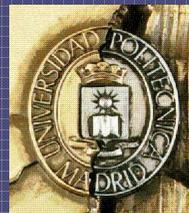




Introducción a la FUSIÓN de IMÁGENES de satélite

María González-Audicana Amenábar (UPNA)



Madrid, 23 Abril 2007

Estructura general de la presentación:

1.- Introducción a la FUSIÓN de DATOS

2.- Fusión de IMÁGENES de satélite: MULTIESPECTRALES y PANCROMÁTICAS

3.- Esquema GENERAL del proceso de fusión de imágenes MULTI y PAN

4.- Aspectos GEOMÉTRICOS a tener en cuenta antes de la FUSIÓN

5.- Aspectos ESPECTRALES y RADIOMÉTRICOS a tener en cuenta antes de la FUSIÓN

6.- Breve introducción a los MÉTODOS de FUSIÓN de imágenes MULTI y PAN

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

Fusión de información captada por distintos sensores → Capacidad natural seres vivos

Imágenes, sonidos, olores...

Ojos, oídos, nariz...

Combinar datos de múltiples sensores → "Multisource Integration", "Data Fusion"...

Distintas definiciones para el concepto de FUSIÓN de DATOS [1]

Grupo Europeo de Fusión de Datos (*French Society for Electricity and Electronics, SEE; European Association of Remote Sensing Laboratories, EARSeL*), enero de 1998:

La fusión de datos constituye el marco formal que engloba los medios y las herramientas para la unión de datos provenientes de distintas fuentes. Su objetivo es el de obtener información de mayor calidad, dependiendo la definición de 'mayor calidad' de la aplicación.

[1] L. Wald, "Some terms of reference in data fusion", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 37(3), pp. 1190-1193, may 1999

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

En el ámbito de la **TELEDETECCIÓN**: Dependiendo de la finalidad de cada sensor → **IMÁGENES** de distinta resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Información de naturaleza **COMPLEMENTARIA** → **INTEGRACIÓN** o fusión de imágenes

Ópticas y Rádar

Multiespectrales y Pancromáticas

MULTI: alta resolución espectral, baja resolución espacial
PAN: alta resolución espacial, baja resolución espectral

Relación inversa
ESPACIAL ↔ ESPECTRAL

Imágenes QuickBird:

MULTI: Azul, Verde, Rojo e IRcercano, **2.8m**
PAN: Azul-IRcercano, **0.7m**

Información **COMPLEMENTARIA**

Imagen **FUSIONADA**: Imagen multispectral de alta resolución espacial

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

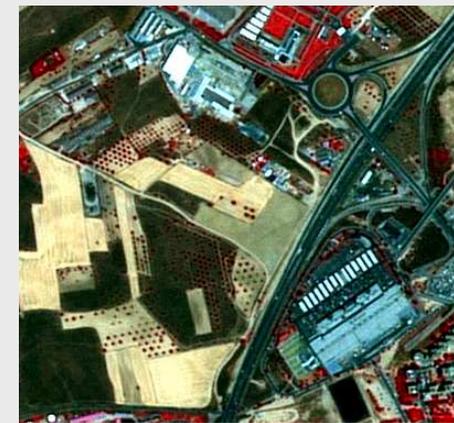
Imagen FUSIONADA: Imagen multispectral de alta resolución espacial



SPOT 5 XI, 10m, 1km*1km

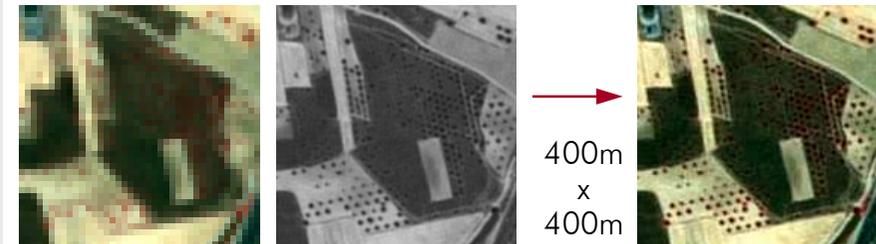
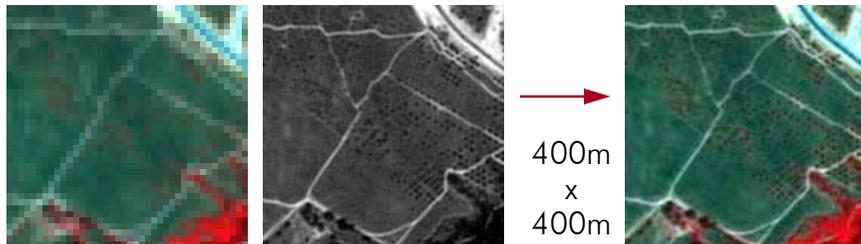


SPOT 5 PAN, 2.5m, 1km*1km



FUSIÓN, 2.5m, 1km*1km

- ✘ Mejora en la **identificación visual** de elementos y cubiertas. **Generación de cartografía por fotorinterpretación**
- ✘ Mejora en los procesos de **SEGMENTACIÓN AUTOMÁTICA** de imágenes
- ✘ Mejora en los procesos de **CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA** de imágenes: **TEXTURAS**



