. Conclusiones.

1. Introducción:

La **fotometría** de banda ancha es la única herramienta disponible hasta el momento que permite una **caracterización** completa para un **análisis estadístico**.

Estudiando TNOs se pueden examinar bloques que se conservan de la etapa primordial y así **descubrir el proceso de formación planetario** en nuestro Sistema Solar y en otros.

Con fotometría se logran observaciones de todo el cinturón transneptuniano.

1. Introducción:

Se pueden buscar **correlaciones estadísticas entre los colores y otras propiedades físicas de los TNOs** para entender los procesos de formación y evolución en el sistema solar exterior.

Se cree que los TNOs se formaron todos a la misma distancia del Sol y que evolucionaron de la misma manera. Se esperaba que tuvieran una mayor proporción de rojo en sus superficies pero se encontró que exhibían una **amplia gama de colores**.

1. Introducción:

Dinámicamente, el **cinturón de Edgeworth-Kuiper** está fuertemente estructurado y tiene 4 regiones bien determinadas.

- TNOs resonantes: Los Plutinos, atrapados en resonancias de movimientos medios con Neptuno, en particular están en la 2:3 a 39.4 UA, con órbitas de altas e .
- TNOs clásicos: objetos menos excéntricos, pueblan la región entre las resonancias 1:2 y 2:3 entre 40 y 50 UA.

1. Introducción:

- SDOs: Región menos definida. Objetos con altas e y perihelios cercanos a Neptuno. Se cree que quedaron ahí por interacciones débiles con dicho planeta.
- Centauros: Objetos dinámicamente inestables con semiejes entre Júpiter y Neptuno.

2. Fotometría de TNOs:

- **Estrategias:** Se hace una **caracterización fotométrica** de la reflectancia de los objetos en los espectros para reducir tiempo de telescopios. Se asume que la luz solar es reflejada en las superficies de estos objetos y que **no presentan atmósfera o polvo**. La actividad introducida de los procesos intrínsecos (como **evaporación de gas y actividad cometaria**) y extrínsecos (**impactos**) juegan un papel muy importante en lo que se observa en sus superficies. La observación de TNOs representa un desafío observacional por 3 motivos:

2. Fotometría de TNOs:

1) Son los objetos más **débiles** del Sistema Solar con magnitudes visuales de alrededor de **23 mag.**

Tienen muy baja proporción señal-ruido (SNR) en la fotometría. Se necesita $SNR \sim 30$ para lograr una buena clasificación espectral. Con objetos de este tipo es necesaria mayor **precisión**, y para esto hay que superar 2 problemas:

- **Contribución del cielo.**
- **Contaminación** de fondo de fuentes no visibles como estrellas de campo y galaxias.

2. Fotometría de TNOs:

2) Movimiento relativo al fondo fijo:

Por muy lejanos que se encuentren los TNOs se les advierte un movimiento que **restringe la exposición a cortos tiempos de integración**. El seguimiento de un objeto desfavorece la proporción SRN ya que el flujo se diluye en un área mayor del cielo de fondo. Esto **introduce más ruido**. El tiempo de exposición se elige tal que el seguimiento de un objeto no sea mayor al tamaño del disco de seeing.

2. Fotometría de TNOs:

Una **alternativa** es seguir al objeto a la **velocidad de movimiento propio**.

3) Curvas de luz:

La idea es **medir simultáneamente** el flujo de los cuerpos en los distintos filtros para **evitar variaciones de colores** debido a cambios en el albedo y/o forma del cuerpo por la rotación del mismo.

- **Técnicas de reducción:** Corrección de las observaciones en visible o IR cercano por bias, rayos cósmicos, etc. Las observaciones se realizan **con aperturas pequeñas**.

2. Fotometría de TNOs:

Generalidades:

Se toma como **magnitud absoluta** de un TNO a la magnitud a un ángulo de fase cero, a una distancia unidad entre heliocentro y geocentro.

Lo más importante para caracterizar un cuerpo sólido es el **tamaño**, pero es lo más difícil de determinar, junto con el albedo, porque son necesarias mediciones de las temperaturas.

3. Diversidad de colores y gradiente espectral:

Son parámetros característicos integrales de las propiedades de las superficies:

1. Diagrama color-color de TNOs:

El punto de cero del rojo es el color solar. Se obtienen **variaciones de color** de un dado objeto debido a las **rotaciones** del mismo. Con muchas observaciones se promedia y se obtiene un valor medio del color para ese objeto.

Todas las subclases son de **colores** son **indistinguibles**, es consistente con la idea de **formación en un origen común**.

3. Diversidad de colores y gradiente espectral:

Se observan conjuntos en los diagramas color-color si se consideran diferentes poblaciones de TNOs y Centauros.

Los más **azulados** en las observaciones en IR cercano se usan para identificar objetos con **absorción de hielo** en sus espectros.

Se observa que los colores en el visible están correlacionados mientras que en el IR no
(*Doressoundiram et al., 2002; Delsanti et al., 2006*).

3. Diversidad de colores y gradiente espectral:

Se obtienen diferencias evidentes en los gradientes espectrales de las distintas clases dinámicas:

- Objetos clásicos: son más abundantes en las pendientes rojas.
- Plutinos y SDOs: tienen sus máximos en un rojo moderado.
- Centauros: tienen un máximo doble, uno en rojo fuerte y otro en un rojo más intenso.

