



Semi-automatización del los procesos de monitorización empleando imágenes de satélite en un entorno orientado a objetos. Cartografía, cuantificación y clasificación de áreas quemadas en Galicia (2006)

Semi-automated monitoring using satellite imagery in an object oriented environment. Mapping, quantification and classification of burns in Galicia (2006)

M. F. Álvarez Taboada⁽¹⁾, J. R. Rodríguez-Pérez⁽²⁾ y F. Castedo Dorado⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad de León, flor.alvarez@unileon.es

⁽²⁾ Universidad de León, jr.rodriguez@unileon.es

⁽³⁾ Universidad de León, fcasd@unileon.es

RESUMEN

La cartografía y cuantificación de las áreas quemadas y los efectos post-fuego es crucial para priorizar las actuaciones de gestión, especialmente cuando los incendios son muy numerosos y dispersos, como es el caso de los ocurridos en Galicia en el verano de 2006. El protocolo para la obtención de esta información debe ser operativo y asequible, y alcanzar el mayor grado de automatización posible. La consistencia y calidad de los resultados están vinculadas a los procesos de corrección radiométrica, normalización y cálculo de índices espectrales, de modo que los errores de cálculo y el tiempo de procesamiento disminuyen cuando estas etapas se combinan algebraicamente. Se describen los elementos individuales del algoritmo (imágenes Landsat 5 TM, datos calibrados, radiancia TOA, índices espectrales) así como el protocolo IDL resultante. Los índices espectrales obtenidos se emplearon como input para la clasificación de segmentos espectralmente homogéneos empleando un método no paramétrico de determinación de umbrales. La validación de la cartografía de áreas quemadas mostró la mayor exactitud de los clasificadores de objetos respecto a los de píxel. La validación de la clasificación de efectos post-fuego mostró un 100% de exactitud para las clases "alta" y "moderada", y un 66% para la clase "baja". Los tiempos de procesamiento disminuyeron un 50% empleando el protocolo IDL, en comparación con el método convencional.

ABSTRACT.

Quantification, post-fire effect assessment and mapping is crucial to prioritize management actions, mainly when fires are very numerous and disperse, as it happened Galicia (NW Spain) in the Summer of the 2006. The processing protocol should be affordable and operational, in order to be applied when management decisions were required by the administration. The consistency and quality of the results is linked to the image processing stages to address image radiometry, normalization, and computation of the spectral indices. The individual elements of the algorithm (raw Landsat 5 TM imagery, calibrated data, top-of-atmosphere reflectance, spectral indices) are described, as well as the protocol resulting of its combination. The resulting spectral indices were used as inputs in a new process, consisting on applying a non-parametric thresholding method to spectrally homogeneous objects. Validation of burn area automatic classification using a sample of 4446 points identified on the imagery showed 96.64% user's accuracy and 87.79% producer's accuracy. The validation of the post-fire effect classification showed 100% agreement for moderate and high burn severity (post-fire effects), and 66% accuracy for the low class. Computing times for preprocessing decreased 50% using the IDL protocol, compared to the traditional approach.



1. INTRODUCCIÓN

La evaluación y cartografía de la severidad de los fuegos forestales es una herramienta muy útil desde dos puntos de vista: (i) para la planificación de las operaciones post-incendio, ya que minimiza el trabajo de campo en los planes de restauración del ecosistema, y (ii) como fuente de información para modelos probabilísticos de simulación de incendios en base a las relaciones existentes entre severidad y las condiciones ambientales.

La planificación post-incendio es esencial en áreas con precipitaciones frecuentes, que requieren determinar de forma rápida el escenario de actuación en el caso de lluvias post-fuego, debido a la posibilidad de que lleven asociadas fenómenos de escorrentía y erosión. Aunque se conoce que la erosión es una consecuencia de las precipitaciones post-fuego, existen pocos estudios sobre cómo áreas con diferente severidad responden a las precipitaciones o cómo se comportan los suelos para diferentes niveles de severidad en cuanto a la repelencia al agua.

En España, la zonificación de la prioridad de intervención post-incendio ha sido afrontada en varios estudios basándose en cartografía de severidad mediante imágenes de satélite de resolución espacial media y obteniendo exactitudes generales de clasificación superiores al 75% (e.g., Ruiz Gallardo et al., 2004). Estos resultados confirman la operatividad de los métodos empleados combinando técnicas de teledetección y SIG (Sistemas de Información Geográfica). Sin embargo, el uso incoherente de los descriptores de los incendios (intensidad del incendio, severidad del incendio, severidad del fuego) complica la medición y la interpretación de los efectos detectados en el campo y en las imágenes de satélite.