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

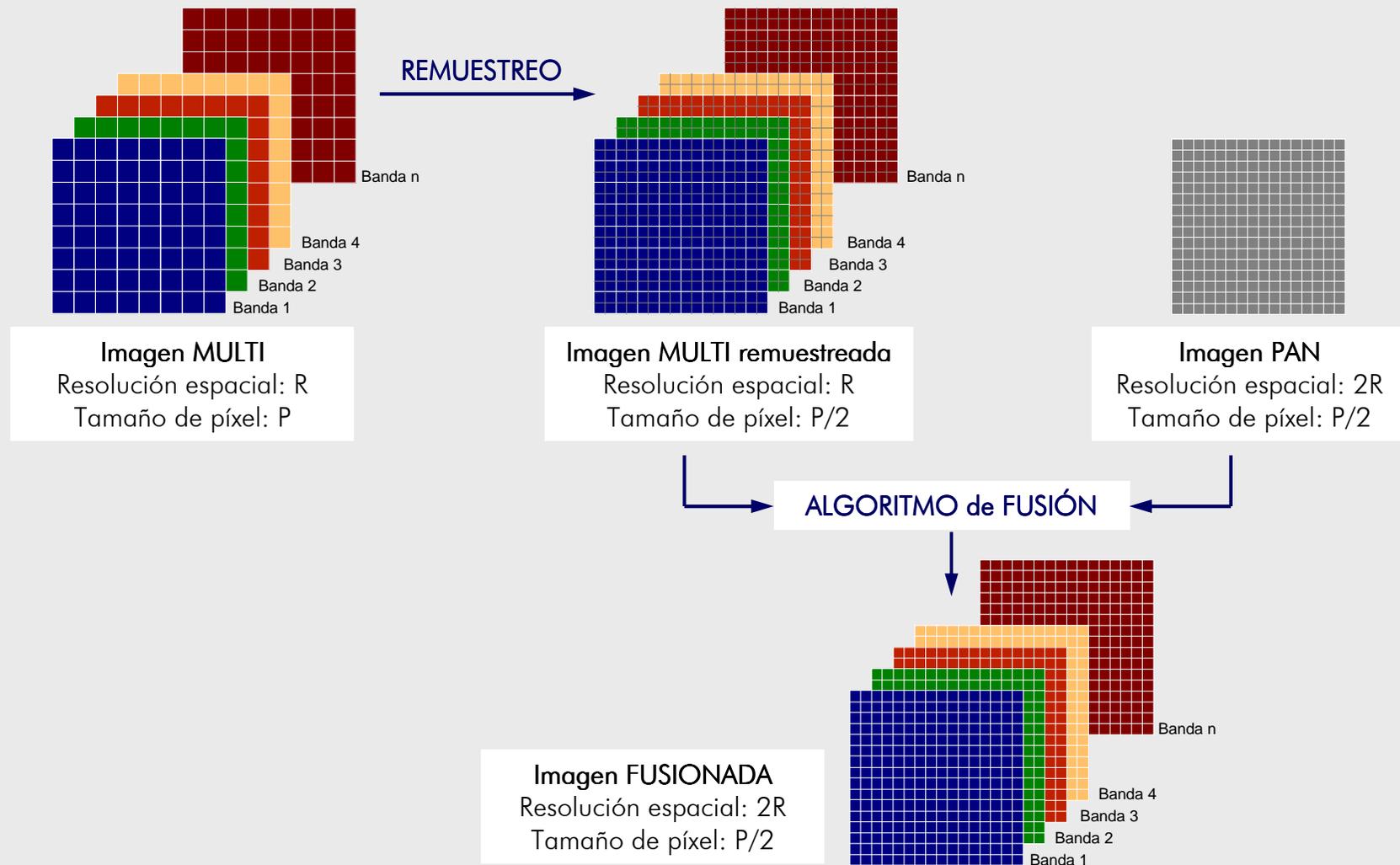
Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

Esquema GENERAL del proceso de fusión de imágenes MULTI y PAN



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

Esquema GENERAL del proceso de fusión de imágenes MULTI y PAN



Imagen QB MULTI, R
Tamaño de píxel: 2.8m
Tamaño imagen: 80f*100c

REMUESTREO



Imagen QB MULTI rem, R
Tamaño de píxel: 0.7m
Tamaño imagen: 320f*400c



Imagen QB PAN, 4R
Tamaño de píxel: 0.7m
Tamaño imagen: 320f*400c

ALGORITMO de FUSIÓN



Imagen FUSIONADA, 4R
Tamaño de píxel: 0.7m
Tamaño imagen: 320f*400c

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

Requerimientos GEOMÉTRICOS previos a la fusión de imágenes MULTI y PAN

1. Igual TAMAÑO de PÍXEL

2. Perfectamente SUPERPONIBLES

1. Remuestrear imagen MULTI al tamaño de píxel de la PAN:

- × Si es posible, al mismo tiempo que la operación de georreferenciación u ortorectificación
- × Vecino más próximo, interpolación bilineal, convolución cúbica

2.A. MULTI y PAN adquiridas por distintos satélites o por un mismo satélite en distinta fecha

(Landsat 5,7 MULTI+ SPOT 4,5 PAN; Landsat 5,7 MULTI + IRS PAN...)

