

# Introducción a la Fusión de Imágenes y sus Métricas de Calidad

**Dionisio RODRÍGUEZ ESPARRAGÓN**

**Departamento de Señales y Comunicaciones, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
35017 Las Palmas de Gran Canaria, España**

y

**Anabella MEDINA**

**Departamento de Señales y Comunicaciones, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
35017 Las Palmas de Gran Canaria, España**

y

**Francisco MARCELLO RUIZ**

**Departamento de Señales y Comunicaciones, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
35017 Las Palmas de Gran Canaria, España**

## RESUMEN

En este artículo se realiza una introducción a las técnicas de fusión de imágenes y sus métricas de calidad. También se presenta una aplicación desarrollada en Matlab que aplica dichas métricas.

**Palabras Claves:** Fusión, Medidas de Calidad de Imágenes, Matlab,

## 1. INTRODUCCIÓN

La fusión de imágenes (image fusion) es el proceso de combinar una o varias imágenes para formar otra que integre la información contenida dentro de las imágenes individuales. El resultado es una imagen que tiene un contenido de información mayor que cualquiera de las imágenes de entrada. La meta del proceso de fusión es evaluar la información en la localización de cada píxel de las imágenes de entrada y mantener la información que mejor representa el contenido de la escena real o realzar la utilidad de la imagen fusionada para una aplicación particular. Como se puede imaginar de esta definición, la fusión de imágenes es una disciplina muy amplia, y siempre se refiere a la “fusión” de varios tipos de imágenes que proporcionan información complementaria. Por ejemplo, se pueden combinar imágenes visibles y térmicas para ayudar al aterrizaje de un avión. Imágenes multiespectrales se combinan con las imágenes radar por la habilidad del radar de ver “a través de las nubes” [TS08].

Dos de los campos en los que la fusión de imágenes se aplica con mayor intensidad son el médico y el de sistemas de información geográfica y/o teledetección. En ambos subyace la idea de combinar la información suministrada por distintos sensores para formar una

imagen con más información espacial y/o espectral o con determinadas características mejoradas.

## 2. FUSIÓN DE IMÁGENES MÉDICAS

La fusión de imágenes se ha convertido en un término común usado en el diagnóstico y tratamiento médico. El término se utiliza cuando varias imágenes del paciente se registraron o superpusieron (o se fusionaron) para proporcionar información adicional. Las imágenes fusionadas pueden crearse a partir de varias imágenes de la misma modalidad de imagen, o mediante la combinación de información procedente de múltiples modalidades, como la imagen por resonancia magnética (MRI), tomografía computarizada (CT), tomografía por emisión de positrones (PET), y la tomografía por emisión de fotón único (SPECT). En oncología de radiología y radioterapia, estas imágenes sirven para diferentes propósitos. Por ejemplo, las imágenes de TC se utilizan con más frecuencia para determinar diferencias en la densidad de los tejidos mientras que las imágenes de MRI se utilizan normalmente para el diagnóstico de tumores cerebrales.

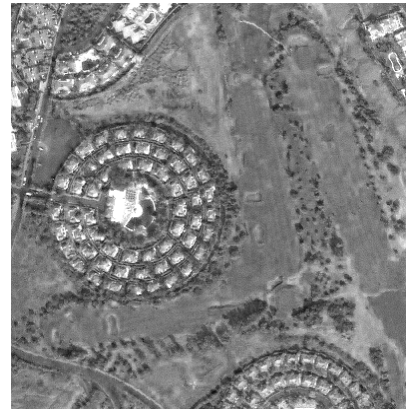
Para avanzar en el diagnóstico, los radiólogos deben integrar información de múltiples formatos de imagen. La fusión de las imágenes anatómicas compatibles son especialmente beneficiosos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer.