Lentile et al. (2006) recomienda que los procesos asociados con la intensidad y la severidad de los incendios sean evaluados en base a características de incendios activos o de efectos post-fuego. Por tanto, los efectos post-fuego deberían incluir todas las variables obtenidas una vez que el incendio ha finalizado (e.g., chamuscado del suelo, cambios en los niveles de nutrientes, cambios en la superficie espectral, respuesta de la vegetación). Habitualmente los efectos post-incendio se han asociado con la severidad del fuego, un término que incorpora tanto los efectos a largo como a corto plazo en el medio ambiente local o regional (Lentile et al., 2006), y que se define como el grado de cambio en el medio ambiente originado por el incendio.

Tradicionalmente, la severidad del fuego ha sido determinada mediante métodos de campo, pero esta alternativa no es operativa debido a su alto coste y a su falta de representación espacial. Ello ha inducido al empleo de imágenes de sensores remotos, puesto que estos proporcionan una cobertura relativamente barata y espacialmente detallada del área de interés. A escala de paisaje, la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (GIS) y un mínimo trabajo de campo permiten determinar la severidad del fuego como inputs para la planificación tras incendio, si bien se han encontrado algunas limitaciones (e.g., Roy et al., 2006).

La mayoría de los estudios se han realizado empleando imágenes de los sensores Landsat 5 TM o Landsat 7 ETM+ (particularmente cuando han sido procesadas usando la alternativa de detección de cambios), puesto que proporcionan una resolución espacial y espectral adecuada para diferenciar severidad de fuego a escala de paisaje. Entre las diferentes alternativas estudiadas hasta el momento ha resultado especialmente promisorias, por su potencial uso operativo, la utilización del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (e.g., Hammill y Badstock, 2006) y del NBR (Normalized Burn Ratio) (e.g., Key y Benson, 2006), ya que ambos han demostrado ser adecuados para captar los cambios producidos en la vegetación debidos al fuego. Tanto el NDVI como el NBR puede ser usados en una alternativa unitemporal o en una alternativa multitemporal de detección de cambios (Lentile et al., 2006) calculando el dNVI y el dNBR como el valor después incendio – valor antes del incendio.

Para la aplicación satisfactoria de estos métodos, los dos tipos de imágenes Landsat antes comentados requieren ser procesados usando una serie de correcciones radiométricas y de normalizaciones que reduzcan las variaciones espectrales que pueden estar relacionadas con características del sensor, condiciones atmosféricas y geometrías de iluminación. Todas estas etapas de procesamiento deben ser aplicadas a cada píxel de las imágenes iniciales.

Han et al. (2007) desarrollaron una metodología para combinar los pasos de procesamiento (radiometría de la imagen, normalización, y cálculo de los índices espectrales) que proporciona una alternativa más racionalizada y computacionalmente eficiente para detectar cambios usando Landsat 5 y Landsat 7. La alternativa propuesta disminuye la posibilidad de un escalado inapropiado entre los pasos del procesamiento, cuya consistencia es especialmente importante para los procedimientos basados en umbrales de detección de cambios. Además, mediante la combinación de pasos de procesamiento favorece un ahorro en el tiempo de computación y en el espacio de almacenamiento en disco del 50% y del



69%, respectivamente. Este protocolo, ya testado, ha resultado ser útil para usuarios de productos de teledetección interesados en los resultados del análisis de cambios y en el producto final, más que en los pasos de procesado (Han et al., 2007).

Teniendo en cuenta las necesidades de la valoración de los efectos post-fuego y la complejidad de la detección de cambios cuando se trabaja con escenas grandes para fechas y áreas diferentes, los siguientes objetivos de este trabajo son: (i) adaptar la metodología integrada para corrección radiométrica de datos Landsat y normalización propuesta por Han et al. (2007) a un entorno de efectos post-fuego, (ii) desarrollar un protocolo operacional para conseguir resultados útiles a partir de teledetección considerando la severidad del fuego. Este protocolo debe poder ser repetido en cualquier instante y debe tener en cuenta los requerimientos ambientales del investigador/gestor (restauración hidrológica, rehabilitación de vegetación), con el fin de que pueda ser aplicado cuando la Administración correspondiente necesite tomar decisiones de gestión. Además, en este trabajo se consiguieron dos objetivos adicionales: (i) una delimitación y cuantificación de las áreas quemadas y su clasificación de acuerdo con los efectos post-fuego y (ii) que esta información estuviese disponible rápidamente para la administración forestal para poder ser evaluada en planificación tras incendio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Imágenes de satélite y cartografía

