

## 1. Introducción

A lo largo de esta sección introduciremos conceptos básicos de espectroscopia y de asteroides que nos resultarán útiles para realizar la actividad guiada. La espectroscopia es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia.

### 2.1.1. El espectro electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución de energías del conjunto de las ondas electromagnéticas. Ese rango de energías en las que la luz puede propagarse es muy amplio dado que se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma emitidos por las fuentes cósmicas más energéticas. Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su longitud de onda  $\lambda$ , que es la distancia entre dos picos de dicha onda (véase Fig. 1). La frecuencia  $f$  es el número de ciclos por unidad de tiempo que hace la onda, y viene dada por su velocidad de propagación dividida por la longitud de onda. En el caso de la radiación electromagnética, la velocidad de propagación en el vacío será la de la luz  $c$ , de modo que la frecuencia vendrá dada por  $f = c/\lambda$

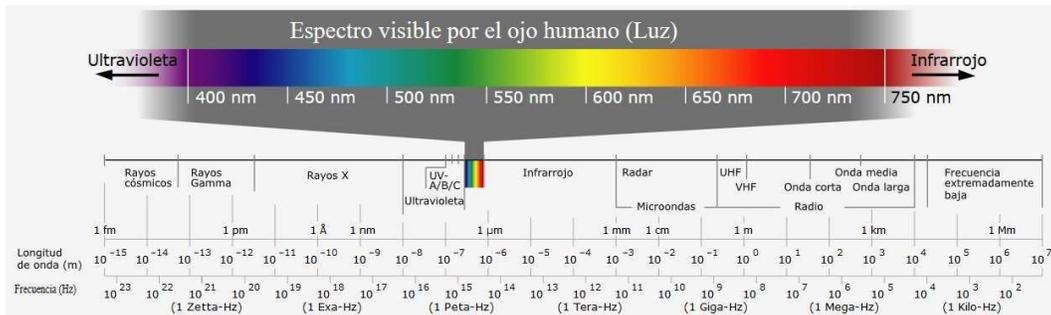


Figura 1. Distribución de energías del conjunto de las ondas electromagnéticas.

Cabe tener en cuenta que la radiación electromagnética está constituida como un flujo de fotones y la relación de Einstein-Planck nos indica que la energía del fotón es proporcional a la frecuencia de la radiación. En un contexto astrofísico, la longitud de onda suele asociarse a temperatura a través de la fórmula de radiación del cuerpo negro, entendiéndose por él a un objeto ideal que absorbe toda la luz y energía radiante que incide sobre él. La emisión térmica asociada a un cuerpo negro presenta un pico a una longitud de onda dependiente de su temperatura. En la Fig. 2 se puede ver el espectro electromagnético, con sus longitudes de onda asociadas y la correspondencia de cada una de ellas con sus temperaturas de cuerpo negro.

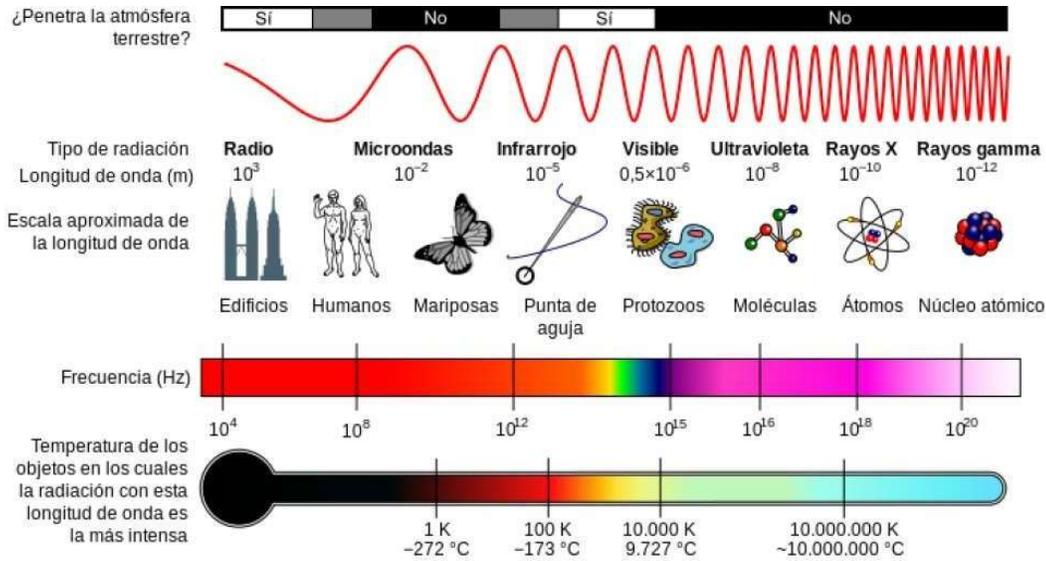


Figura 2: Resumen del espectro electromagnético y sus implicaciones (Wikipedia Commons)

### 2.1.2. Tipos de espectros

Cabe razonar en este punto los diferentes tipos de espectros que se pueden dar en la naturaleza. El espectro de un objeto es la distribución en longitud de onda de la radiación electromagnética asociada al mismo, que generalmente nos sirve en el vacío, en otro medio habrá que considerar también su índice de refracción para caracterizarlo. Por tanto, podemos distinguir entre los siguientes tipos:

#### Espectro de emisión

Es aquel que se asocia a un determinado elemento o compuesto químico que se encuentra ionizado y, por tanto, emite fotones cuando se producen transiciones a estados de menor energía. Como la energía está cuantizada, la longitud de onda de esos fotones emitidos será proporcional a la diferencia de energías de los estados. Un ejemplo de espectro de emisión vendría dado por la luz producida por un meteoro o bola de fuego al penetrar un meteorito a velocidad hipersónica a la atmósfera terrestre. Tanto los elementos químicos del meteorito como de la atmósfera pueden ser ionizados y emitir en un rango concreto que nos permite sondear remotamente la composición química y la temperatura del gas (Trigo-Rodríguez et al., 2003).

