

## CARTOGRAFÍA DEL ÁREA QUEMADA MEDIANTE CRECIMIENTO DE REGIONES: APLICACIÓN EN ENTORNOS MEDITERRÁNEOS CON IMÁGENES TM y ETM+

AITOR BASTARRIKA IZAGIRRE<sup>1</sup>, EMILIO CHUVIECO SALINERO<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea  
Nieves Cano 12, 01006 Vitoria-Gasteiz (Álava)

<sup>2</sup>Universidad de Alcalá  
Colegios, 2, 28801 Alcalá de Henares (Madrid)  
[aitor.bastarrika@ehu.es](mailto:aitor.bastarrika@ehu.es), [emilio.chuvieco@uah.es](mailto:emilio.chuvieco@uah.es)

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo consiste en diseñar un algoritmo para cartografiar de forma automática las áreas quemadas a partir de imágenes post-incendio. Se han empleado los denominados algoritmos multi-fase que consisten, en primer lugar, en identificar los píxeles semilla con alta probabilidad de que estén quemados, para posteriormente, partiendo de esos píxeles, añadir los vecinos con un proceso iterativo en el que se cartografía de forma más precisa el área quemada real.

Se han evaluado tres algoritmos de crecimiento de regiones aplicados a 4 áreas de estudio Mediterráneas (tres en España y uno en Grecia) empleando imágenes unitemporales TM y ETM+ post incendio. Los algoritmos revisados se basan en el criterio *Seeded Region Growing* (SRG) (Adams y Bischof, 1994), y los dos siguientes en umbrales, uno de ellos fijo y el otro variable en función de valores estadísticos que definen los grupos a medida que crecen. Se ha tomado como verdad terreno una cuidadosa fotointerpretación de los incendios, asistida puntualmente con una clasificación no supervisada. Los resultados obtenidos muestran una alta exactitud en los tres algoritmos ensayados, aunque son muy dependientes del método de selección de los píxeles semilla. Los mejores resultados los proporcionan los umbrales fijos, en el ratio TM7 y TM4.

**Palabras clave:** área quemada, separabilidad espectral, algoritmos de crecimiento de regiones, incendios forestales.

## MAPPING BURNED AREAS USING REGIONS GROWING ALGORITHMS. AN APPLICATION IN THE MEDITERRANEAN ENVIRONMENT BASED ON TM AND ETM+ IMAGES

### ABSTRACT

This paper tries to develop an automatic algorithm for mapping burned areas. Considering the wide range of spectral characteristics of burned areas, a two-phase algorithm is proposed. The first phase intends to discriminate the most clearly burned areas (core pixels). The second one delimitates the whole burned scar from those seed pixels, using contextual criteria. Three different region-growing algorithms for the second phase have been evaluated. The first one is based on the seeded region algorithm of Adams and Bischof (1994) and the other two on fixed and dynamic thresholds. These algorithms have been tested using four Landsat-TM/ETM images from different forest fires in Mediterranean regions. Validation of results is based on visual interpretation of satellite images, assisted with digital classification techniques. Results show high accuracy in the three algorithms tested, although they are very dependent on the method to select the seed pixels. Best results were found for fixed thresholds, using the ratio of TM7 and TM4 bands.

**Keywords:** burned area, spectral separability, region growing algorithms, forest fires.

### 1 Introducción

En los Países Mediterráneos del Sur de Europa (Grecia, Italia, Sur de Francia, España y Portugal), se han quemado de promedio anual más de 400.000 ha en los 25 últimos años según las estadísticas ofrecidas por EFFIS (*European Forest Fire Information System*: JRC, 2005) ([Figura 1](#)). Estos valores han aumentado en el período 2000-2004 respecto a la década anterior, en gran parte debido a los incendios de Portugal de los años 2003 en el que se estiman cifras superiores a las 400.000 ha. La gran incidencia del fuego en Portugal en el verano de 2005 parece confirmar esta tendencia.

Una de las cuestiones más importantes que afectan a la gestión de los incendios forestales es la falta de una cartografía sistemática del área quemada, que dificulta la evaluación del impacto medioambiental así como la introducción de medidas apropiadas para prevenir la erosión del suelo y ayudar a la regeneración de la vegetación. La mayor parte de los países Mediterráneos que están afectados por incendios forestales no cartografía de forma sistemática las áreas quemadas, y a menudo los incendios no son cartografiados y solamente se disponen de datos estadísticos relacionados con la intervención de los guardas forestales y las brigadas de incendios (Paganini *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2002). En nuestro país, varias administraciones regionales cartografían perímetros quemados, pero aún no están disponibles públicamente y no se incorporan a las bases de datos nacionales, que siguen estando referencias a las cuadrículas de 10x10 Km.

Un sistema operativo de gestión de las áreas quemadas debería proporcionar de forma rápida, precisa y económicamente accesible los límites de las áreas quemadas inmediatamente después (o durante) la temporada de incendios. En este contexto, la teledetección ha mostrado ser

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

muy eficaz en la cartografía del área quemada ya que permite cubrir grandes extensiones con una alta frecuencia temporal y además proporciona información en regiones espectrales no visibles que diversos autores han mostrado ser las más interesantes para su discriminación (Pereira, 1999).

En la última década se han desarrollado diversas técnicas y algoritmos para la cartografía del área quemada local-regional mediante imágenes de media-alta resolución (Salvador *et al.*, 2000; Koutsias y Karteris, 1998; García-Haro *et al.*, 2001). Estos algoritmos habitualmente se basan en criterios multitemporales, por lo que es necesario disponer, además de la imagen post-incendio, de una anterior que sirva de comparación. Diversos autores han mostrado las ventajas de los criterios multitemporales respecto a los unitemporales (Pereira *et al.*, 1997), aunque para la obtención de una metodología automática o semi-automática que permita obtener de forma sistemática el área quemada, su disponibilidad puede ser limitada.

Los incendios forestales también tienen efectos a una escala más global, debido a la emisión a la atmósfera de aerosoles y gases que incrementan el efecto invernadero. En los últimos años se han desarrollado iniciativas para cartografiar de forma global las áreas quemadas, como con el proyecto GBA2000 basado en datos SPOT-VEGETATION (Grégoire *et al.*, 2003), el Globscar sobre datos ERS-ATSR (Simon *et al.*, 2004) y el producto que prepara la división de aplicaciones terrestres del programa MODIS (Roy *et al.*, 2002; Roy *et al.*, 2005a). Estos productos se han empleado en diversas aplicaciones, una de las más comunes ha sido la estimación del volumen de emisiones de gas y aerosoles a la atmósfera a consecuencia de los incendios.

El objetivo de este trabajo consiste en comparar algoritmos de contexto espacial que permitan obtener una cartografía del área quemada lo más precisa y automática posible a partir de imágenes de media-alta resolución espacial (Landsat-TM/ETM+). Para ello se ha utilizado una metodología basada en dos fases: en la primera se identifican los píxeles semilla característicos del área quemada (con alta probabilidad de que estén quemados); en la segunda, a partir de estas semillas, se ejecutan algoritmos de crecimiento de regiones con diferentes criterios de homogeneidad que definirán el final del proceso.

Este tipo de enfoques multifase se ha planteado anteriormente en el marco de la cartografía del área quemada, ya que resulta muy complejo extraer todo el perímetro quemado cuando tratamos con tipos de incendio y tipos de vegetación afectada muy diversos (Martín y Chuvieco, 1998; Chuvieco y Martín, 1999; Chuvieco *et al.*, 2002). Un ejemplo semi-operativo de esta metodología multi-fase fue el proyecto ITALSCAR (Paganini *et al.*, 2003), que ha generado cartografía del área quemada en Italia durante cuatro años consecutivos entre 1997 y 2000 a partir de imágenes TM/ETM+; los píxeles semilla se identificaron mediante un análisis de detección de cambios basado en un enfoque multi-umbral y multi-temporal que posteriormente se refinaba mediante un algoritmo de crecimiento de regiones.

