

# SOBRE EL INTERÉS DEL INFRARROJO MEDIO EN CLASIFICACIÓN CATEGÓRICA: UNA REFLEXIÓN Y UNA NOTA DE UTILIDAD PARA EL DISEÑO DE NUEVAS MISIONES

Gerard Moré Gómez<sup>1</sup>, Pere Serra Ruiz<sup>2</sup>, Xavier Pons Fernández<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> CREAM (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales)  
Ed. C. Universitat Autònoma de Barcelona  
08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona)  
[g.more@creaf.uab.cat](mailto:g.more@creaf.uab.cat)

<sup>2</sup> Departamento de Geografía. Ed. B. Universitat Autònoma de Barcelona  
08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona)

**Palabras clave:** Configuración espectral, Infrarrojo medio, Landsat, mini-satélites.

## Resumen

Los sensores TM y ETM+ de la plataforma Landsat han sido ampliamente utilizados en trabajos de clasificación categórica de diversas índoles. Desafortunadamente, la situación actual de esta plataforma y sus perspectivas a corto plazo provocan cierta inquietud a sus usuarios habituales, quienes están empezando a buscar alternativas que den continuidad a sus estudios. Una de las preocupaciones de esta comunidad es el hecho que prácticamente no existe otra plataforma operativa con la misma configuración espectral que Landsat y surgen interrogantes sobre cómo la pérdida de información espectral puede afectar a sus estudios. Al mismo tiempo, gracias a la buena aceptación que en los pasados años han tenido los satélites medianos o pequeños, se están diseñando nuevas misiones ya sean de carácter comercial o impulsadas desde entidades gubernamentales o grandes agencias, y donde la decisión de la configuración espectral es también de gran importancia para determinar qué tipo de usuarios demandarán sus productos.

El objetivo de este trabajo es estudiar de forma empírica como la pérdida de información espectral de imágenes Landsat ETM+ o TM influye en la calidad diferentes tipos de clasificaciones categóricas realizadas recientemente en Cataluña: 1/ clasificación automática repetida temporalmente para hacer un seguimiento de la inundación de arrozales en el delta del Ebro; 2/ clasificación híbrida multitemporal en la zona de la Garrotxa para obtener un mapa detallado de vegetación forestal; 3/ clasificación supervisada sobre una zona de cultivos de Lleida. Los resultados muestran entre otras cosas que a/ la información del infrarrojo medio, y en especial el canal 5 de ETM+ o TM, son importantes para mantener un nivel de calidad elevado (significando pérdidas de entre 9 y 21 puntos porcentuales aproximadamente en dos de las zonas de estudio cuando no se dispone en absoluto de información en el infrarrojo medio); b/ la información temporal puede mitigar en algunos casos concretos la pérdida de información espectral. En resumen, las nuevas misiones deberían intentar proporcionar información en el infrarrojo medio puesto que la clásica configuración visible + infrarrojo próximo conllevan resultados sensiblemente más pobres.

## 1 Introducción

Los sensores *Thematic Mapper* (TM) y *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+), de la plataforma Landsat, han sido unas de las fuentes de información más empleadas en Teledetección [1]. Su larga continuidad en la captación de imágenes (desde 1984) y su configuración espectral de siete bandas (tres en la región del visible, una en el infrarrojo cercano –IRc-, dos en el infrarrojo medio –IRm- y una en el infrarrojo térmico) han hecho de este sensor el referente más citado dentro del grupo de los sensores de media resolución espacial. Sin embargo, después de que en el año 2003 la plataforma Landsat-7 pasara a funcionar sólo parcialmente (con el modo *Scan Line Corrector - off*) y teniendo en cuenta que la plataforma Landsat-5 excede en más de 20 años su tiempo de vida útil, existe una importante preocupación sobre el impacto que la desaparición de la plataforma Landsat pueda generar en la comunidad de teledetectores dedicados a estudios temáticos y multitemporales [2],[3]. A este hecho hay que añadirle que la siguiente misión Landsat, *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), tiene programado el lanzamiento para Julio de 2011 [4].

Esta situación obliga a los usuarios habituales de Landsat a buscar sensores alternativos. Las plataformas de media resolución espacial comercialmente operativas actualmente que pueden servir de alternativa suelen ofrecer una resolución espectral menor que la de Landsat, habitualmente consistente en bandas en el espectro visible y el infrarrojo cercano (IRc), pero difícilmente cubriendo el rango de los dos canales Landsat en el infrarrojo medio (IRm). Este es el caso de SPOT-4 HRVIR (*Satellite Pour l'Observation de la Terre - High Resolution Visible-Infrared*), SPOT-5 HRG (*High Resolution Geometric*), IRS-1C/1D/P6 LISS-III (*Indian Remote Sensing Satellite - Linear Imaging Self-Scanning*) e IRS AWiFS (*Advanced Wide Field Sensor*) que cubren el rango espectral entre el canal 2 (verde) y el canal 5 (IRm-1) de TM y ETM+. Los casos de IRS-PG LISS-IV ofrecen una configuración espectral todavía más reducida que, con tres canales, cubre de forma aproximada desde el canal 2 hasta el canal 4

