

SISTEMA SOLAR

Actividad Guiada 1:
Práctica composición mineralógica de asteroides



Máster en Astronomía y Astrofísica
Profesor VIU: Juan Gutiérrez Soto
e-mail: juan.gutierrez@campusviu.es

Índice

1. Objetivo	1
2. Introducción	1
3. Características espectrales de los minerales más frecuentes	1
4. Espectro de reflexión de un asteroide	3
5. Clasificación taxonómica: los tipos espectrales	4
6. El programa VOSPEC: visualización de espectros	7
7. Instrucciones para clasificar espectros	10
Bibliografía	11

1. Objetivo

- Familiarizarse con los espectros de los asteroides.
- Conocer los diferentes tipos de asteroides a partir de su espectro y su relación con las especies minerales.
- Saber clasificar los espectros de los asteroides según su clase taxonómica.

2. Introducción

Los asteroides son cuerpos celestes que orbitan alrededor del Sol y que no poseen atmósfera detectable, compuestos principalmente por materiales rocosos o metálicos. En la actualidad hay catalogados unos 400.000 y se diferencian en tamaño, masa, período de rotación, forma y composición superficial. Estas propiedades se pueden determinar por medio de técnicas astrométricas, fotométricas y espectroscópicas. En esta actividad guiada nos centramos en la composición de los asteroides y sus propiedades mineralógicas a partir de su espectro en el visible y en el infrarrojo.

3. Características espectrales de los minerales más frecuentes

La caracterización de la composición del material de la superficie de un asteroide se basa en la interpretación de propiedades de diagnóstico observables para determinar la presencia, abundancia y/o composición de una o más especies minerales o químicas. Estas especies minerales se analizan en el laboratorio empleando espectros de transmisión y reflexión, simulando diferentes ángulos de visión y de incidencia, variando la temperatura, el tamaño de grano, los porcentajes de las fases minerales cuando se trata de mezclas, etc. Todas estas calibraciones nos ayudan a caracterizar el espectro de reflexión del asteroide que vamos a estudiar.

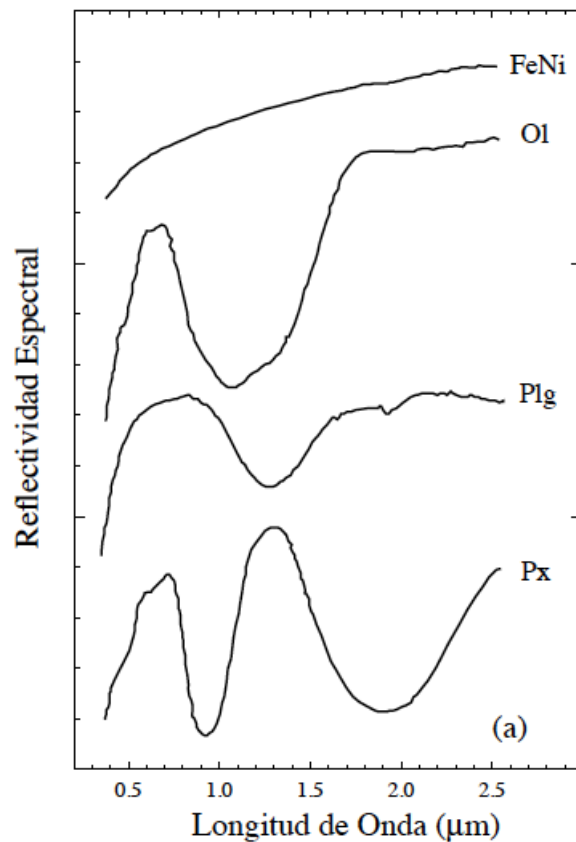


Figura 1: Espectros de reflexión de varios minerales o agrupaciones de minerales de importancia meteorítica. (a) Reflectividades espectrales de olivina (Ol), plagioclasa (Plg), piroxeno (Px) y metal hierro-níquel (FeNi);

Así pues, la espectroscopía de reflexión en el visible y el infrarrojo cercano, es la técnica indirecta más sensible y más comúnmente empleada para caracterizar la composición de los asteroides. Las características de diagnóstico en estos espectros provienen de transiciones vibracionales y electrónicas dentro de especies moleculares o minerales específicas.