## 3. FUSIÓN DE IMÁGENES EN TELEDETECCIÓN

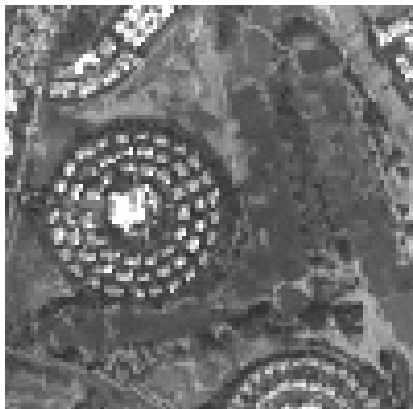
Debido a las limitaciones hardware de los sensores utilizados en satélites artificiales, las imágenes obtenidas con altas resoluciones espaciales tienden a tener bajas resoluciones espectrales y viceversa. Para solventar este problema, muchos de los satélites

actuales disponen a bordo de dos tipos de sensores, uno pancromático y otro multiespectral. El sensor multiespectral capta señales en varias bandas estrechas sobre un campo de visión amplio (baja resolución espacial), mientras que el sensor pancromático capta señales en una banda espectral ancha pero sobre un campo de visión pequeño, proporcionando imágenes de mayor resolución espacial. De tal manera que podemos concluir que el sensor multiespectral tiene gran resolución espectral pero baja espacial y el sensor pancromático lo contrario [TS08].

En las imágenes siguientes podemos observar el efecto de la fusión de imágenes, como, a partir de una imagen multiespectral de alta resolución y una de espectro estrecho y baja resolución, obtenemos una de espectro estrecho y alta resolución.



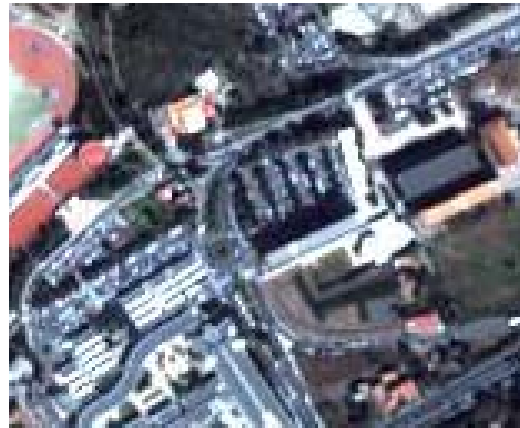
**Ilustración 1: Imagen Pancromática de 400x400 píxeles**



**Ilustración 2: Imagen de Intensidad de Rojos de 100x100 píxeles**

**Ilustración 3: Imagen de Intensidad de Rojos fusionada a partir de las anteriores. El resultado es de 400x400 píxeles**

A continuación podemos observar una imagen original compuesta de las tres bandas RGB y el resultado tras fusionar. Fácilmente se comprueba que se ha incrementado la resolución espacial.



**Ilustración 4: Imagen RGB (compuesta original)**



**Ilustración 5: La misma imagen tras fusionar**

Dada la gran cantidad de aplicaciones que presenta, la fusión de imágenes es un campo de investigación en pleno auge. Si bien es verdad que desde hace algunos

años se habían comenzado a estudiar técnicas de fusión de datos, es a partir del año 2000 cuando se ha despertado un interés creciente asociado a la disponibilidad de imágenes de los actuales satélites de alta resolución. La fusión de imágenes se puede realizar a tres niveles de procesamiento diferentes, a nivel de píxel, a nivel de objeto y a nivel de decisión.

La fusión a nivel de píxel se realiza píxel a píxel. Se genera una imagen fusionada en la que la información asociada a cada píxel se determina a partir de los píxeles de las imágenes de origen. Se consigue mejorar los resultados de las técnicas posteriores de procesamiento de imágenes tales como la segmentación o la clasificación.

La fusión a nivel de objeto requiere la extracción previa de objetos reconocidos en los datos iniciales, por ejemplo, utilizando técnicas de segmentación. Los objetos se extraen de las imágenes iniciales a partir de informaciones propias o de su entorno como pueden ser la extensión, forma, textura o vecindad, y seguidamente se aplican las técnicas de fusión.

La fusión a nivel de decisión consiste en fusionar la información a un nivel más alto de abstracción. Combina los resultados de múltiples algoritmos para obtener una fusión en la etapa de decisión final. Las imágenes fuentes son procesadas independientemente para extraer la información. Entonces, la información obtenida se combina aplicando reglas de decisión para reforzar la interpretación común [JDYJ09].

