

Nieto Masot, A., García Paredes, C. y Fernández Sánchez, A. (2010): Aplicaciones de los satélites METEOSAT y MODIS para discriminar fenómenos naturales: detección de incendios y puntos calientes, evolución de borrascas, ciclogénesis explosiva y cenizas volcánicas. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 942-955. ISBN: 978-84-472-1294-1

APLICACIONES DE LOS SATÉLITES METEOSAT Y MODIS PARA DISCRIMINAR FENÓMENOS NATURALES: DETECCIÓN DE INCENDIOS Y PUNTOS CALIENTES, EVOLUCIÓN DE BORRASCAS, CICLOGÉNESIS EXPLOSIVA Y CENIZAS VOLCÁNICAS

Ana Nieto Masot¹, Celeste García Paredes¹ y Alberto Fernández Sánchez¹

(1) Área de Geografía Humana. Dpto. de A. y Ciencias del Territorio. Universidad de Extremadura. Campus Universitario s/n Cáceres 10071, ananieto@unex.es, celeste@unex.es, afernandez@unex.es

RESUMEN

La posibilidad que nos brindan las imágenes obtenidas a través del sistema Eumetcast pertenecientes al sensor SEVIRI del satélite geoestacionario Meteosat-9 permiten obtener productos meteorológicos en NRT (Near Real Time), que una vez sometidos a un postproceso a través de la utilización de software enfocados a la canalización y exportación de datos e imágenes procedentes de nuestra estación receptora, somos capaces de discriminar diferentes fenómenos naturales tales como inestabilidad atmosférica adversa, partículas en suspensión procedentes de emisiones volcánicas, incendios forestales, etc.

A la citada capacidad del sensor SEVIRI, se añade la mejora en la resolución espacial que proporciona el sensor MODIS de los satélites Terra y Aqua. Con la resolución temporal (15 minutos) y espacial (250 metros) que nos ofrecen ambos sensores, aplicaremos distintas composiciones RGB (color verdadero y falso color) sobre las imágenes ya procesadas con el objetivo de discriminar fenómenos naturales ocurridos recientemente en nuestro país tales como los incendios forestales de Las Hurdes (Cáceres) en 2009 o el que sufrió la Raya hispanolusa el verano de 2003, la ciclogénesis explosiva de febrero de 2010 o la nube de ceniza volcánica procedente de Islandia en el mes de abril de 2010. Todo esto favorece la obtención de animaciones que permiten su inmediata difusión para contribuir a un mayor conocimiento de estos fenómenos naturales, por parte de una población cada vez más preocupada por el medio ambiente.

Palabras Clave: Fenómenos Naturales, Meteosat, SEVIRI, Modis.

ABSTRACT

The possibility that provide us with the images obtained through the system EUMETCast and SEVIRI sensor belonging to the geostationary satellite Meteosat-9 can get weather products in NRT (Near Real Time), once subjected to a post-processing through the use of focused software and export the data and images from our receiving station, we are able to discriminate various natural phenomenon such as adverse atmospheric instability, suspended particles from volcanic emissions and forest fires.

Besides SEVIRI sensor capability is added to the improved spatial resolution provided by the MODIS sensor on Terra and Aqua satellites. With the temporal resolution (15 minutes) and spatial (250 m) that we offer both sensors, we apply different compositions RGB (true color and false color) and processed the images in order to discriminate natural phenomena have occurred recently in our country such as forest fires in Hurdes (Cáceres) in 2009 or in the frontier Portugal-Spain in summer 2003, the explosive cyclogenesis in February 2010 or the cloud of volcanic ash from Iceland in April 2010.

Key Words: Natural Phenomenon, Meteosat, SEVIRI, Modis.

INTRODUCCIÓN

La creciente importancia en la sociedad por el conocimiento de los sucesos y las consecuencias de los fenómenos naturales adversos, se explica por el aumento del interés general en materia medioambiental, fruto del amplio debate suscitado en torno al cambio global, favorecido por una mayor difusión de la información a través de diversos canales de distribución a nivel mundial.

Las imágenes obtenidas a través de sensores instalados en plataformas aerotransportadas, en este caso satélites, proporcionan una valiosa fuente de información para llevar a cabo actuaciones en materia de prevención, alerta, mitigación de desastres y recuperación de las zonas afectadas por fenómenos naturales (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002).

La teledetección se ha convertido en una herramienta imprescindible para el análisis y la evaluación de los riesgos naturales (Chuvienco y Cocero, 2004), gracias a la disponibilidad de imágenes a nivel global casi a tiempo real, que ayudan a alertar de las posibles consecuencias derivadas de un determinado fenómeno natural. Véase como ejemplo el caso de la erupción del volcán islandés Eyjafjallajokull durante el pasado mes de abril de 2010, que alteró el tráfico aéreo de gran parte del norte de Europa y obligó a cancelar vuelos en buena parte del mundo.

Numerosas consecuencias conllevó la inestabilidad atmosférica registrada sobre el continente europeo durante el invierno del presente año 2010. Otra vez más, la contribución de la teledetección supuso una mejora sustancial a la hora de prevenir a la población de la inminente llegada de esta "ciclogénesis explosiva", contribuyendo a salvaguardar la integridad de bienes materiales y pérdidas humanas.

De igual modo la teledetección ha propiciado la creación de sistemas de alerta temprana para avisar de la aparición y evolución de incendios forestales (Olcina y Ayala, 2002, 2007). Esto es posible a través de la capacidad de los nuevos sensores de capturar la temperatura emitida por la superficie terrestre. Aún está presente en las mentes de la sociedad española, los incendios forestales acaecidos durante el verano de 2003 en la Raya hispano-lusa (Extremadura-Alentejo), que se prolongaron durante días y llegaron a arrasarse 9.750 hectáreas de superficie forestal, a las que hay que sumar 3.942 hectáreas de superficie no forestal, convirtiéndose desgraciadamente en el mayor incendio forestal registrado ese mismo año en toda la Península Ibérica (Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente). Más cercano en el tiempo, tuvo lugar un gran incendio forestal entre el día 25 y 31 de julio de 2009 en la comarca cacereña de Las Hurdes, quemando una superficie total de 2.917 hectáreas (Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

OBJETIVOS

Este artículo pretende mostrar la funcionalidad y capacidades de un sistema de recepción de información satelital a la hora de afrontar estudios de carácter medioambiental aplicados al análisis de eventos relacionados con fenómenos naturales adversos, tales como: inestabilidad atmosférica extrema, emisiones volcánicas a la atmósfera, grandes incendios forestales, etc.

Con la aplicación de la metodología elaborada, se persiguen diversos objetivos que intentan servir de complemento para la toma de decisiones por parte de las Administraciones competentes en materia medioambiental. Tal es el caso de la discriminación a partir de teledetección de grandes borrascas, para su seguimiento y evolución, ofreciendo la información necesaria a la hora de elaborar predicciones meteorológicas lo más precisas posibles que ayuden a mitigar los probables efectos de estas situaciones atmosféricas adversas sobre el territorio.