- × Corregistrar MULTI respecto PAN, de forma relativa
- × Georreferenciar PAN de forma absoluta y MULTI respecto de PAN, de forma relativa
- × Georreferenciar MULTI y PAN de forma absoluta

AL MISMO tiempo que se realiza la georreferenciación (u ortorectificación...) se REMUESTREA la imagen MULTI al tamaño de píxel de la PAN

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

2.B. MULTI y PAN adquiridas por un mismo satélite en la misma fecha

Imágenes QuickBird, MULTI (A,V,R,IRc 2.8m) y PAN (A-IRc 0.7m) :

Diferencia de décimas de segundo en la adquisición

Niveles de procesamiento: Basic, **Standard**, Ortho.

Experiencia: pequeños desplazamientos (1 ó 2 f, c). No siempre. **Análisis MULTI remuestreada**

Imágenes IKONOS, MULTI (A,V,R,IRc 4m) y PAN (A-IRc 1 m) :

Diferencia de décimas de segundo en la adquisición

Niveles procesamiento: **Geo** (Geo standard, Ortho kit), Ortho (Standard, Referencie, Pro...)

Experiencia: pequeños desplazamientos (1 ó 2 f, c). No siempre. **Análisis MULTI remuestreada**

Imágenes Orbview-3, MULTI (A,V,R,IRc 4m) y PAN (A-IRc 1 m) :

Niveles de procesamiento: Basic, Geo, Ortho

Procedimiento de trabajo:

Remuestrear MULTI al tamaño de píxel de PAN → Desplazar MULTI hasta hacerla coincidir con PAN → Fusionar → Ortorectificar

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

2.B. MULTI y PAN adquiridas por un mismo satélite en la misma fecha

Imágenes SPOT 4, MULTI (V,R,IRc,IRm 20m) y PAN (R 10m) :

Se adquieren en el mismo instante. Niveles de procesamiento: 1A, 1B, 2A, 2B, Ortho.

Experiencia: perfectamente superponibles. **Análisis con MULTI remuestreada**

Imágenes Landsat 7 ETM, MULTI (A,V,R,IRc, IRm₁,IRm₂ 30m) PAN (A-IRc 15m) :

Se adquieren en el mismo instante. Experiencia: perfectamente superponibles

Procedimiento de trabajo:

Remuestrear MULTI al tamaño de píxel de PAN → Fusionar → Ortorectificar

Imágenes IRS 1C, 1D, MULTI (V,R,IRc, IRm 25m) y PAN (A-IRc 5m) :

Se adquieren con una diferencia de aprox. 5 segundos. **Varía el ángulo de adquisición.**

Niveles de procesamiento: Radiom. corrected, **System corrected** (path / north oriented)

Experiencia: NO SUPERPONIBLES. Desplazamientos más importantes en zonas de relieve más pronunciado. **Análisis con MULTI remuestreada**

Procedimiento de trabajo: Igual que en el caso de imágenes de distintos sensores / fechas

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

2.B. MULTI y PAN adquiridas por un mismo satélite en la misma fecha

Imágenes SPOT 5, MULTI (V,R,IRc,IRm 10m) y PAN (V-R 5m ó 2.5m) :

Se adquieren, por el mismo instrumento, con una diferencia de aprox. 3 segundos. Varía el ángulo de adquisición. Niveles de procesamiento: 1A, 1B, 2A, 2B, Ortho.

Experiencia: NO SUPERPONIBLES,(1A, 1B, 2A). Desplazamientos más importantes en zonas de relieve más pronunciado. **Análisis con MULTI remuestreada**

Scene Extract Parameters

Scene ID	5 033-269 05/06/28 11:10:02 1 T
K-J identification	33-269
Date	2005-06-28 11:10:02.0
Instrument	HRG 1
Shift Along Track	0 0
Preprocessing level	1A
Spectral mode	T
Number of spectral bands	1
Spectral band indicator	PAN
Gain number	5
Absolute calibration gains (W/m ² /sr/μm)	1.419412
Orientation angle	13.575767 degree
Incidence angle	R6.953693 degree
Sun angles (degree)	Azimut: 134.265171 Elevation: 67.762514
Number of lines	24000
Number of pixels per line	24000

Scene Extract Parameters

Scene ID	5 033-269 05/06/28 11:10:04 1 J
K-J identification	33-269
Date	2005-06-28 11:10:04.5
Instrument	HRG 1
Shift Along Track	0 8
Preprocessing level	1A
Spectral mode	J
Number of spectral bands	4
Spectral band indicator	HI1 HI2 HI3 HI4
Gain number	5 5 4 2
Absolute calibration gains (W/m ² /sr/μm)	1.327033 1.597198 1.315116 4.885724
Orientation angle	13.714074 degree
Incidence angle	R6.917865 degree
Sun angles (degree)	Azimut: 134.279008 Elevation: 67.767162
Number of lines	6000
Number of pixels per line	6000

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

2.B. MULTI y PAN adquiridas por un mismo satélite en la misma fecha



Pto.1, superponible con PAN:
14m X hacia O, 42m Y hacia N
Pto.2, superponible con PAN:
10m X hacia O, 54m Y hacia N