En la actualidad, para las técnicas de fusión a nivel de píxel se dispone de un gran número de metodologías y algoritmos, principalmente aplicado para la fusión de imágenes ópticas e IR cercanas. Las más populares son las basadas en operaciones aritméticas como la transformada Brovey, Synthetic Variable Ratio o Ratio Enhancement y las basadas en la transformada Análisis de Componentes Principales (PCA, Principal Component Analysis) o la transformada Intensidad-Brillo-Saturación (IHS, Intensity-Hue-Saturation) [ZDCDQ05].

La utilización de estos algoritmos está más extendida dada la baja complejidad computacional que presentan. Sin embargo, proporcionan imágenes fusionadas de baja calidad espectral, es decir cuyo color presenta distorsiones respecto al color de las imágenes multispectrales originales. Esto impide su uso en diferentes tareas habituales en el área de la teledetección, como son: la clasificación de imágenes o la detección de cambios.

Para solventar las limitaciones espectrales de los algoritmos mencionados, recientemente han surgido métodos basados en técnicas de Análisis Multiresolución (MRA, Multiresolution Analysis) [CJ84], que utilizan fundamentalmente la Transformada Wavelet Discreta (TWD). Para lograr resultados óptimos de fusión, diversos esquemas de fusión basados en wavelets han sido propuestos por varios investigadores [KYP05]. Además otras transformadas como Curvelets [ED00], Ridgelets

[ED99], Contourlets [MM05], se han propuesto como alternativas más eficientes desde el punto de vista de la representación de la información que la TWD. Estas nuevas transformadas son altamente anisotrópicas (no dependen de la dirección de los objetos de la imagen), permitiendo una extracción eficaz de los detalles espaciales en diferentes direcciones para ser incorporados en la imagen multispectral. El inconveniente que presentan estos métodos es que son computacionalmente muy complejos

Cada uno de los algoritmos expuestos tienen sus limitaciones y ventajas. Otra estrategia seguida ha sido la combinación de diferentes esquemas de fusión que puedan lograr una mejor calidad de los resultados. Así, por ejemplo, algunos investigadores han combinado con éxito la transformada IHS y la transformada wavelet para intentar conseguir mejores resultados espaciales y espectrales [MHNH10] [GY08]. Por otra parte se han desarrollado algoritmos basados en técnicas que permiten controlar el compromiso entre la calidad espacial y la espectral en las imágenes fusionadas, a partir de la medida de una serie de índices de calidad (como medidas estadísticas, error cuadrático medio, relación señal a ruido, etc.) [MC06] o utilizando bancos de filtros direccionales [MCAE05]. Recientemente también se han definido algoritmos de fusión basados en las respuestas espectrales de los sensores, sin embargo estos dependen considerablemente del grado de solapamiento entre los anchos de bandas de las diferentes bandas espectrales del sensor. Otro de los retos existentes en las técnicas de fusión es la capacidad de tratamiento de datos de satélite de sensores hiperespectrales. Redes Neuronales Artificiales parece ser un posible enfoque para manejar la naturaleza de alta dimensión de estos datos de sensores hiperespectrales [SYB02].

#### **4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA TÉCNICA DE FUSIÓN**

Un aspecto clave, y en permanente mejora, es la evaluación y cuantificación de la calidad de las imágenes fusionadas. En este sentido, recientemente se han desarrollado una serie de métricas o índices de calidad como el ERGAS, Q, Q4, SAM, SSIM, con el objetivo de medir la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas y para permitir la comparación entre diversos algoritmos de fusión. Sin embargo, varios autores han demostrado que no siempre suponen una comparación fiable y en definitiva sigue siendo otra línea abierta de investigación [YZ08]. En definitiva, y a pesar de los esfuerzos en este campo y de la variedad de métodos de fusión existentes, todavía no existe ningún algoritmo que sea óptimo y en consecuencia, lo adecuado es utilizar aquella técnica que favorezca las propiedades de la imagen que queramos mejorar, teniendo en cuenta la aplicación concreta a la que va a ser destinada la imagen fusionada y el coste computacional de su implementación.

En este sentido se ha desarrollado el entorno Matlab que aparece en la siguiente figura, que permite al usuario evaluar la bondad de la técnica de fusión según el método empleado.