Nuestro objetivo ha sido explorar nuevos criterios para cartografiar automáticamente áreas quemadas en imágenes post-incendio, de cara a evaluar su eficacia en distintos incendios mediterráneos. Los algoritmos propuestos se aplican en cuatro zonas variadas, en cuanto a rasgos topográficos y tipos de vegetación. Para cada uno de los incendios analizados se disponen de imágenes unitemporales TM ó ETM+ posteriores al incendio. En cuanto a su validación, se ha llevado a cabo a partir de delimitar visualmente el área quemada sobre las mismas imágenes post-

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

incendio. El empleo del análisis visual para validación de productos de área quemada es una metodología admitida por diversos autores (Roy *et al.*, 2005b) cuando no se disponen de datos terreno fiables.

## 2. Métodos

### 2.1. Áreas de estudio y datos empleados

El trabajo se ha llevado a cabo en cuatro áreas de estudio (ver [Figura 2](#)): tres situadas en España (Buñol en Valencia, Patones y Métrida en la Comunidad de Madrid) y uno en Grecia (en las proximidades de Atenas) (ver [Tabla 1](#)).

Para el área de estudio de Buñol y Atenas se disponen de imágenes TM (24 de Agosto de 1991 para el primero y 11 de Septiembre de 1992 para el segundo). En las áreas de estudio de Patones y Métrida se disponen de imágenes ETM+ (ambas del 12 de Agosto de 2002). En cuanto a la extensión de la superficie quemada, el mayor incendio ocurrió en Buñol, donde se superaron las 18000 ha., seguido de Atenas (en torno a 5000 ha), mientras que los incendios de Métrida y Patones son mucho menores, próximos a las 1000 ha.

El intervalo de tiempo entre la extinción del incendio y la adquisición de la imagen es crítico para su óptima detección, ya que las características espectrales de las áreas quemadas varían en periodos cortos de tiempo, de cenizas y carbón en los primeros días/semanas hasta la reducción de la vegetación en los siguientes meses (Pereira, 1999). En las imágenes de estudio el intervalo de tiempo desde la ocurrencia del incendio es corto, variando desde 2 días para la imagen de Patones hasta los 19 días para la imagen de Buñol. En cuanto al tipo de comunidades afectadas, la diversidad de las áreas de estudio es amplia, incluyendo diversos tipos de pinares: *P.pinea* (Métrida), *P.halepensis* (Buñol, Atenas), *P.brutia* (Atenas) y matorral acidófilo (Métrida y Atenas).

Las imágenes han sido procesadas convirtiendo los datos brutos a radiancias a partir de los datos de calibración del sensor y seguidamente a valores de reflectividad, realizando una corrección atmosférica mediante el método del objeto oscuro (*Dark Object Substraction*: Chavez, 1996). Para evitar Niveles digitales no válidos debido a errores de adquisición se adopta el décimo Nivel Digital menor de cada una de las bandas como valor representativo de la radiancia del objeto oscuro. Al no disponer de datos de validación externos y no efectuar ningún análisis multitemporal, no se ha realizado ninguna corrección geométrica, evitando la alteración radiométrica propia de estos ajustes. Aunque serían deseables, dada la existencia de relieve no despreciable en muchas zonas afectadas por incendios forestales, no hemos abordado correcciones de iluminación al no tener disponibles modelos digitales de suficiente calidad en todas las zonas de estudio.

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

## 2.2. Bandas de entrada para la determinación de semillas

La primera fase del algoritmo de cartografía automática de áreas quemadas pasa por seleccionar la banda o bandas más sensibles para discriminar entre quemado y no quemado. Sobre esas bandas extraeremos posteriormente las semillas (píxeles más claramente quemados) para la determinación del conjunto del perímetro quemado. Las bandas que se han evaluado son:

- **Bandas de reflectividad originales (Bandas TM/ETM+ 1, 2, 3, 4, 5 y 7)**
- **Componentes principales (los 5 primeros) (PCA-1, PCA-2, PCA-3, PCA-4 y PCA-5):** Esta transformación se realiza habitualmente como método para la detección de cambios con un enfoque bi-temporal (García-Haro *et al.*, 2001), aunque también ha sido aplicada de forma unitemporal por otros autores (Siljeström y Moreno, 1995).
- **Transformación *Tasseled Cap* (TC1, TC2, TC3).** La transformación *Tasseled Cap* (o también llamado transformación Kauth and Thomas KT (Kauth y Thomas, 1976) se ha empleado por algunos autores para determinar los niveles de severidad en imágenes post-incendio (Patterson y Yool, 1998).
- **Índices de Vegetación y Ratios entre bandas:**
  - BAI (*Burned Area Index*) (Martín, 1998): Es un índice específicamente diseñado para la discriminación del área quemada reciente en el ámbito Mediterráneo. El índice se calcula como la distancia espectral de cada píxel a un punto espectral de referencia donde tienden a converger las áreas recientemente quemadas (0.1 en Rojo (R) y 0.06 en Infrarrojo cercano (IRC)).
  - SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) (Huete, 1988): Este índice ha mostrado ser muy sensible a la discriminación de la vegetación en zonas con baja cubierta vegetal.
  - GEMI (*Global Environmental Monitoring Index*) (Pinty y Verstraete, 1992): Este índice no lineal fue diseñado para minimizar los efectos atmosféricos y del fondo del suelo.
  - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI: Es un índice ampliamente utilizado en el seguimiento de las condiciones vegetales, y también se ha usado en la cartografía del área quemada, sobre todo con imágenes NOAA-AVHRR (Fernández *et al.*, 1997).
  - NDII (*Normalized Difference Infrared Index*) (Hunt y Rock, 1989): Varios autores han demostrado que el cociente normalizado entre el Infrarrojo Medio de Onda Corta (SWIR) e IRC resulta más sensible para áreas quemadas que otros índices (López García y Caselles, 1991; Key y Benson, 1999) En este ámbito, normalmente se le conoce como *Normalized Burn Ratio*, NBR.

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

- Ratios entre Bandas: 3/7, 5/2, 4/5, 7/4; Los ratios entre bandas reducen los efectos topográficos ya que los tipos de cubierta parecidos pueden variar en gran medida debido a cambios de pendiente e iluminación (Kushla y Ripple, 1998). Los más comunes en la literatura consultada son: 3/7, 5/2, 7/4 y 4/5 (*structural index*).

### 2.3. Separabilidad

Para conocer la capacidad discriminatoria entre quemado y no quemado de cada una de las bandas enumeradas, hemos calculado las distancias normalizadas (M) como medida de la separabilidad espectral:

$$M = \frac{|\mu_{quemado} - \mu_{Noquemado}|}{\sigma_{quemado} + \sigma_{Noquemado}}$$

donde:

$\mu_{quemado}$  = Media de la categoría quemado

$\mu_{Noquemado}$  = Media de la categoría No- quemado

$\sigma_{quemado}$  = Desviación típica de la categoría quemado

$\sigma_{Noquemado}$  = Desviación típica de la categoría No- quemado

### 2.4. Segmentación mediante Crecimiento de Regiones Basado en Semillas.

Los métodos de Crecimiento de Regiones Basados en Semillas (CRBS) han sido ampliamente usados en segmentación de imágenes médicas y en los últimos años han sido propuestos para su aplicación en la cartografía del área quemada (García y Chuvieco, 2004; Martín *et al.*, 2002). A partir de píxeles iniciales adecuadamente escogidos se comienza un proceso iterativo que asigna, paso a paso, píxeles vecinos al píxel inicial con propiedades similares a éste de acuerdo con un criterio de uniformidad seleccionado (Lira, 2002) (ver [Figura 3](#)).