(IRc) de TM y ETM+. Los casos citados hasta ahora coinciden en dejar de captar información en el espectro del azul. Sin embargo, CBERS CCD (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) ofrece una configuración que incluye esta parte del espectro ya que dispone de 4 canales similares a los 4 primeros canales de TM y ETM+ (desde el azul hasta IRc). Terra-ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) es una excepción a los casos citados anteriormente ya que dispone de una configuración espectral superior a Landsat con tres bandas en el espectro del visible al IRc (cubriendo los canales de 1 a 4 de TM y ETM+), cinco bandas en el espectro del IRm (cubriendo los canales 5 y 7 de TM y ETM+) y cuatro bandas más en el espectro del infrarrojo térmico (cubriendo el canal 6 de TM y ETM+). Desafortunadamente, los canales del IRm de Terra-ASTER dejaron de funcionar correctamente a partir del mes de abril de 2007 [5].

Por otro lado, en los últimos años están proliferando el diseño de nuevas misiones basadas en satélites pequeños o medianos por parte de entidades públicas o privadas [6], 7[7]. Algunas de estas misiones, mayormente promocionadas desde entidades gubernamentales, tienen como uno de sus objetivos principales dar una cobertura de forma intensa temporalmente sobre el territorio nacional con una resolución espacial de detalle y con la finalidad de que puedan ser utilizadas para un gran número de usuarios. En el caso español, por ejemplo, conocemos las experiencias de SEOSAT/INGENIO y de PCOT (*Programa Català de l'Observació de la Terra*). Este tipo de nuevas misiones han despertado el interés de los usuarios habituales de Landsat que ven como las prestaciones de estas nuevas misiones pueden ajustarse a sus necesidades. Sin embargo, como pasa con los satélites comerciales alternativos a Landsat, no es habitual que la configuración espectral de estas nuevas misiones sea la misma que Landsat y este hecho puede provocar razonables dudas sobre la idoneidad de utilizar dichas imágenes para proyectos que están funcionando con imágenes Landsat.

Tal y como se ha comentado anteriormente, las diferencias en la configuración espectral entre Landsat y sus alternativas existentes se puede resumir en a) la ausencia de información en el espectro del azul, y b) ausencia de información, de forma total o parcial, en el IRm. En consecuencia, la finalidad del presente trabajo consiste en comprobar, desde un enfoque totalmente empírico, como afecta la pérdida de información espectral en la calidad de los resultados de diversos estudios que se están llevando a cabo de forma satisfactoria con Landsat. El trabajo consiste en repetir la metodología de clasificación aplicada en cada una de las zonas utilizando diferentes combinaciones de canales ETM+ o TM y comparar los resultados de dichas combinaciones a partir del grado de acierto calculado mediante píxeles de test. Es necesario hacer notar que la información de partida son los canales del espectro óptico de Landsat y que, consecuentemente, no se han podido evaluar configuraciones espectrales más completas (por ejemplo, la configuración de Terra-ASTER) ni otros factores que pueden influir en los resultados como puede ser la resolución espacial o la resolución radiométrica. El objetivo de este trabajo es simular el impacto de la pérdida de configuración espectral en tres estudios multitemporales que se han llevando a cabo recientemente con Landsat en Cataluña: 1/ un estudio sobre el seguimiento de la inundación de arrozales en el Delta del Ebro, 2/ una cartografía de vegetación forestal en una zona de La Garrotxa, y 3/ una clasificación de cultivos en la zona del Empordà. Con los resultados obtenidos se persigue poder aportar luz sobre la utilidad y limitaciones de distintas configuraciones espectrales en nuevas misiones así como ofrecer una orientación a los usuarios de Landsat que buscan una plataforma alternativa.

## 2 Metodología

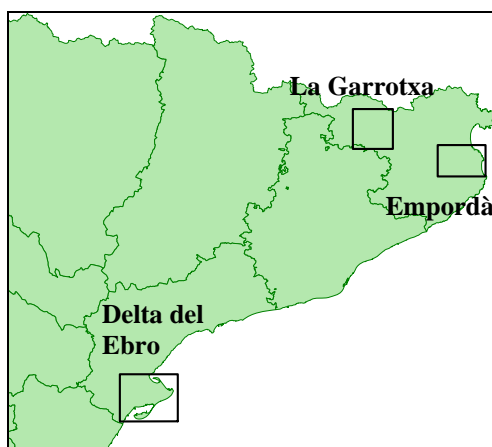
Tal y como se ha comentado anteriormente, este trabajo reelabora tres estudios realizados con anterioridad utilizando diferentes combinaciones de canales ETM+ y TM en lugar de toda la información espectral de la región del óptico disponible en la plataforma Landsat (a excepción del canal pancromático que no ha sido utilizada en ningún momento). La tabla 1 muestra las ocho combinaciones probadas en este trabajo.