En el aparece la imagen pancromática y las imágenes originales R, G, B y NIR (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano) con las respectivas imágenes fusionadas. El menú de medida permite obtener los siguientes valores (tal y como se aprecia en la figura):

a) Correlación correspondiente a la siguiente expresión:

$$CC(X, Y) = \frac{\sum_{m,n} (X_{m,n} - \bar{X}) \cdot (Y_{m,n} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{m,n} (X_{m,n} - \bar{X})^2 \cdot (Y_{m,n} - \bar{Y})^2}}$$

**Ecuación 1**

Donde X e Y representan a la imagen original y fusionada respectivamente

b) Índice Zhou:

$$ZI = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B CC(FUS_{HP}^i, PAN_{HP})$$

**Ecuación 2**

Que corresponde a la correlación entre las bandas fusionadas y la imagen pancromática filtrada paso alto.

c) ERGAS espacial, espectral y Global

$$ERGAS_{spectral} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \left( \frac{(RMSE_{spectral}^i)^2}{(MS^i)^2} \right)}$$

**Ecuación 3**

$$ERGAS_{spatial} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \left( \frac{(RMSE_{spatial}^i)^2}{(PAN^i)^2} \right)}$$

**Ecuación 4**

Que corresponden a la relación entre los la relación entre el error cuadrático medio con la imagen multiespectral (ERGAS espectral) o la imagen pancromática (ERGAS espacial).

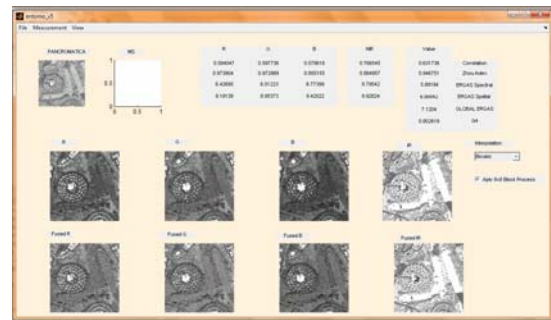
d) Q4

$$Q4 = \frac{4|\sigma_{Z_A Z_B}| |\bar{Z}_A| |\bar{Z}_B|}{(\sigma_{Z_A}^2 + \sigma_{Z_B}^2)(|\bar{Z}_A|^2 + |\bar{Z}_B|^2)}$$

**Ecuación 5**

En la que ZA y ZB son cuaterniones que corresponden al número hipercomplejo que surge de las combinaciones de las distintas bandas espectrales (rojo, verde, azul e infrarrojo).

Como elemento diferenciador se puede seleccionar el tipo de interpolación usado en la medida y, el caso del Q4 si se desea realizar la medida en bloques de 8x8 píxeles.



**Ilustración 6: Interfaz de usuario para la evaluación de las diferentes técnicas de fusión.**

## 5. BIBLIOGRAFÍA

[TS08]: Tania Stathaki, Image Fusion. Algorithms and Applications, ELSEVIER, First Edition, 2008.  
 [JDYJ09]: Jiang Dong, Dafang Zhuang, Yaohuan Huang and Jingying Fu, Advances in Multi-Sensor Data Fusion: Algorithms and Applications, MDPI - Open Access Publishing. <http://www.mdpi.com/journal/sensors>  
 [ZDCDQ05]: Zhijun Wang, Djemel Ziou, Costas Armenakis, Deren Li, and Qingquan Li, A Comparative Analysis of Image Fusion Methods, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 2005.  
 [CJ84]: C.H. Adelson y J.R. Bergen, Pyramid methods in image processing, RCA Eng, 1984.  
 [KYP05]: Krista Amolins, Yun Zhang and Peter Dare, Wavelet based image fusion techniques - An introduction, review and comparison, ISPRS J. Photogram. Remote Sens, 2007.  
 [ED00]: Emmanuel J. Candès and David L. Donoho, Curvelets A surprisingly effective non adaptive representation for objects with edges, Saint-Malo Proceedings, 2000.  
 [ED99]: Emmanuel J. Candès and David L. Donoho, Ridgelets: The key to higher dimensional intermittency, 1999.