La aplicación de estos algoritmos a la temática de cartografía del área quemada necesita resolver los siguientes problemas: por un lado, qué metodología es más apropiada para establecer las semillas iniciales, a partir de las cuales se produce el crecimiento de regiones; por otro, qué criterio se empleará para definir cuándo un píxel se agrupa a los píxeles semilla. Aunque los algoritmos de CRBS por definición segmentan la totalidad de la imagen, pueden aplicarse solamente a la segmentación de las partes de la imagen que están quemadas. Hemos ensayado tres algoritmos: crecimiento de dos regiones simultáneamente hasta segmentar toda la imagen (se produce un crecimiento de regiones de las áreas quemadas y no quemadas a la vez), crecimiento del área quemada basada en umbrales fijos y basada en umbrales iterativos. En estos dos últimos, el crecimiento de regiones se produce solamente en el área quemada y por tanto solamente se segmenta parte de la imagen.

#### 2.4.1 Establecimiento de Semillas.

Los píxeles semilla pueden establecerse visualmente por el usuario, permitiendo establecer las áreas más características e idóneas según su conocimiento de la zona, tipo de incendio, información contextual espacial, etc., pero el proceso sería más tedioso cuando el número de incendios es muy abundante. Por ello, se propone una metodología automática para el establecimiento de las semillas, basado en umbrales sobre el índice BAI, específicamente diseñado para discriminar áreas quemadas en ambientes mediterráneos. Este índice ha mostrado alta separabilidad entre las categorías de área quemada-no quemada y ha sido propuesto por otros autores como metodología de establecimiento de semillas (García y Chuvieco, 2004). Un píxel se identifica como semilla siempre que su valor se sitúe entre los percentiles 98-99 del índice BAI. Para la determinación de los píxeles semilla no quemados (necesario en uno de los algoritmos empleados) el umbral establecido se sitúa entre los percentiles 9-10.

#### 2.4.2. Algoritmos de crecimiento de regiones.

El primer método empleado en este trabajo se basa en el algoritmo *Seeded Region Growing* (SRG) desarrollado en Adams y Bischof (1994). Este algoritmo supone que las dos regiones (en este caso quemado y no quemado), crecen independientemente, hasta encontrarse. Los pasos que sigue son los siguientes ([Figura 3](#)):

*a) Inicialización:* Partiendo de los píxeles semilla iniciales (semillas quemadas y semillas no quemadas) se inicializan las estadísticas de los dos grupos de segmentación a crear (Quemado y No Quemado). El algoritmo añade a una lista secuencial ordenada (SSL) los píxeles vecinos a los píxeles semilla según un valor  $\delta$  definido como la diferencia entre el valor del píxel y el valor medio del grupo.

$$\delta = |g(x) - Media(x)|$$

*b) Proceso iterativo hasta que la SSL no tenga más píxeles a evaluar:* El algoritmo sigue un proceso de etiquetado de los píxeles desde la lista secuencial ordenada (formado por vecinos de otros píxeles ya etiquetados), iniciando con los valores más bajos de  $\delta$  y continuando en orden creciente. Los pasos a seguir serían: (1). Se selecciona el primero de la lista secuencial ordenada (píxel X) y se elimina de la lista. (2). Si todos los vecinos del píxel X (con una conectividad de 8) que ya están etiquetados tienen la misma etiqueta, el píxel X también se etiquetará con la misma; Si los píxeles vecinos tienen etiquetas diferentes dicho píxel se encuentra en un borde entre grupos (Quemado/No Quemado). En este caso se calcularía el valor  $\delta$  a los dos grupos y se asignará al más cercano. (3). Se actualiza la media de los grupos con el nuevo píxel etiquetado. (4) Se añaden los píxeles vecinos no etiquetados (con una conectividad de 8) a la lista secuencial ordenada y se vuelve al paso 1.

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

Al etiquetar los píxeles en orden creciente de  $\delta$ , se dejan crecer las áreas más homogéneas, y así permite caracterizar de forma adecuada las estadísticas de cada grupo, dejando para el final los píxeles más heterogéneos (con mayor  $\delta$ ), es decir, los que se sitúan en los bordes entre área quemada y no quemada. Este algoritmo permite una segmentación de la imagen sin necesidad de establecer umbrales, ya que toda la imagen acaba incluyéndose en alguna de las dos clases que crecen (en nuestro caso, al final del proceso, todo se clasifica como quemado o no quemado).

El segundo algoritmo que se ha verificado se denomina CRBS, y está basado en umbrales fijos; al contrario que en el algoritmo anterior, el crecimiento de regiones parte únicamente de los píxeles semilla quemados y el criterio a partir del cual un píxel es integrado en el grupo de quemado es un umbral fijo, establecido mediante análisis visual y constante en las 4 áreas de estudio ([Tabla 2](#)). El algoritmo se aplica independientemente a las bandas BAI, TM/ETM 7/4 y NDII.

El tercer algoritmo se denomina CRBS basado en umbrales adaptativos y se diferencia del anterior en que los umbrales son automáticos y se calculan a partir de la media y la desviación típica obtenida de las estadísticas del grupo quemado, que se actualiza cada vez que se agregan nuevos píxeles quemados ([Tabla 3](#)).

En el ratio TM/ETM 7/4 y BAI, solamente se acotan los valores mínimos, de forma que los valores mayores a la media menos una desviación típica se considerarán quemados. Para el NDII, sin embargo, se acota el valor máximo, así, los valores inferiores a la media más una desviación típica se considerarán quemados.

## 2.5. Validación

Como no se disponía de cartografía precisa de campo de todos los incendios estudiados (y la disponible en algunas áreas había sido tomada con GPS desde helicóptero y no tomaba en cuenta islas internas no quemadas), se procedió a generar una cartografía de validación partir de las imágenes post-incendio, mediante análisis visual sobre una composición de color 7-4-1, adecuada para la interpretación del área quemada en áreas mediterráneas (Koutsias y Karteris, 1998). El resultado del análisis visual es una imagen de validación que toma en cuenta las islas internas no quemadas, y permite una validación píxel a píxel con los resultados obtenidos. El criterio de interpretación visual ha sido utilizado por diversos autores para validar productos de área quemada a escala regional y global (Roy *et al.*, 2005b), ya que la señal quemada es bastante evidente visualmente (color, textura, emplazamiento), sobre todo cuando se dispone de una imagen previa al incendio.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultados del análisis de separabilidad

Los resultados de separabilidad se presentan en la [Tabla 4](#) (individualizados por área de estudio y banda). Las 4 bandas/índices que presentan mayor separabilidad acumulada son el ratio TM/ETM 7/4, BAI, GEMI y NDII. En lo que se refiere al GEMI, presenta muy alta separabilidad en el área de estudio de Mérida (superior a 9), pero muy inferior en las restantes áreas, en comparación con otros índices y bandas. Estos resultados son coherentes con otros estudios realizados en ámbitos Mediterráneos en los que los índices basados en el infrarrojo de onda corta presentan habitualmente los mejores resultados (Pereira, 1999).

Analizando los datos obtenidos, se considera aplicar los algoritmos de segmentación sobre las bandas TM/ETM 7/4, BAI y NDII de forma individualizada.

#### 3.2. Resultados del semillado

A partir de los umbrales del BAI se consiguió delimitar con bastante nitidez los píxeles semilla en todas las áreas de estudio. Como puede observarse en la [Figura 4](#), en las cuatro zonas de estudio los píxeles semilla quemados se sitúan identificando las distintas manchas quemadas. Sin embargo, se han observado errores de comisión en las áreas de Patones y Buñol, en zonas que tienen una respuesta espectral similar a la quemada; en el primero se han situado píxeles semilla quemados en los límites del embalse de Atazar, coincidiendo con píxeles mezcla agua-tierra, mientras que en el segundo, en las sombras de las nubes.

#### 3.3. Resultados del crecimiento de regiones

En la [Figura 5](#) se muestra un ejemplo de segmentación para las áreas quemada y no quemada obtenida mediante el algoritmo SRG, partiendo de los píxeles semilla quemados (en rojo) y no quemados (en gris).