De la misma manera, hemos podido apreciar que las plumas de ceniza volcánica (junto con otros gases perjudiciales) pueden suponer todo un contratiempo a nivel global, causando innumerables pérdidas económicas, por lo que la difusión de la evolución de esta nube de cenizas puede ayudar, por ejemplo, a la planificación estratégica del transporte aéreo y terrestre. Para ello, se ha aplicado una metodología estándar para observar el progreso temporal de este tipo de nubes de ceniza volcánica, así como de la existencia de partículas de SO₂ en suspensión.

Otro objetivo de este estudio ha sido el análisis cuantitativo de los efectos de los incendios forestales desde su aparición, hasta el momento de su extinción y posterior evaluación de la superficie quemada.

Estos objetivos, serán acometidos sobre tres casos de estudio concretos: emisiones del volcán islandés Eyjafjallajokull que comenzó a mediados de abril de 2010, "ciclogénesis explosiva" que afectó al continente europeo durante el mes de febrero de 2010 y los incendios forestales ocurridos en la Península Ibérica durante los veranos de 2003 (Extremadura-Alentejo) y 2009 (Las Hurdes, Cáceres).

Por último, se plantean una serie de objetivos futuros que completen la utilidad de toda esta información elaborada. Así, se pretende producir cartografía de riesgo que aúne multitud de variables capaces de explicar los distintos fenómenos estudiados, favoreciendo las labores de predicción, gestión y planificación asociadas a cada tipo de evento. Por otro lado, como tarea futura, el Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura apuesta por la libre difusión de la información geográfica, apoyándose en plataformas basadas en software libre y gratuito que favorezca la publicación mediante un Geoportal online de todos los resultados obtenidos del análisis a través de la percepción remota.

METODOLOGIA

El Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura cuenta con una estación receptora compuesta por una antena orientada al satélite Eurobird 9 (Ku-band), conectada a una tarjeta DVB (Skystar 2 PCI) e integrada en un PC con las siguientes características: CPU Pentium Quad, 4 GB RAM y 600 GB de disco duro, bajo sistema operativo Windows Vista-SP1. Para el acceso a los datos recibidos a través de la antena se utiliza una ECU que facilita la licencia de uso. Para almacenar el cuantioso volumen de datos procesados, se cuenta con dos discos gigabyte ethernet de 10 TB cada uno.

El sistema de transmisión EUMETCast distribuye los datos y productos obtenidos a través de los satélites geoestacionarios y de órbita circumpolar. Actualmente recibimos en nuestra estación los productos e imágenes de Meteosat 8 y 9 (HRIT y LRIT), GOES Este (E), GOES Oeste (W), Meteosat-7 y MTsat-IR. En cuanto a los satélites circumpolares recibimos imágenes de los satélites NOAA 15,16 y 17 (Generación KLM), NOAA 18 y 19 (Generación NN´) y METOP-A, adquiridas a través de los servicios regionales (Regional Data Service -EARS System) y los servicios globales (Global Data Service). Asimismo recibimos una serie de productos como MODIS (Fire y Winds: AQUA y TERRA), los productos meteorológicos MPEF y los productos elaborados (SAF).

Los volcanes: el caso del volcán islandés Eyjafjallajokull

Para el estudio de fenómenos atmosféricos adversos que han sufrido la Península Ibérica y Europa occidental durante el presente año 2010, se han empleado los canales espectrales del sensor SEVIRI que nos llegan a nuestra estación receptora. Para poder tratarlos y procesarlos, se ha empleado un software gratuito de código abierto como es Ilwis 3.6 (<http://52north.org>) y la extensión denominada Geonetcast Toolbox desarrollada por el ITC (<http://www.itc.nl>).

Un primer caso de estudio ha sido la erupción del volcán Eyjafjallajokull situado en Islandia, que generó nubes con un alto contenido de ceniza y partículas, nuestro objetivo se ha centrado en la detección y seguimiento de la nube de ceniza volcánica. La metodología que se ha empleado para tal fin ha sido la desarrollada tanto por investigadores como por expertos de Eumetsat (Kerkmann, Roesli, Bridge y König, 2010). Los métodos formulados por dichos científicos ponen de manifiesto que los canales espectrales más propicios para la detección de nubes de ceniza volcánica son el canal espectral HRV (canal 12) o el canal infrarrojo 3.9 (canal 4).

Asimismo se recomienda el uso de los siguientes productos que consisten en el uso combinado de varios canales espectrales, así como de composiciones RGB:

- La diferencia entre el canal 10 (IR 12.0) y el canal 9 (IR 10.8)
- La diferencia entre el canal 4 (IR 3.9) y el canal 9 (IR 10.8)
- La diferencia entre el canal 9 (IR 10.8) y el canal 7 (IR 8.7)
- La diferencia entre el canal 9 (IR 10.8) y el canal 7 (IR 8.7)
- La diferencia entre el canal 11 (IR 13.4) y el canal 6 (IR 7.3)
- El producto de la combinación de las siguientes bandas espectrales: el canal 4 (IR 3.9) / canal 7 (IR 8.7) / canal 9 (IR 10.8) / canal 10 (IR 12.0) / canal 11 (IR 13.4).

El uso del canal espectral de alta resolución HRV para detectar la ceniza volcánica presenta ciertos inconvenientes como la dificultad para detectar las nubes de cenizas finas, el condicionamiento de la reflectividad de la superficie subyacente, por ello la detección de ceniza es más fácil sobre los tonos más oscuros del océano. Asimismo la detección de la ceniza depende de las características del satélite y el ángulo de los rayos del sol en el momento de la captura, siendo las primeras horas de la mañana las más propicias para ello. Concretamente para la localización y evolución de la nube de ceniza del volcán islandés, el uso del canal de alta resolución no es muy útil, puesto que no se aprecia a simple vista este fenómeno atmosférico (ver figura 1). Para conseguir una adecuada visualización de la nube de ceniza se procederá a utilizar una metodología más compleja (Kerkmann y Connell, 2010).