La metodología propuesta se ha aplicado en Galicia. Durante el verano de 2006 un gran número de incendios devastó los bosques gallegos, en especial la zona de la costa atlántica. Los bosques ocupan el 60% de las zonas incendiadas que estaban dominadas por eucalipto y pino.

Para el análisis se seleccionaron 4 escenas del Landsat 5 TM: dos fueron tomadas el 1 de junio de 2006, antes de los incendios) y otras dos se adquirieron el 5 de septiembre de 2006 (después de los incendios). Cada par de escenas (path 204 y row 30 y 31) permitió crear dos mosaicos de toda Galicia: uno antes de los incendios (1 de junio) y otro después de producirse la catástrofe (5 de septiembre); ambos mosaicos fueron creados después de haber corregido radiométricamente cada una de las escenas. Para la corrección geométrica de cada mosaico se utilizó cartografía vectorial (1:25000) y un Modelo Digital de Elevaciones (píxel de 50 m), referidos ambos en ED50 y proyectados en UTM (zona 29T).

Datos de campo

Se tomaron datos de campo para validar los resultados obtenidos para evaluar y localizar las áreas quemadas así como los efectos post-fuego (severidad). La Administración facilitó en formato raster el perímetro de ocho áreas quemadas en agosto de 2006: éstas fueron transformadas al formato vector y referenciadas al sistema ED50 (proyección UTM zona 29T).

Se seleccionaron otras diez parcelas de campo para evaluar los efectos post-fuego en suelo, sotobosque intermedia y copas de árboles, adaptando el protocolo Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol FIREMON (Key y Benson, 2003), para las áreas forestales de Galicia. El protocolo fue adaptado en colaboración con el Centro de Información del Fuego-CIF de Lourizán (Pontevedra). La gran ventaja de este protocolo es que proporciona valores cuantitativos de severidad calculando el Composite Burn Index – CBI (Key y Benson, 2006), que ha sido relacionado con índices espectrales derivados de imágenes de satélite (e.g. NBR).

El muestreo se llevó a cabo mayoritariamente en parcelas de pinar, donde el sotobosque se encontraba generalmente dominado, constituido por una mezcla característica de helechos *Pteridium aquilinum*, y tojal *Ulex europaeus* y *Ulex minor*, con un grado variable de dominancia de estas especies según la profundidad y características edáficas del sitio, y presencia ocasional de algunos pies de *Frangula alnus* o *Quercus robur*. Es por ello que los tres estratos B, C y D del protocolo FIREMON se fusionaron en un solo estrato; así fueron considerados tres estratos para evaluar la severidad: (1) suelo (hojarasca, mantillo y suelo mineral superficial), (2) sotobosque (matorral, ramas bajas) y (3) arbolado dominante. Se definió una clave visual para cuantificar los efectos post-fuego en las localizaciones muestreadas (Figura 1).



Figura 1.- Efectos post-fuego bajo, moderado y alto (de derecha a izquierda): clasificación por evaluación visual de las zonas afectadas (suelo, sotobosque y copas) de cada nivel según el protocolo adaptado por el CIF de Lourizán para Galicia usando como referencia FIREMON.

Para cada estrato se definieron claves visuales que permitirán la identificación de los niveles de severidad y el seguimiento de los efectos post-fuego; se definieron los niveles bajo, moderado y alto (Tabla 1).

	Efecto en el estrato		
	Suelo	Sotobosque	Arbolado
Bajo	Restos de hojarasca y mantillo afectados. Sin suelo mineral expuesto	Arbustos afectados. Combustión incompleta de helechos.	Copas verdes o parcialmente afectadas. Altura dañada inferior a 2 m.
Moderado	Conserva restos de mantillo chamuscado o en forma de ceniza. En menos del 50 % de la superficie se encuentra el suelo mineral desnudo.	Arbustos conservan ramas finas. Helechos sólo con el tallo central.	Copas que conservan hojas afectadas. Altura dañada entre 4 y 7 m.
Alto	Suelo desnudo, sin estructura donde la materia orgánica ha sido totalmente consumida. Presencia frecuente de puntos de calor	Arbustos sólo conservan la base y las ramas más gruesas. Helechos totalmente consumidos	Copa totalmente consumida. Altura dañada superior a 7 metros o todo el árbol.