A partir de la delimitación de los perímetros de los incendios que se ha considerado como verdad-terreno, y comparando con los resultados de los tres algoritmos aplicados sobre las 3 bandas de interés, se generan las matrices de confusión y se calculan los errores de omisión, comisión y fiabilidad global de las zonas quemadas (ver [Tabla 5](#)).

Aunque la fiabilidad global ofrece en la mayoría de los algoritmos valores altos, este estadístico está muy influenciado por el acierto en la clasificación de los píxeles no quemados, que supone la mayoría del área abarcada en cada imagen. En consecuencia, para evaluar más globalmente cada algoritmo, es necesario fijarse en los errores de omisión y comisión de la categoría quemado.

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

En la zona de Buñol los mejores resultados los ofrece el CRBS con umbrales fijos utilizando el cociente TM/ETM 7/4 (errores de omisión y comisión de 2.11 y 2.03%, respectivamente), seguido de CRBS con umbrales fijos en NDII (errores de omisión y comisión de 2.74 y 2.13%, respectivamente). Los resultados obtenidos con el mismo algoritmo en la banda BAI son significativamente peores, seguramente como consecuencia de la alta variabilidad del BAI para distintos valores de daño. El SRG proporciona peores resultados que los métodos CRBS con umbrales fijos, mostrando errores de comisión elevados (desde 9.12% para 7/4 hasta 12.78% con NDII). Finalmente, El CRBS con umbrales adaptativos proporciona los peores resultados de los tres algoritmos, con errores de omisión elevados (desde 13.54% en NDII hasta 61.81% del BAI).

En el área de estudio de Mérida, los mejores resultados también los proporciona el algoritmo CRBS con umbrales fijos, en este caso en la banda NDII (errores de omisión y comisión de 3.73% y 9.25%), seguido del mismo algoritmo en la banda TM/ETM 7/4 (errores de omisión y comisión de 3.66% y 10.5%). Al igual que en Buñol, el algoritmo SRG proporciona errores de comisión elevados (varían entre 19.72% y 23.97%), y el CRBS con umbrales adaptativos presenta errores de omisión elevados en las bandas TM/ETM 7/4 y NDII (cercaos al 20%).

El área de estudio de Atenas presenta resultados significativamente diferentes, ya que los mejores resultados los ha proporcionado el algoritmo SRG en la banda TM/ETM 7/4, con errores de omisión y comisión de 5.23% y 7.17% respectivamente. Los siguientes dos mejores resultados los proporcionan el CRBS con umbrales fijos en las bandas TM/ETM 7/4 y NDII (con errores de omisión importantes cercanos al 15%), juntamente a SRG en la banda NDII (con errores de omisión y comisión de 3.81 y 11.95% respectivamente). El CRBS con umbrales adaptativos proporciona errores de omisión muy importantes (varían entre 29.56% en NDII hasta 54.27% en BAI).

Finalmente, en el área de estudio de Patones, vuelven a ofrecer los mejores resultados el CRBS con umbrales fijos en las bandas TM/ETM 7/4, con errores de omisión reducidos (del 1.04%) y comisión más elevados (del 13.72%) y NDII (errores de omisión y comisión de 1.53% y 14.55% respectivamente). En este caso, el CRBS con umbrales adaptativos funciona mejor que en el resto de áreas, especialmente en las bandas TM/ETM 7/4 y NDII, aún con errores de comisión importantes (11.95% y 19.11% respectivamente). El algoritmo SRG proporciona errores de comisión muy significativos, que varían entre 19.06% hasta 50.95%.

Analizando los resultados de las cuatro zonas de estudio en conjunto, los mejores resultados los ofrece el CRBS con umbrales fijos, que cuenta con un buen equilibrio entre los errores de omisión y los de comisión ([Figura 6](#)). El SRG presenta los errores de omisión más bajos entre las tres técnicas empleadas, pero ofrece alta comisión, especialmente cuando se emplea el NDII. El comportamiento contrario lo ofrece el algoritmo CRBS adaptativo, que ofrece baja comisión, pero muy alta omisión, especialmente en los incendios más grandes, ya que su funcionamiento es muy dependiente de cómo se hayan seleccionado las semillas.

En cuanto a las bandas que se emplean para realizar el proceso, el cociente entre las bandas TM/ETM 7 y 4 presenta los mejores resultados globales, con menos de un 5% en los errores de omisión y entre un 10 y 20% aproximadamente en los de comisión. El NDII y BAI presenta en general mayores errores, especialmente éste último, que en algunos algoritmos como el CRBS

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

adaptativo ofrece valores de omisión muy superiores a las otras dos bandas, probablemente como consecuencia de la sensibilidad de esta banda a la heterogeneidad en niveles de daño.

#### 4. Discusión

El éxito de los resultados obtenidos depende del acierto en las dos fases que definen estos algoritmos multi-fase. Por un lado, el establecimiento adecuado de las semillas, que permitan caracterizar de forma adecuada el conjunto del incendio, y por otro lado los criterios de crecimiento de regiones, que permiten delimitar de forma más precisa el límite del área quemada.

La primera fase, en la que se identifican automáticamente las semillas, es crítica para obtener unos resultados finales adecuados. Por un lado, deben quedar identificadas todas las áreas quemadas de la imagen, ya que en su defecto esas áreas no podrán ser cartografiadas. Por otro lado, deben minimizarse los errores de comisión, es decir, aquellas semillas erróneamente identificadas como quemadas. En este trabajo se han identificado problemas de confusión con otras cubiertas que presentan respuestas espectrales similares a la cubierta quemada, tales como píxeles mezcla agua-tierra en los límites de masas de agua y sombras de nubes, las cuales han sido detectadas por otros autores (Chuvieco y Congalton, 1988). Una posible solución sería añadir más índices en su generación (por ejemplo, NDII) o establecerlos ayudados de algún criterio contextual.

En cuanto a la siguiente fase de cartografía, se han propuesto tres algoritmos. El primero, SRG, es muy dependiente a la homogeneidad del grupo quemado (diferentes grados de severidad), y todavía más del grupo no quemado (que en general es más heterogéneo); así, una gran heterogeneidad en el área no quemada no podrá caracterizar de forma diferenciada el área quemada y no quemada. Por tanto, es crítica la elección de la ventana de la imagen con la que se trabaja, ya que influirá en la heterogeneidad de ambas categorías. En general, este método ha ofrecido resultados menos precisos en Buñol, Mérida y Patones, caracterizados con errores de comisión elevados. Este algoritmo parece no ser eficiente en la última parte de su proceso cuando se deben integrar los píxeles con mayor valor de  $\delta$ ; quizás las bandas empleadas tienen excesivo ruido (poca homogeneidad intra-grupo) que impiden mejorar estos resultados. En Atenas, sin embargo, es el método que mejores resultados ha proporcionado, quizás debidos a las sombras topográficas que tiene en parte de la imagen, que impide que los algoritmos de CRBS con umbrales fijos funcionen correctamente.

El CRBS con umbrales fijos a priori tienen el inconveniente de no adaptarse a diferentes tipos de severidad del área quemada y puede generar errores de omisión o comisión importantes en áreas espaciales grandes. La ventaja del crecimiento de regiones con umbral fijo respecto a usar técnicas de segmentación clásica con umbrales fijos consiste en que se asegura que los píxeles etiquetados como quemados mantienen conectividad con los píxeles semilla iniciales y por tanto no se detectan píxeles aislados residuales no quemados que presenten confusión con dichas áreas ([Figura 7](#)).

Este método ha proporcionado los mejores resultados en Buñol, Mérida y Patones, actuando sobre las bandas TM/ETM 7/4 y NDII. Aunque en Buñol los errores de omisión y comisión son muy homogéneos, Mérida y Patones presentan errores de comisión elevados (10% y

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

---

14% respectivamente). Esto es debido, por un lado, a los errores de posicionamiento de los píxeles semilla en cubiertas espectrales similares a las quemadas. Por otro lado, puede deberse a los diferentes grados de severidad del área quemada que no se tienen en cuenta con los umbrales fijos.