#### Espectro de absorción

Se llama así al espectro de la radiación incidente absorbida por un compuesto químico. Estas frecuencias estarán asociadas a transiciones a estados de mayor energía. El regolito de la superficie lunar o de un asteroide es un material con gran capacidad absorbente de la radiación solar. Parte de ella puede ser irradiada posteriormente, principalmente, en longitudes de onda infrarrojas (IR)

#### Espectro de reflexión

Así llamaremos al producido por un material, al reflejar la radiación incidente de una determinada fuente. Será el caso al que le prestaremos mayor atención cuando hablemos de asteroides dado que los espectros de reflexión nos permiten comparar su capacidad reflectiva con la que poseen los meteoritos, auténticos *proxies* de los materiales que componen esos objetos. La reflexión de la luz estará relacionada con su índice de refracción, espectro de absorción, ángulo de incidencia, etc...

#### Espectro de transmisión

Es aquel rango del espectro electromagnético que un material/filtro/instrumento deja pasar. Está relacionado con los dos anteriores en el sentido de que entre los tres tienen que sumar el 100% de la luz incidente a cada longitud de onda.

### 2.1.3. Ejemplo: Espectros de cometas en el Sistema Solar

Los cometas son objetos curiosos y diferentes de los asteroides por varios motivos de naturaleza composicional. Son una auténtica amalgama de compuestos orgánicos, hielos y finas partículas minerales, principalmente de silicatos. Al poseer componentes volátiles que subliman en función del flujo de radiación solar que reciben poseen un comportamiento variable presentando distintos tipos de espectro dependiendo de su “actividad cometaria”. Lejos del Sol un cometa se comportará básicamente como un asteroide, aunque es poco reflectivo, tal y como muestran ser algunas condritas carbonáceas (Trigo-Rodríguez, 2015). Cuando un cometa se acerca al Sol, se activa: sus hielos subliman (pasan de estado sólido a gaseoso) y se crea una coma (envoltura esférica de gas y polvo) y las llamadas colas (de polvo y plasma).

Por ello, los cometas presentan espectros distintos dependiendo de si están o no activos. Cuando no tienen actividad presentan únicamente un espectro de reflexión de la luz solar. Sin embargo, los cometas activos presentan también líneas de emisión asociadas a los materiales de la coma. En la fig. 1 se pueden ver espectros típicos de cometa activo e inactivo (<https://www.cfa.harvard.edu/~pberlind/atlas/htmls/comets.html>).

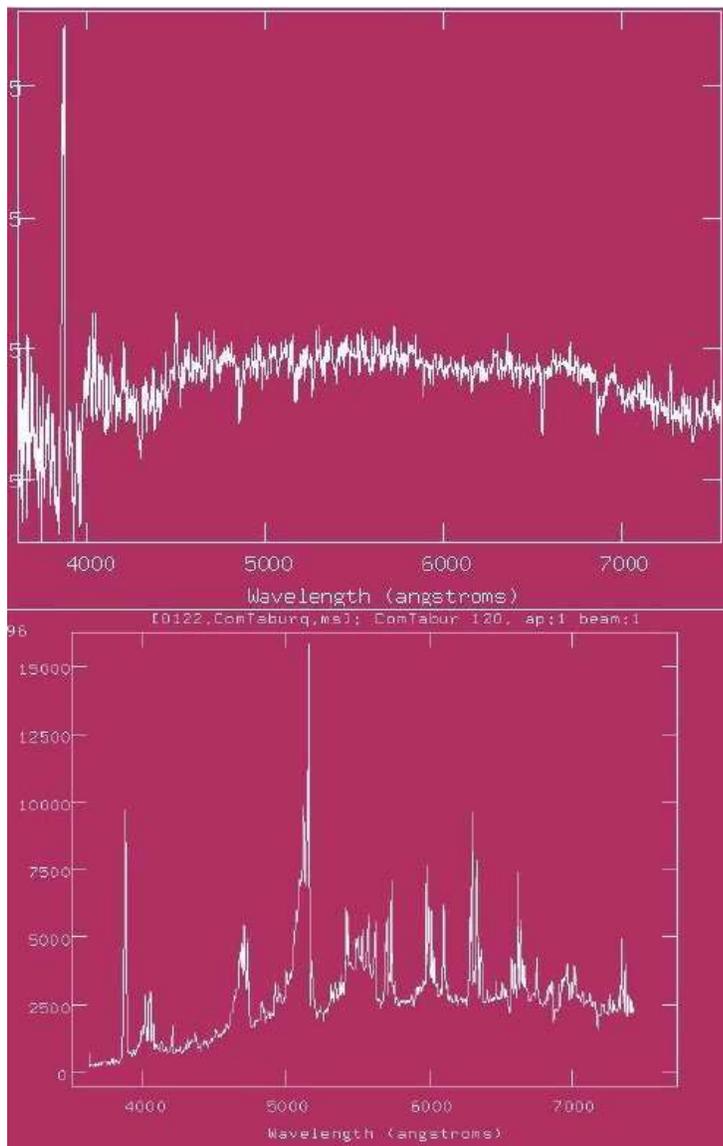


Figura 2: Espectro del cometa inactivo Lovas (arriba) y del cometa activo Tabur (abajo)