Combinación	Canales ETM+ y TM y su rango espectral (nm)					
	1 (azul) 450-520	2 (verde) 520-600	3 (rojo) 630-690	4 (IRc) 760-900	5 (IRm-1) 1550-1750	7 (IRm-2) 2080-2350
<i>a</i>	X	X	X	X	X	X
<i>b</i>	X	X	X	X	X	
<i>c</i>	X	X	X	X		X
<i>d</i>	X	X	X	X		
<i>e</i>		X	X	X	X	X
<i>f</i>		X	X	X	X	
<i>g</i>		X	X	X		X
<i>h</i>		X	X	X		

**Tabla 1:** Simulación de las configuraciones espectrales probadas en este estudio y obtenidas a partir de los canales de los sensores ETM+ y TM. 'X' indica los canales ETM+ y TM que participan en la combinación.

La combinación *a* corresponde a la configuración usada originalmente en los citados estudios. Algunas de las demás combinaciones coinciden de forma aproximada con las configuraciones espectrales de algunas plataformas y sensores operativos actualmente. Por ejemplo, la combinación *d* coincide con la CBERS CCD; la *e* cubre la misma región que podría cubrirse con Terra-ASTER (sin poder evaluar, como se ha indicado en la introducción, el hecho de disponer una más detallada configuración espectral); la *f* es una configuración análoga a la que ofrecen algunas conocidas plataformas como pueden ser SPOT-4 HRVIR, SPOT-5 HRG, IRS-1C/1D/P6 LISS –III y IRS-P6 AWiFS; la *h* coincide con la configuración de IRS-PG LISS-IV. No se ha encontrado ninguna plataforma operativa que cubriera la región de las otras combinaciones probadas (la *b*, *c* y *g*), pero se ha considerado interesante incorporarlas para conseguir unos resultados más completos. No se ha considerado necesario hacer todas las combinaciones posibles dado que no se conoce de ningún sensor actual o planeado que no cubra la región espectral de los canales 2, 3 y 4.

La figura 1 muestra la ubicación geográfica de las tres zonas de estudio y la tabla 2 las principales características de la zona y la metodología empleada en cada una de ellas.



**Figura 1:** Ubicación geográfica de las tres zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa de Provincias de España 1:250 000 del IGN.

La zona del Delta del Ebro consiste en una clasificación supervisada repetida en el tiempo durante los meses de invierno para hacer un seguimiento del grado de inundación de los campos de arroz. La zona de la Garrotxa-Ripollès consiste en una clasificación híbrida de vegetación forestal y la zona del Empordà consiste en una clasificación supervisada de cultivos. Estas dos últimas zonas tienen una leyenda de clasificación muy detallada (15 y 6 categorías, respectivamente) y aprovechan la multitemporalidad de las imágenes para discriminar entre las categorías de la clasificación gracias al distinto comportamiento fenológico de dichas categorías.

Zona	Tipo de clasificación	Objeto de estudio	Número de imágenes usadas	Número de categorías	Superficie (miles de ha)
<b>Delta Ebro</b>	Supervisada (Análisis discriminante)	Inundación de arrozales	10	8	20.4
<b>La Garrotxa</b>	Híbrida	Cartografía de vegetación forestal	6	15	46.7
<b>Empordà</b>	Supervisada (Máxima verosimilitud)	Cartografía de cultivos	1	6	29.3

**Tabla 2:** Características generales de las zonas de estudio y sus respectivas metodologías.

Todas las imágenes usadas, independientemente de la zona de estudio, han sido corregidas geométricamente y radiométricamente mediante la metodología propuesta en [8] y [9] respectivamente. En la zona de la Garrotxa y el Empordà se ha aplicado una máscara, obtenido de cartografía SIG adicional, para excluir de la zona todos los píxeles que no pertenezcan a cubiertas forestales o de cultivos respectivamente. A continuación se ofrece información más detallada sobre cada una de las zonas de estudio y sus metodologías.

### 2.1 Zona del Delta del Ebro

El objetivo de este estudio [10] era hacer un seguimiento del grado de inundación invernal de las parcelas agrarias (SIGPAC) que cosechan arroz. Para ello se ha diseñado un clasificador basado en un análisis discriminante de modo que, gracias a la corrección radiométrica aplicada a cada imagen, puede aplicarse automáticamente a cada nueva imagen recibida sin necesidad de tener que repetir todo el diseño de clasificación (obtener para cada fecha áreas de entrenamiento, entrenar el clasificador, etc.). También es posible aplicar la metodología en imágenes retrospectivas. La leyenda consiste en ocho categorías, cinco de las cuales corresponden a diferentes grados de inundación (lámina de agua profunda, lámina de agua fina, suelo saturado de agua, suelo secado y campo inundado sin mezclar) y las tres restantes a situaciones irregulares en las parcelas (suelo que no ha estado inundado por un período pronunciado de tiempo, suelo impermeable) y a parcelas con cultivos diferentes al arroz. El clasificador automático se aplica a todas las imágenes Landsat recibidas durante el período de inundación, que habitualmente empieza a mediados de septiembre y finaliza a mediados de enero.

La metodología se ha aplicado a las imágenes que se recibieron durante la temporada 2006-07 y se empleó en modo retrospectivo para la temporada 2004-05. En la tabla 3 se muestra tanto las fechas utilizadas como el grado de acierto de la clasificación calculado a partir de zonas de test independientes. Se puede observar que el grado de acierto es en todos los casos superior al 90%.