En cuanto al CRBS con umbral adaptativo, en teoría debería ofrecer un mejor ajuste a la imagen que los umbrales fijos, ya que sería esperable que se adaptara mejor a los distintos niveles de severidad de quemado existentes. Los resultados, sin embargo, muestran en general errores de omisión más elevados que el resto de las metodologías en Buñol, Métrida, Atenas y errores de comisión más elevados en Patones. Se han realizado otras pruebas utilizando un número variable de desviaciones típicas pero los umbrales no se han adaptado a la imagen y los resultados no han sido satisfactorios. Para evitar estos inconvenientes se debería aumentar el número de píxeles semilla iniciales para poder estabilizar la media y su desviación típica en valores más reales, o utilizar otras metodologías para redefinir los umbrales.

## 5. Conclusiones

Este trabajo ha sido orientado a diseñar un algoritmo, basado en crecimiento de regiones, con un enfoque multi-fase, para la cartografía automática de las áreas quemadas a partir de imágenes de media-alta resolución. Para ello se requiere identificar, en primer lugar, las áreas con alta probabilidad de que estén quemadas; seguidamente, y partiendo de estos píxeles semilla, se evalúan iterativamente sus píxeles vecinos, integrándolos en el grupo de quemado si se satisface el criterio contextual deseado.

El establecimiento de los píxeles iniciales semilla se realiza mediante la umbralización del índice BAI (Burned Area Index) (Martín, 1998) entre sus percentiles 98-99. En cuanto a los criterios de agregación, se han propuesto tres enfoques diferentes, el primero de ellos independiente a los umbrales (algoritmo SRG) y los dos siguientes basados en umbrales, el primero fijo y el segundo adaptativo basado en la media y desviación típica del grupo quemado.

En cuanto a los resultados obtenidos, en 3 de las 4 áreas de estudio ha sido el CRBS con umbrales fijos en las bandas TM/ETM 7/4 los que mejores resultados ha ofrecido, y el SRG en la misma banda en la restante área de estudio. Esta diferencia puede deberse a las sombras topográficas producidas por la orografía en gran parte del área quemada.

Aunque este trabajo se ha orientado con un enfoque de segmentación monobanda, sería interesante en un futuro trabajar con un enfoque multibanda que intente compensar las confusiones espectrales que en ella se producen de forma individualizada.

A la hora de escribir este artículo se está evaluando su utilidad en cartografía del área quemada mediante imágenes de baja resolución. A esta escala regional y debido a su alta resolución temporal, las metodologías para el establecimiento de píxeles semilla y el posterior crecimiento de regiones se han modificado para su adaptación, usando criterios contextuales espaciales, así como temporales.

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

## 6. Referencias bibliográficas

- Adams, R. y Bischof, L. (1994). "Seeded region growing", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 16, pp. 641-647.
- Barbosa, P. M., San-Miguel Ayanz, J., Martínez, B. y Schmuck, G. (2002). *Burnt area mapping in southern Europe using irs-wifs, Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*(Ed, Viegas). Rotterdam: Millpress.
- Chavez, P. S. (1996). "Image-based atmospheric corrections", Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62, pp. 1025-1036.
- Chuvieco, E. y Congalton, R. G. (1988). "Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data", *Geocarto International* 4, pp. 41-53.
- Chuvieco, E. y Martín, M. P. (1999). Performance Assessment in the Fire Post-fire Phase. Final Report. Alcalá de Henares: Department of Geography.
- Chuvieco, E., Martín, M. P. y Palacios, A. (2002). "Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination", *International Journal of Remote Sensing* 23, pp. 5103-5110.
- Fernández, A., Illera, P. y Casanova, J. L. (1997). "Automatic mapping of surfaces affected by forest fires in Spain using AVHRR NDVI composite image data", *Remote Sensing of Environment* 60, pp. 153-162.
- García-Haro, F. J., Gilabert, M. A. y Meliá, J. (2001). "Monitoring fire-affected areas using Thematic Mapper data", *International Journal of Remote Sensing* 22, pp. 533-549.
- García, M. y Chuvieco, E. (2004). "Assessment of the potential of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain", *Remote Sensing of Environment* 92, pp. 414-423.
- Grégoire, J. M., Tansey, K. y Silva, J. M. N. (2003). "The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery", *International Journal of Remote Sensing* 24, pp. 1369 - 1376.
- Huete, A. R. (1988). "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)", *Remote Sensing of Environment* 25, pp. pp.295-309.
- Hunt, E. R. y Rock, B. N. (1989). "Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances", *Remote Sensing of Environment* 30, pp. 43-54.
- JRC (2005). Forest Fires in Europe 2004. *European Forest Fire Information System (EFFIS)* European Commission DG Joint Research Centre.
- Kauth, R. J. y Thomas, G. S. (1976). "The Tasseled Cap. A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat", en *Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. Purdue, 41-51.
- Key, C. H. y Benson, N. C. (1999). *The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity*. U.S. Department of the Interior, Northern Rocky Mountain Science Center.
- Koutsias, N. y Karteris, M. (1998). "Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping", *International Journal of Remote Sensing* 19, pp. 3499-3514.
- Kushla, J. D. y Ripple, W. J. (1998). "Assessing wildfire effects with Landsat thematic mapper data", *International Journal of Remote Sensing* 19, pp. 2493-2507.
- Lira, J. (2002). *Introducción al tratamiento digital de imágenes*. México: Instituto Politécnico Nacional. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica.

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

López García, M. J. y Caselles, V. (1991). "Mapping Burns and Natural Reforestation Using Thematic Mapper Data", *Geocarto International* 1, pp. 31-37.

Martín, M. P. (1998). Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. In *Departamento de Geografía*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Martín, M. P. y Chuvieco, E. (1998). "Cartografía de grandes incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR", *Serie Geográfica* 7, pp. 109-128.

Martín, M. P., Díaz Delgado, R., Chuvieco, E. y Ventura, G. (2002). "Burned land mapping using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS" en *IV International Conference on Forest Fire Research. 2002 Wildland Fire Safety Summit*(Ed, Viegas, D. X.). Luso, Coimbra, Portugal: Millpress, 45.

Paganini, M., Arino, O., Benvenuti, M., Cristaldi, M., Bordin, M., Coretti, C. y Musone, A. (2003). "ITALSCAR, a Regional Burned Forest Mapping demonstration project in Italy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1290-1292.

Patterson, M. W. y Yool, S. R. (1998). "Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques", *Remote Sensing of Environment* 65, pp. 132-142.

Pereira, J. M. C. (1999). "A Comparative Evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for Burned Surface Detection and Mapping", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 37, pp. 217-226.

Pereira, J. M. C., Chuvieco, E., Beudoin, A. y Desbois, N. (1997). "Remote Sensing of burned areas: a review", en *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires*(Ed, Chuvieco, E.). Alcalá de Henares: Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, pp.127-184.

Pinty, B. y Verstraete, M. M. (1992). "GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites", *Vegetatio* 101, pp. 15-20.

Roy, D., Lewis, P. E. y Justice, C. O. (2002). "Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—a bi-directional reflectance model-based expectation approach", *Remote Sensing of Environment* 83, pp. 263-286.

Roy, D., Jin, Y., Lewis, P. E. y Justice, C. O. (2005a). "Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data", *Remote Sensing of Environment* 97, pp. 137-162.

Roy, D.P., P.G.H. Frost, C.O. Justice, T. Landmann, J.L. Le Roux, K. Gumbo, S. Makungwa, K. Dunha, R. Du Toit, K. Mhwandagara, A. Zacarias, B. Tacheba, O.P. Dube, J.M.C. Pereira, P. Mushove, J.T. Morissette, S.K. Santhana Vannan, y D. Davies (2005b). "The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol", *International Journal of Remote Sensing*, 26 (9), pp. 4265-4292.