En la Fig. 1 se muestra los espectros de reflexión de varias especies minerales más comunes en las superficies de los asteroides rocosos y en los meteoritos. Cada especie presenta su característica espectral distintiva. Por ejemplo, la olivina presenta una banda ancha de absorción centrada en 1 μm , formada por la superposición de tres bandas individuales, mientras que el piroxeno muestra un par de absorciones cerca de 1 y 2 μm , cuya posición

depende, entre otras cosas, del mayor o menor contenido de calcio y hierro del mineral.

Muchos meteoritos y, presumiblemente, la mayoría de los asteroides, están compuestos por una mezcla de dos o más minerales.

4. Espectro de reflexión de un asteroide

En la Fig. 2 tenemos un ejemplo de un espectro de un asteroide, una estrella análoga solar, y el resultado de dividir el uno por el otro. Los datos son en el visible, tomados con el espectrógrafo CAFOS en el 2.2m de Calar Alto, usando el grisma R-400, que tiene una resolución de 9.65 Å/pixel.

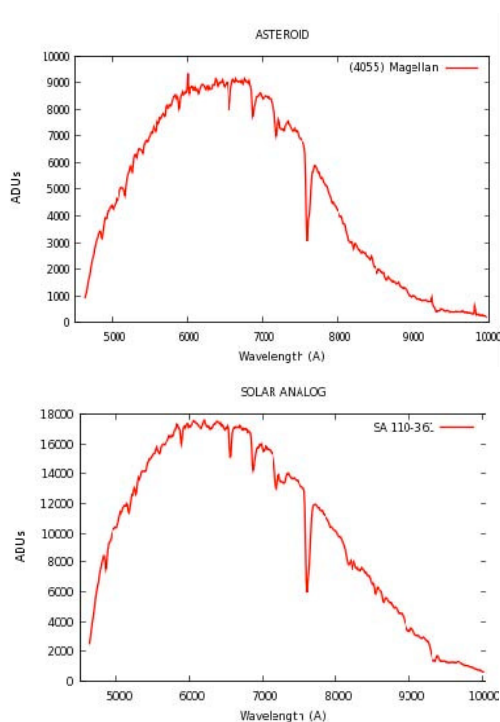


Figura 2: Panel de arriba: Ejemplo de espectro de un asteroide. Panel de abajo: Espectro de una estrella análoga solar. Las unidades son cuentas (ADUs) vs Amstrongs.

Como se puede ver, el espectro del asteroide y el de la estrella análoga solar son muy parecidos. Eso es porque hay que quitar la contribución de la

luz solar en el espectro del asteroide. Recordad que los asteroides no emiten luz. La luz y por tanto el espectro observado, es un espectro de reflexión. Por tanto, se divide el espectro del asteroide por el de la estrella análoga solar, obteniendo el espectro de la Fig. 3

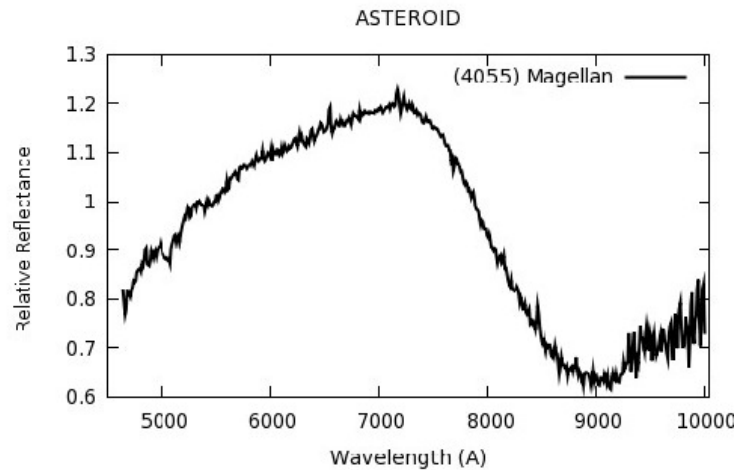


Figura 3: Espectro de reflexión de un asteroide tipo V.

En este caso, dado que se trata de un asteroide tipo V, es decir, un asteroide compuesto principalmente por silicatos como el piroxeno y el olivino, podemos ver la típica banda de absorción centrada en torno a 9000 Å, y que es debida a dichos silicatos. La forma de los espectros de reflexión de los asteroides nos ayuda a determinar de qué está compuesta su superficie.

5. Clasificación taxonómica: los tipos espectrales

Cuando empezaron a tomarse espectros en el visible, se creó una taxonomía usando letras para diferenciar los diferentes tipos de materiales que se pueden encontrar en la superficie de estos cuerpos.