### 2.2. Los asteroides

Los asteroides son cuerpos celestes que orbitan alrededor del Sol y que no poseen atmósfera detectable, estando compuestos principalmente por materiales rocosos y/o metálicos. En la actualidad hay descubiertos más de 750.000 y se diferencian (además de en sus parámetros orbitales) en tamaño, masa, período de rotación, forma y composición superficial. Los asteroides son el remanente de los objetos que no se agregaron para formar planetas y sus diferencias composicionales nos informan de muchas regiones de formación de los planetesimales. Estas propiedades se pueden determinar por medio de técnicas astrométricas, fotométricas y espectroscópicas.

### 2.2.1. 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.

La espectroscopia de reflexión en el ultravioleta (UV), visible (VIS) y el infrarrojo cercano (NIR) constituye 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. 3 se muestran los espectros de reflexión de algunas de las especies minerales más comunes en las superficies de los asteroides rocosos y en los meteoritos.

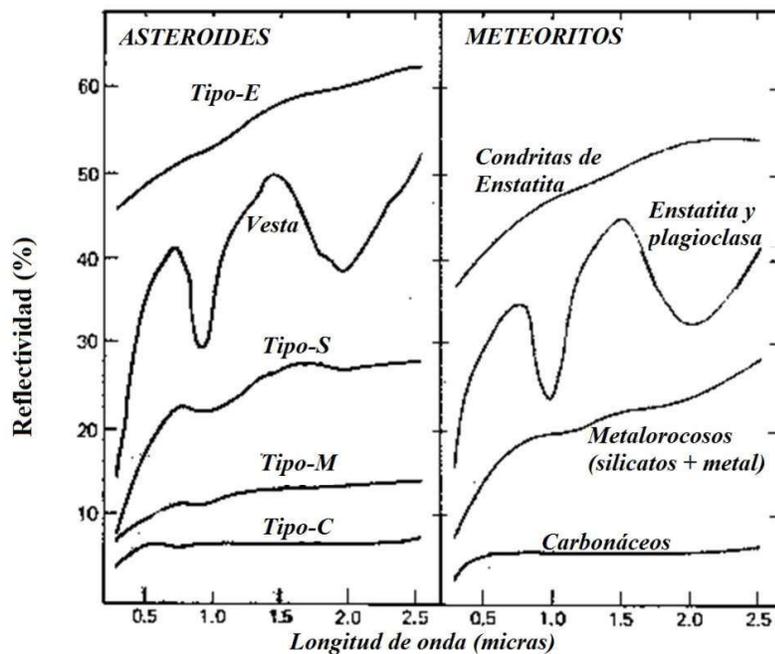


Figura 3: Espectros de reflexión de varios minerales o agrupaciones de minerales de importancia meteorítica. (a) Reflectividades espectrales de olivina (Ol), plagioclasa (Pgl), piroxeno (Px) y hierro-níquel en fase metálica (FeNi). Imagen adaptada de McSween (1999).

Como podemos apreciar en la Fig. 3, cada especie mineral que aparece en el apartado de meteoritos presenta su característica espectral distintiva. Por ejemplo, el olivino presenta una banda ancha de absorción centrada en 1  $\mu\text{m}$ , formada por la superposición de tres bandas individuales, mientras que el

piroxeno muestra un par de absorciones cerca de 1 y 2  $\mu\text{m}$ , cuya posición depende, entre otras cosas, del mayor o menor contenido de calcio y hierro del mineral. Dado que los asteroides son mezclas heterogéneas de diversos minerales, será el conjunto de los componentes que presentan tales bandas de absorción los que delimiten la forma final del espectro de reflexión del objeto. Otros factores también intervendrán como, por ejemplo, la geometría en que observemos el objeto, el grado de craterización y chocado de la superficie, la presencia de material pulverizado o *regolito*, etc...

Los meteoritos serán excelentes proxies pero no poseerán espectros exactamente idénticos debido a los procesos que han ido moldeando las superficies asteroidales. Así pues, aunque muchos meteoritos estén compuestos por mezclas similares de diversos minerales, no pueden reproducir las peculiaridades acontecidas por el efecto del procesamiento interplanetario, también conocido como *space weathering*.

## 2. Espectro de reflexión de un asteroide

En la Fig. 4 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  $\text{\AA}/\text{pixel}$ .