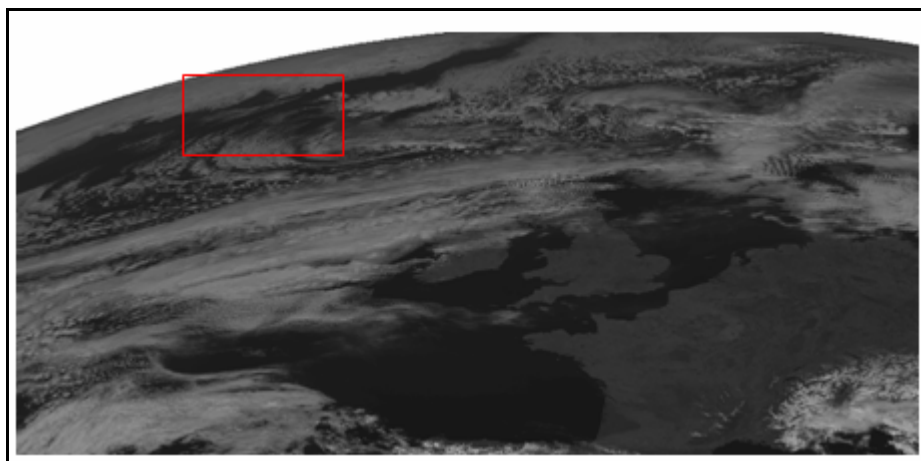


Figura 1. MSG-1 (SEVIRI), Canal 12 (HRV), del 17 de abril de 2010, 12:00 UTC

Primero se ha realizado la diferencia entre el canal 10 (IR 12.0) y el canal 9 (IR 10.8) que es propicia para la detección de nubes de cenizas volcánicas con alta concentración de partículas de silicato, porque utiliza el canal 9 y el 10 que están comprendidos entre la franja del espectro 8 -13 μm . Los valores positivos obtenidos de esta diferencia se traducen en la presencia de nubes de cenizas con una alta concentración de partículas de silicato. Los resultados obtenidos no fueron muy satisfactorios, por lo que se optó por comparar el canal infrarrojo térmico 3.9, muy útil para la detección de ceniza puesto que durante el día recoge los valores de reflectancia y de emisividad terrestre, muestra de ello es la imagen 2 donde la nube de ceniza se aprecia en una tonalidad más oscura. Para eliminar posibles errores de interpretación se ha calculado la diferencia entre el canal 4 (IR 3.9) y el canal 9 (IR 10.8), esta vez la nube de ceniza se visualiza en una tonalidad blanca (ver figuras 2 y 3).

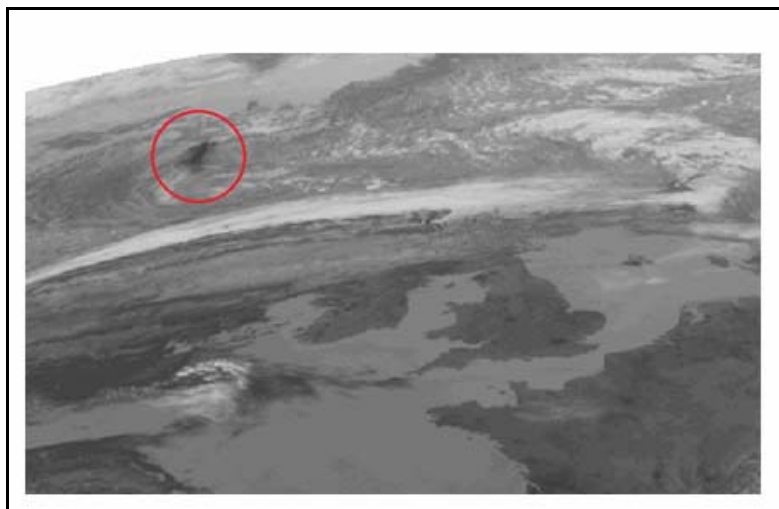


Figura 2. MSG-1 (SEVIRI), IR 3.9, 17 de abril 2010, 15:00 (UTC)

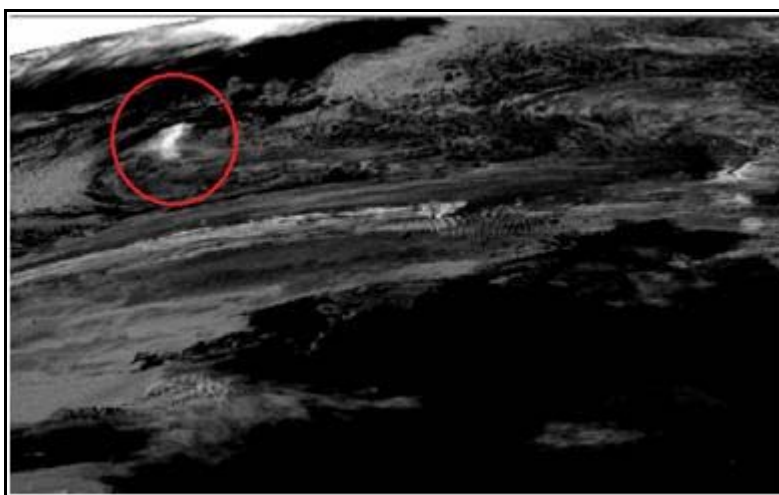


Figura 3. MSG-1 (SEVIRI), IR 3.9 - 10.8, 17 de abril 2010, 15:00 (UTC.)

Rango = 0 K (Negro) y + 50 K (Blanco)

Para detectar la existencia o no de dióxido de azufre (SO₂) en una nube de ceniza volcánica se aplica la resta de los canales IR 10.8 e IR 8.7, este último canal es muy útil para discriminar con mayor facilidad la presencia de SO₂. La diferencia entre el canal espectral 6 (WV 7.3) y el canal 11 (IR 13.4) también muestra claramente la existencia de dióxido de azufre, en nuestro caso la concentración de SO₂ en la nube de ceniza volcánica no es muy elevada (ver figuras 4 y 5).

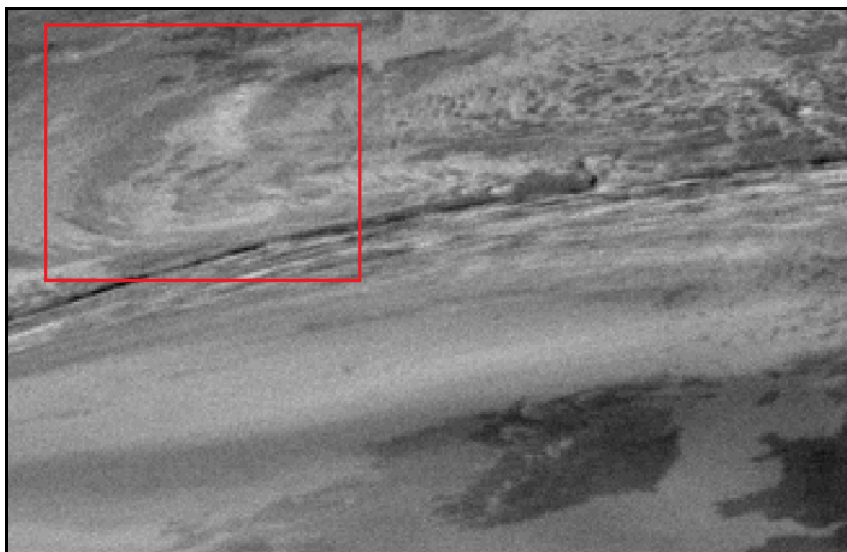


Figura 4. MSG-1 (SEVIRI), WV 7.3 - IR 13.4, 17 de abril 2010, 15:00 (UTC).