La primera y la más conocida es la taxonomía de Tholen (1984), desarrollada a partir de un survey de unos 800 asteroides. En vez de espectros, utilizó 8 filtros, desde el ultravioleta hasta el infrarrojo cercano (Eight-Color Asteroid Survey), y definió 14 clases, dibujados en la Fig. 4.

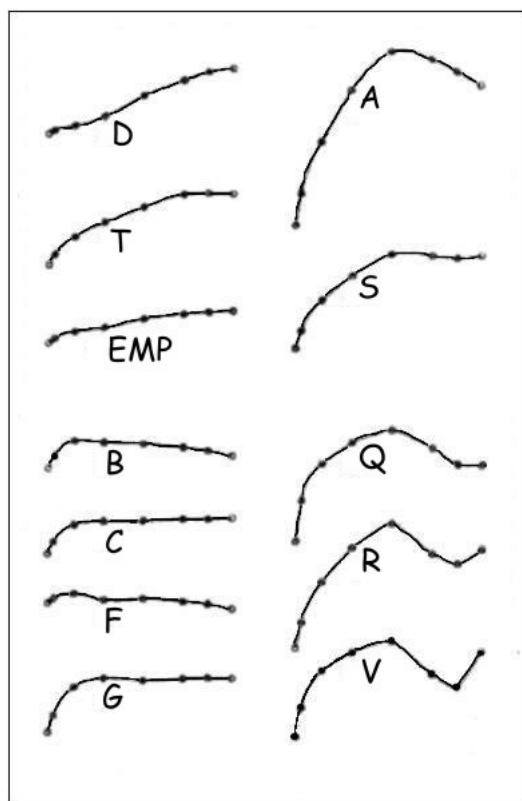


Figura 4: clases taxonómicas definidas por Tholen (1984) a partir de colores espectrofotométricos (Zellner et al. 1985).

En la Fig. 4, los espectros de la izquierda son los que llamamos “carbónáceos” (**complejo C**), y corresponden a asteroides cubiertos de material oscuro, tipo carbono, elementos opacos como la magnetita, incluso elementos orgánicos. Son asteroides más primitivos y menos procesados. Los de la derecha los llamamos “rocosos”, porque están compuestos principalmente por silicatos (**complejo S**), sobre todo piroxenos, feldespatos y olivinos. Su superficie es más brillante y son más fáciles de caracterizar, por la presencia de las bandas de absorción.

Utilizando espectros (en vez de colores) de más de 1300 asteroides, Bus & Binzel (2002a,b), hicieron una extensión de la taxonomía de Tholen, definiendo nuevas sub-clases, hasta tener un total de 22. Se pueden ver en la Fig. 5

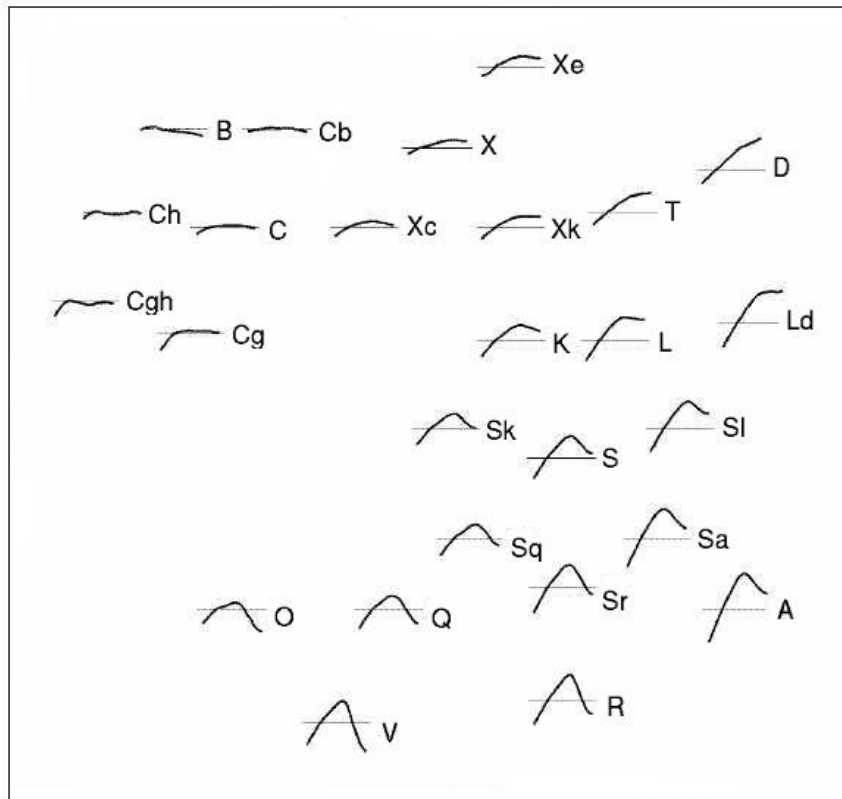


Figura 5: Extensión de las clases taxonómicas de Tholen realizada por Bus & Binzel (2002a,2002b), a partir de espectros de reflexión en el rango visible.