Imagen SPOT 5 MULTI, 15km * 5km, 10m



Imagen SPOT 5 PAN, 15km * 5km, 2,5m

Procedimiento de trabajo: Igual que en el caso de imágenes de distintos sensores / fechas
Ortorectificar PAN → Ortorectificar y remuestrear MULTI respecto PAN → Fusionar

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

RATIO de resolución espacial entre las imágenes MULTI y PAN a fusionar

FUSIONABLES imágenes con distintos RATIOS de resolución espacial:

Ratio 2:1 → SPOT 4 MULTI_{20m} y PAN_{10m}, Landsat 7 MULTI_{30m} y PAN_{15m}, SPOT 5 MULTI_{10m} y PAN_{5m}, IRS P6_{LISS IV} MULTI_{5m} y Cartosat PAN_{2.5m}

Ratio 3:1 → Landsat 5, 7 MULTI_{30m} y SPOT 4 PAN_{10m}

Ratio 4:1 → Ikonos MULTI_{4m} y PAN_{1m}, QuickBird MULTI_{2.8m} y PAN_{0.7m}, Orbview-3 MULTI_{4m} y PAN_{1m}, SPOT 5 MULTI_{10m} y PAN_{2.5m}

Ratio 5:1 → IRS 1C, 1D, P6_{LISS III} MULTI_{25m} y PAN_{5m}

Ratio 6:1 → Landsat 5, 7 MULTI_{30m} e IRS 1C,D PAN_{5m}

En todos los casos, aplicable **cualquier MÉTODO** de fusión.

Desde el punto de vista teórico, métodos de fusión **basados en TRANSFORMADAS** tipo **WAVELET**, mejor **ratios de resolución diádicos** (2:1, 4:1, 8:1...)

RATIO de resolución espacial límite:

Determinado experimentalmente (**personal) → **Máximo 8:1, Máx. recomendable 6:1**

Con ratios mayores se modifica excesivamente la información espectral contenida en la imagen MULTI de partida. Imagen fusionada de baja calidad desde el punto de vista espectral.

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

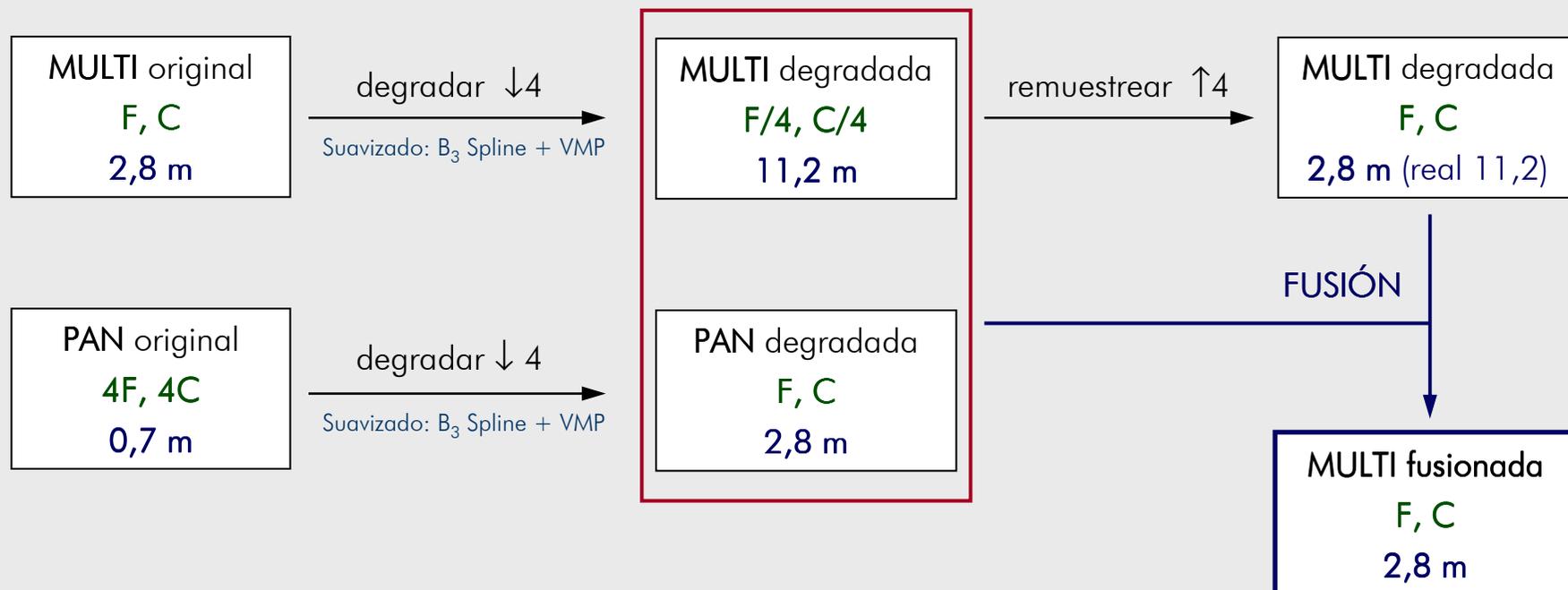
Aspectos espectrales

Experimentación en aspectos relacionados con la fusión: IMÁGENES DEGRADADAS

Imagen fusionada de ALTA CALIDAD → Imagen similar a la que hubiera adquirido el sensor MULTI si trabajase a la resolución espacial del PAN

