

## UN ENTORNO INTEGRADO, OPERATIVO Y EFICIENTE PARA EL ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN TELEDETECCIÓN

F. J. GARCÍA-HARO (\* Y \*\*) y S. SOMMER (\*)

javier.garcia@jrc.it

(\*) EGEO Unit. Space Applications Institute. Joint Research Center. TP 250. I-21020 Ispra (Va), Italia.

(\*\*) Dept. de Termodinámica. Facultat de Física. Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia)

**RESUMEN:** VMESMA es un entorno integrado orientado al análisis de datos en teledetección y estimación precisa parámetros de la superficie, el cuál extiende las posibilidades del Spectral Mixture Analysis, SMA. Se basa en una zonificación de la escena que permite aplicar modelos y estrategias adaptados a las diferentes condiciones y estructuras presentes en la escena. VMESMA se concibe como un proceso iterativo e interactivo, gracias a herramientas altamente eficientes que dotan al analista con gran flexibilidad para definir estrategias operativas. Integra numerosas funciones avanzadas y eficientes, e incluye además varios métodos innovadores para mejorar los resultados, tales como la utilización de firmas espectrales estandarizados en el SMA, la corrección de efectos del PSF o un sistema experto eficiente para la selección dinámica de los endmembers.

**ABSTRACT:** A high performance computing and environmental analysis tool has been developed to accurately retrieve ground parameters. VMESMA is an integrated image analysis package that extend the possibilities of multiple endmember unmixing. A zonal partition of the image is introduced to allow the application of different submodels to the selected areas. Based on an iterative feedback process, the unmixing performance may be improved in each stage. This operational implementation also includes custom file and batch processing facilities and has the flexibility to allow the scientist to implement his own analysis strategies. It also proposes some solutions for obtaining improved estimates of proportions such as a new unmixing strategy based on standardised signatures, an expert-system to dynamically select the best pixel EM submodel and point-spread-function corrected unmixing.

**Palabras clave:** endmember, abundancia, sub-píxel, entorno integrado, Spectral Mixture Analysis, segmentación

### INTRODUCCIÓN

Spectral Mixture Analysis (SMA) es una técnica ampliamente utilizada para estimar las proporciones de materiales en la escena, caracterizados éstos por sus firmas espectrales o *endmembers* (EMs) (García-Haro, 1997). Es preferible la identificación dinámica del conjunto de EMs para cada píxel de la escena, pues un conjunto reducido de éstos es insuficiente para representar toda su variabilidad. En este trabajo presentamos una herramienta potente para el análisis de imágenes multi-espectrales e hiper-espectrales que presenta importantes ventajas sobre el SMA, y permite obtener mapas precisos, apropiados para el seguimiento temporal de cambios en superficie. Esta implementación operativa, llamada VMESMA, *Variable Multiple*

*Endmember Spectral Mixture Analysis*, viene soportada por un entorno gráfico potente y robusto que aumenta la flexibilidad y las posibilidades de cálculo.

### DESCRIPCIÓN DEL VMESMA

VMESMA se basa en una zonificación de la escena que permite aplicar modelos y estrategias adaptados a las diferentes condiciones y estructuras presentes en la escena. Proporciona al analista un método iterativo e interactivo para modelar con niveles de precisión creciente las diferentes regiones en que se zonifica la escena. Este proceso jerárquico permite introducir en etapas sucesivas cualquier información existente de la escena, por ejemplo resultados obtenidos previamente, para mejorar la precisión y flexibilidad. El software incluye

múltiples funciones interactivas esenciales para el procesamiento de datos espaciales y espectrales, incluyendo grandes imágenes y datos hiper-espectrales, y permite al científico implementar sus propias estrategias.

### Generalidades

VMESMA es un software modular, expandible, que permite incorporar nuevas funciones o mejorar las ya existentes. Incluye procesamiento en lotes batch para análisis sobre grandes conjuntos de datos. Permite personalizar las sesiones (rutas, directorios, estrategias) y ofrece ayudas y sugerencias. Cada dialogo presenta parámetros pausibles para las diferentes opciones, que el analista puede modificar. Un fichero asociado al proceso incluye toda la información relevante, y seguir su historia. Abrir sesiones anteriores hace el proceso repetible: todas las opciones en aquella seleccionadas se activan nuevamente y la información de todas las ventanas.