Tabla 1.- Efectos post-fuego bajo, moderado y alto: características de cada nivel según el protocolo adaptado por el CIF de Lourizán para Galicia usando como referencia FIREMON.

Procesado de imágenes: selección de índices, preprocesado, clasificación y validación

Para la detección y cartografía de las áreas quemadas y los efectos post-fuego se utilizaron los índices dNDVI y dNBR, calculados a partir de los valores NDVI y NBR antes y después del incendio. Para que los cambios en estos índices se correspondan con cambios reales en la cubierta del suelo, es preciso minimizar las distorsiones contenidas en las imágenes provocadas por: las características del sensor, condiciones atmosféricas, geometría del punto de vista e



iluminación, etc. Con estas correcciones previas se consigue que los cambios en los índices estudiados correspondan con cambios reales en las cubiertas del suelo.

Las fases de procesado comprenden: cálculo de la radiancia en la parte superior de la atmósfera (*top-of-atmosphere* -TOA- radiance), cálculo de la reflectancia en la parte superior de la atmósfera (*top-of-atmosphere* -TOA- reflectance) y corrección radiométrica (normalización). Los cálculos de la radiancia y reflectancia en la parte superior de la atmósfera se emplearon para mitigar las distorsiones atmosféricas puesto que no se tomaron mediciones *in situ* de las condiciones atmosféricas y climáticas y el cielo estaba despejado cuando se tomaron las imágenes. La normalización de las imágenes se hizo determinando los valores *gain* y *offset* derivados de áreas oscuras y muy brillantes; este proceso permite reducir distorsiones provocadas por las diferencias en la geometría de iluminación y que no fueron corregidas en la etapa anterior. Todos los pasos fueron ejecutados con *scripts* en IDL (software ENVI). Para conservar los valores de reflectancia originales, los dos mosaicos fueron corregistrados para asegurar su superposición espacial; el proceso de ortorrectificación se llevó a cabo al final de todo el proceso de clasificación.

Después del preprocesado de las imágenes y cálculo de los índices NDVI y NBR y sus diferencias para cada período de referencia (dNDVI y dNBR), las imágenes fueron segmentadas (con el software eCognition 5.0) usando un parámetro de 10 (Álvarez, 2006) con las bandas TM 3,4,7 (imagen post-fuego) y el dNDVI. La detección y cartografiado del área quemada se hizo mediante los valores de: el dNDVI ($\text{NDVI}_{\text{post-fuego}} - \text{NDVI}_{\text{pre-fuego}}$) y el $\text{NIR}_{\text{post-fuego}}$ (banda TM 4 de la imagen post-fuego). Los segmentos se clasificaron con procedimientos orientados a objetos, fijando valores de los umbrales a partir de áreas quemadas identificadas visualmente en las imágenes. La utilización del $\text{NIR}_{\text{post-fuego}}$ permitió evitar errores en la clasificación provocadas por los diferentes estados fenológicos de las áreas agrícolas.

Las zonas quemadas fueron clasificadas de acuerdo a los tres efectos post-fuego definidas en la *Tabla 1* y en la *Figura 1*, mediante los valores de dNBR ($\text{NBR}_{\text{post-fuego}} - \text{NBR}_{\text{pre-fuego}}$) y $\text{NBR}_{\text{post-fuego}}$. Los perímetros quemados se validaron con datos de campo y tests visuales sobre las imágenes. Los efectos post-fuego se validaron con las 10 parcelas de campo definidas anteriormente. Antes de calcular y cartografiar los perímetros y áreas quemadas, las imágenes clasificadas fueron ortorrectificadas usando el software ERDAS Imagine y la cartografía y MDE ya descritos. Finalmente se definió un calendario identificando los puntos críticos del proceso desarrollado para ayudar a los gestores a decidir si la metodología propuesta es operativa y de utilidad para actuar rápidamente tomando medidas de restauración de las zonas afectadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La validación de las zonas quemadas se realizó empleando 4446 puntos definidos por las intersecciones una malla cuadrada de 1 x 1 km, definida sobre la imagen post-fuego ortorrectificada para el área coincidente con la provincia de Pontevedra, por ser esta el área más afectada. Cada punto se clasificó como "área quemada/área no quemada" visualmente empleando para ello la siguiente información auxiliar: perímetros de zonas quemadas proporcionados por la Xunta de Galicia para identificar los montes quemados en esas fechas cuyo aprovechamiento fue sacado a subasta, coordenadas proporcionadas por la Xunta de Galicia de las localizaciones aproximadas de los incendios, análisis visual de las imágenes Landsat empleando la combinación RGB TM 754.