Imágenes QuickBird: $MULT_{2,8m}$ y $PAN_{0,7m}$ → $FUSIONADA_{0,7m}$

SOLUCIÓN: Trabajar con imágenes DEGRADADAS



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

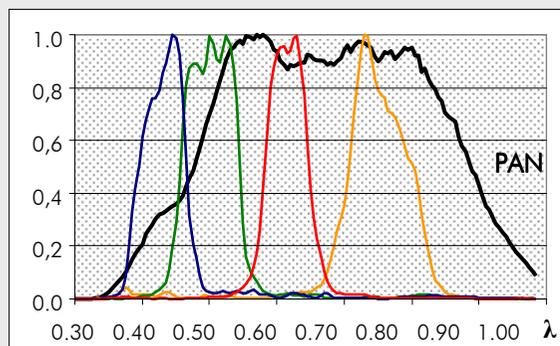
Objetivo de la fusión → Incorporar a la imagen MULTI la información de detalle adquirida por la PAN y no adquirida por ésta.

Incorporación de detalle

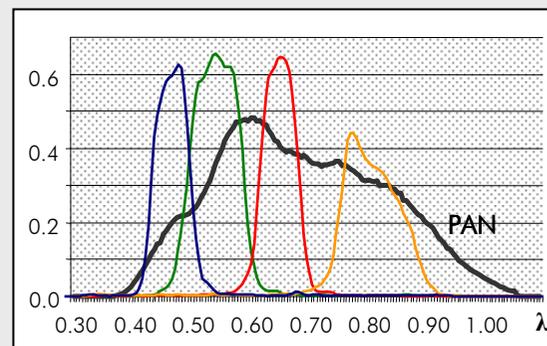
- × Directamente en cada banda de la imagen MULTI
- × Indirectamente a través de la componente I resultante de una transformación IHS
- × Indirectamente a través de la CP1 resultante del ACP aplicado a la imagen MULTI

Imagen PAN captada en un intervalo de λ distinto al de cada una de las bandas de la MULTI → **PROBLEMA**: Distorsión de la información espectral de la imagen MULTI

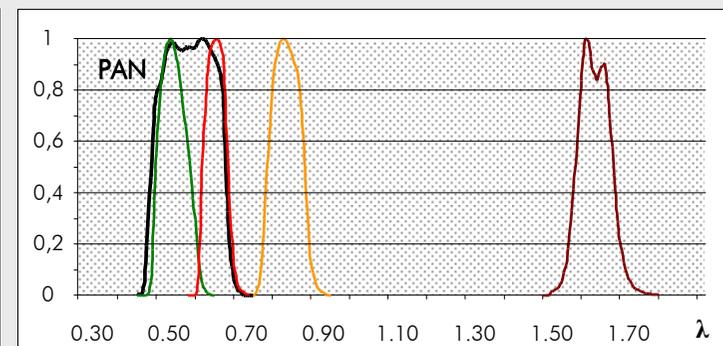
Posibles situaciones



Curvas de respuesta espectral
MULTI y PAN de Ikonos



Curvas de respuesta espectral
MULTI y PAN de QuickBird



Curvas de respuesta espectral
MULTI y PAN de QuickBird

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

Imagen PAN captada en un intervalo de λ distinto al de cada una de las bandas de la MULTI → **PROBLEMA**: Distorsión de la información espectral de la imagen MULTI

SOLUCIÓN: Igualar el histograma de la PAN al de cada una de las bandas de la MULTI

- MATCH: igualando medias y desviaciones estándar **
- MATCH: igualando frecuencias acumuladas



Sea X la imagen respecto a la cual se desea igualar el histograma de la imagen PAN:

$$\boxed{ND_{PANX} = a \cdot ND_{PAN} + b} \quad \text{donde} \quad a = \frac{\sigma_X}{\sigma_{PAN}}, \quad b = \bar{X} - \left(\frac{\sigma_X}{\sigma_P} \cdot \overline{PAN} \right)$$

σ_X : desviación estándar de la imagen X

σ_{PAN} : desviación estándar de la imagen PAN

\bar{X} : ND medio de la imagen X

\overline{PAN} : ND medio de la imagen PAN

Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

EJEMPLO: Se ha igualado el histograma de la imagen QuickBird PAN al de la banda X1 de la MULTI

MATCH (transformación lineal cte.): igualando medias y desviaciones estándar

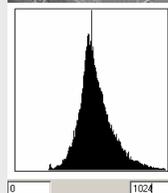


Imagen PAN
 $\overline{PAN} : 558.025, \sigma_{PAN} : 146,550$

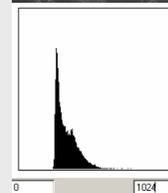
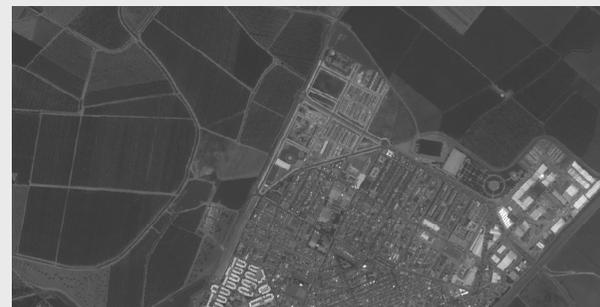