Salvador, R., Valeriano, J., Pons, X. y Díaz-Delgado, R. (2000). "A semi-automatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series", *International Journal of Remote Sensing* 21, pp. 655-671.

Siljeström, P. y Moreno, A. (1995). "Monitoring burnt areas by principal components analysis of multi-temporal TM data", *International Journal of Remote Sensing* 16, pp.1577-1587.

Simon, M., Plummer, S., Fierens, F., Hoelzemann, J. J. y Arino, O. (2004). "Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification", *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 109, D14S02, doi:10.1029/2002JD003622, pp.1-16.

## TABLAS

**Tabla 1: Descripción de los incendios de estudio y las imágenes empleadas.**

Área de estudio	Sensor	Fecha Adquisición	Tiempo pasado desde el incendio	Área quemada estimada
Buñol	TM	24-08-1991	19 días	18000 ha
Atenas	TM	11-09-1992	6 días	5500 ha
Patones	ETM+	12-08-2002	2 días	1010 ha
Méntrida	ETM+	12-08-2002	12 días	1500 ha

**Tabla 2. Umbrales fijos**

Banda	Criterio Umbral
TM/ETM 7/4	Valor $>\mu_{\text{grupo}}-\sigma$
BAI	Valor $>\mu_{\text{grupo}}-\sigma$
NDII	Valor $<\mu_{\text{grupo}}+\sigma$

**Tabla 3. Umbrales adaptativos**

Banda	Criterio Umbral
TM/ETM 7/4	$>1$
BAI	$>165$
NDII	$<-0.1$

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

**Tabla 4: Índice de separabilidad (M) para cada banda y área de estudio**

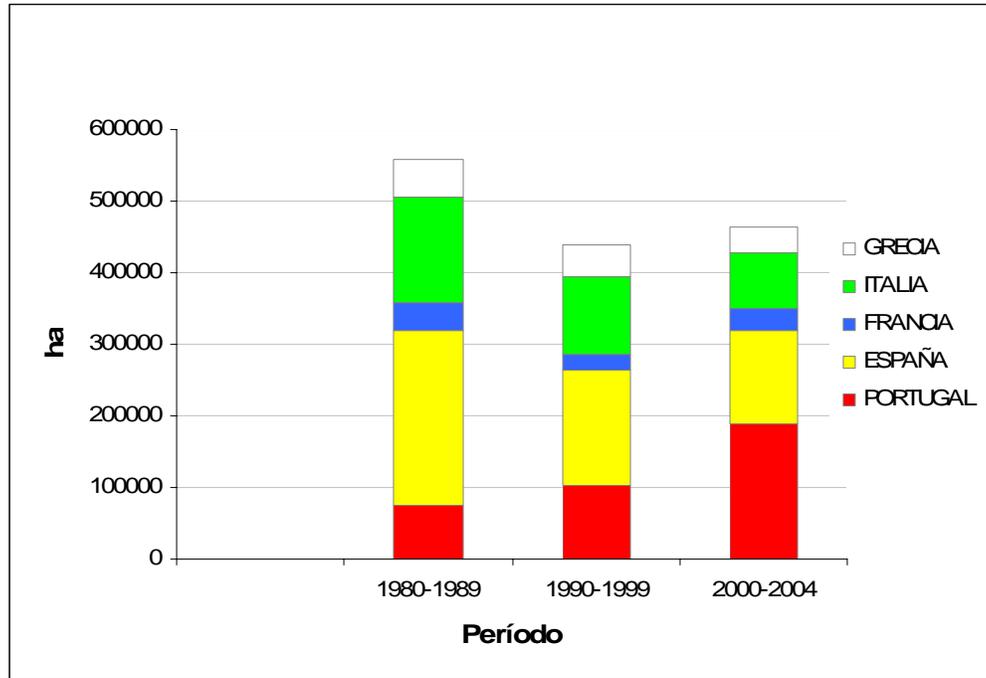
Bandas	Méntrida	Patones	Buñol	Atenas	Promedio
TM/ETM 1	0.55	0.34	0.17	0.02	0.27
TM/ETM 2	0.85	0.71	0.25	0.37	0.55
TM/ETM 3	0.81	0.74	0.19	0.37	0.53
TM/ETM 4	2.37	1.74	1.62	1.50	1.81
TM/ETM 5	0.66	1.05	0.01	0.33	0.51
TM/ETM 7	0.33	0.12	0.85	0.43	0.43
PCA-1	0.73	0.98	0.08	0.50	0.57
PCA-2	3.16	1.47	1.26	2.46	2.09
PCA-3	1.03	1.63	3.39	0.35	1.60
PCA-4	0.79	1.24	0.62	0.96	0.90
PCA-5	0.48	0.35	0.27	0.30	0.35
TC-1	1.22	1.12	3.38	0.61	1.58
TC-2	1.07	1.03	3.11	2.03	1.81
TC-3	0.06	0.66	1.32	0.93	0.74
BAI	9.06	5.74	3.60	3.18	5.40
SAVI	1.75	1.80	3.27	2.24	2.27
GEMI	9.04	1.41	2.12	1.50	3.52
NDVI	0.86	1.18	1.78	1.40	1.31
NDII	3.04	2.57	3.41	2.84	2.97
TM/ETM 3/7	1.99	0.94	1.05	0.95	1.23
TM/ETM 5/2	1.41	0.00	0.09	0.26	0.44
TM/ETM 4/5	1.44	1.15	2.12	1.43	1.54
TM/ETM 7/4	5.35	5.22	6.79	5.20	5.64

**Tabla 5: Errores de omisión (EO) y comisión (EC) y Fiabilidad Global (FG) obtenidos con los tres algoritmos en las 3 bandas de interés TM/ETM 7/4, BAI y NDII.**

Algoritmo	Bandas	Buñol			Méntrida			Atenas			Patones		
		EO	EC	FG	EO	EC	FG	EO	EC	FG	EO	EC	FG
SRG	7/4	2.23	9.12	97.38	3.17	21.98	98.3	5.23	7.17	96.44	2.53	19.06	98.41
	BAI	1.96	11.66	96.76	5.21	19.72	98.41	2.98	16.23	93.82	4.09	28.99	97.3
	NDII	0.83	12.78	96.67	1.74	23.97	98.18	3.81	11.95	95.22	2.03	50.95	93.51
CRBS con umbrales fijos	7/4	2.11	2.03	99.1	3.66	10.5	99.17	14.65	1.36	95.51	1.04	13.72	98.95
	BAI	11.24	9.27	95.59	16.92	9.47	98.57	15.91	5.5	94.1	6.64	23.4	97.8
	NDII	2.74	2.13	98.94	3.73	9.25	99.25	15.7	1.34	95.22	1.53	14.55	98.86
CRBS con umbrales adaptativos	7/4	15.76	1.99	96.21	20.92	7.36	98.48	31.26	1.24	90.89	7.1	11.95	98.77
	BAI	61.81	5.33	86.11	6.82	14.9	98.71	54.27	2.35	84.3	36.8	15.22	96.99
	NDII	13.54	2.1	96.66	19.72	7.3	98.55	29.56	1.23	91.37	0.12	19.11	98.52