Integra varias herramientas para acelerar el cálculo, de otra manera prohibitivo por su complejidad:

(1) Una herramienta integrada de compresión espacial/espectral de datos permite entrenar/validar los *inputs* y las estrategias utilizando una resolución inferior y en etapas sucesivas aplicar la técnica a plena resolución (cambio de escala, *upsampling*)

(2) Centenas de combinaciones de EMs (con 2, 3 o 4 EMs) son potencialmente posibles para modelar cada píxel, de ahí la necesidad de un método altamente eficiente para la elección dinámica del conjunto más apropiado. Un sistema experto altamente eficiente y preciso en una primera etapa reduce el número de modelos utilizando un método innovador, el factor de colinearidad, similar al RMS del residuo pero más eficiente. A continuación, un sistema experto compara los modelos preseleccionados, considerando tanto errores en las fracciones (valores negativos) como en el modelo.

(3) La zonificación de la escena en diferentes subregiones permite un control mayor de las soluciones y los algoritmos a aplicar en cada una de ellas. Además, posibilita el análisis selectivo regiones individuales (aquellas que produjeron resultados imprecisos), a la vez que obtiene las proporciones de cálculos previos para el resto de la imagen.

### Proceso iterativo retro-alimentado

VMESMA permite definir estrategias estándar y repetibles para el análisis de imágenes, y explotar la experiencia del analista para incorporar información dinámica destinada a optimizar los algoritmos y mejorar la precisión de los mapas. Se concibe como un proceso iterativo (ver figura 1), en el que las soluciones pueden mejorarse indefinidamente hasta que se alcanza la pre-

cisión deseada. VMESMA permite numerosas especificaciones (ver figura 2):

(i) Las listas de potenciales EMs para cada región. Aunque lo usual es que el sistema experto obtenga la solución óptima a partir de listas con 2, 3 y 4 EMs, el analista puede fijar el número de EMs.

(ii) Es posible utilizar tanto el SMA convencional como un método innovativo basado en variables estandarizadas, que es menos sensitivo respecto a factores no deseados (sombra de la vegetación o la topografía, diferencias de iluminación o calibrado).

(iii) Definir la matriz de covariancia, para excluir/reducir la contribución de ciertas bandas.

(iv) Estimar las proporciones (usando listas de EMs actualizadas), mantener las proporciones calculadas previamente o aplicar una máscara.

Después de cada etapa del proceso iterativo, el analista dispone de una gran variedad de imágenes:

- Abundancias, objetivo primordial del análisis.
- Reflectividad modelada y residuo, su RMS y errores de las fracciones (valores negativos), para analizar el ajuste del modelo y la precisión obtenida.
- Modelos de EMs obtenidos por el sistema experto, que constituyen una especie de clasificación.
- Estadísticas del análisis (porcentajes, histogramas, errores, etc.) que proporcionan una interpretación inmediata de los resultados.
- Funciones avanzadas para calcular más imágenes:

(i) Combinando varias abundancias con el fin de agrupar éstas en categorías que tengan interés (por ejemplo, tipos de suelos, especies vegetales, etc.).

(ii) Renormalizando abundancias, para redistribuir componentes no deseadas (sombra o vegetación).

(iii) Reconstruyendo la imagen de reflectividad sin la contribución de alguna componente no deseada.

(iv) Aplicando un nuevo método que utiliza técnicas de contexto mediante un filtro adaptativo para clasificar la escena usando las abundancias.

(v) Mejorar las proporciones, corrigiéndolas de la función de respuesta espacial del sensor (es decir, su *Point Spread Fraction*, PSF), o "contaminación" de la señal por píxeles vecinos, gracias a un método de deconvolución iterativo que aumenta el contraste y definea mucho mejor las estructuras. Incluye un filtro no lineal que reduce ruido y preserva detalle.

• La función *Linking Tools* ofrece un entorno gráfico avanzado para analizar resultados, adaptado a las necesidades del analista, con numerosas ventanas y zooms para mostrar con detalle resultados. Para el píxel seleccionado mediante el cursor, 2 ventanas muestran los espectros de todas las imágenes seleccionadas. Ello permite identificar áreas problemáticas (RMS alto y/o

fracciones incorrectas), y simultáneamente observar el espectro del píxel, el modelado, la solución elegida para el conjunto de EMs y las abundancias de cada EM. El analista dispone de la información necesaria para seleccionar áreas y extraer EMs apropiados para modificar la lista de *inputs* y la estrategia.

- Numerosas herramientas permiten zonificar la imagen incorporando información externa (capas SIG, MDT, clasificaciones, etc.), datos espectrales o resultados previos, crear máscaras con atributos seleccionados (porcentajes de histogramas, valores, rangos, etc.) y combinarlas utilizando cualquier expresión lógica compleja, lo que posibilita integrar información de imágenes diferentes. Finalmente, las áreas seleccionadas pueden bien incorporarse a la segmentación como una nueva clase o utilizarse para sub-clasificar ciertas áreas, con el apoyo de un potente entorno gráfico y herramientas interactivas.

