

## FUSIÓN DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS

M. Lillo<sup>(\*)</sup>, C. Gonzalo<sup>(\*\*)</sup>, A. Arquero<sup>(\*\*)</sup> y E. Martínez<sup>(\*\*)</sup>  
[malillo@udec.cl](mailto:malillo@udec.cl)

<sup>(\*)</sup>Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Mecanización y Energía, CHILE

<sup>(\*\*)</sup>Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Informática, D.A.T.S.I, ESPAÑA

### RESUMEN

En este trabajo se propone el uso de Algoritmos Genéticos (*AG*) como método de optimización del Modelo de Mezcla Lineal (*MML*), con el objeto de fusionar imágenes multiespectrales que conserven las mejores características espaciales y espectrales de las imágenes fuentes.

El algoritmo propuesto ha sido evaluado con datos obtenidos de imágenes registradas por los sensores *ETM+* y *Panromático* del satélite Landsat 7. Para este estudio la imagen de alta resolución espacial (*IARE*), corresponden a la del sensor pancromático, con una resolución espacial de 15m y la de baja resolución (*IBRE*) corresponde a las bandas espectrales *TM1*, *TM2*, *TM3*, *TM4*, *TM5* y *TM7*, con una resolución espacial de 30m. Como resultado, se han obtenido imágenes con una resolución espectral de 6 bandas y una resolución espacial de 15m.

### ABSTRACT

In this paper the use of Genetic Algorithm (*GA*) is proposed as a optimization methods of *Linear Mixture Model (LMM)*, with the object of fusing multispectral images that conserve the best space and spectral characteristics of the images sources.

The algorithm proposed has being evaluated for images registered by the Landsat 7 *ETM+* sensor. In this study, the high spatial resolution image (*HSRI*) corresponds to the panchromatic image of this sensor, with a spatial resolution of 15m and the low spatial resolution image (*LSRI*) corresponds to the spectral bands *TM1*, *TM2*, *TM3*, *TM4*, *TM5* and *TM7*, with a spatial resolution of 30m. As a result, it has been obtained images with a spectral resolution of the 6 bands and a spatial resolution of 15m.

**PALABRAS CLAVE:** fusión de imágenes, algoritmos genéticos, modelo de mezcla lineal.

### INTRODUCTION

Son muchas las aplicaciones de la teledetección en las que se requiere disponer de imágenes de satélite que presenten simultáneamente alta resolución espacial y espectral, con objeto de definir clases temáticas y espectrales capaces de caracterizar adecuadamente las superficies bajo estudio. Sin embargo, los sensores de satélites de uso masivo (Landsat TM, AVHRR, ASTER, etc..) solamente proveen una de estas características siendo la otra excluyente.

Si bien es cierto que en la actualidad existen algunos satélites como Quickbird o IKONOS, que entregan imágenes de alta resolución espacial y espectral, los costes de adquisición de estas imágenes son altos. Una forma de disponer imágenes de alta resolución espacial y espectral, a costes accesibles, es mediante las técnicas de fusión de imágenes.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un algoritmo capaz de fusionar una imagen multi-espectral con una imagen pancromática, el procedimiento está basado en la optimización del *Modelo de Mezcla Lineal (MML)* (Lillo, 2002) mediante *Algoritmos Genéticos (AG)*. Así el número digital (*ND*) asociado a cada pixel de cada banda de la imagen de baja resolución espacial (imagen fuente), es expresado como una combinación lineal de los *ND* correspondientes a los pixeles resultantes de la imagen fusionada para cada banda espectral.

### DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

#### Modelo

El modelo propuesto está, conceptualmente basado en (Lillo, 2002). Este modelo requiere que las imágenes (*IBRE* e *IARE*) estén geoméricamente referenciadas. También es necesario realizar una clasificación de la

*IARE* para determinar la proporción de las diferentes clases temáticas contenidas en cada pixel de la *IBRE* (figura 1). Esta clasificación puede ser supervisada o no supervisada, dependiendo del conocimiento que se tenga de la zona baja estudio.