Rango = - 10 K (Negro) y +10 K (Blanco)

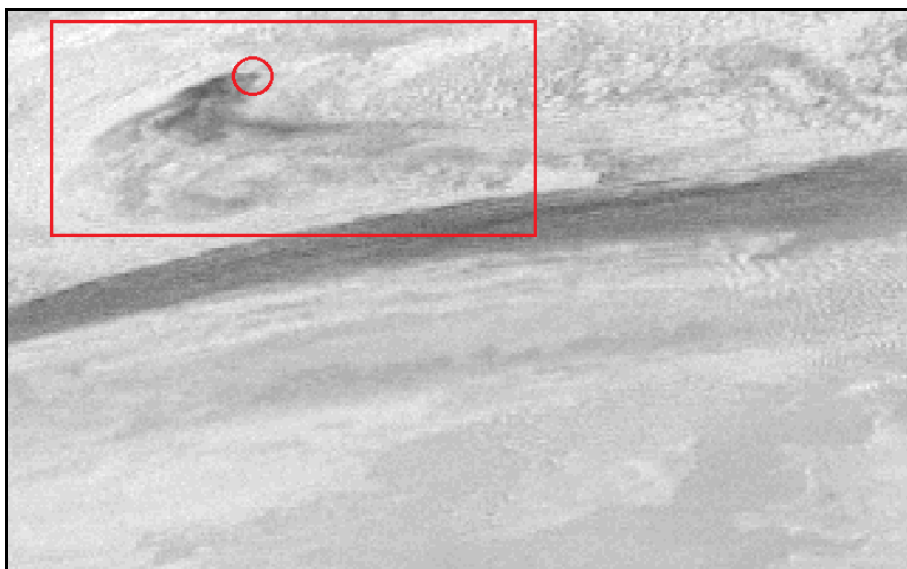


Figura 5. MSG-1 (SEVIRI), IR 10.8 - 8.7, 17 de abril 2010, 15:00 (UTC).

Rango = -5 K (Negro) y +5 K (Blanco)

Siguiendo la metodología propuesta por Kerkmann, Roesli, Bridge y König (2010), hemos realizado una composición RGB con el fin de mejorar la detección de este fenómeno atmosférico adverso y para ello hemos utilizado los siguientes parámetros establecidos por dichos expertos:

Tabla 1. Composición RGB para la detección de nubes de ceniza volcánica

	Canales espectrales	Rangos mínimos y máximos
Banda 1 (Rojo)	IR 12.0 - IR 10.8	- 4 K / +2 K

Banda 2 (Verde)	IR 10.8 - IR 8.7	- 4 K / + 5 K
Banda 3 (Azul)	IR 10.8	243 / 303 K

De tal forma que la nube de ceniza volcánica se visualiza en un color rojo, mientras que la concentración de dióxido de azufre es tan baja que no se aprecia, puesto que no aparece ninguna tonalidad en color verdoso en el área de estudio (ver figura 6).

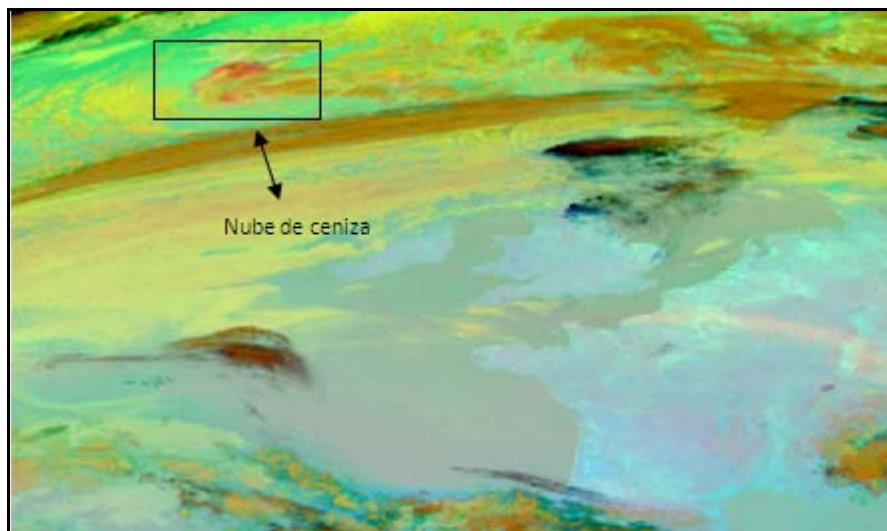


Figura 6. MSG-1 (SEVIRI), Composición RGB, 17 de abril 2010, 15:00 (UTC)

Masas de aire: el caso de la "Ciclogénesis explosiva"

Una vez preprocesadas las imágenes del sensor SEVIRI del satélite Meteosat-9 y realizadas las correcciones oportunas, se procede a establecer una proyección espacial extendida como es la WGS 1984 y así obtener una imagen de salida con un formato entendible por softwares de análisis digital y SIG. Para crear una composición en color verdadero, elegimos en este caso los canales espectrales (Rosenfeld, 2010):

- Banda 3 (Rojo): Canal Infrarrojo cercano 1.6, con 3 km de resolución
- Banda 2 (Verde): Canal visible 0.8, con 3 km de resolución
- Banda 1 (Azul): Canal visible 0.6 con, 3 km de resolución

La imagen de esta composición RGB en color verdadero que se obtiene presenta el siguiente aspecto (ver figura 7), donde las tonalidades verdes se corresponde con la presencia de vegetación vigorosa, los colores marrones y ocres se asocian a la presencia de desierto o suelo desnudo, los océanos muestran una tonalidad oscura y por último, las nubes que presentan un color azul cian se corresponde con aquellas que tienen una alta concentración de agua y partículas de hielo, mientras que las nubes que muestran un color grisáceo denotan una baja concentración de agua. La Península Ibérica y el centro de Europa están invadidas por una profunda borrasca durante los días 25, 26 y 27 de febrero de 2010, se trata de la llegada de la "ciclogénesis explosiva" que vino acompañada de unas fuertes rachas de vientos.