La Tabla 2 muestra la matriz de confusión para la clasificación automática obtenida empleando el dNDVI y el $\text{NIR}_{\text{post-fuego}}$. Para la clase "Área quemada" se obtiene una exactitud del productor de 87.79%, con un intervalo de confianza al 95% de 84.13%-90.86%, y un error de omisión de 12.21%. Para esta clase el error de comisión para las áreas quemadas es de 3.36%, con una exactitud del usuario de 96.64% (intervalo de confianza al 95% de 94.20%-98.25%). En el caso de no emplear la banda $\text{NIR}_{\text{post-fuego}}$ en la clasificación el error de comisión se incrementaba significativamente ($p > 0.001$). Si estuviesen disponibles imágenes de agosto o de finales de julio para su empleo como datos pre-incendio, las diferencias fenológicas no serían tan importantes y el empleo del NIR no tendría tanta relevancia, tal y como indican otros estudios que sólo emplearon en dNDVI (Ruiz-Gallardo et al., 2004; Díaz-Delgado y Pons, 1999; Rogan y Franklin, 2001). Se verificaron las características de los errores de omisión de la clasificación, tratándose en el 67% de los casos (32 puntos) de puntos en el borde de áreas quemadas, de modo que a menos de 1 píxel (30 m) el clasificador había identificado el incendio. Considerando este buffer de 1 píxel en la localización del incendio, el error de omisión disminuye a 1,52% e incrementándose la exactitud del productor a 98.68%.



MATRIZ DE ERROR		Datos de referencia		Σ	Exactitud del Usuario (%)	Error de comisión (%)
		Área quemada	Área no quemada			
Clasificación	Área quemada	345	12	357	96.64 (94.20-98.25)*	3.36
	Área no quemada	48	4041	4089	98.83 (98.45-99.13)*	1.17
Σ		393	4053	4446		
Exactitud del productor (%)		87.79 (84.13-90.86)*	99.70 (99.48-99.85)*	Exactitud global (%): 98.65 (98.27-98.97)*		
Error de omisión (%)		12.21	0.30			

Tabla 2. Matriz de error de la clasificación orientada a objetos realizada sobre las imágenes Landsat 5TM. *Intervalo de confianza definido al 95% empleando el método de Clopper-Pearson (Sauro y Lewis, 2005).

La Tabla 3 muestra (en cursiva) las superficies quemadas obtenidas en este estudio para en las provincias de Lugo, Ourense y Pontevedra entre 1 de junio y el 5 de septiembre de 2006 (*Incendios Landsat 5 TM*). No se presentan los resultados para A Coruña porque parte de la provincia está fuera del área cubierta por las imágenes. Se muestran las estimaciones de superficie quemada obtenidas por otros autores empleando imágenes de satélite de otros sensores en la misma zona en fechas próximas (Chuvieco *et al.* (2006), Oliva (2007)) . Se muestran asimismo los datos provisionales publicados por la Consellaría de Medio Rural (Xunta de Galicia) en su página web (http://mediorural.xunta.es/forestal/Datos_incendios/index.php).

Superficie quemada (ha)	Lugo	Ourense	Pontevedra	Total LU/OU/PO
<i>Imágenes Landsat 5 TM (1 junio - 5 septiembre 2006)</i>	<i>4808</i>	<i>11218</i>	<i>35845</i>	<i>51871</i>
Imágenes MODIS (??-13 agosto 2006) (Chuvieco <i>et al.</i> , 2006)	1057	7308	40710	49075
Imágenes AWiFS (??-21 agosto 2006) (Oliva, 2007)	2046	11828	43738	57612
Xunta de Galicia (Total Campaña 2006)	6118	12162	39698	57978

Tabla 3. Cuantificación de las áreas quemadas en las provincias de Lugo, Ourense y Pontevedra entre 1 de junio y el 5 de septiembre de 2006. Comparación con otras determinaciones realizadas empleando imágenes de satélite en la misma zona en fechas próximas, y con los datos publicados por la Xunta de Galicia para toda la campaña de 2006.