2. Distribuciones de colores:

Se estudia si el color es un trazador de procesos físicos.

4. Distribución de colores:

La idea es ver si los colores están relacionados a factores dinámicos y cómo pueden afectar los diversos componentes del Sistema Solar a la composición de los TNOs.

Se utiliza un **criterio de 3.8σ** para tener mayor certeza.

Se utilizan Plutinos y SDOs y no se tienen en cuenta a los Centauros. Se obtiene que sólo **2 poblaciones** del cinturón de Edgeworth-Kuiper **tienen relación entre los colores y sus parámetros orbitales**: los TNOs clásicos y "otros TNOs", con $40 < a < 50$ UA y e

4. Distribución de colores:

muy altas como para considerarlos objetos clásicos, a estos objetos se los llama "near-scattered TNOs".

Se encuentra un cúmulo de objetos con $e < 0.05$ y $i < 5^\circ$, órbitas con $a \sim 40$ UA del Sol, que son estadísticamente muy distintos a los demás TNOs, con una pertenencia del 99%. Tienen **similitudes dinámicas y superficiales** y representarían la primer **familia** taxonómica del cinturón de Kuiper. Se encuentra que las colisiones podrían explicar la dependencia entre colores y elementos orbitales; y una relación entre colores y velocidad cuadrática media e inclinaciones.

5. Colores y propiedades superficiales:

Hay muy pocos objetos conocidos con bandas en sus espectros, por lo que es difícil encontrar una relación entre las bandas de absorción de hielos y/o minerales.

Hay 7 TNOs que tienen bandas de H₂O con rangos de colores entre $B-V=0.63\pm 0.03$ hasta $B-V=0.96\pm 0.08$. Hay 4 que muestran bandas de hielo de CH₄ y 3 con bandas mineralógicas con un rango similar de colores B-V. **No hay correlación evidente entre la presencia de hielo o minerales y los colores B-V.**

5. Colores y propiedades superficiales:

Modelar los colores puede lograr **restringir la composición química**. Se comparan las observaciones con mediciones hechas en laboratorios y se buscan coincidencias de composiciones y tamaños en los granos de las superficies de los TNOs.

Los colores **rojos** se corresponden con **componentes orgánicos** que no se encuentran en la Tierra. (*Cruikshank et al., 1998*).

5. Colores y propiedades superficiales:

En el otro extremo, *Bergh et al., 2005*, encontraron en los espectro visibles e IR de TNOs **grises** comprueban el modelo de Hapke, que tiene **5% de hielo de agua a 40 K, 42% de kerosen y 53% de carbón amorfo.**

En el medio interestelar los kerosenes que se encuentran no son los mismos que en la Tierra, sino que son estructuras inorgánicas.

6. Origen de la anisotropía de los colores y escenarios propuestos:

- Origen primordial:

Gomes 2003 hizo una **simulación dinámica** que predice que mientras **Neptuno migraba** hacia afuera dispersaba los objetos que originalmente estaban a 25 UA del Sol, hacia las órbitas donde se encuentran hoy en día: SDOs, TNOs y Plutinos con altas i .

En contraste, TNOs clásicos con bajas e e i no se vieron perturbados por el paso del planeta.

6. Origen de la anisotropía de los colores y escenarios propuestos:

La pérdida de metano de las superficies recubriría la superficie con hielo de agua incoloro. Si hubiera **metano** se **enrojecería** la superficie proveyendo componentes orgánicos aún si se sublimara el metano. Si la **sublimación** es correcta, los **SDOs**, **TNOs** y **Plutinos** con altas *i* deberían tener superficies **grises** y los **TNOs** con **bajas *i*** deberían ser más **rojos**.

Esto se comprueba para SDOs y TNOs con bajas *i*. Faltan las pruebas para los demás grupos.

6. Origen de la anisotropía de los colores y escenarios propuestos:

- Procesos evolutivos:

Las colisiones y la radiación (produciendo colores azulados y rojizos, respectivamente) tienen escalas de tiempo de millones de años.

Las primeras simulaciones numéricas de *Jewitt & Luu, 1996*, para los colores de TNOs usaban versiones simplificadas para los impactos y el enrojecimiento.

Delsanti et al., 2004, modelaron más los efectos y encontraron que **las colisiones no resultan importantes en los colores del cinturón.**

7. Conclusiones:

Con la **fotometría de banda** ancha se obtienen **ideas de tamaños** de los cuerpos primitivos del Sistema Solar.

Un gran número de TNOs y Centauros tienen superficies muy rojas aunque también se encuentran objetos con colores más neutros.

Se obtiene que:

- **TNOs clásicos de baja i** son más **rojos** que las demás poblaciones.
- Los colores en el visible no están relacionados con el IR cercano .

7. Conclusiones:

- Hay **gran diversidad de colores** de TNOs comparado a otros objetos en el Sistema Solar.

- Hay relaciones entre el color y la velocidad cuadrática media y la i orbital para TNOs clásicos.

No hay un mecanismo que explique la **anisotropía** de colores. Los **impactos no pueden ser el único mecanismo** que explique la distribución de colores.

Hay que modelar más estos efectos para poder explicar los colores.

Hacen falta más observaciones.