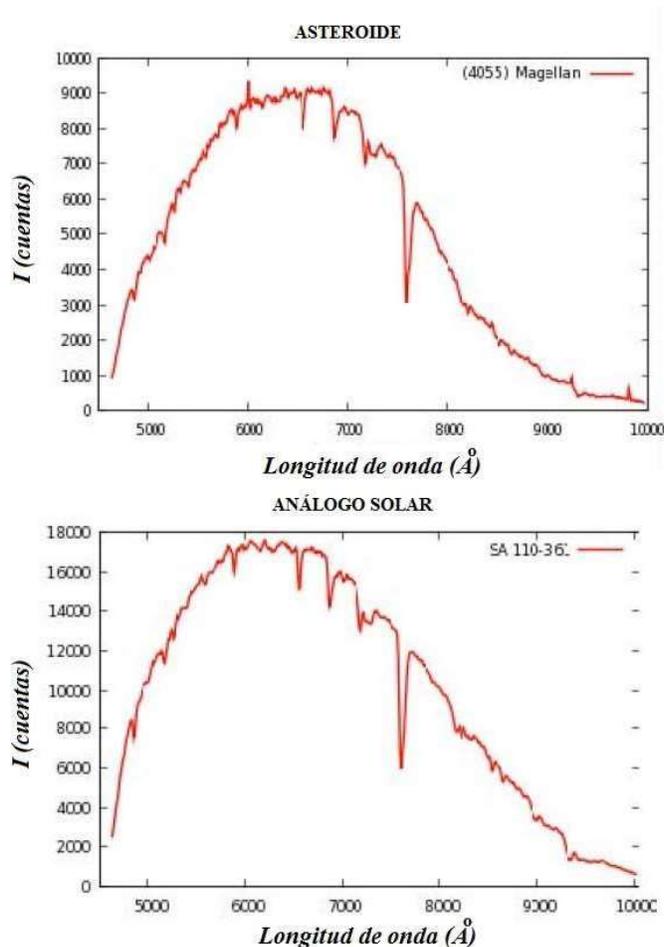


Figura 4: Panel de arriba: Ejemplo de espectro de un asteroide. Panel de abajo: Espectro de una estrella análoga solar. Las unidades son intensidad relativa (en cuentas) vs. Amstrongs.

Como se puede ver, el espectro del asteroide y el de la estrella análoga solar son muy parecidos. Esto es porque los asteroides no emiten luz el espectro observado es un espectro puramente de reflexión. Dependiendo de lo eficientemente que reflejen la luz en cada longitud de onda se parecerán más o menos a la estrella que les proporciona esa luz.

El procedimiento de reducción es sencillo. Para obtener el espectro de reflexión del asteroide observaremos una estrella tipo solar, cuyo espectro electromagnético en el rango considerado será prácticamente idéntico al solar. Por ello, si deseamos calibrar el espectro de reflexión del asteroide dividiremos su espectro por el de la estrella análoga solar. De ese modo llegamos al espectro de la Fig. 5. Fijémonos en comparación con la Fig. 3 que hemos llegado a un asteroide del tipo V, es decir, compuesto principalmente por silicatos como el piroxeno y el olivino. En el espectro podremos ver la típica banda de absorción centrada en torno a 9000 Å que la producen dichos silicatos. De ese modo, la forma de los espectros de reflexión de los asteroides nos ayudará a determinar cualitativamente la composición superficial del objeto. A esto le diríamos caracterizar el asteroide de manera remota.

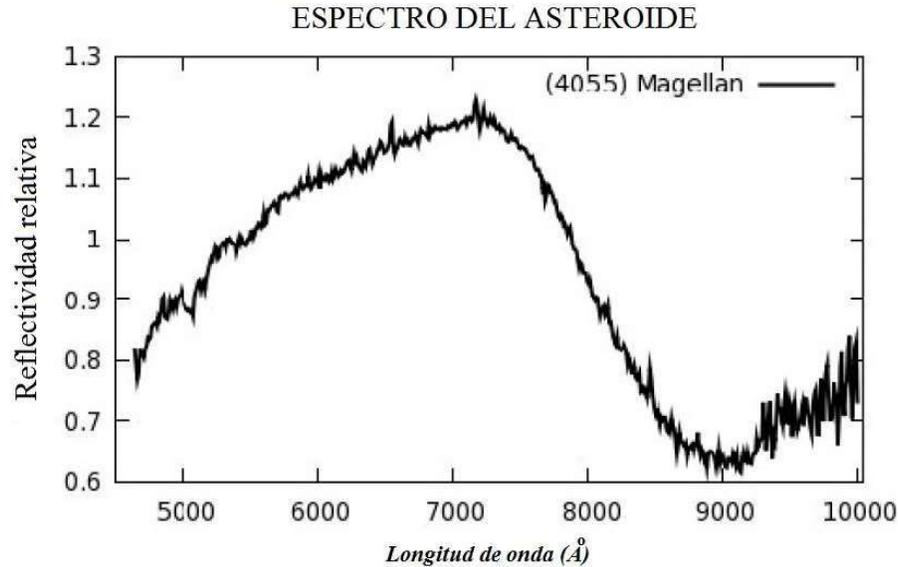


Figura 5: Espectro de reflexión de un asteroide tipo V.

### 3. Clasificación taxonómica: los tipos espectrales de asteroides

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. 6. En la Fig. 6, los espectros de la izquierda son los que llamaremos Carbonáceos (Tipo 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 y, por lo tanto, típicos de la región más externa (más fría y menos procesada) del cinturón de asteroides. 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.

Estrictamente, algunos de los tipos de la categoría de Tholen no corresponderían a ninguno de los complejos S y C, como veremos más adelante, pero dado que la mayoría de ellos sí, por ahora lo obviaremos.