- Es posible definir (dibujar) polígonos en la imagen, editarlos y guardarlos con diferentes formatos, para gestionar regiones de interés (*ROIs*).

- La función *scattergram* (ver figura 3) permite combinar información espectral (procedente de diferentes bandas e imágenes) y espacial (de la segmentación) para definir atributos y actualizar la segmentación o extraer EMs de dichas áreas, usando varias técnicas, tales como *clustering* o métodos basados en CPs. Dichos EMs pueden interpretarse utilizando una técnica avanzada de *spectral matching* que combina un gran número de métodos estándar y conecta los espectros de la imagen con una base de datos, *MedSpec* (Preissler *et alii*. 1998), la cuál contiene unos 2000 espectros de áreas Mediterráneas organizados en categorías, y perfectamente caracterizados. Es posible, además, crear, editar librerías espectrales y remuestrear éstas a las características del sensor deseado.

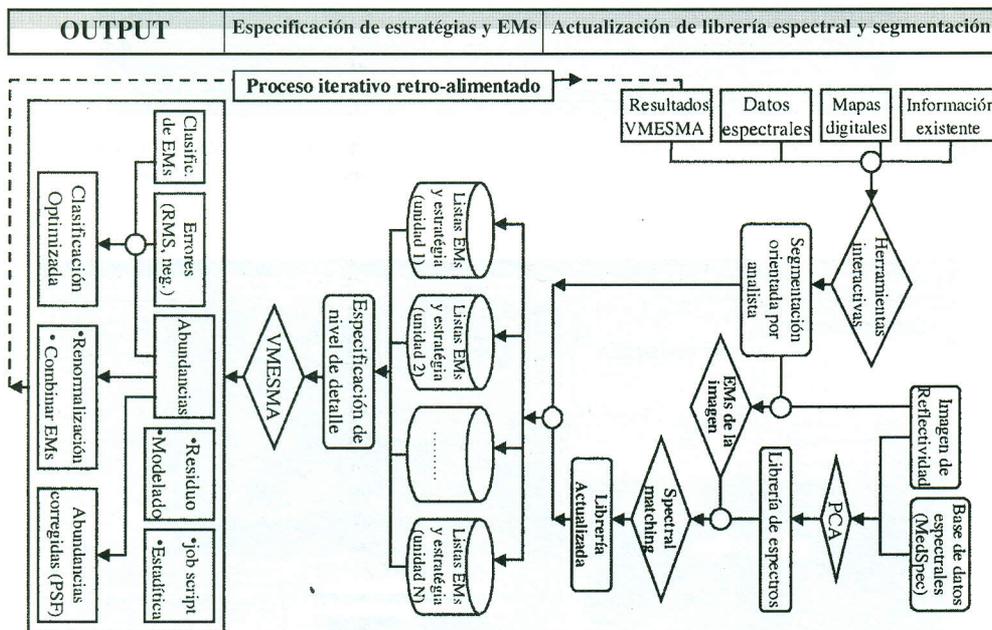


Figura 1. Diagrama de flujo del VMESMA.

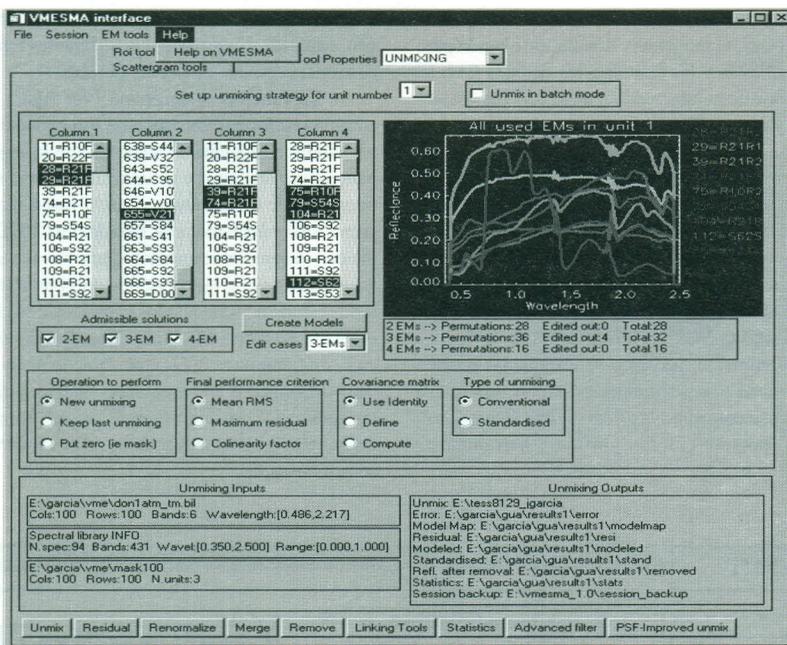


Figura 2. El VMESMA consta de 4 ventanas principales, llamadas “Reflectance”, “Library”, “Segmentation” y “Unmixing” (activada en la figura). Además, la barra de menú principal contiene numerosas funciones avanzadas.