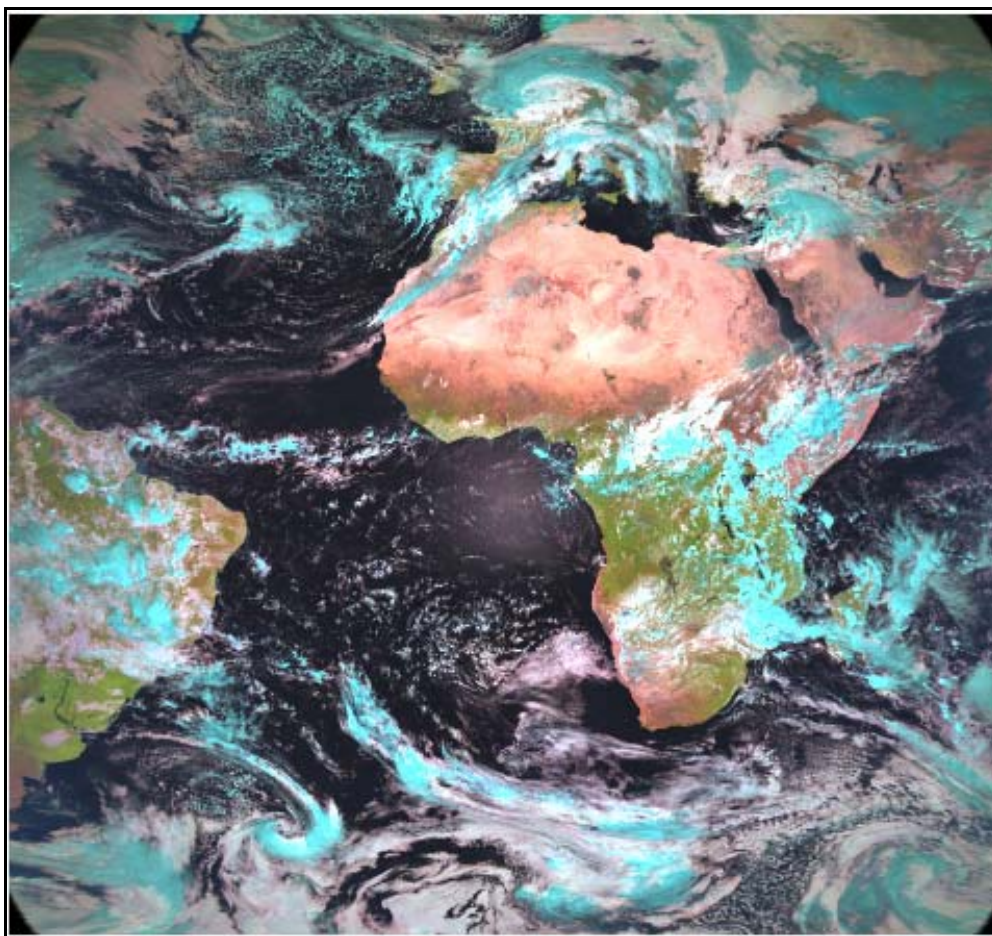


Figura 7. MSG-1, (SEVIRI). Composición RGB en color verdadero. 26 de febrero 2010, 12:00 (UTC)

Para la detección de masas de aire existe una composición RGB específica, basada en el uso de los canales de vapor de agua y los canales infrarrojos del sensor SEVIRI (Kerkmann, 2010). Esta combinación está diseñada para seguir la evolución de ciclones y en particular fenómenos atmosféricos como la ciclogénesis explosiva. Este es el principal motivo que nos ha llevado a utilizar este método, puesto que es el más adecuado para analizar el paso de la ciclogénesis por la Península Ibérica. La composición RGB para masas de aire se realiza a través de la combinación de los canales WV 6.2, WV 7.3, IR 9.7 y IR 10.8 (Tabla 2).

Tabla 2. Composición RGB para la detección de nubes de ceniza volcánica

	Canales espectrales	Rangos mínimos y máximos
Banda 1 (Rojo)	WV 6.2 - WV 7.3	- 25 K / 0 K
Banda 2 (Verde)	IR 9.7 - IR 10.8	- 40 K / + 5 K
Banda 3 (Azul)	WV 6.2	243 / 208 K

De tal forma que las tonalidades blanquecinas denotan la presencia de nubes que se producen en niveles medios y altos de la atmósfera, la tonalidad verdosa muestra la presencia de masas de aire cálido en la alta troposfera, mientras que los tonos azulados son masas de aire frío en la alta troposfera.

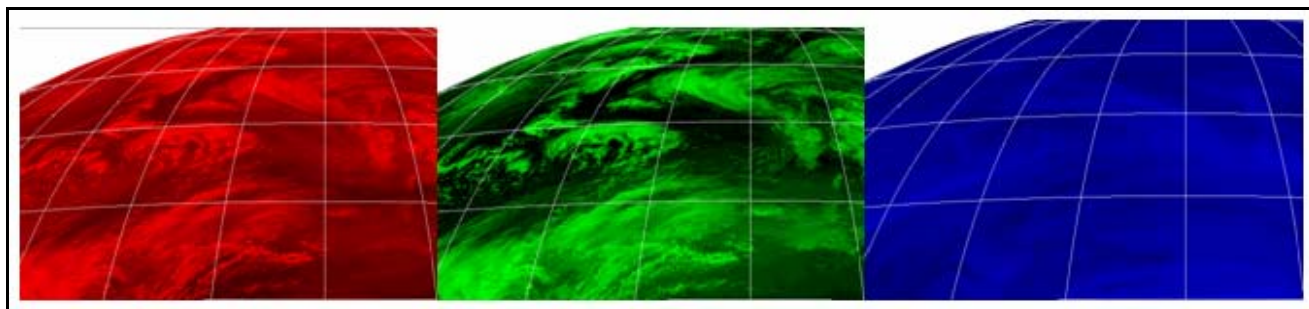


Figura 8. MSG-1 (SEVIRI). Composición RGB, 26 de febrero 2010, 12.00 (UTC).

Incendios forestales: el caso de La Raya hispanolusa y Las Hurdes (Cáceres)

Los incendios forestales causan al año numerosos daños en los bosques de todo el mundo. Solamente en España, la superficie quemada anual se sitúa en torno a 150.000 h. anuales (según fuentes del Instituto Nacional de Estadística). Suponen un grave problema, no solo para el medioambiente, sino para la población, quien en ocasiones se ve afectada directamente por los efectos del fuego, llegando incluso a causar pérdidas humanas.

Los Sistemas de Información Geográfica y la teledetección constituyen herramientas de gran importancia para la gestión de los bosques y demás recursos. La teledetección ofrece la posibilidad de obtener información de la situación antes, durante y después de un incendio forestal, lo que favorece la actuación inmediata y el minimizar los daños (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002).

Para optimizar los esfuerzos de extinción de los grandes incendios forestales, una de las claves recae en llegar al lugar del evento lo más pronto posible con los medios adecuados para su control. Para ello, los sistemas de alerta temprana están jugando un papel crucial en la gestión de incendios forestales, movilizándolo a todos los medios necesarios en un corto periodo de tiempo. Además de acudir pronto al lugar donde se está produciendo un incendio forestal, es de vital importancia el seguimiento del mismo. Es en este aspecto donde la teledetección, de nuevo, se convierte en una herramienta imprescindible a la hora de mostrar casi en tiempo real, la evolución que está siguiendo un determinado incendio. El límite en la precisión de estos datos viene dado por las distintas resoluciones que poseen los sensores a bordo de las diversas plataformas satelitales.