En realidad, para conocer bien la composición mineralógica de un asteroide hace falta, como mínimo, extender las observaciones hacia el infrarrojo cercano, hasta unas $2.5 \mu\text{m}$. De hecho, si queremos ser muy precisos, lo ideal es cubrir también hasta unas 3-5 micras, dado que hay muchos minerales, como los filosilicatos, que son silicatos que se han visto alterados por la presencia de agua, que tiene sus bandas de absorción más características centradas a 3 micras.

En la Fig. 6 tenemos un ejemplo de la taxonomía anterior, la de Bus & Binzel (2002a,b), pero extendida hasta 2.5 micras. Esta es la taxonomía de DeMeo (2009). En la Fig. 6 se pueden ver claramente los dos grandes grupos de carbonáceos (a la izquierda) y rocosos (a la derecha), pero con muchas sub-clases. Los asteroide tipo V (por Vesta), tienen dos bandas de absorción

características, a 0.9 y 2.0 micras, debidas a la presencia de piroxeno (silicato). Los asteroide tipo A, tienen también una banda, centrada a 1.0 micras, que se debe al olivino, también un silicato. Los tipo D, tienen una pendiente muy roja, y se cree que es debido a la presencia de orgánicos. Los tipo B tienen una pendiente azul (la B viene de Blue), y todavía no se sabe muy bien qué tipo de materiales producen este tipo de espectro.

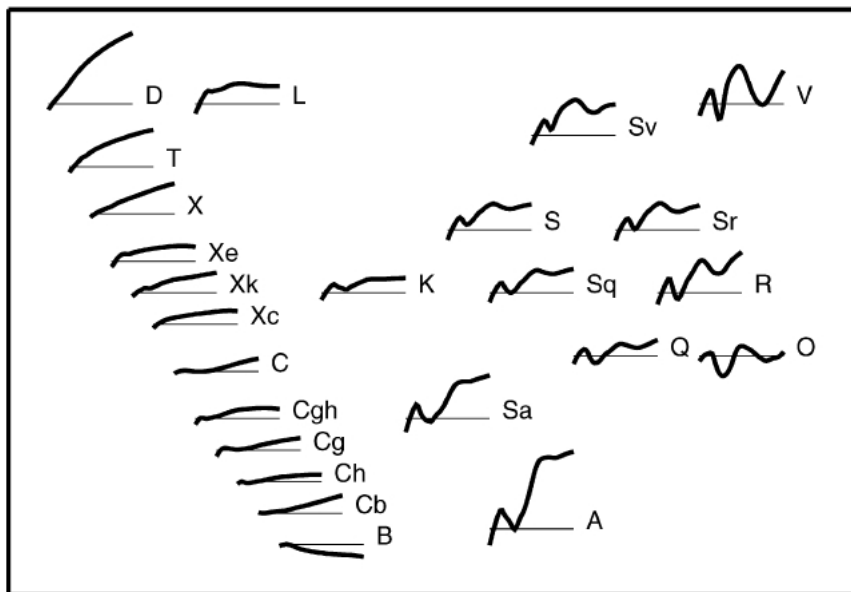


Figura 6: Extensión de las clases taxonómicas por DeMeo (2009), a partir de espectros de reflexión en el rango visible e infrarrojo.