La validación de la clasificación de los efectos post-fuego mostró un 100% de exactitud para efectos moderados y altos, y un 66% de exactitud para la clase más baja. Los errores de omisión no son críticos en este caso, puesto que se trata de áreas no prioritarias para los gestores. Emplear el $NIR_{\text{postfuego}}$ implica no sólo cambios y diferencias, si no también el aspecto final del área quemada. De este modo, se identificaron las áreas prioritarias para su restauración teniendo en cuenta que en algunas zonas el cambio puede no ser muy grande, pero debido a que las condiciones iniciales (previas al incendio) fueron adversas, después del incendio son áreas críticas para la erosión y requieren una rápida intervención. Resultados similares a estos se obtuvieron empleando este índice (Epting *et al.*, 2005; Key y Benson, 2006) con exactitudes entre 70-75%, en diferentes ambientes y a escala de paisaje. Tanto para la identificación de áreas quemadas y clasificadas es necesario definir umbrales específicos para el área de estudio, y los valores generales no resultan adecuados para Galicia.

Se comparó el enfoque orientado a objetos con la clasificación basada en píxeles, y los resultados para el cartografiado de las áreas quemadas fueron significativamente mejores ($p > 0.001$) empleando los segmentos, fundamentalmente en lo que respecta a la delineación y a la ausencia de píxeles aislados mal clasificados. Este resultado concuerda con las conclusiones de Álvarez (2006) para la clasificación de áreas forestales empleando imágenes Landsat 5 TM en un área similar en Galicia, donde se recomendaba el empleo de clasificadores de segmentos para

evitar las clasificaciones incorrectas debidas a la fragmentación. La Figura 2 muestra gráficamente resultados de la detección de áreas quemadas para Galicia para el periodo de estudio.

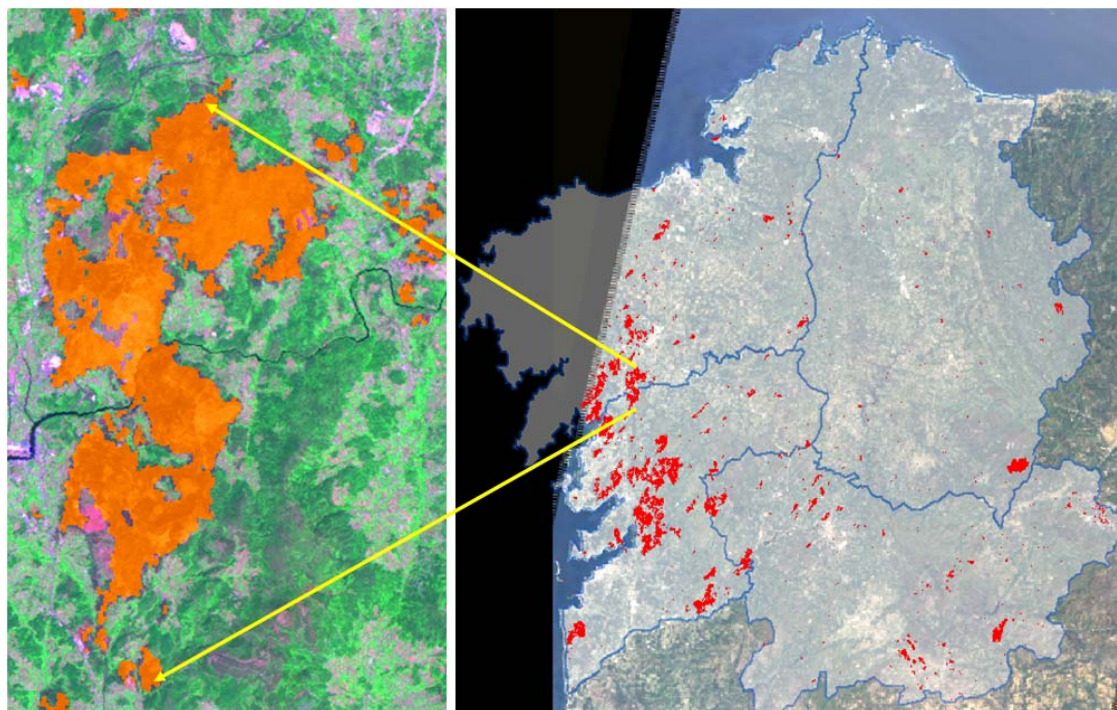


Figura 2. Resultados de la detección de áreas quemadas para Galicia (en rojo) (Junio-Septiembre 2006). Detalle de la delimitación de áreas quemadas empleando clasificadores orientados a objetos (en naranja).