Temporada	Fecha	Acierto global (%)
2006-07	29-10-2006	91.2
	14-11-2006	91.9
	30-11-2006	98.7
	16-12-2006	90.9
	17-01-2007	92.8
	22-03-2007	93.2
2004-05	23-10-2004	96.0
	24-11-2004	91.1
	10-12-2004	95.3
	11-01-2005	92.7

**Tabla 3:** Fechas de las imágenes Landsat-5 TM en las que se ha aplicado la clasificación automática y su respectivo grado de acierto. La campaña 2004-05 se aplicó en modo retrospectivo.

Para más detalles remitimos al artículo citado anteriormente [10].

### 2.2 Zona de la Garrotxa

El objetivo de este estudio era determinar la influencia del número de imágenes utilizadas en la calidad de la cartografía detallada de vegetación natural [11]. Para ello, se disponían 6 imágenes tomadas en momentos diferentes del año interesantes desde el punto de vista fenológico: 12-03-2003 (Landsat-7 ETM+), 16-04-2005 (Landsat-5 TM), 28-05-2005 (Landsat-5 TM), 29-06-2005 (Landsat-5 TM), 15-07-2005 (Landsat-5 TM), 16-08-2002 (Landsat-7 ETM+). La metodología consistía en utilizar todas las posibles combinaciones de *n* números de imágenes y estudiar como el número de fechas influenciaba a la calidad de las clasificaciones (utilizando varios indicadores como por ejemplo el acierto global, la superficie clasificada, el número de categorías representadas y otras consideraciones de carácter cartográfico). En la tabla 4 se muestra las categorías de la leyenda y su respectiva superficie relativa.

Categoría	Superficie (%)
<i>Quercus ilex</i>	25.05
<i>Fagus sylvatica</i>	23.40
<i>Quercus humilis</i>	18.11
<i>Pinus sylvestris</i>	15.67
<i>Fraxinus</i> sp.	3.47
Prados basófilos	3.40
Bosques caducifolios mixtos	1.94
<i>Pinus pinaster</i>	1.50
<i>Pinus uncinata</i>	1.45
Prados acidófilos	1.05
Matorrales mediterráneos	0.78
Prados de alta montaña	0.37
<i>Quercus canariensis</i>	0.19
Pastos	0.16
<i>Betula pendula</i>	0.07

**Tabla 4:** Leyenda de la zona de estudio y superficie proporcional por categoría respecto a la superficie total de muestras de terreno.

Se ha aplicado un método de clasificación híbrida compuesta por una primera fase no supervisada basada en el algoritmo IsoData [12] y una segunda fase supervisada que asigna una clase informacional a cada clase estadística mediante correspondencia espacial entre la imagen clasificada no supervisada y áreas de entrenamiento proporcionadas por el usuario. Para más detalles sobre la metodología de clasificación remitimos al artículo anteriormente citado [11] así como a [13].

Con el objetivo de tratar de forma conjunta el número de fechas y las distintas configuraciones espectrales, en el presente trabajo se han realizado ocho clasificaciones (una para cada configuración espectral que se desea probar) para cada una de las posibles combinaciones de fechas (6 fechas distintas permiten 63 combinaciones), lo que supone un total de 504 clasificaciones diferentes. Los resultados de estas clasificaciones se han agregado calculando las medias de los aciertos globales por número de fechas.

### 2.3 Zona del Empordà

El área de estudio del Empordà comprende casi 30 000 ha de usos agrícolas. La leyenda comprende seis categorías: arroz, maíz, cereales de invierno, barbecho, alfalfa y frutales. En este caso se ha aplicado una clasificación supervisada de máxima verosimilitud utilizando una sola fecha (11 de julio de 2003).

