

Estudio de los cambios de la distribución de propiedades espectrales de familias dinámicas de asteroides tipo S con la edad

E. Tello^{1,2}, M. Melita^{1,2}, Z. Kaňuchová³, R. Brunetto⁴ & G. Strazzulla⁵

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

³ Astronomical Institute of Slovak Academy of Sciences, Eslovaquia

⁴ Institut d'Astrophysique Spatiale, Université Paris-Saclay-CNRS, Francia

⁵ Osservatorio Astrofisico di Catania, INAF, Italia

Contacto / etello@iafe.uba.ar

Resumen / El cambio de la pendiente de la distribución espectral con la edad de las familias dinámicas de tipo S, causada por el efecto acumulativo de la irradiación cósmica, está bien establecido por diversos autores. Nosotros notamos que si hay una variedad en la composición de la superficie original, entonces la escala de tiempo que determina la velocidad de ese cambio composicional, va a tener un rango de valores como consecuencia de esa variedad. Por lo tanto, así como el valor medio de la distribución de pendientes de la distribución espectral tiende a ser más pronunciado (más rojo) con el paso del tiempo, también debería desarrollarse un sesgo progresivo en esa distribución. Utilizando SDSS-MOC-IV (catálogo que contiene colores) y NEOWISE (catálogo que contiene albedos), determinamos los miembros verdaderos de tipo S. Reteniendo sólo miembros con albedos y colores en el rango característico de los cuerpos de tipo S, corroboramos el cambio de la distribución espectral con la edad y comparamos nuestros resultados con estimaciones anteriores. Utilizando sólo los miembros “verdaderos” de tipo S, también encontramos una correlación significativa entre algunos parámetros de estimación del sesgo y la edad. En conclusión, nuestros resultados ofrecen evidencia adicional de los efectos de la radiación cósmica en superficies asteroidales y proporcionan nuevas formas posibles de determinar la edad de las familias dinámicas de tipo S. También encontramos que el albedo muestra una muy leve tendencia a crecer con la edad.

Abstract / The change of the slope of the spectral distribution with the age of the dynamic families of type S, caused by the cumulative effect of cosmic irradiation, is well established by various authors. We note that if there is a variety in the composition of the original surface, then the time scale that determines the speed of that compositional change, is going to have a range of values like consequence of this variety. Therefore, as well as the mean value of the distribution of slopes of the distribution spectral variation tends to be more pronounced (redder) over time, it should also develop a progressive skew in that distribution. Using SDSS-MOC-IV (catalog containing colors) and NEOWISE (catalog containing albedos), we determined the true members of S-type. Retaining only members with albedos and colors in the range characteristic of S-type bodies, we corroborate the change of the spectral distribution with age and compare our results with previous estimates. Using only the “true” members of type S, we also find a significant connection between some estimation parameters bias and age. In conclusion, our results offer additional evidencetional of the effects of cosmic radiation on asteroidal surfaces and available new possible ways of determine the age of dynamic S-type families. We also found that the albedo shows a very slight tendency to increase with age.

Keywords / minor planets, asteroids: general — interplanetary medium — celestial mechanics

1. Introducción

El cinturón principal de asteroides se puede dividir en tres regiones correspondientes a la zona interna ($2.0 \text{ UA} < a < 2.5 \text{ UA}$, $i < 17.5$ grados), central ($2.5 \text{ UA} < a < 2.82 \text{ UA}$, $i < 17.5$ grados), y exterior ($2.82 \text{ UA} < a < 3.7 \text{ UA}$, $i < 17$ grados), siendo la zona interna la que contiene al mayor número de familias con tipo taxonómico S.

Según Jedicke et al. (2004), Nesvorný et al. (2005), Vernazza et al. (2009), Willman et al. (2010) existe una correlación entre la edad de las familias dinámicas de asteroides de tipo S en el cinturón principal y su color

medio o la pendiente de la distribución de reflectividad espectral.

Melita et al. (2017), muestra que una dispersión compatible con las observaciones de las escalas características de la evolución temporal del color, producen naturalmente un aumento del sesgo de las distribuciones de color con la edad. La dispersión de las escalas se debería a variaciones de la composición de la superficie de los asteroides dentro de la familia. Por lo tanto es de interés estudiar el sesgo de las distribuciones de color de las familias de tipo S con edades bien determinadas.