De este modo, y bajo nuestra experiencia recogida, la resolución espacial resulta de gran importancia a la hora de mostrar con un menor grado de error, la dirección que sigue la columna de fuego (así como el área ya quemada), pero sin olvidar nunca la necesidad que existe de estar informado en tiempo real de esta evolución, para lo cual se requieren sensores capacitados para ofrecer una resolución temporal lo más baja posible. Teniendo en cuenta estos dos parámetros, para los distintos sensores capaces de detectar la temperatura emitida y reflejada dentro del espectro electromagnético, destacamos las posibilidades que ofrece el sensor SEVIRI del satélite geostacionario Meteosat, el cual posee una resolución espacial de 3.000 m (1.000 m en su canal HRV), que unido a la resolución temporal de 15 minutos, nos provee de una valiosa información útil para la detección y seguimiento de los grandes incendios forestales.

Por otro lado, también es cierto, que para determinados estudios, como los del estado de la vegetación, que no requieren de una actualización periódica muy corta, el sensor AVHRR a bordo del satélite METOP ofrece resultados aceptables para el cálculo de índices como el NDVI, combinando las señales del infrarrojo próximo y del rojo, convirtiéndolas en un índice de verdor (Eidenshenk et al., 1990) y proporcionando información sobre el estado del combustible.

MODIS es el sensor que posee la mejor resolución espacial y espectral de entre los satélites utilizados por el equipo de investigación. Además de su empleo en la labor de seguimiento diario del incendio, posee características que nos ayudan a discriminar con un mayor grado de acierto, variables como son las temperaturas irradiadas, gases emitidos, extensión de la superficie quemada, etc.

Debido a que una vez producido el incendio, las labores de extinción del mismo resultan muy complicadas y complejas de gestionar, la mayor solución a este tipo de fenómenos pasa por centrar los esfuerzos en la prevención de los incendios forestales. Para ello, habrá que incidir en la elaboración de estudios sobre el

estado de la vegetación previa a la llegada a la estación de incendios, delimitar aquellas zonas susceptibles de ser incendiadas (carreteras, campings, torres eléctricas,...), elaboración de cartografía detallada y precisa de variables meteorológicas cruciales como es la dirección e intensidad del viento, etc. Esta tarea necesita del análisis de numerosas variables que hasta el momento se están recogiendo, tratando y almacenando en nuestros estudios.

La situación previa a un incendio forestal cobra importancia en cuanto al estudio del estado fenológico de la vegetación y la fracción de la misma que ocupa en el territorio. A partir de teledetección, se pueden realizar cálculos como los índices de vegetación que ayudan a discernir estas características de la vegetación. El sensor AVHRR/3 del satélite polar METOP-A nos ofrece la posibilidad de obtener dos imágenes diarias (día y noche), abarcando un rango del espectro comprendido entre los 0.58 - 12.5 μ .

A partir de nivel de procesamiento 1.5 para las imágenes del sensor SEVIRI (distribuidas por parte del IMPF (Image Processing Facility), se obtienen las temperaturas de brillo para cada imagen infrarroja. El canal 4 (NIR 3.9 μ) del sensor SEVIRI muestra con facilidad las alteraciones de temperaturas emitidas por la superficie terrestre (ver figura 9). Como se puede apreciar en dicha figura, perteneciente al incendio ocurrido en la comarca cacereña de Las Hurdes en el verano del año 2009, la temperatura registrada en el foco del incendio es la mayor, mientras que las superficies circundantes y las ya quemadas muestran una temperatura alta, aunque menor que la mostrada en el foco del incendio. Este evento se discrimina mejor al hacer la diferencia entre el canal 4 (NIR 3.9 μ) y el canal 9 (IR 10,8 μ) (ver figura 10). Como es de esperar, debido a la baja resolución espacial del sensor SEVIRI en este canal (3 km), la discriminación de este tipo de fenómenos se ve condicionada por la magnitud del mismo, detectando únicamente aquellos incendios cuya extensión e intensidad sean de gran relevancia, según otros autores, el sensor SEVIRI sería capaz de detectar (para la Península Ibérica) incendios cuya extensión sea al menos de 1 ha y la temperatura alcanzada de 600 K (Calle et al., 2006).

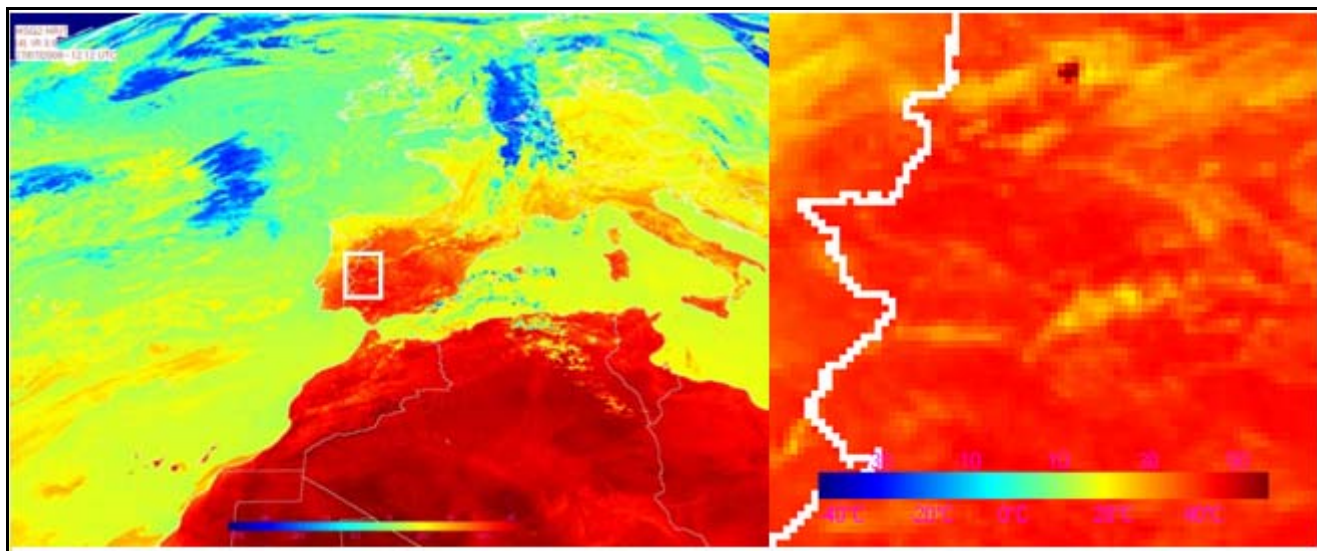


Figura 9. MSG-1 (SEVIRI) Canal 4 (IR 3.9 μ), 27 de julio de 2009, 12:00 (UTC)