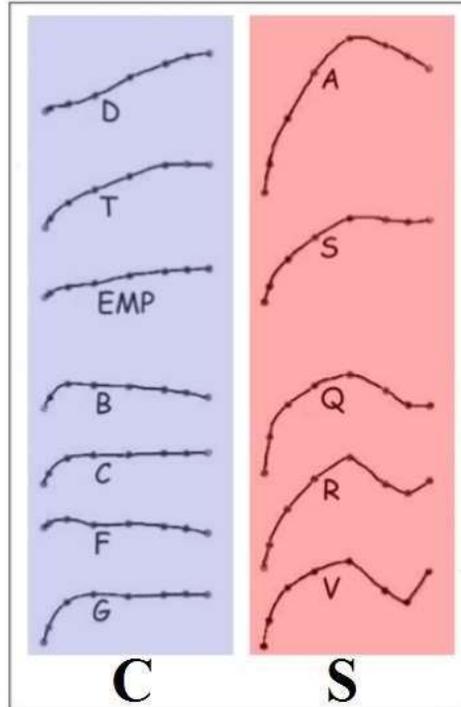


Figura 6: clases taxonómicas definidas por Tholen en los complejos C y S (1984) a partir de colores espectrofotométricos (Zellner et al. 1985).

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 26 (véase la Fig. 7). En realidad, para conocer bien la composición mineralógica de un asteroide hace falta, como mínimo, extender las observaciones hasta el infrarrojo cercano, hasta unas 2.5  $\mu\text{m}$ . De hecho, si queremos ser muy precisos, lo ideal es cubrir también hasta unos 3-5  $\mu\text{m}$ , dado que hay muchos minerales que poseen sus bandas de absorción centradas en 3  $\mu\text{m}$ . Un ejemplo de tales minerales serían los filosilicatos que no son sino arcillas ó silicatos hidratados y que nos hablan de procesos de alteración e hidratación acuosa de los minerales que forman los asteroides, con gran interés cosmoquímica (Trigo-Rodríguez, 2002, 2005).

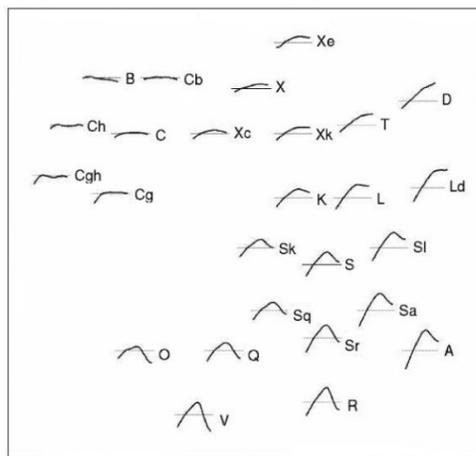


Figura 7: Extensión de las clases taxonómicas de Tholen realizada por Bus & Binzel (2002a, 2002b) a partir de espectros de reflexión en el rango visible.

En la Fig. 8 tenemos un ejemplo de la taxonomía anterior, la de Bus & Binzel (2002a,b), pero con observaciones en longitud de onda hasta 2.5  $\mu\text{m}$ . Esta es la taxonomía de DeMeo (2009), también conocida como Bus-DeMeo, en la que hay 24 clases. En ella, además de los S y C se pueden distinguir también los complejos X, metálicos, y un cuarto complejo con las clases que no entran en la clasificación anterior. En la Fig. 9 se puede ver un resumen de las clases que pertenecen a cada complejo.

Para esta facilitar esta práctica, consideraremos únicamente dos familias o grupos grandes básicos, a los que nos referiremos de ahora en adelante como familia o grupo C (incluyendo los complejos C y X y los tipos D, T y L) y familia grupo S (que incluiría los complejos S y las clases A, V, R y Q).

En la Fig. 8 se pueden ver claramente las familias C (a la izquierda) y S (a la derecha), pero con muchas sub-clases. Los asteroides 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 asteroides 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 compuestos 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.