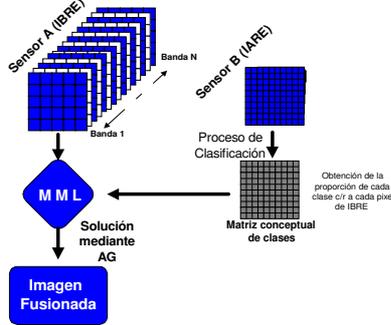


Figura 1. Algoritmo de Fusión

La ecuación (1) propone las relaciones espaciales existentes entre los pixeles de alta resolución con respecto a los de baja resolución, para dos imágenes que tengan un origen común en el extremo superior izquierdo (Price, 1999).

$$\begin{aligned} k &= m(i-1) + 1 \\ l &= m(j-1) + 1 \end{aligned} \quad (1)$$

Siendo  $(i,j)$  la posición del pixel *IBRE* y  $(k,l)$  la posición del pixel en la *IARE*. El término  $m$  corresponde a la razón entre el valor de resolución espacial de la *IBRE* y de la *IARE* (figura2).

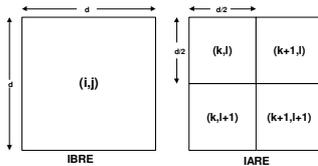


Figura 2. Relación entre *IBRE* y sus correspondencias espaciales en *IARE*.

Se establece una relación porcentual, entre la etiqueta de la clase temática asociada a cada uno de los  $m^2$  píxeles de alta resolución (*IARE*) correspondientes a un píxel de baja resolución (*IBRE*), y el total de clases existentes en los  $m^2$  píxeles. Por medio de la ecuación(2) se obtienen los *ND* correspondientes a la imagen fusionada:

$$ND_i^{IBRE} = \sum_{k=1}^{Nclass} C_k \cdot ND_{k(IARE)}^i \quad (2)$$

donde:

- $ND_i^{IBRE}$  : *ND* de la *IBRE* para la *i*-ésima banda.
- $C_k$  : Vector de proporción para la *k*-ésima clase.
- $ND_{k(IARE)}^i$  : *ND* a ser determinado para la imagen fusionada.
- $Nclass$  : Número de clases definidas en la imagen *IARE*.

Es preciso hacer notar que el sistema lineal de ecuaciones planteado en la ecuación(2) está formado por  $i$  (índice de la banda espectral) ecuaciones y sin embargo incluye  $(Nclass \times i)$  incógnitas por lo que el sistema de ecuaciones resultante tiene infinitas soluciones.

### Optimización del *MML* mediante *AG*

Los *AG* son procedimientos de búsqueda, de propósito general. Un *AG* trabaja modificando repetidamente una población compuesta por estructuras artificiales a través de la aplicación de operadores genéticos: *selección*, *crossover* y *mutación* (figura 3).

El primer paso para utilizar correctamente un *AG*, es definir una estructura adecuada para poder representar el espacio de soluciones. Una instancia de esta estructura de datos representa un estado o punto dentro de dicho espacio. La estructura básica de un *GA* consiste en uno o más  *cromosomas*, que corresponden a una cadena de bits. Cada cromosoma constituye una concatenación de un número de subcomponentes llamados *genes*.

Para encontrar una solución óptima mediante *AG* se debe definir una medida que asigne un índice de calidad a cada instancia dentro del espacio de búsqueda. A esta medida se le denomina: la función *fitness*, que usualmente corresponde a la función objetivo a optimizar.

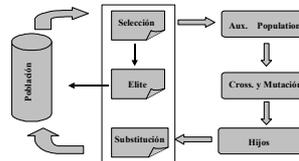


Figura 3. Estructura básica de un *AG* con *Elitismo*

Un *AG* genera aleatoriamente una población inicial. En cada generación, se eligen los dos mejores

individuos de la población para formar parte de la elite que pasará directamente a la siguiente generación, esta estructura de *AG* se denomina *elitista*. El *AG* asigna a cada estructura individual *i*, en la población, una probabilidad de selección,  $1/p_s(i)$ , de acuerdo a la razón entre el *i*-ésimo *fitness* y el *fitness* total acumulado de la población asocia, según la ecuación (3):

$$\frac{1}{p_s(i)} = \frac{f(i)}{\sum_{j=1}^n f(j)} \quad (3)$$

La función de *fitness* utilizada en este trabajo corresponde al *MML*:

$$Fitness = ND_i^{IBRE} - \sum_{k=1}^{N_{class}} C_k \cdot ND_k^{(LARE)} \quad (4)$$