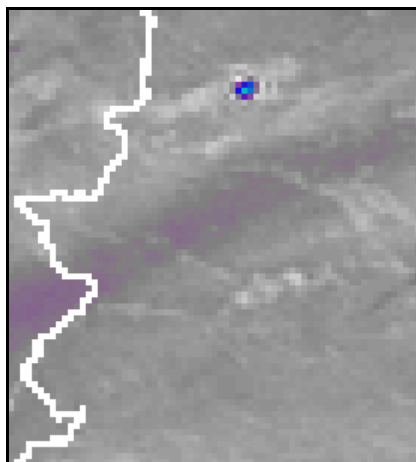


Figura 10. MSG-1 (SEVIRI). IR 3.9 - IR 10.8, 27 de julio de 2009, 12:00 (UTC)

El escenario post-incendio es uno de los elementos a tener muy en cuenta a la hora de cuantificar las pérdidas de masa forestal que ha ocasionado el fuego, puesto que la teledetección permite una observación sistemática de toda la superficie terrestre, abarcando un rango del espectro sensible a la discriminación de la señal quemada (Chuvienco, 1999). Otra utilidad que brinda la imagen de satélite es facilitar la labor para las tareas de recuperación de la vegetación y seguimiento de dicho proceso. Hasta el momento, la teledetección es una herramienta que permite calcular de una manera sencilla el perímetro de superficie forestal que ha sido arrasado por las llamas. Para esta tarea, es necesaria la utilización de sensores que posean una alta resolución espacial que facilite dicha cuantificación. Con el sensor MODIS de los satélites TERRA y AQUA, se obtiene una resolución espacial suficiente (de hasta 250 metros en el producto MOD02QKM) que permite delimitar el perímetro de superficie forestal que ha quemado un gran incendio forestal. Las figuras 11 y 12 muestran un incendio ocurrido en el año 2003 entre la región limítrofes del Alentejo (Portugal) y Extremadura (España), que llegó a prolongarse durante 10 días hasta su extinción. En esta combinación en falso color se aprecia a simple vista la superficie que ya había sido arrasada por el fuego así como los mismos focos y las columnas de humo.