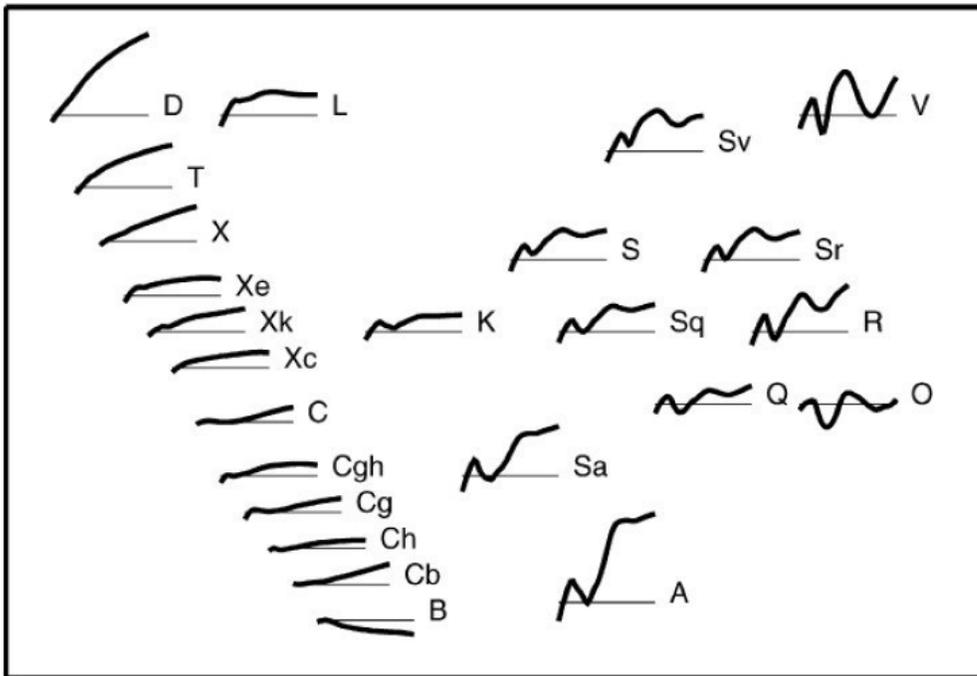


Figura 8: Extensión de las clases taxonómicas por DeMeo (2009), a partir de espectros de reflexión en el rango visible e infrarrojo.

En la tabla presentada en la Fig. 10, tomada de de León, J. M (2009), presentamos la composición asociada a clases que acabamos de describir. Además, en la Fig. 11 presentamos la distribución frente a distancia de los distintos complejos (tomada de Bus & Binzel, 2002)

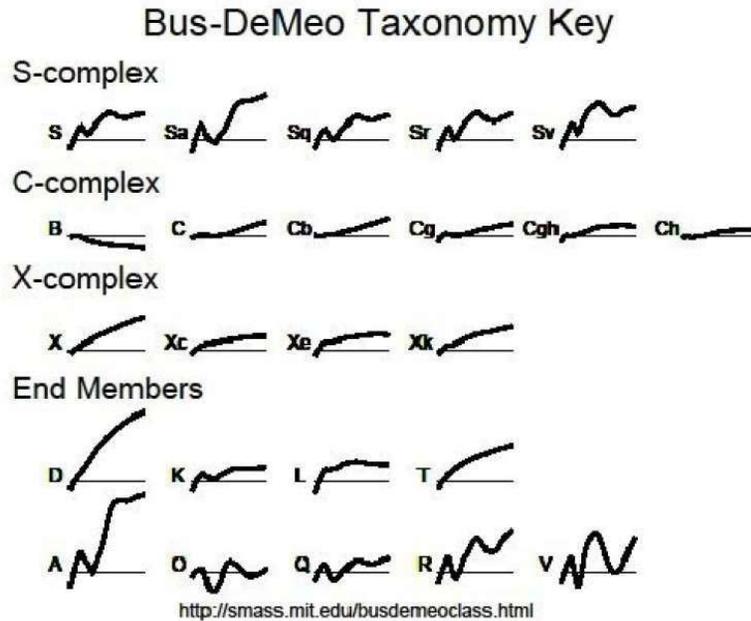


Figura 9: Clasificación en complejos de la taxonomía de DeMeo (2009)

#### 4. El programa VOSpec: visualización de espectros

VOSpec es una herramienta de Observatorio Virtual que permite la visualización y análisis de espectros y distribuciones espectrales de energía, desarrollada por el equipo de Observatorio Virtual de la Agencia Espacial Europea (ESA VO).

Como todas las aplicaciones del Observatorio Virtual (VO) de la Agencia Europea del Espacio (ESA), *VOSpec* se comunica e interacciona con otras herramientas que siguen este protocolo de trabajo. Eso facilita el trabajo en línea con otros investigadores y es un ejemplo de herramienta colaborativa. 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 (Applet): <http://www.cosmos.esa.int/web/esdc/vospec>

Donde también se puede descargar un ejecutable java. La herramienta tiene muchas funcionalidades, pero dado que únicamente realizaremos una comparación visual, sólo veremos en clase algunas opciones de visualización. 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.

#### 5. Instrucciones para clasificar espectros

Taxonomía de DeMeo (2009) para clasificar los espectros de asteroides, cada clase tiene unas características diferentes, que aparecen resumidas en esta tabla. En lugar de comparar directamente cada uno de los tipos, se propone el siguiente método para reducir el número de comparaciones. Diferenciar primero entre los dos grandes grupos: los que no tienen bandas de absorción (grupo C) y los que tienen (grupo S).

Una vez que sepamos si pertenece a un grupo u otro, buscamos otros indicios de manera iterativa, siguiendo este patrón de actuación:

- a) Si no tiene bandas, y tiene una pendiente muy roja, pues será un tipo D
- b) Si no tiene bandas, pero la pendiente es neutra, seguramente será un C
- c) Si no tiene bandas y su pendiente es azul, pues será un B
- d) Si tiene solamente una banda, en torno a 1 micra, seguramente será un tipo A
- e) Si tienen dos bandas a 0.9 y 1.9, muy profundas, es un tipo V

Antonio Perez.

f) Si tienen dos bandas, pero no son muy profundas, es un tipo S.