A continuación son seleccionados un total de *n* individuos para el posterior procesamiento genético de acuerdo a la distribución definida por  $1/p_s(i)$ . La selección de los padres para el operador genético de *crossover*, se realiza mediante el criterio de *Roulette Wheel Selection* (Rothlauf, 2002). Los *n* individuos elegidos son emparejados de manera aleatoria, generándose *n/2* parejas a las que se le aplica este operador. Existen varios tipos de *crossover* en *AG*, en este trabajo se utilizará uno de tipo *decimal*, que consiste en realizar un promedio ponderado de cada gen de los individuos que hacen las veces de padres, generando así dos nuevos elementos, como muestra la ecuación (5):

$$\begin{aligned} X' &= pX + (1-p)Y \\ Y' &= (1-p)X + pY \end{aligned} \quad (5)$$

donde *X* e *Y* son los elementos seleccionados para el procedimiento de *crossover*, *p* es una función de probabilidad con distribución uniforme, con valores entre 0 y 1, y *X'* e *Y'* son los elementos obtenidos de la aplicación del operador genético *crossover*. La figura 4 muestra, gráficamente, la aplicación del operador *crossover* para un pixel (*i,j*) de la *IBRE*.

El operador *mutación* es el encargado de la introducción de nuevos cambios en la población, que no son dados por la información obtenida en el procedimiento de *crossover*. Este procedimiento altera aleatoriamente uno o más elementos de la descendencia, forzando de esta manera la introducción de nuevos elementos en la población. La mutación debe ser usada en una baja probabilidad, típicamente de orden de 0.001, para evitar evoluciones aleatorias de la población.

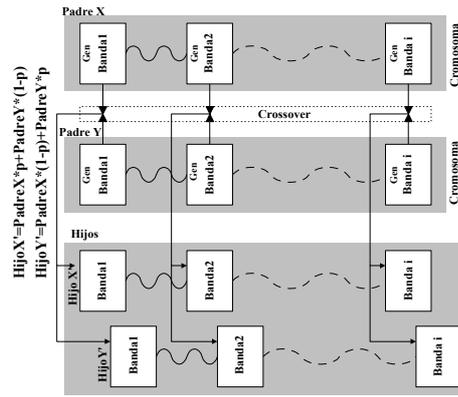


Figura 4. Criterio de Crossover Decimal para el pixel (*i,j*) de la *IBRE*

De esta forma queda definida una nueva generación compuesta por los dos mejores individuos de la generación anterior (*elite*) más los individuos creados mediante los procedimientos de *crossover* y *mutación*. La naturaleza heurística de los *AG*, impone la necesidad de promediar los resultados obtenidos en diferentes ejecuciones del proceso, para evitar la variabilidad de los resultados obtenidos.

## RESULTADOS

Los datos utilizados para la evaluación del algoritmo propuesto, fueron dos escenas 570x570 m<sup>2</sup> ubicadas en la comunidad de Madrid. La imagen fue registrada por el sensor Thematic Mapper ETM+ y Panchromatic del satélite Landsat 7 en Agosto 20 de 1999.

Para la fusión de las imágenes, se definió un cromosoma de 6 *genes*, compuestos por los *ND* de las bandas espectrales de la *IBRE*. La generación de la población inicial se realizó utilizando una distribución de probabilidad de tipo *Normal*, en que la media y desviación standard, son las obtenidas del procedimiento de clasificación aplicado a la *IBRE*. (Lillo, 2002). El tamaño de la población se especificó en 35 elementos, basado en un criterio de calidad de la solución versus coste computacional. El número de generaciones considerado fue limitado por un criterio de convergencia de la *F.O.*, mostrado en la ecuación (6):

$$(ND_i^{IBRE} - \sum_{k=1}^{N_{class}} C_k \cdot ND_k^{(LARE)}) \leq error \quad (6)$$

La figura 5 muestra las escenas originales para las bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 del sensor TM+ y las imágenes resultantes al aplicar el algoritmo de fusión propuesto. La comparación entre ambas escenas, para cada una de las bandas, evidencia la mejora visual proporcionada por el proceso de fusión de las imágenes originales.