## 3 Resultados y discusión

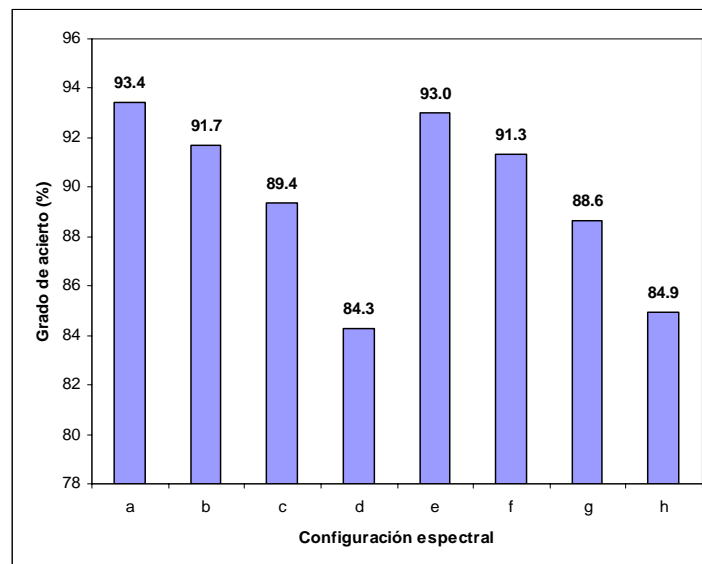
### 3.1 Zona del Delta del Ebro

En la tabla 5 se representan los resultados de las clasificaciones realizadas por fecha y por cada una de las configuraciones espectrales simuladas. La tendencia general es que, tal y como se esperaba, el acierto global decrece al reducir el número de bandas. La configuración *f* (sustracción de la banda 1 únicamente) es la que produce un impacto menor en las clasificaciones dando unos resultados muy similares al del uso de todas las bandas (con una diferencia promedio de 0.4 puntos porcentuales por todas las fechas). En estudios sobre agua se da una importancia especial a la región de espectro del azul debido a que la absorción de radiación aumenta con la longitud de onda y la reflectancia llega a ser muy baja o nula a partir del infrarrojo. Sin embargo, en este estudio, en el que no se investiga las características del agua, el canal 1 no parece ser crucial. La sustracción del canal 7 (configuración *b*) supone un descenso en el acierto global promedio para todas las fechas de 1.7 puntos porcentuales y que puede llegar a ser importante en algunas fechas concretas (se llega a un descenso máximo de 11.6 puntos porcentuales para el 23 de octubre de 2004) mientras que en otras, como en el caso comentado anteriormente, produce resultados ligeramente mejores a los de la configuración *a*. La sustracción del canal 5 (configuración *c*) produce un descenso en todas las fechas y con un valor promedio de 4 puntos porcentuales. La sustracción de las bandas 1 y 7 (configuración *f*) y de 1 y 5 (configuración *g*) produce de media un resultado ligeramente inferior al de las configuraciones *b* y *c*. La calidad de la clasificación decrece drásticamente (entre 8.5 y 9.1 puntos porcentuales de promedio) cuando se sustraen las dos bandas del IRm independientemente de la ausencia o no de la banda 1 (configuraciones *d* y *f*, respectivamente).

Fecha	Acierto global (%)	Diferencia en el acierto global respecto la configuración <i>a</i>						
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>g</b>	<b>h</b>
29-10-2006	91.2	0.1	1.4	3.1	0.1	1.5	1.2	3.7
14-11-2006	91.9	0.7	0.5	3.1	2.1	4.6	1.6	7.2
30-11-2006	98.7	-0.1	2.7	4.8	0.5	-0.2	3.3	4.9
16-12-2006	90.9	-1.2	4.3	9.9	-0.2	-0.2	4.7	12.1
17-01-2007	92.8	-0.1	3.4	18.2	-0.2	-0.6	2.8	12.7
23-10-2004	96.0	11.6	5.7	14.2	-0.3	8.5	8.9	11.6
24-11-2004	91.1	0.6	12.9	8.2	1.2	2.5	14.7	9.7
10-12-2004	95.3	2.3	4.0	6.1	-0.3	2.1	3.5	5.0
11-01-2005	92.7	1.2	1.3	14.7	0.4	0.6	2.1	9.5
<b>Promedio</b>	<b>93.4</b>	<b>1.7</b>	<b>4.0</b>	<b>9.1</b>	<b>0.4</b>	<b>2.1</b>	<b>4.8</b>	<b>8.5</b>

**Tabla 5:** Acierto global por fecha y configuración espectral. Para la configuración *a* se muestra el acierto global; para el resto de configuraciones se muestra la diferencia entre su respectivo acierto global y el de la configuración *a*.

La figura 2 muestra el resultado promedio por fecha de cada una de las configuraciones espectrales probadas.



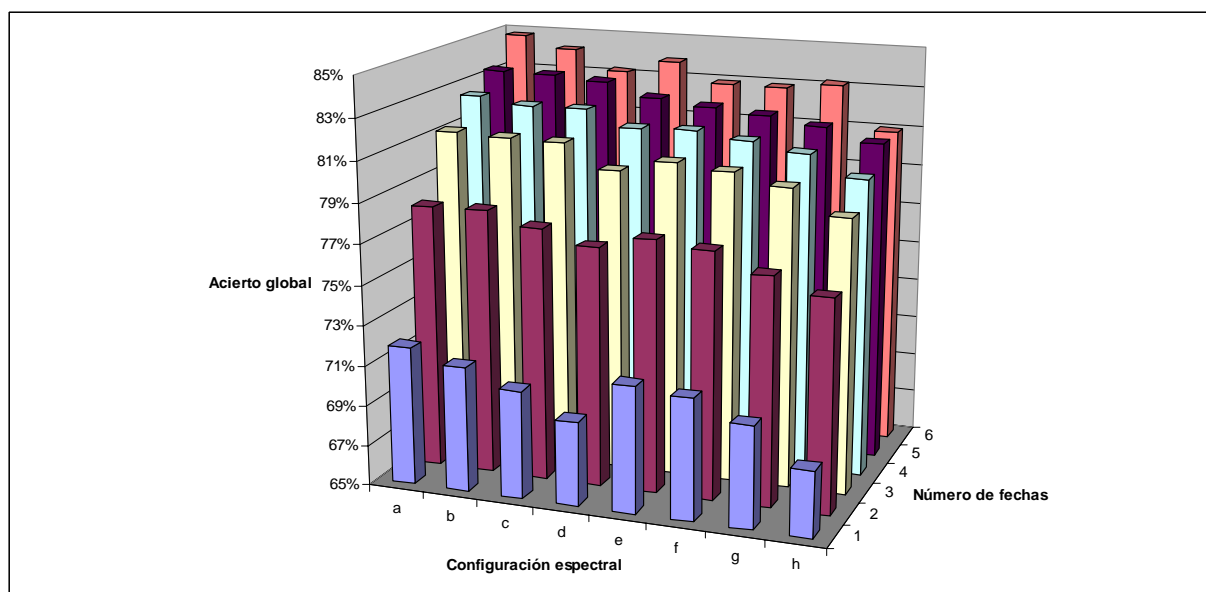
**Figura 2:** Acierto global promedio por fechas para cada configuración espectral. Consultar la tabla 2 para conocer los canales que forman parte de cada configuración.