Los tiempos de procesado disminuyeron un 50% empleando el protocolo IDL, en comparación con el método tradicional, concordando con los valores obtenidos por Han *et al.* (2007). De este modo, la versión adaptada de este protocolo está disponible para su empleo en la detección, cartografiado y clasificación de áreas quemadas. El cronograma (Figura 3) refleja los procesos y los tiempos necesarios para repetir este análisis cuando sea requerido, mostrando que se precisan 17 días en el caso de contar con una persona a tiempo completo. Los pasos críticos son la adquisición de datos (disponibilidad y control de calidad de la Agencia Espacial Europea (ESA)) y el trabajo de campo para la validación de la clasificación de efectos post-fuego (depende de las condiciones meteorológicas). Esta validación no es imprescindible (el método ya está validado), pero es recomendable.

TAREA		DÍA																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Adquisición imágenes																		
Procesado de imágenes	Cálculo de radiancia y reflectancia (IDL)																	
	Co-registro de imágenes																	
	Normalización de imágenes (IDL)																	
	Cálculo de índices																	
Procesado de la información de campo: base de datos para re-calibrar/validar																		
Comprobación/calibración de umbrales																		
Clasificación																		
Validación																		
Ortorectificación																		
Elaboración de cartografía																		

Figura 3. Cronograma con los procesos requeridos para repetir este análisis y su duración.



4. REFERENCIAS.

- Alvarez, M.F. (2006). "Remote sensing and Geoinformation Systems applied to the forest management of *Eucalyptus globulus* Labill. stands damaged by *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal in Galicia". Ph. D. Thesis. University of Vigo. 319 pp.
- Díaz-DeIgado, R., Pons, X. (1999). "Empleo de imágenes de teledetección para el análisis de los niveles de severidad causados por el fuego". Revista de Teledetección 12: 63-68.
- Epting, J., Verbyla, D., Sorbel, B. (2005). "Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+". Remote Sensing of Environment 96: 328-339.
- Hammill, K.A., Badstock, R.A. (2006). "Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: influence of vegetation type and inferring fire intensity". International Journal of Wildland Fire 15: 213-226.
- Han, T., Wulder, M.A., White J.C., Coops N.C., Álvarez M.F., Butson, C. (2007). "An efficient protocol to process Landsat images for change detection with Tasselled Cap Transformation", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 4 (1): 147-151.
- Key, C.H., Benson, N.C. (2006). "Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio". In: Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F. et al., (Eds.) FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Ogden, UT, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164: CD:LA1-LA51.
- Lentile, L.B., Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., Lewis, S.A., Gessler, P.E., Benson, N.C. (2006). "Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects". International Journal of Wildland Fire 15: 319345.
- Chuvieco, E., Rodríguez, F., Nieto, H., Martín, P. (2006). Evaluación de áreas quemadas en Galicia con imágenes MODIS (hasta el 13 de agosto de 2006). On line: <http://www.geogra.uah.es/galicia/evaluacion-areas-quemadas-galicia.php> (acceso 20 enero 2008)
- Oliva, P (2007). "Evaluación con imágenes del sensor AWIFS". On line: <http://www.geogra.uah.es/galicia/evaluacion-areas-quemadas-awifs.php> (acceso 20 enero 2008)
- Rogan, J., Franklin, J. (2001). "Mapping wildfire burn severity in southern California forests and shrublands using Enhanced Thematic Mapper imagery", GeoCarto International 16: 89-99.
- Roy, D.P., Boschetti, L., Trigg, S. (2006). "Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the performance of the Normalized Burn Ratio". IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 3: 112- 116.
- Ruiz-Gallardo, J.R., Castaño, S., Calera, A. (2004). "Application of remote sensing and GIS to locate priority intervention areas after wildland fires in Mediterranean systems: a case study from south-eastern Spain". International Journal of Wildland Fire 13: 241-252.
- Sauro, J., Lewis, J. R. (2005). "Estimating completion rates from small samples using binomial confidence intervals: comparisons and recommendations". In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (HFES 2005), Orlando, FL, USA.