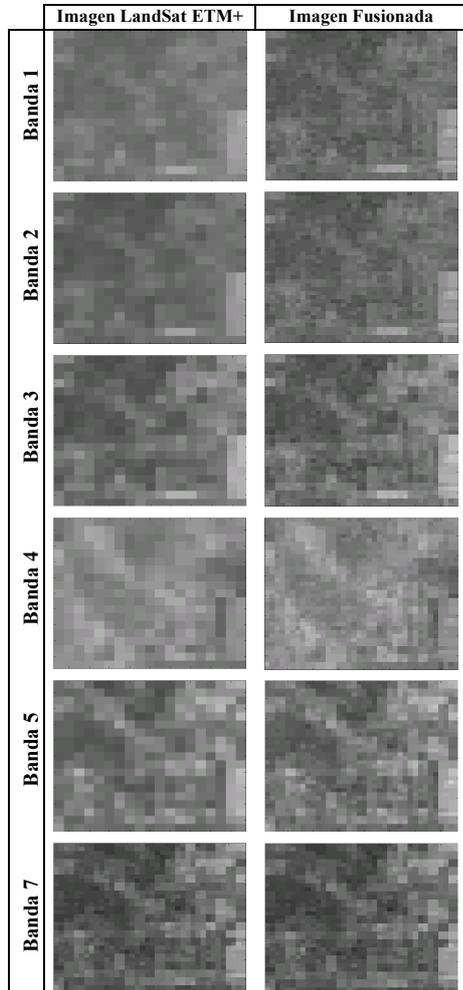


Figure 5 Bandas de una escenas Landsat ETM+ y sus correspondientes imágenes fusionadas.

La tabla 1 muestra los valores de correlación existentes entre las bandas de la imagen fusionada e *IBRE*.

Tabla 1 Cuadro sinóptico de valores de correlación

		Imagen Fusionada					
		B1	B2	B3	B4	B5	B7
IBRE	B1	0.9143	0.9139	0.8943	0.0155	0.6238	0.6857
	B2	0.8922	0.9366	0.9327	0.1070	0.6938	0.7362
	B3	0.8441	0.9019	0.9686	0.1080	0.7652	0.8182
	B4	0.0152	0.1077	0.1125	0.9300	0.3510	0.1618
	B5	0.5875	0.6697	0.7638	0.3364	0.9704	0.9057
	B7	0.6461	0.7105	0.8166	0.1551	0.9056	0.9705

### CONCLUSIONES

La aplicación de *AG* como método de optimización para el proceso de fusión de imágenes basado en el *MML*, evidencia muy buenos resultados visuales, proporcionando un mejor detalle de la imagen bajo análisis. Esto queda evidenciado en los altos valores de correlación entre las mismas bandas de cada imagen. El *MML* tiende a que los resultados de la imagen fusionada además mantengan las características espectrales de la *IBRE*.

El criterio de detención del *AG* planteado en la ecuación (6) asegura que no existe una convergencia acelerada del algoritmo.

Son resultados obtenidos, a pesar de ser de características preliminares, muestran una mejora visual de las imágenes.

### AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología de España que ha financiado este trabajo dentro del proyecto de investigación TIC99-0930.

### REFERENCIAS

- Lillo, M. Gonzalo, C. Arquero, A. Martinez, E. "Fusión de datos Landsat ETM+ para la obtención de imágenes de alta resolución espacial y espectral mediante Simulated Annealing". X SELPER, Cochabamba, Bolivia Nov. del 2002.
- Pradines, D. (1986), "Improving SPOT images size and multispectral resolution". Proceedings of the SPIE: Vol 660, pp. 98-102.
- Rothlauf, F. "Representations for Genetic and evolutionary Algorithms". Physica-Verla. A Springer-Verlag Company, ISSN: 1434-9922, ISBN: 3-7908-1496-2 Physica-Verlag Heidelberg New York.
- Wald, L. "Some Term of Reference in Data Fusion". IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 37 N°3 pp: 1190 - 1193, MAY 1999.