

Análisis de la composición superficial de Vesta a partir de los datos aportados por la misión espacial DAWN

Autor:

Bernardo José Llamas Verna

Tutor:

Dr. René Duffard. Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC)

Máster en Geofísica y Meteorología

Curso 2015-2016

Universidad de Granada.

1.-Motivación y objetivos del presente trabajo

El estudio que se presenta como Tesis de Fin de Máster tiene su motivación en sumarse al análisis de los datos obtenidos con la misión espacial DAWN, misión que ha marcado un hito histórico al ser la primera que ha alcanzado el cinturón de asteroides para estudiar in situ los cuerpos Vesta y Ceres gracias al avance que ha supuesto la incorporación de un motor de iones, así como por los datos recopilados con la combinación de los diferentes instrumentos de medida que portaba.

El propósito por el cual se planteó que la misión DAWN visitara los cuerpos Vesta y Ceres fue para recopilar información acerca de los primeros instantes de la creación del Sistema Solar en la etapa de aparición de los primeros cuerpos como resultado de la acreción, ya que se cree que estos dos cuerpos apenas han evolucionado desde ese período. Esto se debe a su situación entre Marte y Júpiter, siendo éste último el que por su acción gravitatoria no ha permitido que estos cuerpos siguieran creciendo por acreción. Por lo tanto, Vesta y Ceres permitirían comprender mejor cómo es el proceso de formación de planetas y cómo determina la composición de los primeros planetesimales la composición final de los planetas resultantes.

Sobre Vesta, que es el cuerpo sobre el que se centra este trabajo, el interés sobre su estudio radica en conocer su naturaleza basáltica y su diferenciación geoquímica en capas de diferente composición, proceso que se piensa que es el mismo que se produjo en la formación de los planetas rocosos.

A pesar de que Vesta no es el único cuerpo menor basáltico en nuestro Sistema Solar, sí es el único asteroide grande o protoplaneta basáltico (de más de 100 km de diámetro) que se conserva.

El presente trabajo analiza las imágenes que la misión DAWN obtuvo con la Framing Camera (cámara de 8 filtros) para determinar la composición superficial de Vesta en cuanto a los tres materiales basálticos que se han clasificado en los meteoritos HEDs (meteoritos con origen en Vesta). Sobre una zona de estudio seleccionada de la que se tengan imágenes en 8 filtros, se calcula la reflectividad en cada píxel. Una vez obtenida dicha reflectividad en los 8 filtros se compara con la reflectividad de los tres materiales de referencia (eucrite, diogenite y howardite) para las mismas longitudes de onda de cada filtro a fin de determinar cuál es la composición predominante en cada caso.

El método que aquí se describe se ofrece como una propuesta para una primera determinación de la composición superficial de Vesta empleando solo los datos que aporta la Framing Camera. Este método también se ofrece para aquellos casos en los que solo se tengan datos de la FC, ya que es el único instrumento de la nave espacial que operó durante toda la misión obteniendo una cobertura global de la superficie de Vesta.

Una vez expuestos los resultados y las conclusiones obtenidas, se propone al final unas futuras líneas de investigación para mejorar el empleo de los datos que aporta la FC.

2.-Vesta

Vesta es el segundo cuerpo más masivo del cinturón de asteroides con una masa de $2.71 \cdot 10^{20}$ kg (después de Ceres con $9.43 \cdot 10^{20}$ kg), representando el 9% del total (contra el 26,2% de Ceres), y el tercer cuerpo más grande después de Ceres y Pallas. Su densidad es de unos 3.8g/cm^3 (Russell et al. (2013)).

Se encuentra en el cinturón interior principal, a una distancia media de 2.362 UA, y emplea 1326 días (3.63 años) como período orbital. Su rotación es muy rápida para un asteroide (5.342h).

Sobre las temperaturas en superficie se han estimado que pueden abarcar los rangos de los -20°C con el Sol en lo alto y hasta los -190°C en el polo invernal, siendo las temperaturas medias del día en torno a los -60°C , mientras que las de la noche en -130°C (Fuente: NASA).

2.1.-Formación y composición:

La formación de Vesta se piensa que habría seguido las siguientes etapas:

1. Proceso de acreción durante unos 2-3 millones de años.
2. Se completa la fusión debido a la desintegración radiactiva del ^{26}Al , que provoca la separación de los metales básicos, en unos 4-5 millones de años.
3. Progresiva cristalización de un manto fundido y convectivo que lleva a que la convección se detenga cuando cerca del 80% se ha cristalizado, en aproximadamente 6-7 millones de años.
4. Extrusión del material fundido remanente para formar la corteza a través de erupciones progresivas o por la formación de un océano de magma de corta vida (este material sería la fuente de las eucrites, que veremos más adelante).
5. Las capas más profundas de la corteza cristalizan para formar rocas plutónicas, mientras que los viejos basaltos son metamorfoseados debido a la presión de las nuevas capas de superficie (este material sería la fuente de las diogenites).
6. Enfriamiento lento y progresivo del interior.

