

Servicios de Información Espacial al Servicio de la Gestión de Incendios Forestales

José María Cruz ¹, Gonzalo Martín-de-Mercado², Susana Martínez³

Resumen

Los incendios forestales son uno de los principales peligros para los bosques, desestabilizando los ecosistemas y dificultando el mantenimiento de la biodiversidad existente. Solamente en España se queman entorno a 120.000 hectáreas en los más de 20.000 incendios que asolan el país anualmente.

Gracias a los avances experimentados por las tecnologías de teledetección en los últimos años, los satélites artificiales se han convertido en herramientas valiosas para ayudar en una gestión más eficaz en la lucha contra los incendios forestales, contribuyendo además a la evaluación de sus efectos y la recuperación de los bosques.

Uno de los servicios más propicios y fructíferos del uso de los satélites es el seguimiento de incendios forestales. Los instrumentos infrarrojos embarcados en satélites de órbita baja permiten la caracterización precisa de los incendios varias veces al día proporcionando información sobre localización, tamaño, temperatura, potencia e incluso forma del frente de llama. Como complemento, nuevos avances en la explotación de datos procedentes de satélites geoestacionarios hacen posible el seguimiento de un suceso de forma sistemática y continua con un refresco de la información cada 15 minutos. La combinación de ambos enfoques supone un paso adelante para una gestión eficaz durante la emergencia.

Sin embargo, la teledetección espacial no sólo es útil durante la crisis. La primera consecuencia de todo incendio forestal es la destrucción de la cubierta vegetal, siendo necesario determinar la superficie arrasada y su impacto, tanto medioambiental como económico. En este sentido, los satélites también constituyen poderosas herramientas que ayudan en la estimación precisa de la superficie destruida, en la determinación del tipo de vegetación dañada o en el análisis de la severidad del fenómeno, permitiendo el seguimiento posterior de la regeneración de las zonas afectadas.

¹ INSA S.A., Departamento de Sistemas y Observación de la Tierra, jmcruz@insa.org

² INSA S.A., Departamento de Sistemas y Observación de la Tierra, gmartin@insa.org

³ INSA S.A., Departamento de Sistemas y Observación de la Tierra, smartinez@insa.org

Introducción

Año tras año, con la llegada del calor estival, los medios de comunicación llenan sus espacios con noticias relacionadas con incendios forestales. Espectaculares imágenes de grandes extensiones ardiendo, aviones lanzando miles de litros de agua o incluso de los efectivos en tierra luchando incansablemente contra el avance de las llamas, se han convertido en una constante de todos los veranos.

A pesar de que cada año la cantidad de recursos y tecnologías disponibles aumenta, el número de incendios forestales no disminuye significativamente, y una de las razones de ello es la falta de control en tiempo de real de lo que está pasando en el campo. Los servicios de información espacial son una de las posibles maneras de cubrir ese nicho identificado aportando esos datos que ahora mismo faltan.

Este artículo se centra en servicios basados en imágenes de satélites que actualmente pueden prestarse a las diferentes administraciones y usuarios. Sin embargo, los avances que se están realizando en el campo de la teledetección permitirán, en un futuro cercano, cubrir otras necesidades; además, su utilidad y grado de refinamiento irán aumentando a medida que diferentes usuarios se vayan familiarizando con su uso y sus posibilidades.

La Tecnología Espacial

Las tecnologías espaciales se pueden clasificar en tres grandes grupos: comunicaciones, navegación y observación de la Tierra. Los servicios de lucha contra incendios forestales rápidamente encontraron utilidad a los dos primeros grupos, habiéndose desarrollado un importante número de aplicaciones y servicios ampliamente difundidos.

Sin duda, la tecnología que más se utiliza es la de navegación por satélite. Su aparición y popularización rápidamente se tradujo en una mejora en la gestión de recursos, puesto que es posible localizarlos y seguir sus evoluciones. Además, también permite realizar mediciones en zonas afectadas por incendios de una forma rápida y eficiente.

Las comunicaciones por satélite, si bien llevan en el mercado desde mucho antes que la navegación, no han sido muy utilizadas en el campo de la lucha contra incendios forestales. No obstante, su utilidad para comunicarse con equipos de que se encuentren en zonas de sombra radioeléctrica de los sistemas convencionales, o incluso como sistema de back-up, es evidente, y cada vez se está utilizando más.

El campo de la observación de la Tierra, aunque prometedor, sigue sin ser explotado convenientemente. Al desconocimiento existente sobre las capacidades de esta tecnología se suma la carencia, hasta ahora, de aplicaciones de carácter operacional que realmente puedan ser utilizadas como sistemas de ayuda a la toma de decisiones. Este artículo presentará una serie de servicios que actualmente se están utilizando, y que están reportando beneficios a la comunidad forestal por su disponibilidad y el valor añadido aportado.

Satélites de Observación de la Tierra

La idea de la teledetección aplicada a incendios forestales es una idea bastante vieja. Los principios fueron establecidos por Max Plank a comienzos del siglo XX. Posteriormente, a medida que la tecnología fue evolucionando, empezó la fabricación de cámaras infrarrojas que permitían discriminar regiones de la imagen captada en función de su temperatura.