2. Métodos

Muchos asteroides pueden tener elementos orbitales propios similares pero eso no significa que pertenezcan a la familia (intrusos). Para separar los miembros de tipo S verdaderos de la familia dinámica, usaremos los siguientes criterios:

- $0.1 < p_v < 0.5$ (albedo-NEOWISE), límites típicos aproximados de albedos de asteroides tipo S.
- $0.3 < PC1 < 0.1$ (SDSS-MOC-4), límites típicos aproximados para la 1ra. componente principal (PC1) de asteroides tipo S, según Jedicke et al. (2004) y Nesvorný et al. (2005).
- $|C_j| < 1$, éste parámetro $|C_j|$, nos indica que los cuerpos con $|C_j| > 1$ son sospechosos de ser intrusos dinámicos de la familia, ya que caen fuera de la forma V, que resulta de graficar la magnitud absoluta (H) contra el semieje mayor propio (a_p). La forma V resulta de dos procesos: primero, de la relación entre la velocidad y la masa, y el segundo proceso y típicamente más dominante en la forma V, es aportada por el efecto Yarkovsky, de cuya pendiente puede deducirse la edad. (Ver Nesvorný et al. (2015)).

Para éste trabajo usamos los datos de los colores del SDSS-MOC-IV* que posee 471569 registros. Entre los campos se encuentran los 5 colores: u' , g' , r' , i' y z' y los colores derivados Johnson V y B. De estos 471569 registros de asteroides, sólo tomamos aquellos que: poseen la numeración respectiva del asteroide, magnitud (u' , g' , r' , i' , z') < 29 y error de magnitud $< 10\%$; luego promediamos las magnitudes de colores de los asteroides repetidos en dicho catálogo, resultando sólo 20647 asteroides como producto del tratamiento de los datos.

También trabajamos con el catálogo NEOWISE (albedos), que posee 183412 registros de asteroides, que luego de su respectivo tratamiento nos quedó 128188 datos.

Calculamos los índices de color intrínsecas corregidas por los colores solares y analizamos ($u-g$), ($g-r$), ($g-i$) y ($g-z$) donde, según Willman et al. (2010):

$$\begin{aligned} u-g &= u' - g' - 1.43, \\ g-r &= g' - r' - 0.44, \\ g-i &= g' - i' - 0.55, \\ g-z &= g' - z' - 0.58. \end{aligned} \quad (1)$$

Luego realizamos el análisis de componentes principales (PCA)** a los índices de colores dados en el párrafo anterior para obtener PC1 y PC2.

En nuestro trabajo usamos el Lenguaje R para calcular las componentes principales PC1 y PC2, cuya ecuación de transformación es la siguiente:

$$\begin{aligned} PC1 &= 0.4836038(u-g) + 0.4237568(g-r) \\ &\quad + 0.6009774(g-i) + 0.474746(g-z), \\ PC2 &= -0.8505989(u-g) + 0.1726383(g-r) \\ &\quad + 0.2055909(g-i) + 0.4521171(g-z). \end{aligned} \quad (2)$$

Las componentes principales PC1 y PC2 halladas por nosotros según la Ec. 2, son similares a las de Nesvorný et al. (2005).

*<https://sbn.psi.edu/pds/resource/sdssmoc.html>

**El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica estadística que tiene aplicaciones en muchos campos y que permite proyectar información de conjuntos de datos de alta dimensión a un conjunto de dimensión más baja.

La ecuación usada por Jedicke et al. (2004), Willman et al. (2010) y que nosotros también usamos para modelar la variación de la primera componente (PC1) del catálogo SDSS (Sloan Digital Sky Survey) a través del tiempo, es del tipo:

$$PC1(t) = PC1(0) + \Delta PC1(1 - e^{-(\frac{t}{\tau})^\alpha}). \quad (3)$$

3. Resultados

En la Tabla 1 se puede apreciar en la 2da. columna: el número de asteroides de las familias de Nesvorný (Nesvorný et al. (2015)). En la 3ra. columna: el número de asteroides encontrados en SDSS y NEOWISE sin aplicar los criterios de PC1, albedo y $|C_j|$ (intrusos). En la 4ta. columna el número de asteroides encontrados en SDSS y NEOWISE considerando los criterios mencionados de los asteroides intrusos. En la 5ta. y 6ta. columna la media de PC1 y su error respectivamente. Y por último en la 7ma. y 8va. columna la media de albedo y su error respectivamente.