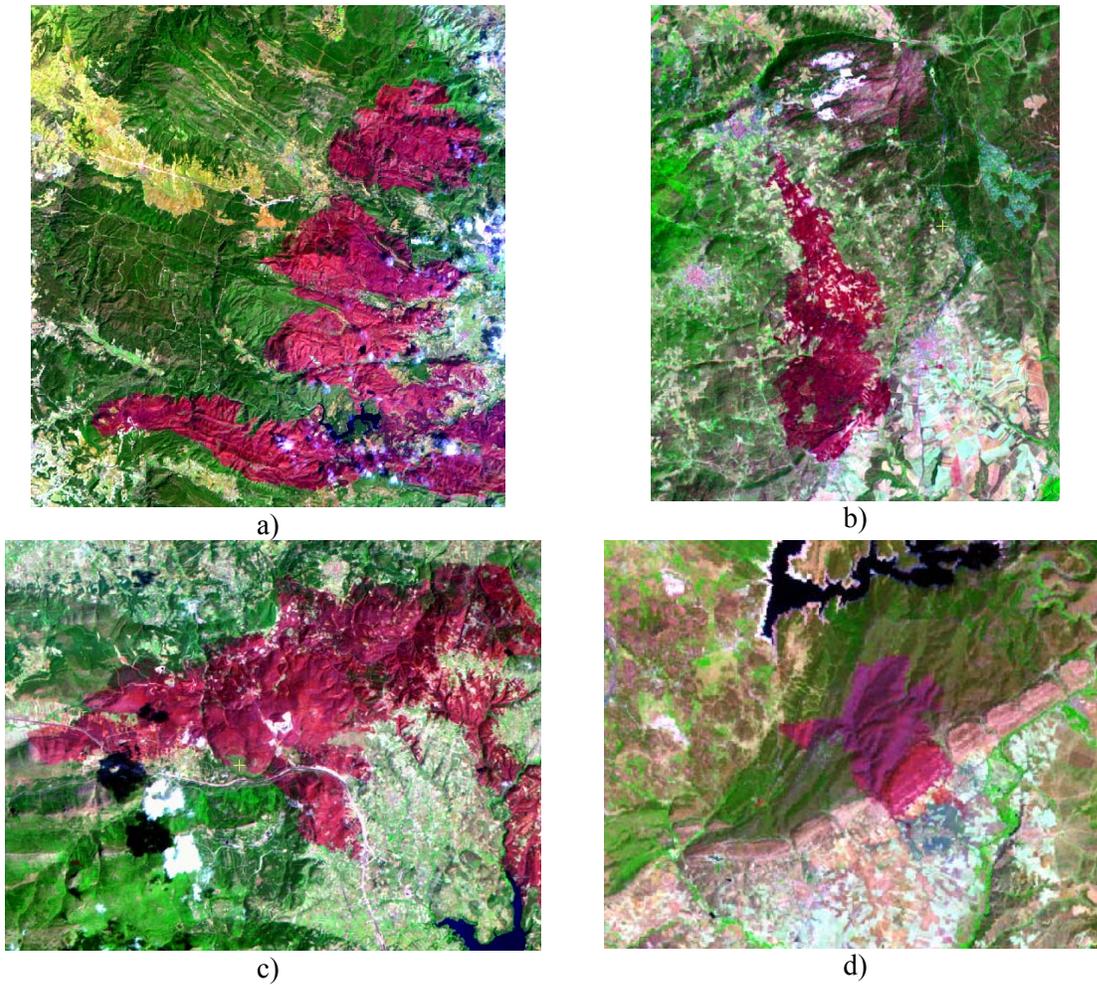
Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157

### FIGURAS



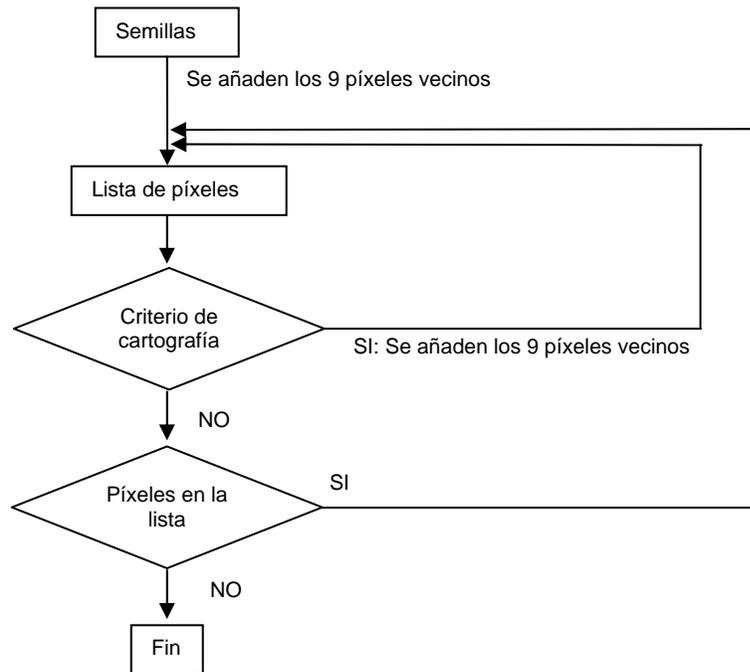
**Figura 1: Superficie quemada en promedio anual en los países mediterráneos europeos (Fuente: Forest Fires 2004, EFFIS, Joint Research Center).**

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157



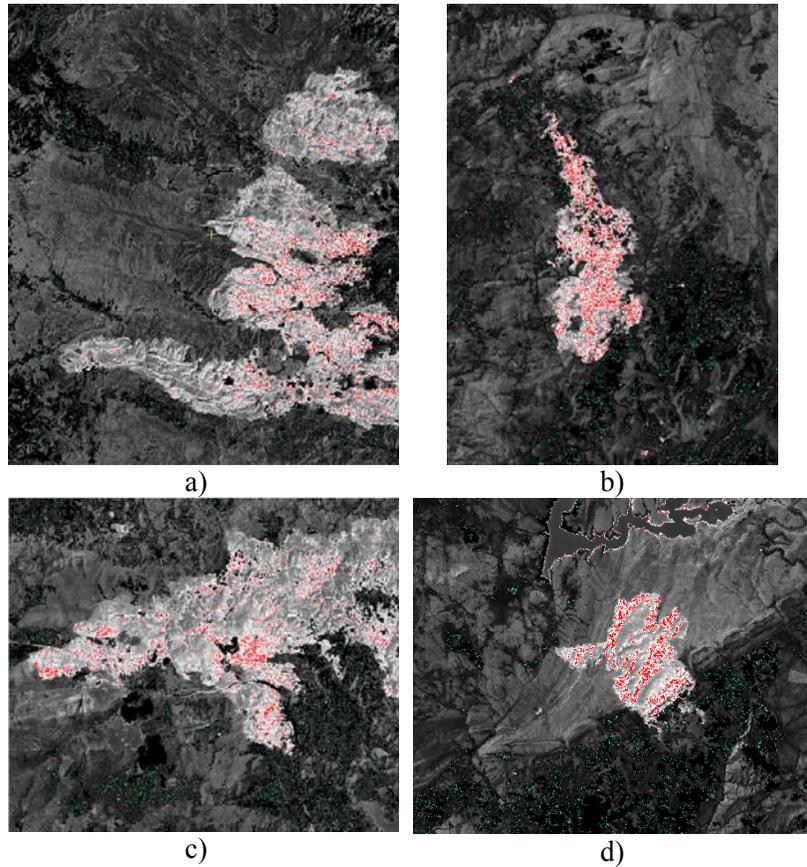
**Figura 2: Composiciones de color 7/4/1 de las imágenes empleadas en las áreas de estudio: a) Buñol b) Métrida c) Atenas d) Patones**