2.2.-Composición

La composición de cada uno de los materiales que componen los HEDs, y que son los elementos constituyentes de Vesta, es la siguiente:

1. Eucrite: son muestras de lava basáltica que provienen de la superficie de Vesta. Están compuestas principalmente de piroxenos pobres en calcio, pigeonita, y plagioclase rico en calcio. Además, las eucrites a menudo contienen otros minerales como silicio, cromita, troilita y metales de procedencia de hierro y níquel. Se han dividido en tres grupos: grupo de no acumulados, el grupo acumulado y el grupo polymict. Las eucrites se formaron como flujos de lava y sus edades indican que se formaron hace 4,5 billones de años.

2. Diogenite: tienen cristales más grandes que las eucrites y tienen su origen a mayores profundidades dentro de la corteza de Vesta como rocas plutónicas. Mineralógicamente, las diogenites se componen principalmente de ortopiroxeno rico en magnesio con solo pequeñas cantidades de olivino y plagioclase. Los piroxenos usualmente son de granos gruesos, sugiriendo un origen acumulativo en las cámaras magmáticas dentro de las regiones más profundas del cuerpo de procedencia. Las diogenites experimentan un enfriamiento más lento y prolongado que las eucrites, lo que permite al piroxeno formar cristales de gran tamaño.

3. Howardite: son brechas de regolito formadas por mezclas de eucrite, diogenite, y, de forma ocasional, por fragmentos de condritas carbónicas que se han fusionado conjuntamente. También contienen clastos oscuros de material carbónico condrito y clastos que provienen de la fusión de elementos a causa del impacto, lo que sugiere un origen de tipo regolito de este tipo de meteoritos. Las howardites se encuentran sobre la superficie del cuerpo del que provienen y son provocadas por un fuerte impacto capaz de excavar grandes cantidades de material. Se puede observar en la imagen 4B que el espectro de un material típico de howardite se encuentra en un punto intermedio entre los asociados a los materiales eucrite y diogenite.

Para determinar la procedencia de los meteoritos HEDs, además del método de la huella del oxígeno isotópico (Duffard (2012)), se emplea el método de los espectros de reflectividad por el cual si dos cuerpos presentan espectros muy similares indicaría una composición idéntica, así como un posible origen común. En el caso de los basaltos, que es lo que se analiza en el presente trabajo, sus espectros de reflectividad se caracterizan por la presencia de bandas de absorción en torno a los 1000 y 2000 nanómetros, lo que indica una mezcla de piroxeno y posiblemente olivino. El espectro del piroxeno se destaca por su absorción entre los 1000 y 2000 nanómetros, mientras que el olivino por una compleja absorción centrada cerca de 1000 nanómetros. Por lo tanto, uno de los parámetros más importantes en la medida de caracterizar la mineralogía asociada con este tipo de espectro es la posición del centro de las bandas de absorción cercanas a 1000 y 2000 nanómetros.

3.-Problema a resolver:

Como ya se dijo anteriormente, el objetivo que se plantea en la presente Tesis de Fin de Máster es la determinación de la composición superficial de uno o varios lugares del cuerpo basáltico 4 Vesta a partir del análisis de las imágenes aportadas por la Framing Camera que porta la nave espacial DAWN. La Framing Camera es un instrumento de toma de imágenes multispectral que también sirve como una cámara de navegación óptica. Consta de dos cámaras redundantes donde cada imagen tiene 1024x1024 píxeles, tiene 8 filtros numerados del F1 al F8, que van desde un filtro de banda ancha transparente (F1) hasta filtros de banda estrechos que abarcan un rango entre 438nm a 965nm (del F2 al F8); es decir, los filtros abarcan tanto el espectro visible (F2, F3, F7 y F8) como el infrarrojo cercano (F4, F5 y F6).

De cada una de las imágenes tomadas del mismo lugar con diferente filtro extraemos la reflectividad asociada a cada píxel, para luego ser comparadas con el espectro de reflectividad de tres meteoritos que se supone provienen de Vesta y determinar así

el porcentaje presente de cada uno de los tres materiales que componen un meteorito HED (Howardite, Eucrite y Diogenite) en dicha superficie.