Conviene resaltar que el acierto global promedio aumenta ligeramente de la configuración *d* a la *h*, es decir cuando la banda 1 se sustrae de la combinación de canales del visible y IRc. Este descenso es más drástico en las fechas de 17 de enero de 2007 y 11 de enero de 2005 donde el acierto global decrece entre 5.2 y 5.5 puntos porcentuales entre *d* y *h*. Analizando la matriz de confusiones de dichas clasificaciones (análisis que se ha considerado demasiado detallado para presentarse en el presente trabajo), se observa que la confusión se da sobretodo entre las categorías suelo saturado de agua y suelo secado. Es probable que la introducción de la banda 1 en esta combinación altere la partición del espacio estadístico obtenido por el análisis discriminante de forma que los píxeles situados en la zona de transición entre la categoría de suelo saturado y suelo secado se consideren como incorrectos. En el mes de enero suelen predominar estas dos tipologías de inundación (y consecuentemente una mayor confusión entre ellas tendrá un mayor efecto en el acierto gloabl) dado que en esta época la mayoría de los agricultores ya han empezado a drenar y secar los campos.

En resumen, la banda 1 no ofrece información muy interesante para discriminar entre las categorías y en algunos casos específicos la incorporación de esta información puede suponer unos resultados ligeramente inferiores respecto a no utilizar esta banda. Por otro lado, si se requieren aciertos globales superiores al 90% se recomienda utilizar configuraciones que cubran, a parte de la zona del visible y del IRc, por lo menos de forma parcial la zona del IRm, y en especial la región del canal 5 de Landsat.

### 3.2 Zona de la Garrotxa

Los resultados promedio del acierto global de las clasificaciones según el número de fechas utilizados y por cada una de las configuraciones espectrales probadas se muestra de forma gráfica en la figura 3 y de forma numérica en la tabla 5.



**Figura 3:** Acierto global en función del número de fechas usadas y su configuración espectral. Las barras corresponden al valor promedio de todas las clasificaciones con un mismo número de fechas usado y por cada configuración espectral. Consultar la tabla 2 para conocer los canales que forman parte de cada configuración.

En la figura 3 se puede observar como el número de fechas usadas es el factor más influyente en el acierto global de las clasificaciones. De todas formas, el impacto de las distintas configuraciones espectrales también se puede notar, y éste es más claro cuando se usan pocas fechas. Al utilizar una sola fecha, la mejor configuración es la original. El hecho de sustraer la banda 5 (configuración *b*) provoca que el acierto global decaiga 0.65 puntos porcentuales, y de 1.35 cuando sustraemos la banda 7 (configuración *c*). El hecho de no disponer de información en absoluto en el IRm supone un descenso de 2.7 puntos (configuración *d*). Al sustraer la banda 1 da unos resultados ligeramente inferiores a los anteriores (configuraciones *e* y *f*). El peor resultado se obtiene utilizando únicamente las bandas 2, 3 y 4 (configuración *h*) con un acierto global medio 68.25%, 3.62 puntos porcentuales por debajo de cuando se usan todas las bandas.

Al usar un mayor número de fechas, el grado de acierto aumenta considerablemente. En general, se cumple el hecho de renunciar a una de las dos bandas del IRm produce un decrecimiento mediano de entre 0.21 y 0.44 puntos porcentuales respecto el uso de todas las bandas, siendo la pérdida de la banda 5 la que produce un mayor impacto negativo en los resultados. Dejar de disponer información en el IRm supone un descenso promedio de 1.17 puntos porcentuales y éste tiende a ser especialmente notable cuando se usa una sola fecha (2.7 puntos). La configuración *h* (usando sólo los canales 2, 3 y 4) es siempre la que ofrece unos resultados más pobres, produciendo unos descensos de entre 2.4 y 3.8 puntos porcentuales. La sustracción de la banda 1 no es menos apreciable, sobretodo al incrementar el número de imágenes utilizadas ya que en algunos casos puede considerarse más importante que la banda 5 o 7. Cuando se combina la sustracción de uno de los canales del IRm con el canal azul, los resultados empeoran considerablemente. En este sentido, cabe reseñar la inesperada importancia de la información del espectro en azul, dado que tradicionalmente se considera una zona del espectro con más ruido debido a la contribución atmosférica.