Imagen X1
 $\overline{X1} : 331.993, \sigma_{X1} : 92.802$

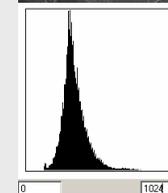
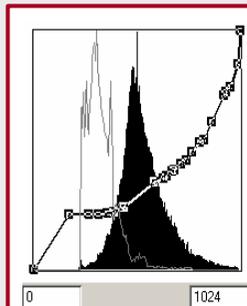


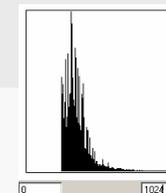
Imagen PAN_match X1
 $\overline{PAN} : 331.993, \sigma_{PAN} : 92.802$

MATCH (transformación lineal por intervalos de ND): igualando frecuencias acumuladas



Transformación aplicada

Imagen PAN_match X1
 $\overline{PAN} : 350.845, \sigma_{PAN} : 121.204$



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

¿Es preferible trabajar, de cara a la fusión, con ND o con valores de radiancia?

Con la mayoría de los algoritmos de fusión, se obtienen **los mismos resultados** trabajando con ND que con radiancias. (Más cómodo y menos costosos trabajar con ND)

Obligatorio trabajar con **valores de radiancia** cuando se aplican métodos que tienen en cuenta la información contenida en **las curvas de respuesta espectral de los sensores (SRF)**.

¿Cuándo aplicar la corrección atmosférica? ¿Antes o después de la fusión?

En general, se recomienda **fusionar en primer lugar** las imágenes MULTI y PAN. **A continuación aplicar la corrección atmosférica**. En caso de que sean correcciones en las que se han de tener en cuenta valores numéricos de las imágenes a corregir, tomar éstos de la imagen **MULTI original**.

¿Pueden aplicarse todos los métodos de fusión a imágenes de más de 8 bits?

Prácticamente todos los algoritmos de fusión de imágenes (excepto los basados en algunas transformaciones IHS) pueden aplicarse a imágenes de más de 8 bits, por lo que no es necesario comprimir la imagen desde el punto de vista radiométrico.

MÉTODOS CLÁSICOS de fusión de imágenes MULTI y PAN

1.- Métodos basados en operaciones algebraicas → Las imágenes fusionadas se obtienen como resultado de operaciones algebraicas entre bandas de la imagen MULTI y la PAN

2.- Métodos basados en transformadas → Las imágenes fusionadas se obtienen incorporando a las imágenes MULTI información de las PAN en un dominio transformado

2.a. - Métodos de sustitución de componentes

Basados en transformadas **Intensidad-Tono-Saturación**

Basados en el **Análisis de Componentes Principales**

Se integra en la imagen MULTI toda la información de la imagen PAN

2.b. - Métodos basados en transform. wavelet asociadas al Análisis Multirresolución

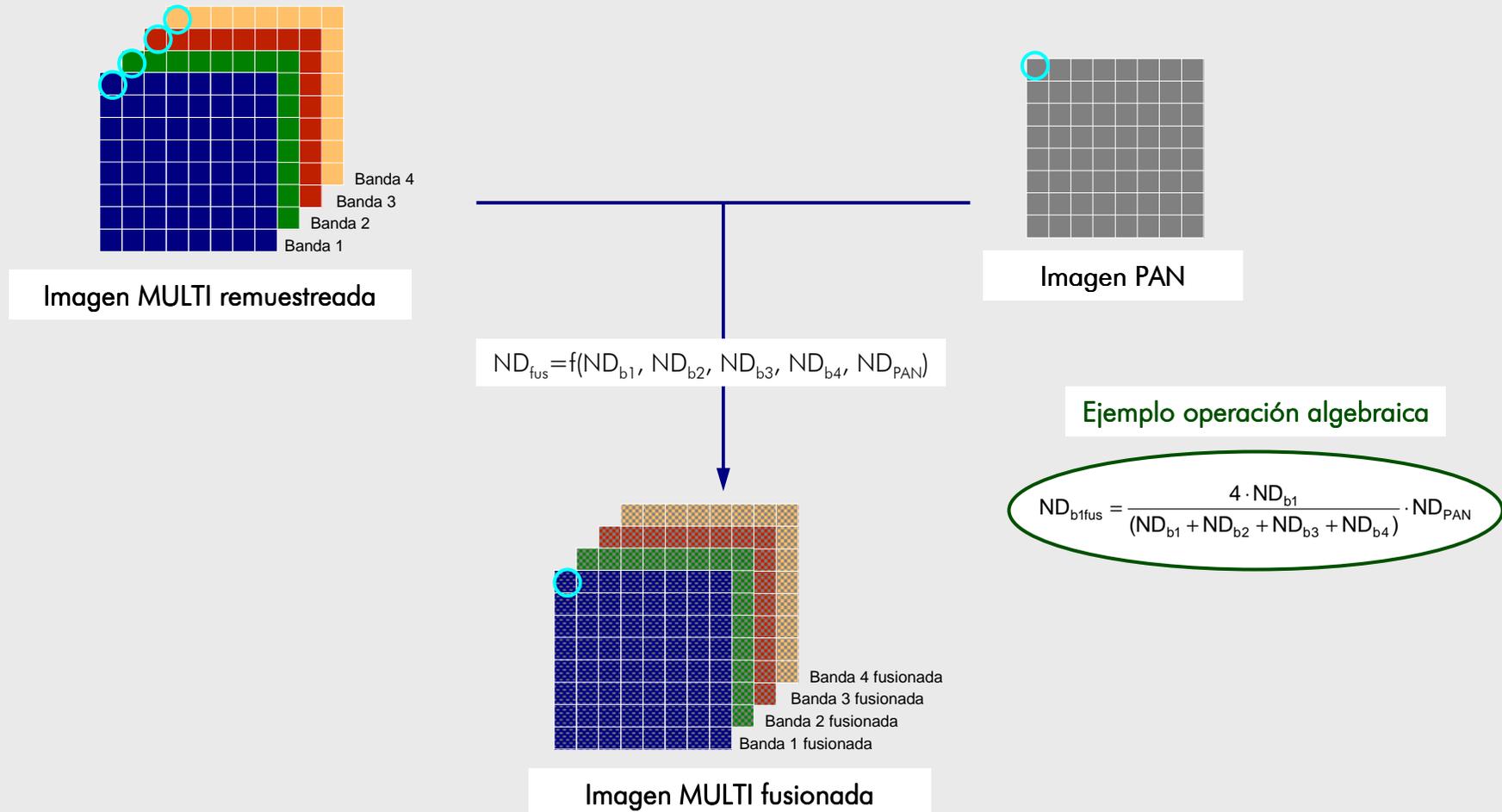
Empleando algoritmos de **TWD decimados**