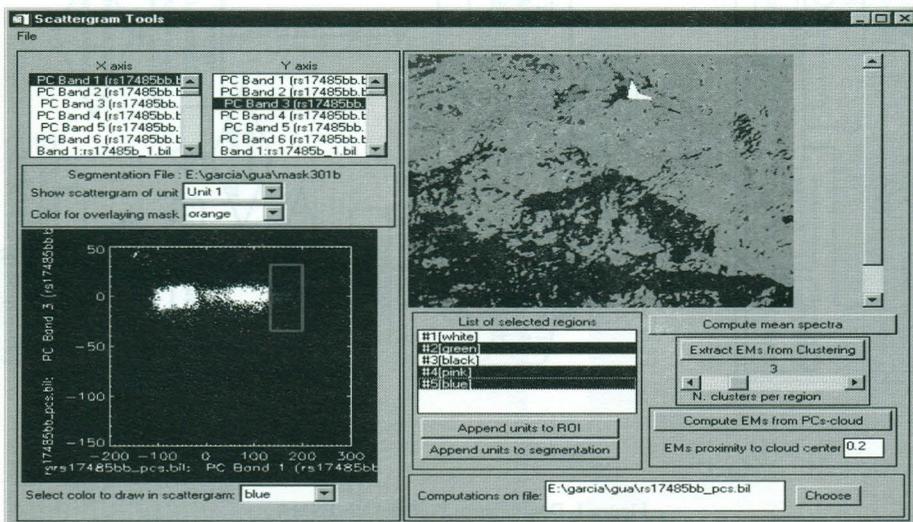


Figura 3. Ejemplo de la función “Scattergram Tools”, en el que se han seleccionado ciertas áreas (aquellas pertenecientes a la clase 1), y representado éstas en el diagrama CP1-CP3, del cuál se seleccionan sub-áreas con atributos espectrales, coloreados en la imagen. Existen varias funciones para estimar EMs de dichas sub-áreas.

## CONCLUSIONES

VMESMA es un entorno potente y robusto para el análisis de datos de teledetección, que incluye multitud de funciones avanzadas y métodos innovadores para mejorar las proporciones de los EMs. Se basa en un proceso iterativo e interactivo, que confiere gran flexibilidad para definir estrategias robustas y precisas. Esta metodología operativa se viene aplicando con éxito en objetivos variados y utilizando diferentes tipos de datos (TM, DAIS, HYMAP, AVIRIS) pertenecientes a diferentes áreas del Mediterráneo (Sommer *et alii.*, 2000; Sommer *et alii.* 1999). Por ejemplo, la metodología basada en firmas estandarizadas ha demostrado ser más eficaz que las técnicas tradicionales tanto en la determinación de procesos erosivos como de contaminación por minerales.

## BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA-HARO, F. J., 1997, Modelización y estimación de parámetros relacionados con la cubierta vegetal en teledetección, Tesis doctoral, Univ. de Valencia.

KEMPER, T., GARCÍA-HARO, F. J., PREISSLER, H., MEHL, W., SOMMER, S., 2000, A multiple endmember unmixing approach for mapping heavy metal contamination after the Doñana mining accident (Seville, Spain), *2nd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Enschede, The Netherlands, 11-13 July.

PREISSLER, H., BOHBOT, H., MEHL, W. AND SOMMER, W., 1998, MEDSPEC-A spectral database as a tool to support the use of imaging spectrometry data for environmental monitoring, *1st EARSeL Workshop on Imaging Spectrometry*, Zurich, pp. 455-462.

SOMMER, S., BRINK, A., GARCÍA-HARO, F. J. and LEONE, A. P., 2000, Use of a spectral library and of MIVIS data to the definition and mapping of a spectral soil degradation indicator in an agricultural area of the Southern Appenines (Italy), *2nd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Enschede, 11-13 July.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado mediante una beca Post-doctoral del JRC (Ispra), de la UE.