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157



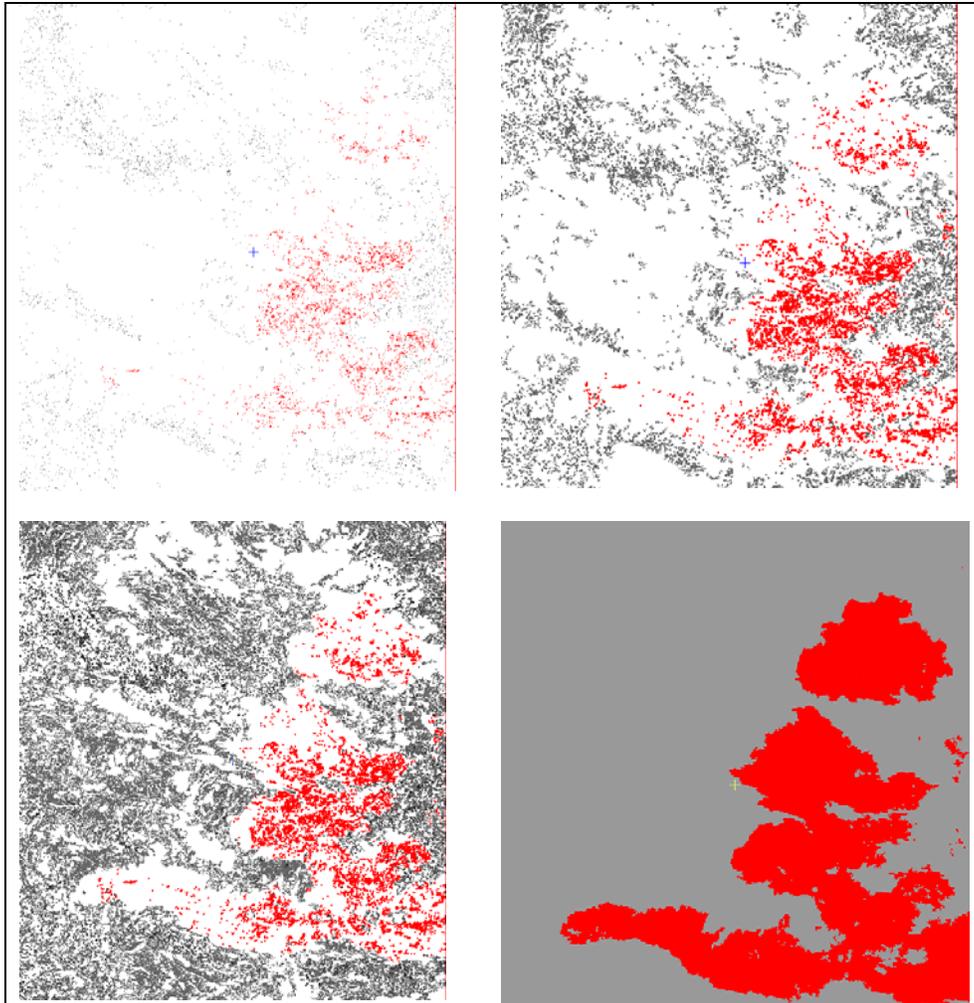
**Figura 3: Esquema metodológico general del algoritmo SRG**

Bastarrica Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157



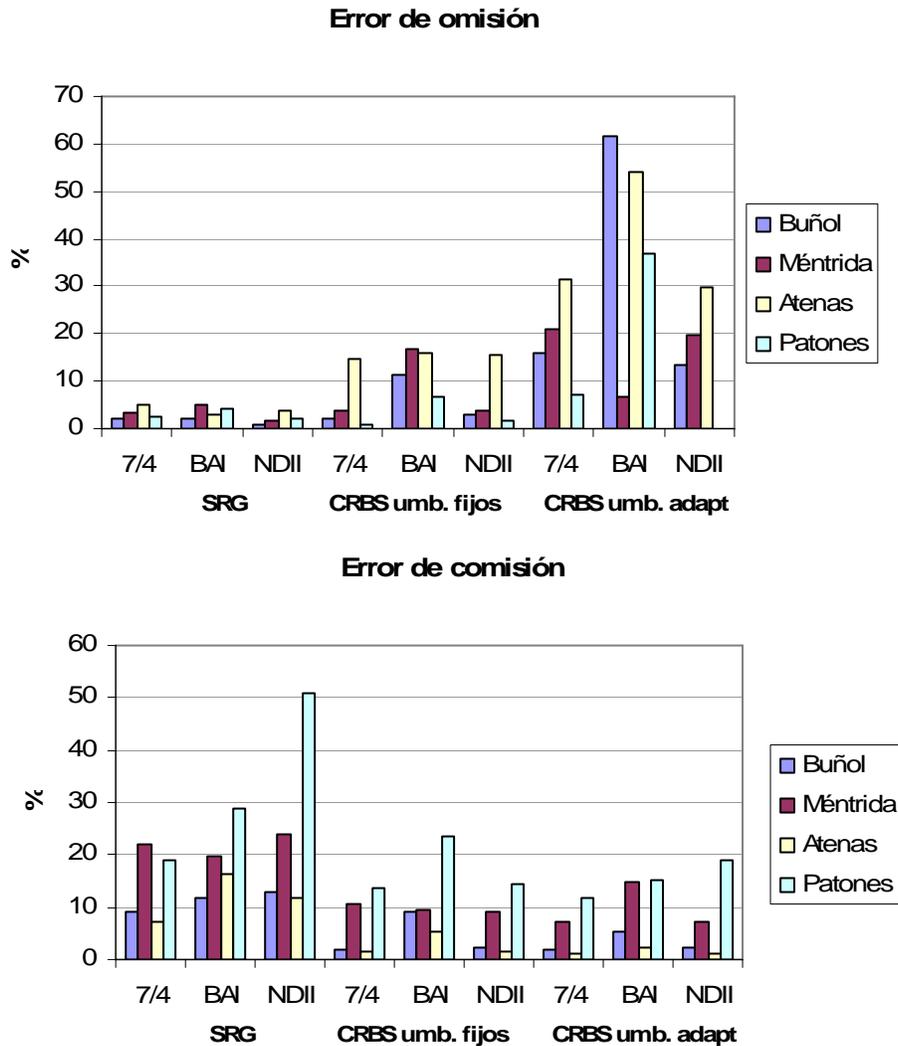
**Figura 4: Semillas del grupo quemado (en rojo) sobre la banda BAI: a) Buñol, b) Métrida, c)Atenas, d) Patones**

Bastarrica Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157



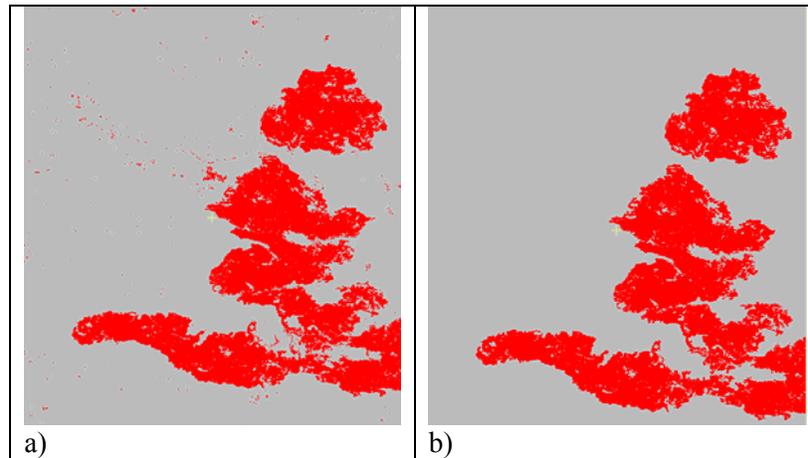
**Figura 5: Resultados parciales del crecimiento de regiones a diferentes porcentajes del proceso sobre el incendio de Buñol. Los píxeles quemados se simbolizan en rojo, y los no quemados en gris.**

Bastarrika Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157



**Figura 6: Errores de omisión y comisión obtenidos con los algoritmos SRG, CRBS con umbrales Fijos y CRBS con umbrales adaptativos en las cuatro zonas de estudio.**

Bastarrica Izagirre, A. y Chuvieco Salinero, E. (2006): "Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes tm y etm+", *GeoFocus (Artículos)*, n° 6, p.182-204, ISSN: 1578-5157



**Figura 7: Imagen segmentada en el área de Buñol, a partir de umbrales fijos de NDII (< -0.1):  
a) sin crecimiento de regiones y b) con crecimiento de regiones.**