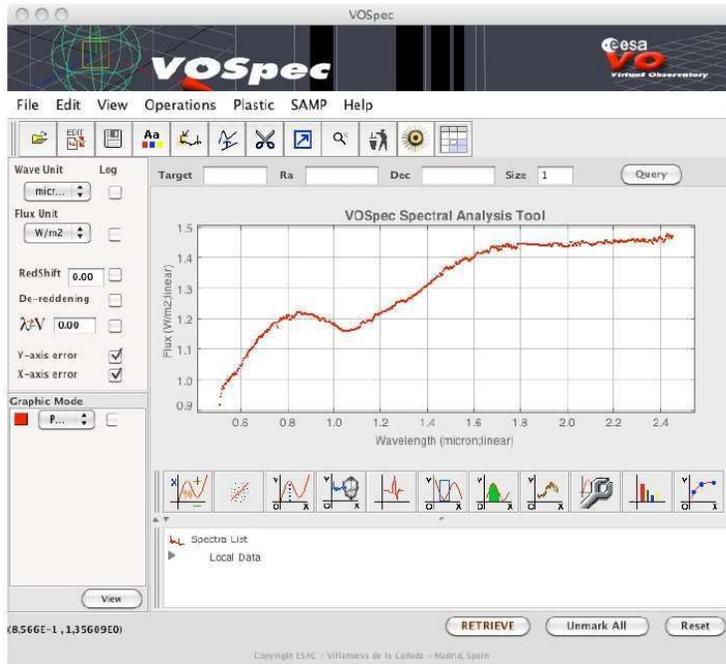


Figura 10: La herramienta VOSpec.

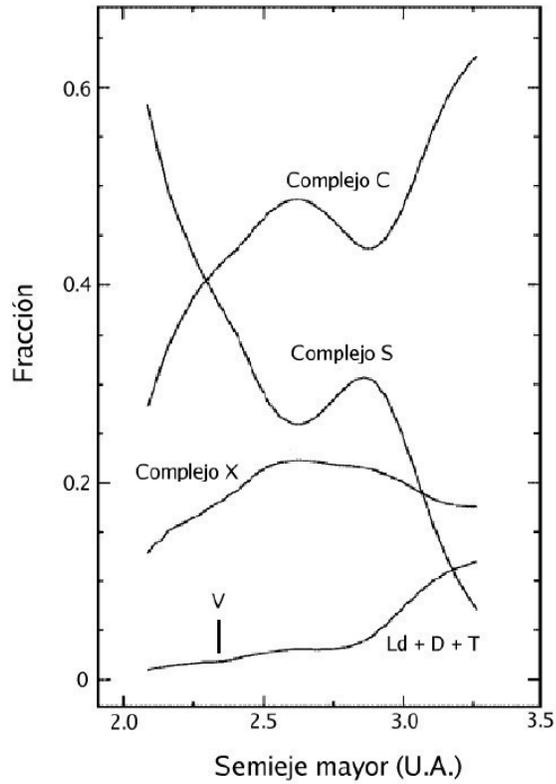


Figura 12: Distribución de distancias heliocéntricas para los miembros de los distintos complejos taxonómicos para discutir la posible proveniencia de cada asteroide.

Tipo	Fase Mineral Principal	Posible Meteorito Análogo
V	Piroxeno +/- Feldespato	Eucritas, howarditas, diogenitas
A	Olivina +/- metal FeNi	Acondritas de Olivina (Brachinitas) Palasitas Residuos de fundido parcial de olivina-metal
E	Enstatita	Aubritas Enstatita con hierro (Fs <sub>2-4</sub> ) Aubrita con Fe (Fs <sub>2-4</sub> )
R	Olivina + Ortopiroxeno	Conglomerados olivina-piroxeno Residuos de fundido parcial de olivina-piroxeno
M	Metal +/- enstatita	Meteoritos metálicos
	Silicatos hidratados + orgánicos?	Aubritas
S	Olivina + Piroxeno + Feldespato (+ metal)	Condritas ordinarias Palasitas con piroxeno Meteoritos rocosos de tipo ferroso ricos en olivina
Q	Olivina + Piroxeno (+ metal)	Condritas ordinarias
C	Silicatos hidratados con hierro	Condritas CI1 & CM2 Acumulación de CI1 & CM2 deshidratados
B	Silicatos hidratados pobres en hierro	Acumulación de tipos CI1 altamente lixiviados y parcialmente deshidratados
G	Silicatos hidratados pobres en hierro	Acumulación de tipos CI1 altamente lixiviados
F	Silicatos hidratados + orgánicos	Acumulación de CI1 & CM2 ricos en orgánicos
P	Silicatos anhídridos + orgánicos	Partículas de polvo cósmico de olivina-orgánicos
D	Orgánicos + Silicatos anhídridos	Partículas de polvo cósmico de orgánicos-olivina
T	Troilita (FeS) (+ metal FeNi)	Meteoritos metálicos ricos en troilita
K	Olivina + opacos	Condritas CV3/C03
Z	Orgánicos (+ silicatos anhídridos)	Partículas de polvo cósmico ricas en orgánicos

Tabla 1: Mineralogía de asteroides y posibles meteoritos análogos de los tipos taxonómicos de los asteroides. Nótese que el contenido en hierro se mide en porcentaje molar de ferrosilita [Fs], Fe<sub>2</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (de León, 2009)