El promedio de los valores medios de albedo de las familias consideradas aquí, de las que fueron excluidos objetos por criterio de color, albedo y $|C_j|$, tienen una diferencia de aproximadamente un 1% respecto de lo obtenido por Masiero et al. (2015), y la diferencia respecto de los valores reportados por Nesvorný et al. (2015) es del orden del 20%, en oposición a lo esperado, dado que éste último elimina objetos con $|C_j| > 1$, a pesar de que los valores algo superiores son más compatibles con la tipología tipo S.

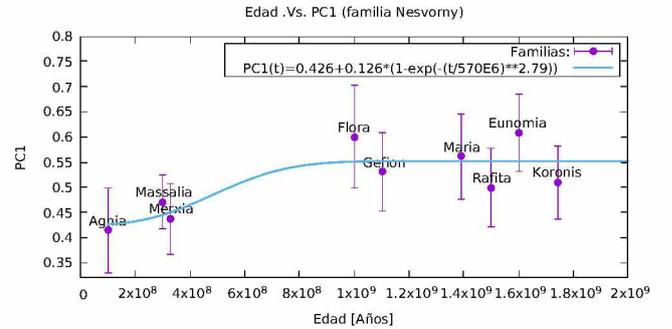


Figura 1: Podemos apreciar la curva de PC1 con la edad para las diversas familias de Nesvorný, donde se realizó un ajuste con la Ec. 3, cuyos parámetros resultaron: $PC1(0) = 0.426 \pm 0.049$, $\Delta PC1 = 0.126 \pm 0.055$, $\tau = 570 \pm 220$ My, $\alpha = 2.79 \pm 4.432$. Varianza residual (chic cuadrado reducido) = 0.0019450

4. Conclusiones

- Los criterios de albedo y PC1 nos permiten saber si el asteroide corresponde al tipo taxonómico S y el criterio de $|C_j|$ si pertenece a la familia dinámica.
- En la Fig. 1, observamos que la componente PC1 aumenta con la edad de las familias, enrojeciéndose con el tiempo debido a la irradiación cósmica de acuerdo a lo ya conocido en la literatura por Willman et al. (2010). De la misma forma apreciamos en la Fig. 2

Familias	N(Nesvorny) integrantes	N(SDSS y NW) con intrusos	N(SDSS y NW) sin intrusos	M.PC1	± Error	M.Albedo	± Error
Flora(8)	13786	565	427	0.600153	0.101724	0.306210	0.0757972
Massalia(20)	6424	33	22	0.470827	0.0534235	0.245136	0.0626479
Eunomia(15)	5670	408	378	0.608161	0.0759827	0.275211	0.0694027
Maria(170)	2940	162	155	0.561536	0.0838021	0.266431	0.0682462
Merxia(808)	1215	14	9	0.437549	0.0697254	0.224889	0.0606198
Agnia(847)	2125	26	16	0.414743	0.0846631	0.242906	0.0630546
Gefion(272)	2547	136	124	0.530878	0.0773709	0.272645	0.0703743
Rafita(1644)	1295	33	25	0.499189	0.0784122	0.242500	0.0583454
Koronis(1589)	5949	263	254	0.509452	0.0721513	0.238545	0.0614124

Tabla 1: Datos de los números de asteroides (SDSS y NEOWISE (NW)) con intrusos y sin intrusos, como también la media de PC1 (M.PC1) y media de albedo (M.Albedo) con sus respectivos errores.