Empleando algoritmos de **TWD no decimados** (redundantes)

Se integra en la imagen MULTI únicamente información de detalle espacial de la PAN

MÉTODOS CLÁSICOS de fusión de imágenes MULTI y PAN

1.- Métodos basados en operaciones algebraicas, píxel a píxel



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

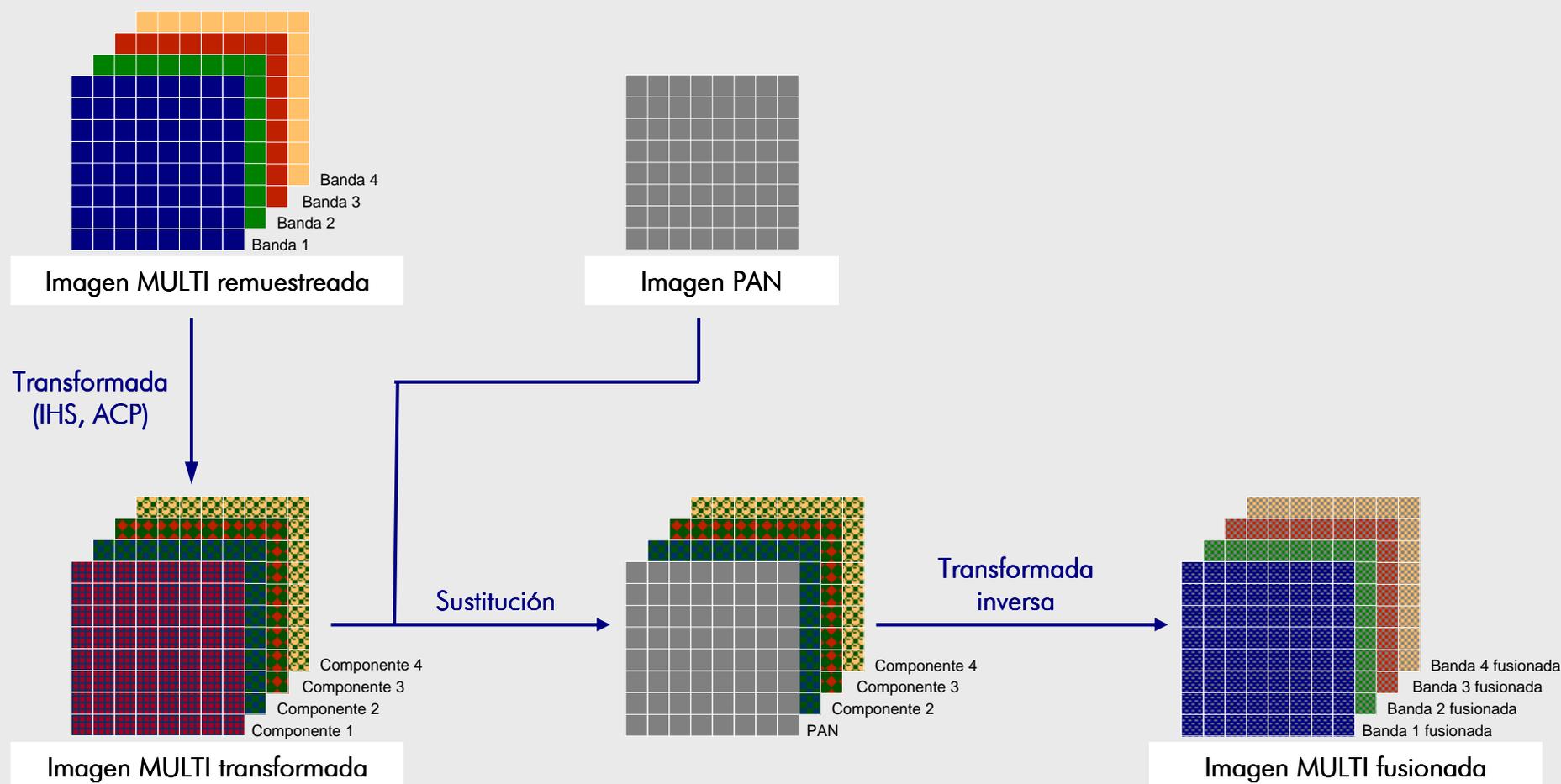
Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