6. El programa VOSPEC: visualización de espectros

VOSpec es una herramienta de Observatorio Virtual para la visualización y análisis de espectros y distribuciones espectrales de energía, desarrollada por el equipo de Observatorio Virtual de la Agencia Espacial Europea (ESAVO). Como todas las aplicaciones VO, VOSpec se comunica e interacciona con otras herramientas que siguen este protocolo. Así, por ejemplo, es posible enviar los espectros, en forma de tabla, a la aplicación TOPCAT para trabajar con ellas. Podemos lanzar VOSpec desde la dirección web: <http://esavo.esa.int/vospec/>

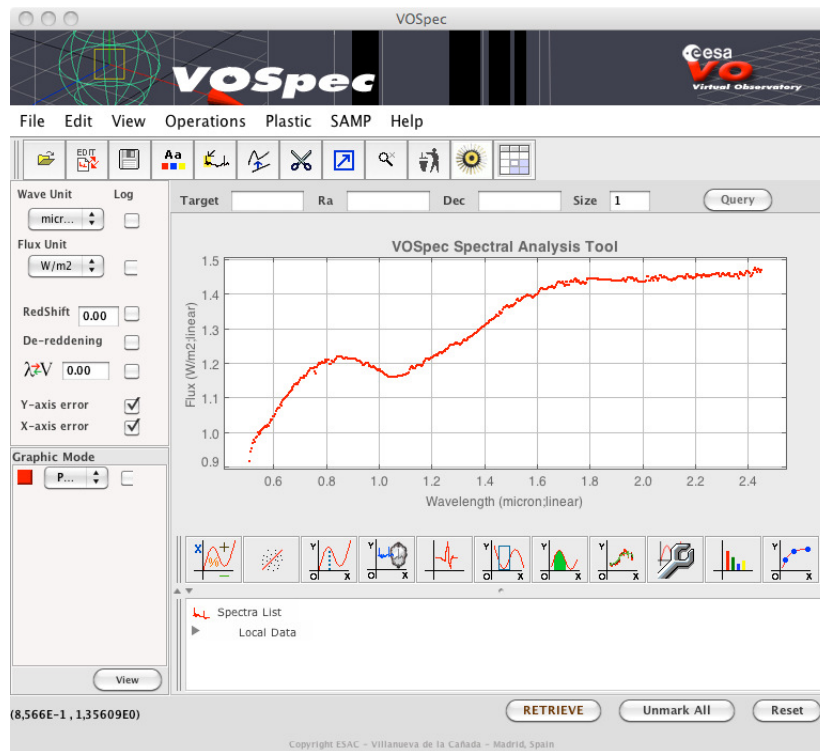


Figura 7: La herramienta *VOSpec*.

La ventana principal de la aplicación tiene el aspecto que se muestra en la Fig. 7. La parte principal es una gráfica donde aparecen representados los espectros. En la parte superior e inferior de ésta aparecen sendas filas de botones con diversas funcionalidades. Usando los desplegable de la izquierda podemos variar las unidades de longitud de onda y de flujo, seleccionar los espectros a representar, y elegir si queremos representar el espectro como puntos o como una línea (hay que pinchar en el botón “view” para visualizar los espectros con los cambios seleccionados). Debajo de la fila inferior de botones aparece la lista de los espectros que tenemos cargados, tanto locales (“local data”) como del VO o resultado de las operaciones que vayamos realizando. Para cargar los espectros que tenemos almacenados localmente, hemos de pinchar en el botón “Open spectrum” (el de la carpeta, ubicado en la parte superior de la ventana). Al hacerlo se abre una nueva ventana donde podemos navegar en nuestro sistema de archivos. Al seleccionar el fichero .fits con el espectro, de nuevo se abre una ventana (Fig. 8). Nos aseguramos que el tipo de fichero sea “spectrum/fits 1D”, que en la columna de la coordenada