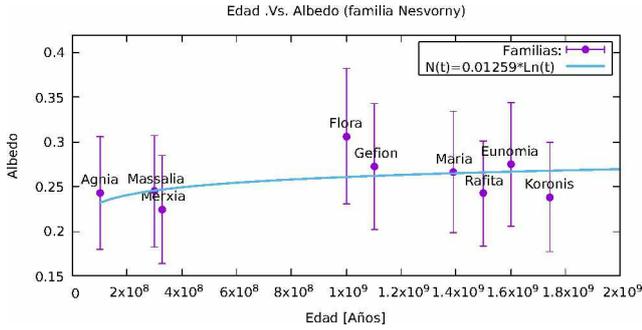


Figura 2: Podemos apreciar que la curva del albedo con la edad (ajuste: $N(t) = a \cdot \ln(t)$), posee una muy leve pendiente positiva, cuyo parámetro del ajuste: $a = 0.01259 \pm 0.0003762$. Varianza residual (chic cuadrado reducido) = 0.000532108

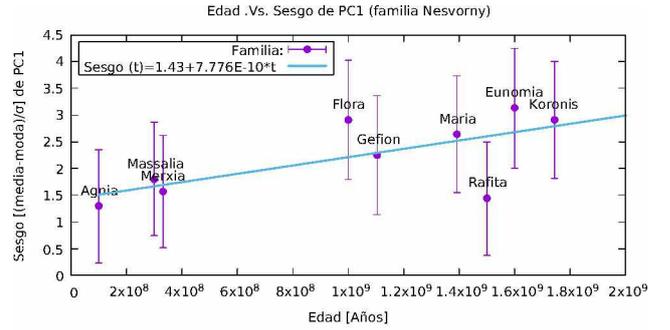


Figura 4: Curva del sesgo vs. PC1, vemos que el sesgo aumenta con la edad. Se ajustó a $sesgo(t) = a + b \cdot t$, con $a = 1.43 \pm 0.3674$ y $b = 7.776E-10 \pm 3.154E-10$. Con varianza residual (chic cuadrado reducido) = 0.305788

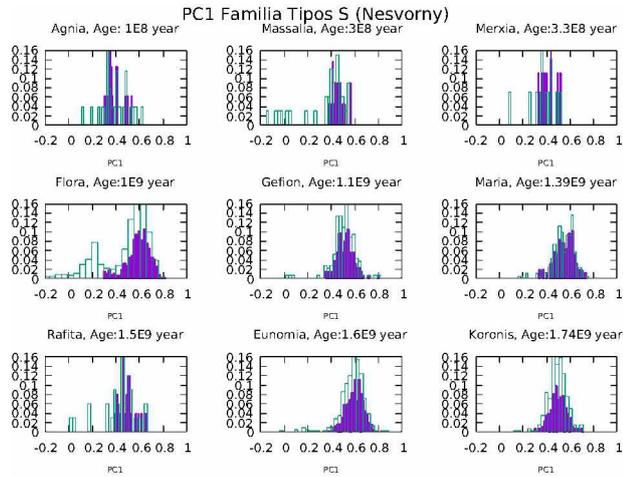


Figura 3: Histogramas de PC1 en el eje X y la frecuencia en el eje Y de familias dinámicas de tipo S (los de color lila sin intrusos y los de color verde con intrusos).

que el albedo muestra una muy leve tendencia a crecer con la edad, que debería ser corroborada con más datos.

- En la Fig. 3, vemos que hay muchos asteroides intrusos que no cumplen con los criterios de albedo, PC1

y $|C_j|$. Vemos que la familia de Flora posee miembros de diversos tipos taxonómicos según el análisis de componentes principales.

- En la Fig. 4, podemos apreciar que hay una correlación positiva entre el sesgo y la edad.

Agradecimientos: Se agradecen los comentarios del revisor que han permitido mejorar el artículo notablemente.

Referencias

- Jedicke R., et al., 2004, *Nature*, 429, 275
 Masiero J.R., et al., 2015, *Asteroids IV*, 323–340
 Melita M., et al., 2017, Study of the ageing and rejuvenating processes affecting asteroid Itokawa. *Asteroids Comets Meteors 2017*. Montevideo, Uruguay.
 Nesvorný D., Brož M., Carruba V., 2015, *Asteroids IV*, 297–321
 Nesvorný D., et al., 2005, *Icarus*, 173, 132
 Vernazza P., et al., 2009, *Nature*, 458, 993
 Willman M., et al., 2010, *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts #42*, *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts*, vol. 42, 39.10