El procedimiento sería el siguiente:

4.-Método de análisis de la composición superficial de Vesta

4.1.-Selección de la zona de estudio: descarga y corrección de las imágenes

En la página web “Planetary Data System” se selecciona la zona de estudio y se descargan las imágenes a tratar. Cada imagen tiene asociada dos enlaces: .FIT, que es el formato en el que se guarda la imagen, y .LBL, que contiene la información referente a cada imagen (coordenadas, correcciones aplicadas, distancia al Sol, etc). Dado que en el proceso de cambiar de filtro para capturar imágenes la nave se sigue desplazando, éstas aparecerán desplazadas entre sí. Como se necesitan analizar los mismos píxeles en cada imagen es necesario que estén centradas y que tengan las mismas dimensiones.

Para ello se aplica un método de desplazamiento de las imágenes, que puede ser manual o mecánico, y después un recorte de las zonas oscuras que aparecen en las imágenes una vez desplazadas y que representan espacio no captado con respecto a la imagen de referencia.

Una vez corregidas las imágenes se ejecuta el siguiente paso.

4.2.-Conversión de las imágenes en matrices

En este paso las imágenes corregidas se convierten en ficheros .txt que almacenan el valor de reflectividad asociado a cada píxel. El proceso de conversión se realiza mediante el programa de software libre GDL (Gnu Data Language) que surge a imitación del programa IDL (Interactive Data Language), muy empleado en el procesado de imágenes tanto en astronomía como en otras disciplinas.

Una vez terminado el proceso de conversión de imágenes se pasaría al siguiente paso: comparación de las reflectividades y determinación de la composición de la superficie de la región de estudio.

4.3.-Comparación de los espectros y determinación de la composición superficial

Una vez obtenidas los valores de reflectividad de cada píxel se ejecuta un sencillo programa de comparación de espectros que se ha escrito en el lenguaje de programación Java. Este programa toma los valores de reflectividad de cada píxel en las diferentes imágenes siguiendo el siguiente orden: (imagen F8, imagen F2, imagen F7, imagen F3, imagen F6, imagen F4, imagen F5). Se crea un vector y se compara con la reflectividad para las mismas longitudes de onda efectivas de los filtros de tres meteoritos que se tienen como referencia y que provienen de Vesta.

Estos meteoritos son: MP-TXH-082A, catalogado como Howardite; MB-TXH-066A, catalogado como Eucrite; y MP-TXH-068A, catalogado como Diogenite. El espectro

de estos tres meteoritos de referencia ha sido analizado por el RELAB (Reflectance Experiment Laboratory).

Se calcula la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado de las reflectividades (reflectividad del píxel (vs) reflectividad de los HEDs) para cada material. Este procedimiento sirve para determinar cómo de diferente es el valor de la reflectancia de un píxel respecto a los valores asociados a los materiales eucrite, diogenite y howardite que se toman como referencia. Por lo tanto, el valor menor es el que indicará la composición predominante del píxel y se le asignará ese material. Como la composición superficial de Vesta en su mayoría es howardite, interesa conocer las coordenadas de los píxeles que sean eucrite y diogenite en la zona de estudio. Para ello se realiza un proceso de “reassignado de coordenadas” en el cual, teniendo en cuenta las coordenadas del píxel que se toma como origen a la hora de procesar las imágenes (abajo a la izquierda) y la iteración en la cual se analiza un píxel que sea eucrite o diogenite poder determinar con precisión sus coordenadas. Por último, el programa genera 6 ficheros de los cuales 3 generan información relevante (los otros 3 sirven de apoyo para identificar fácilmente fallos o anomalías en el proceso):

- ComposiciónOrbitaX: aparecen los valores de Euc, Euc_total, Dio, Dio_total, How y How_total. Euc, Dio y How aparecen con un número, un espacio y la palabra “veces” para saber el número de veces que han aparecido al finalizar el proceso; mientras que Euc_total, Dio_total y How_total aparecen con un número y un porcentaje, para saber el porcentaje con respecto al total que representa cada material.
- ÓrbitaXX-CoordsEuc: fichero de longitud variable donde se registran las coordenadas de los píxeles cuya composición dominante es eucrite.
- ÓrbitaXX-CoordsDio: fichero de longitud variable donde se registran las coordenadas de los píxeles cuya composición dominante es diogenite.

Con este procedimiento es posible asignar una composición superficial a cada píxel de la imagen. En este trabajo final se presenta todo el procedimiento, se muestran los resultados obtenidos para una región de la superficie de Vesta y se analizan los posibles trabajos futuros para mejorar el método.