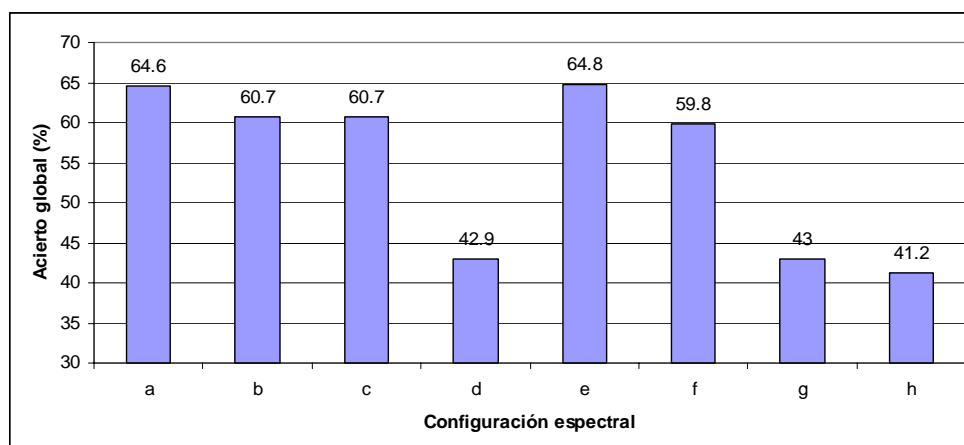
Los resultados aquí presentados no concuerdan con los resultados de otros autores que han sugerido que la información espectral es más importante que la información temporal [14]. Sin embargo, tal discordancia en los resultados puede entenderse a la luz de las diferencias en la naturaleza de las leyendas de clasificación. En [14] se pretende generar un mapa con 8 categorías (áreas artificiales, cultivos irrigados, cultivos de secano, bosques caducifolios, bosques perennifolios, prados, matorrales, suelo desnudo y agua), que son mayoritariamente discriminables espectralmente. En el trabajo que nos ocupa se pretende discriminar entre 15 categorías exclusivamente sobre vegetación forestal, donde la mayoría de ellas corresponden a especies arbóreas. En este último caso, las categorías son en general espectralmente muy parecidas y hay que recorrer a la caracterización fenológica para lograr una discriminación satisfactoria. Esta especificidad en la leyenda puede explicar por qué en nuestro caso la información multitemporal es claramente más interesante que la información espectral.

Número de fechas	Acierto global (%)	Diferencia en el acierto global respecto la configuración <i>a</i>						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
1	<b>71.87</b>	0.65	1.52	2.70	0.60	0.85	1.82	3.62
2	<b>78.13</b>	-0.07	0.58	1.26	0.63	0.89	1.83	2.57
3	<b>81.27</b>	0.11	0.14	1.31	0.70	0.95	1.46	2.69
4	<b>82.55</b>	0.32	0.29	1.07	0.97	1.30	1.71	2.74
5	<b>83.38</b>	0.07	0.22	0.88	1.17	1.40	1.77	2.40
6	<b>84.80</b>	0.60	1.60	0.90	1.90	1.90	1.60	3.80
Mediana	<b>81.91</b>	<b>0.21</b>	<b>0.44</b>	<b>1.17</b>	<b>0.84</b>	<b>1.12</b>	<b>1.74</b>	<b>2.72</b>

**Tabla 6:** Acierto global promedio por número de fechas utilizadas en la clasificación. Para la configuración *a* se muestra el acierto global; para el resto de configuraciones se muestra la diferencia entre su respectivo acierto global y el de la configuración *a*.

### 3.3 Zona del Empordà

La figura 4 muestra los resultados de las clasificaciones utilizando distintas configuraciones espectrales. La renuncia de los canales 5 o 7 (configuraciones *b* y *c*) produce un descenso en el acierto global de 3.9 puntos porcentuales, y la renuncia de ambos canales a la vez (configuración *d*) produce un drástico descenso hasta llegar a un acierto global de 42.9%. La sustracción de la banda 1 (configuración *e*) parece no alterar los resultados respecto al uso de todas las bandas. Sin embargo, cuando se combina la sustracción de la banda 1 con la sustracción de la banda 5 (configuración *g*) se produce un descenso de 21.8 puntos porcentuales en el acierto global.



**Figura 4:** Acierto global promedio por fechas por cada configuración espectral. Consultar tabla 2 para conocer los canales que forman parte de cada configuración.

Los resultados de esta zona no pueden considerarse definitivos puesto que, para mejorar el grado de acierto, es necesario incorporar nuevas imágenes y comprobar como ello se relaciona con el impacto de distintas configuraciones espectrales, factor que como ya hemos visto en la zona de la Garrotxa no debe menospreciarse.

## 4 Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado cómo la pérdida de información espectral influye en la calidad de clasificaciones categóricas llevadas a cabo con imágenes Landsat. La metodología ha consistido en simular configuraciones espectrales mediante la sustracción de los canales originales de Landsat (canales 1, 2, 3, 4, 5 y 7). Con esta metodología se han reelaborado tres estudios diferentes desde el punto de vista del objeto de estudio, el enfoque de la clasificación, el número de imágenes usadas y el número de categorías de la leyenda. Concretamente, se ha aplicado en 1/ la zona del Delta del Ebro, donde se utiliza un clasificador automático con las imágenes recibidas entre los meses de septiembre y enero para obtener ocho categorías referentes a tipologías de inundación de los arrozales; 2/ la zona de la Garrotxa, donde se utiliza un clasificador híbrido usando 6 fechas diferentes para obtener un mapa de vegetación forestal con una leyenda de 15 categorías; y 3/ la zona del Empordà, donde se utiliza un clasificador de máxima verosimilitud sobre una zona de cultivos (con seis categorías diferentes) usando únicamente una imagen.