**Table 5**  
Spectral class descriptions.

Class	Description	Prototypes
A	Deep and extremely broad absorption band with a minimum near 1 $\mu\text{m}$ , may or may not have shallow 2- $\mu\text{m}$ absorption band; very highly sloped.	246, 289, 863
B	Linear, negatively sloping often with a slight round bump around 0.6 $\mu\text{m}$ and/or a slightly concave up curvature in the 1- to 2- $\mu\text{m}$ region.	2, 3200
C	Linear, neutral visible slope often a slight rough bump around 0.6 $\mu\text{m}$ and low but positive slope after 1.3. May exhibit slight feature longward of 1 $\mu\text{m}$ .	1, 10, 52
Cb	Linear with a small positive slope that begins around 1.1 $\mu\text{m}$ .	191, 210, 785
Cg	Small positive slope that begins around 1.3 $\mu\text{m}$ and pronounced UV dropoff	175
Cgh	Small positive slope that begins around 1 $\mu\text{m}$ and pronounced UV dropoff similar to Cg also includes a broad, shallow absorption band centered near 0.7 $\mu\text{m}$ similar to Ch.	106, 706, 776
Ch	Small positive slope that begins around 1.1 $\mu\text{m}$ and slightly pronounced UV dropoff also includes a broad, shallow absorption band centered near 0.7 $\mu\text{m}$ .	19, 48, 49
D	Linear with very steep slope, some show slight curvature or gentle kink around 1.5 $\mu\text{m}$ .	1143, 1542, 3248
K	Wide absorption band centered just longward of 1 $\mu\text{m}$ , the left maximum and the minimum are sharply pointed and the walls of the absorption are linear with very little curvature.	42, 579, 742
L	Steep slope in visible region leveling out abruptly around 0.7 $\mu\text{m}$ . There is often a gentle concave down curvature in the infrared with a maximum around 1.5 $\mu\text{m}$ . There may or may not be a 2- $\mu\text{m}$ absorption feature.	236, 402, 606
O	Very rounded and deep, "bowl" shape absorption feature at 1 $\mu\text{m}$ as well as a significant absorption feature at 2 $\mu\text{m}$ .	3628
Q	Distinct 1- $\mu\text{m}$ absorption feature with evidence of another feature near 1.3 $\mu\text{m}$ ; a 2- $\mu\text{m}$ feature exists with varying depths between objects.	1862, 3753, 5660
R	Deep 1- and 2- $\mu\text{m}$ features; the 1- $\mu\text{m}$ feature is much narrower than a Q-type, but slightly broader than a V-type.	349
S	Moderate 1- and 2- $\mu\text{m}$ features. The 2- $\mu\text{m}$ feature may vary in depth between objects.	5, 14, 20
Sa	Has a deep and extremely broad absorption band at 1 $\mu\text{m}$ ; has similar features to A-types but is less red.	984, 5261
Sq	Has a wide 1- $\mu\text{m}$ absorption band with evidence of a feature near 1.3 $\mu\text{m}$ like the Q-type, except the 1- $\mu\text{m}$ feature is more shallow for the Sq.	3, 11, 43
Sr	Has a fairly narrow 1- $\mu\text{m}$ feature similar to but more shallow than an R-type as well as a 2- $\mu\text{m}$ feature.	237, 808, 1228
Sv	Has a very narrow 1- $\mu\text{m}$ absorption band similar to but more shallow than a V-type as well as a 2- $\mu\text{m}$ feature.	2965, 4451
T	Linear with moderate to high slope and often gently concaving down.	96, 308, 773
V	Very strong and very narrow 1- $\mu\text{m}$ absorption and as well as a strong 2- $\mu\text{m}$ absorption feature.	4, 1929, 2851
X	Linear with medium to high slope.	22, 87, 153
Xc	Low to medium slope and slightly curved and concave downward.	21, 97, 739
Xe	Low to medium slope similar to either Xc- or Xk-type, but with an absorption band feature shortward of 0.55 $\mu\text{m}$ .	64, 77, 3103
Xk	Slightly curved and concave downward similar to Xc-type but with a faint to feature between 0.8 to 1 $\mu\text{m}$ .	56, 110, 337
Ld	Diverged to L- and D-classes.	279 (D), 3734 (L)
Sk	Diverged to the S- and Sq-classes.	6585 (S), 3 (Sq)
Sl	Merged with the S-class.	17 (S), 30 (S)

Tabla 2. Características espectrales de cada clase taxonómica (DeMeo et al., 2009)

## Referencias

- Bus, S. J., & Binzel, R. P. 2002a, *Icarus*, 158, 146  
 Bus, S. J., & Binzel, R. P. 2002b, *Icarus*, 158, 106  
 DeMeo, Francesca E.; Binzel, Richard P.; Slivan, Stephen M.; Bus, Schelte J., 2009, *Icarus*, 202,  
 160  
 De León, Julia M., 2009, PhD thesis, Univ. La Laguna  
 McSween H.Y. (1999) *Meteorites and their parent planets*. Cambridge University Press, 310 pp.  
 Tholen, D. J. 1984, Ph.D. thesis, AA(Arizona Univ., Tucson.)  
 Trigo-Rodríguez J.M. (2012) *Meteoritos*, Ed. Catarata-CSIC, Madrid, 117 pp.  
 Trigo-Rodríguez J.M. (2015) Aqueous alteration in chondritic asteroids and comets from the study of carbonaceous chondrites. In *Planetary Mineralogy*, EMU Notes in Mineralogy Vol. 15, cap. 3, págs. 67-87  
 Zellner, B., Tholen, D. J., & Tedesco, E. F. 1985, *Icarus*, 61, 355

## Recursos web

Asteroid spectrum classif. Bus-DeMeo taxonomy: <http://smass.mit.edu/busdemeoclass.html>