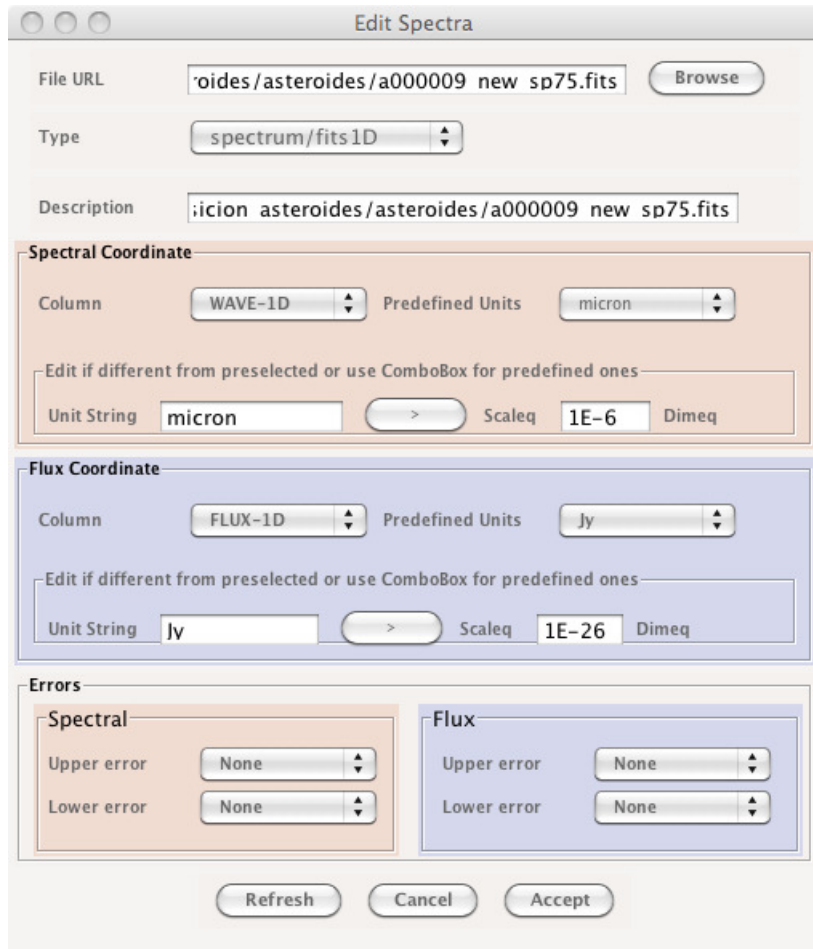


Figura 8: Abriendo un espectro para su visualización con VOSpec.

espectral esté seleccionada “WAVE-1D” con unidades en micron y en la de la coordenada de flujo, “FLUX-1D” con unidades Jy, y le damos a “aceptar”. El espectro aparece representado en la ventana gráfica. Recomendamos usar escala lineal en los dos ejes.

La herramienta tiene muchas funcionalidades, pero aquí sólo describiremos aquéllas que tienen interés para nuestra práctica. Una descripción más completa puede encontrarse en el manual de usuario, disponible en la página web: <http://esavo.esac.esa.int/VOSpecManual/>, o pinchando en el botón de ayuda de la aplicación.

7. Instrucciones para clasificar espectros

Vamos a utilizar la taxonomía de DeMeo (2009) para clasificar los espectros. Lo interesante es empezar a diferenciar primero entre los dos grandes grupos: los que no tienen bandas de absorción (carbonáceos, complejo C) y los que tienen (silicatos, complejo S).

Una vez que sepamos si pertenece a un grupo u otro, buscamos otros indicios del tipo:

1. Si no tiene bandas, y tiene una pendiente muy roja, pues será un tipo D
2. Si no tiene bandas, pero la pendiente es neutra, seguramente un C; si es azul, pues será un B
3. Si tiene solamente una banda, en torno a 1 micra, seguramente será un tipo A
4. Si tienen dos bandas a 0.9 y 1.9, muy profundas, es un tipo V
5. Si tienen dos bandas, pero no son muy profundas, es un tipo S.

Ficheros que hay que descargarse:

- DeMeo.tar.gz. En el fichero van las 24 clases taxonómicas en formato fits.
- asteroides.tar.gz. Contiene 118 espectros de asteroides en formato fits.

Se puede usar VOSpec para superponer dos espectros a la vez (clase de DeMeo y espectro de asteroide) para determinar mejor la clase taxonómica.

TAREA PARA EL PORTAFOLIOS: Determina la clase taxonómica de 10 espectros de entre los 118 espectros que hay en el fichero asteroides.tar.gz. Usa VOSpec y las clases taxonómicas de DeMeo

que están en el fichero `DeMeo.tar.gz`. Intenta encontrar al menos las clases taxonómicas **D**, **C**, **B**, **S**, **A** y **V** de DeMeo (2009).

Esta práctica se ha realizado gracias a la inestimable ayuda de Julia de Leon a quien le agradecemos enormemente.

Bibliografía

- [1] Bus, S. J., & Binzel, R. P. 2002a, *Icarus*, 158, 146
- [2] Bus, S. J., & Binzel, R. P. 2002b, *Icarus*, 158, 106
- [3] DeMeo, Francesca E.; Binzel, Richard P.; Slivan, Stephen M.; Bus, Schelte J., 2009, *Icarus*, 202, 160
- [4] Tholen, D. J. 1984, Ph.D. thesis, AA(Arizona Univ., Tucson.)
- [5] Zellner, B., Tholen, D. J., & Tedesco, E. F. 1985, *Icarus*, 61, 355