El impacto de una configuración espectral más pobre que la de Landsat es más importante en trabajos que usan una sola imagen frente a los trabajos que aprovechan el carácter multitemporal de las imágenes de satélite. Parecer ser, pues, que la información temporal puede, aunque sólo sea parcialmente, suplir las carencias en la información espectral. Esta afirmación debe ser cautelosa ya que se contradice con lo sugerido en otros trabajos [14] y posiblemente sea cierta solamente en los casos donde se requiera de información temporal para discriminar las categorías (como es nuestro caso en la zona de la Garrotxa) y, en general, siempre que la fenología aporte información importante para obtener un mapa con un número importante de categorías espectralmente parecidas.

Disponer de información en la región del IRm supone una ventaja en todas las zonas de estudio probadas, llegando a ser indispensable si se pretenden mantener aciertos globales próximos al 90% en el estudio del Delta del Ebro. El hecho de disponer de alguna banda en el IRm permite aumentar el acierto global de 84.3% de promedio hasta 91.7% (con sólo la banda 5) en la zona del Delta del Ebro; y pasar de 42.9% a 60.7% en la zona del Empordà. Si no es posible disponer de información en todo el rango del IRm de Landsat, es preferible utilizar la información del canal 5 que la del canal 7.

La banda 1 (azul) tiene una importancia variable en función de la zona de estudio. En la zona del Delta del Ebro y la del Empordà resulta poco influyente. La renuncia de esta banda en estas dos zonas produce un impacto mínimo en los resultados. En la zona de la Garrotxa, en cambio, el canal 1, sobretodo cuando se usan más de una imagen, resulta tan importante como los canales del IRm y, además, si se combina con la ausencia de alguno de los canales del IRm el impacto es mucho mayor (pudiendo llegar a 1.9 puntos porcentuales en algunos casos).

Antes de finalizar es conveniente recordar las limitaciones de la metodología aplicada. En primer lugar, se trata de una simulación a partir de los canales originales de Landsat con lo que no se han podido evaluar factores adicionales como una mejor resolución radiométrica, una distinta resolución espacial, calidad de las imágenes, etc. En segundo lugar, tampoco se ha podido evaluar el efecto de configuraciones espectrales superiores a las de Landsat.

## Bibliografía

- [1] Williams, D.L., Goward, S. and Arvidson, T., 2006. Landsat: Yesterday, today, and tomorrow. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, Vol. 72, pp. 1171-1178.
- [2] Wulder, M.A., Butson, C.R. And White, J.C., 2008. Cross-sensor change detection over a forested landscape: Options to enable continuity of medium spatial resolution measures. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, pp. 796-809.
- [3] Wulder, M.A., White, C.W., Goward, S.N., Masek, J.G., Irons, J.R., Herold, M., Cohen, W.B., Loveland, T.R. and Woodcock, C.E., 2008. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, pp. 955-969.
- [4] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). About LDCM. Disponible online: <http://ldcm.nasa.gov/about.html> (consultado 10 de febrero de 2009).
- [5] Earth Remote Sensing Data Archive Center, 2008, ASTER SWIR Detector Temperature Status and Notice of Radiometric Database Upgrade and L1A Reprocessing. Disponible online: [http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds\\_www2002/gprnews\\_e4.html](http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/gprnews_e4.html) (consultado 10 de febrero de 2009).
- [6] Kramer, H.J. and Cracknell, A.P., 2008. An overview of small satellites in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, pp. 4285-4337.
- [7] Xue, Y., Li, Y., Guang, J., Zhang, X. And Guo, J., 2008. Small satellite remote sensing and applications - history, current and future. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, pp. 4339-4372.
- [8] Palà, V. and Pons, X., 1995. Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 61, pp. 935-944.
- [9] Pons, X. and Solé-Sugrañes, Ll., 1994. A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 48, pp. 191-204.
- [10] Moré, G., Serra, P., Domingo, C., Pons, X., 2008. Seguimiento multitemporal de la inundación invernal de arrozales a través de imágenes de satélite. En Hernández, L., Parreño, J.M. (Eds.), *Tecnologías de la Información*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria, pp. 92-105.
- [11] Moré, G., Pons, X., 2008. Influencia del número de imágenes en la calidad de la cartografía detallada de vegetación forestal. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, Vol. 28, pp 61-68.
- [12] Duda, R.D.; Hart, P.E., 1973. *Pattern Classification and Scene analysis*. New York, John Wiley & Sons.

- [13] Serra, P., Moré, G., Pons, X., 2009. Thematic accuracy consequences in cadaster land-cover enrichment from a pixel and from a polygon perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. (en prensa).
- [14] Carrão, H., Gonçalves, P., Caetano, M., 2008. Contribution of multispectral and multitemporal information from MODIS images to land cover classification. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 112, pp. 986-977.