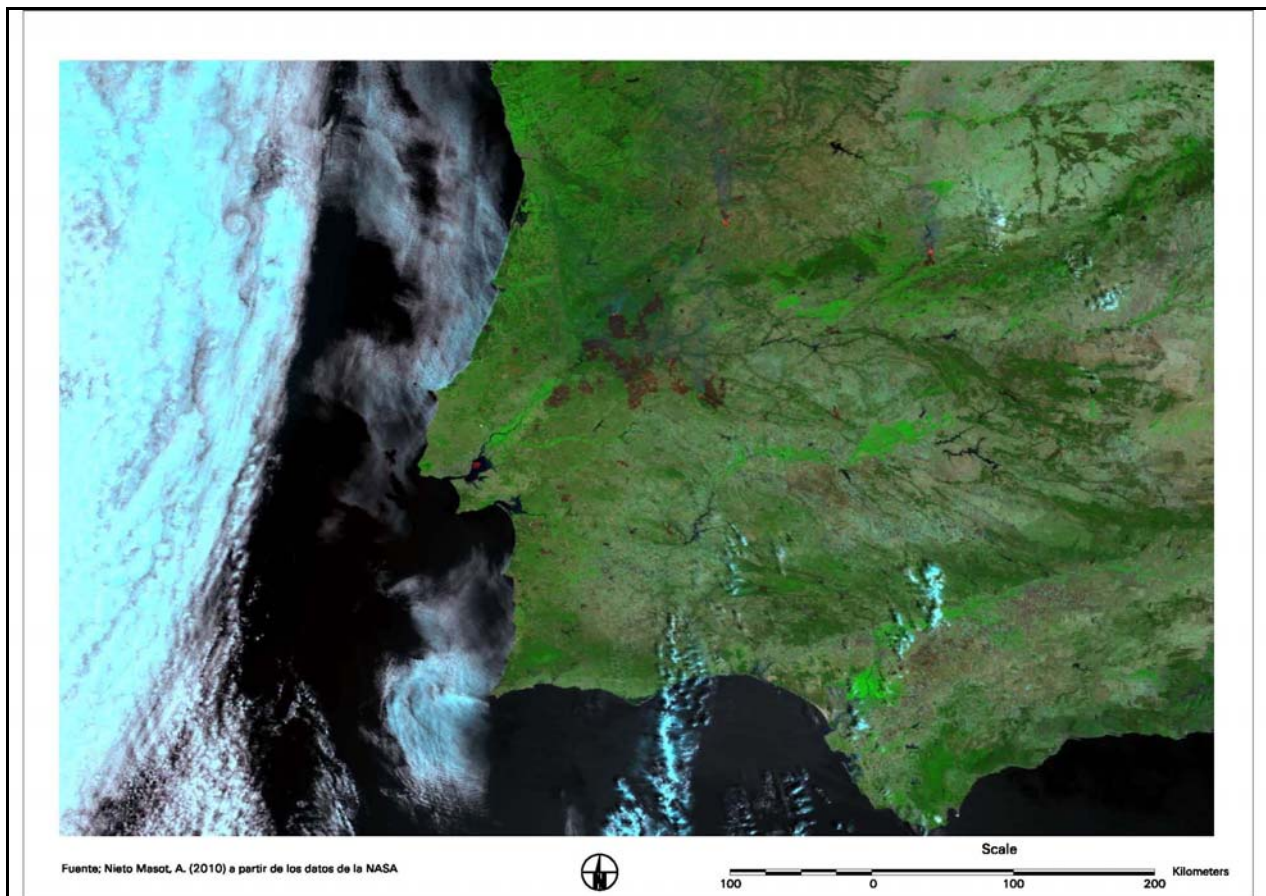


Figura 11. Imagen MODIS-TERRA (NASA), 4 de agosto de 2003

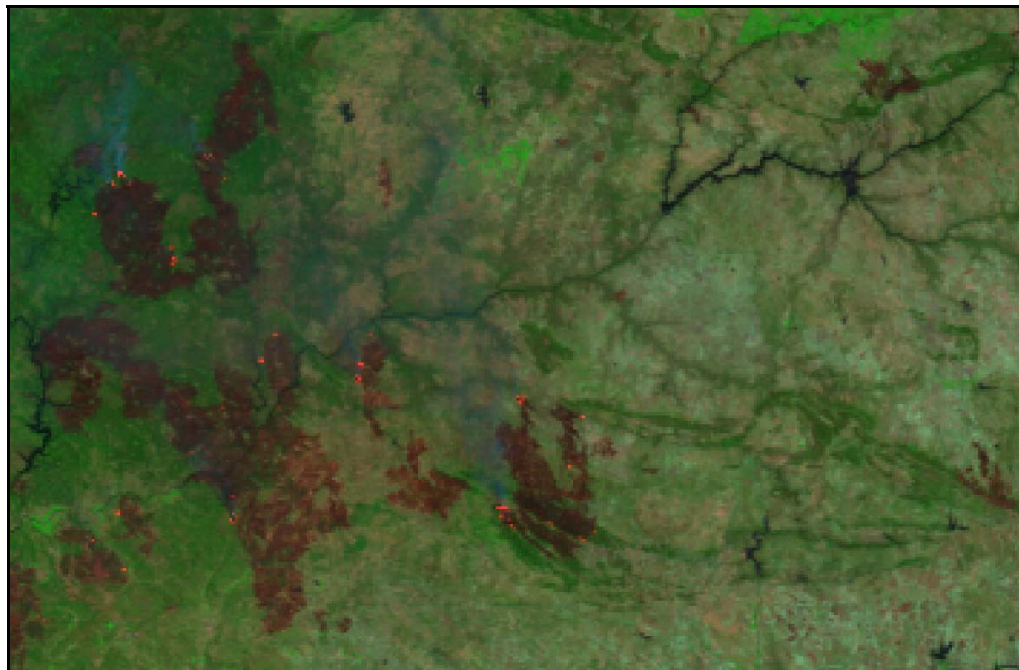


Figura 12. Imagen MODIS-TERRA (NASA) en la frontera Hispano Portuguesa, 4 de agosto de 2003

CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las utilidades que nos ofrece la teledetección en el campo medioambiental posibilitan la detección casi en tiempo real de fenómenos adversos ocurridos en cualquier parte del mundo. Esta cualidad favorece por una parte la difusión de información ambiental referida a los riesgos naturales, y por otra sirve de base en la elaboración de cartografía de riesgos.

En el seguimiento y evolución de diversos fenómenos naturales (como la ciclogénesis explosiva ocurrida el pasado invierno en Europa, la nube de ceniza del volcán islandés Eyjafjallajokull o los incendios forestales registrados en los últimos años sobre la Península Ibérica), el sensor SEVIRI ha mostrado grandes capacidades en el seguimiento de fenómenos meteorológicos tan dinámicos como pueden ser situaciones de alta inestabilidad atmosférica o trayectoria de emisiones volcánicas en la atmósfera. También este mismo sensor muestra de una forma fehaciente aquellos píxeles que representan focos de incendios forestales activos, así como el área afectada circundante.

Se ha comprobado la fiabilidad de las combinaciones de bandas espectrales para cada caso de estudio, convirtiéndose de este modo en métodos fácilmente aplicables por la comunidad científica y extensible al terreno del nowcasting.

Por otro lado se han detectado ciertas limitaciones que atañen a las propiedades de cada sensor empleado, tal es el caso de la discriminación de la fracción de superficie quemada por parte del sensor SEVIRI del satélite Meteosat. Los resultados preliminares incentivaron la utilización de otro sensor con mayor resolución espacial como es el caso de MODIS TERRA/AQUA como complemento a la excelente resolución temporal del sensor SEVIRI. Gracias al uso de este producto se han mejorado los resultados obtenidos para el cálculo de la superficie quemada.

El abaratamiento y los nuevos canales de distribución de las fuentes de información satelital, como es el caso de las imágenes Landsat (Plan Nacional de Teledetección) o MODIS, han propiciado el desarrollo de este y otros trabajos que se basan en el análisis cuantitativo y cualitativo de imágenes a través de la teledetección. Además, el creciente desarrollo de herramientas de software libre está favoreciendo el manejo de imágenes satelitales para usos muy diversos por parte de cualquier usuario interesado.

Como metas de futuro el grupo de trabajo pretende crear cartografía de riesgos teniendo como base toda la información elaborada y explicada en este presente estudio. Toda esta cartografía se pondría a disposición de los usuarios a través de un portal geográfico que integraría información adicional sobre economía del territorio, sociedad, otras variables físicas de interés, etc. De este modo, se contribuiría al avance de la sociedad de la información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala-Carcedo, J. y Olcina, J. (coords.) (2002): *Riesgos naturales*. Ariel Ciencia, Barcelona.

Calle, A., Casanova, J.L. y Romo, A., (2006): Fire detection and monitoring using MSG Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) data. *Journal of Geophysical Research*, 111, G04S06.

Calle, A, Gonzalez-Alonso, F. y Merino de Miguel, S. (2003): Validation of active forest fires detected by MSG-SEVIRI by means of MODIS hot spots and AWiFS images. *International Journal of Remote Sensing*, nº 29:12, pags. 3407-3415.

Chuvieco Salinero, E. (2008): *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Tercera edición. Barcelona: Ariel.

Chuvieco Salinero, E. y Cocero, D. (2004): Combinación del NDVI y temperatura de superficie para la estimación del contenido de humedad de los combustibles en la valoración del peligro de incendios forestales. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, nº 21, pp. 41-46.

Chuvieco Salinero, E. y Martínez Fernández, J. (2003): Tipologías de incidencia y causalidad de incendios forestales basadas en análisis multivariante. *Ecología*, nº 17, pp. 47-63.

Chuvieco, E. (1999): *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, Springer-Verlag, Berlin.

Eidenshenk, J. C., Burgan, R. y Haas, R. (1990): Monitoring fire fuels condition using time series of advanced very high resolution radiometer data. *Proceedings of Second International Symposium on Advanced Technology in Natural Resource Management*, Washington.

Giglio, L., Van Der Werf, G.R., et al. (2006): Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, pp. 957-974.

Justice, C.O., Giglio, L. et al. (2002): The MODIS Fires Products. *Remote Sensing of Environment*, 83, pp. 244-262.

Kerkmann, J. (2010): Applications of Meteosat Second Generation, Airmass RGB. Extraído de <http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/AIRMASS/index.htm>, el 25 de junio de 2010.

Kerkmann, J. y Connell, B. (2010): Applications of Meteosat Second Generation: Volcanic Ash and SO2 detection. Extraído de <http://oiswww.eumetsat.org>, el 20 de abril de 2010.

Kerkmann, J., Roesli, HP., Bridge, G. y König, M. (2010): Applications of Meteosat Second Generation: RGB Composites with channels 01-11 and their interpretation. Extraído de <http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/ASH/index.htm>, el día 5 de mayo de 2010.

Olcina Cantos, J. y Ayala Carcedo, F. J (2007): *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.

Olcina Cantos, J. y Ayala Carcedo, F. J. (2002): *Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación*. Barcelona, Ariel.

Padilla, M. y Chuvieco Salinero, E. (2009): Validación de productos globales de área quemada en la Península Ibérica. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, nº. 31, pp. 69-79.

Rosenfeld, D. (2010): Day Natural Colours RGB. Extraído de <http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/NATURALCOLOR/index.htm>, el día 14 de mayo de 2010.