MÉTODOS CLÁSICOS de fusión de imágenes MULTI y PAN

2.a.- Métodos basados en transformadas. Métodos de sustitución de componentes



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Jornadas de Fusión

Fusión de datos

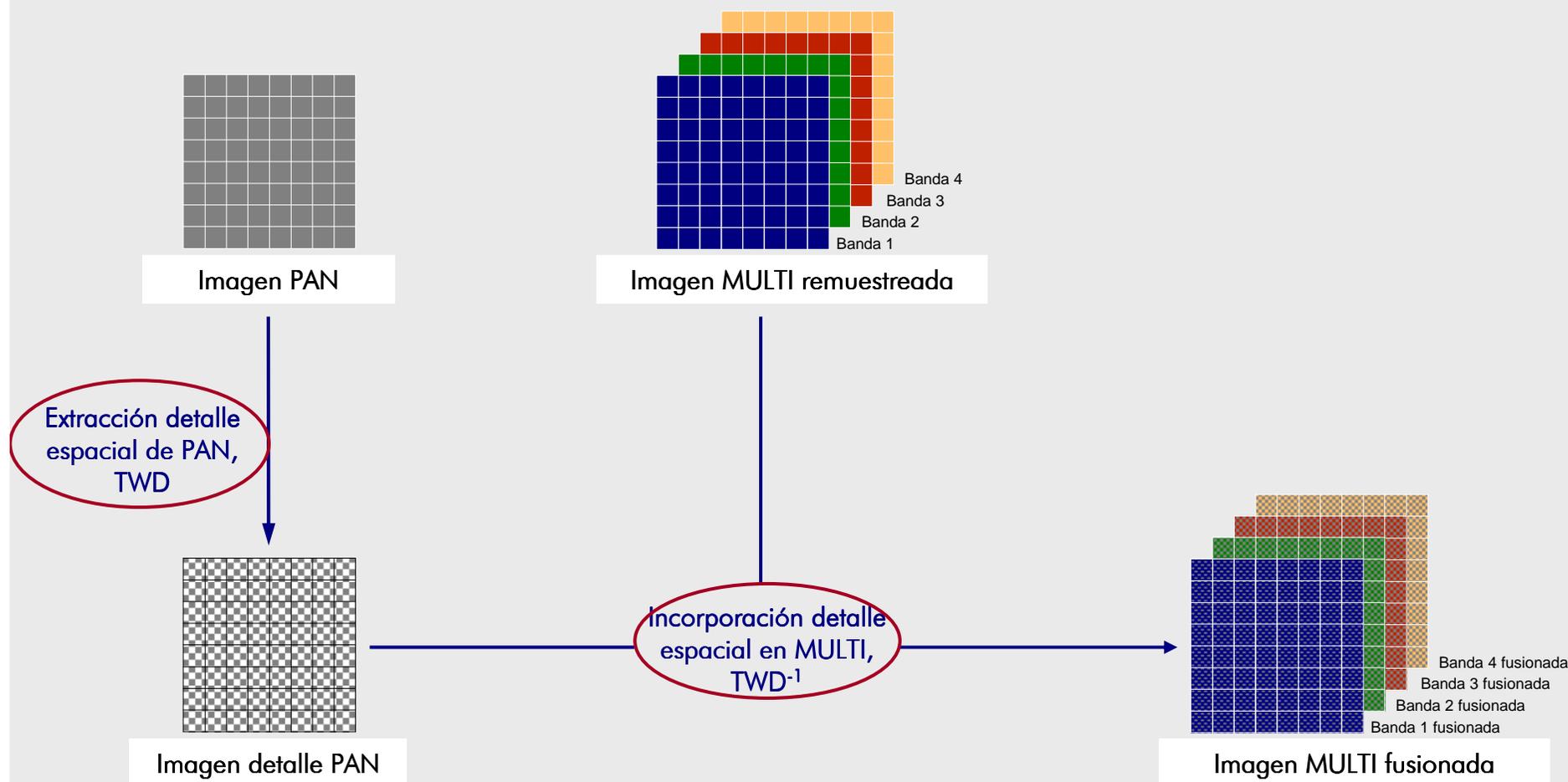
Fusión MULTI-PAN

Aspectos geométricos

Aspectos espectrales

MÉTODOS CLÁSICOS de fusión de imágenes MULTI y PAN

2.b.- Métodos basados en transformadas. Métodos basados en TWD



Introducción a la fusión de imágenes de satélite

Madrid, 23 abril 2007



¡ Gracias por su atención !