Sin embargo, la utilización de satélites artificiales con cámaras a bordo capaces de ser utilizadas para la localización de incendios forestales tuvo que esperar hasta el desarrollo del primer instrumento *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* que se lanzó a bordo del satélite TIROS-N.

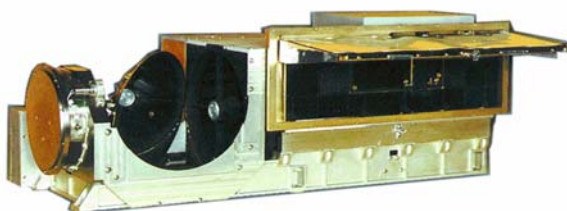


Figura 1—Instrumento AVHRR

A partir de los datos adquiridos por este instrumento, se demostró no sólo la posibilidad de localizar incendios forestales, sino también la de caracterizarlos a través de parámetros físicos como la temperatura, la potencia emitida o la altura de la llama calculados a partir de la imagen. Sin embargo, la información obtenida por este precursor era más una curiosidad científica que algo con lo que poder empezar a prestar un servicio.

Durante los años 90 del siglo XX, la evolución de la tecnología permitió que se abordaron una serie de programas, tanto científicos como más específicos, que dieron lugar como resultado una serie de misiones, gracias a las cuales hoy se pueden dar servicios de observación de la Tierra adaptados a la lucha contra incendios forestales.

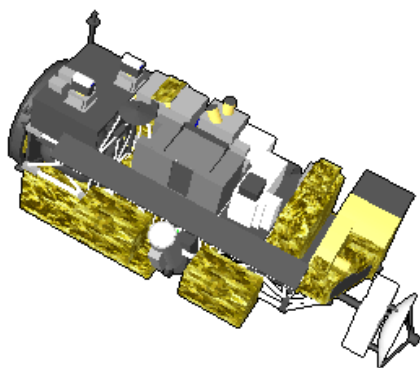


Figura 2— Satélite TERRA

Uno de los instrumentos más populares en la actualidad dentro del mundo de los incendios forestales es el *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*, a bordo de los satélites de la NASA TERRA y AQUA. Gracias a sus 36 bandas espectrales es posible obtener imágenes con resoluciones en tierra entre 250 m y 1 km, que permiten localizar incluso incendios pequeños y caracterizarlos de forma bastante precisa. Sin embargo, dada la naturaleza *heliosíncrona* de los satélites, el número de imágenes diarias que se pueden obtener de una región afectada por un incendio es pequeño.

Recientemente, se ha puesto en funcionamiento el satélite METEOSAT Segunda Generación (MSG). Estando situado en el arco *geoestacionario*, y por lo tanto, inmóvil desde el punto de vista de un observador colocado en la superficie de la

Tierra, su gran ventaja reside en que cada 15 minutos es capaz de enviar imágenes de la misma región de la Tierra. Su resolución es más grosera que *MODIS* (3 x 4 Km en longitudes y latitudes españolas), pero aun así, la gran disponibilidad temporal de sus datos hace que sea una fuente muy apreciada por diversas autoridades y organismos. Sus 11 bandas espectrales permiten calcular un gran número de parámetros útiles en el ámbito científico y adecuado para las autoridades forestales.

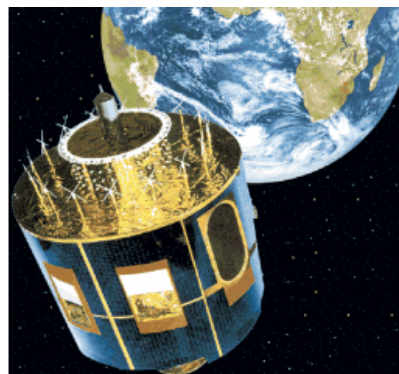


Figura 3— Satélite MSG

Además de los satélites presentados, existen otras misiones espaciales, como *LANDSAT* y *SPOT*, que aparte de haber supuesto un gran impacto y un gran avance para la mayoría de las aplicaciones de Observación de la Tierra, tienen una gran utilidad para los servicios de lucha contra incendios forestales.

El programa *Land Remote-Sensing Satellite (LANDSAT)* ha suministrado durante más de 30 años datos de alta resolución de la superficie terrestre a una muy

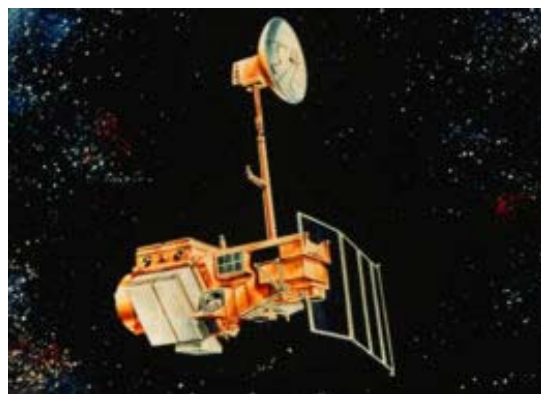


Figura 4— Satélite Landsat 5

variada comunidad de usuarios, entre los que se encuentran la comunidad forestal. *LANDSAT 5*, que es el único satélite del programa actualmente operativo, fue puesto en órbita en 1984 y está equipado con el sensor *Thematic Mapper (TM)* dotado de siete bandas espectrales diferentes, de las que seis de ellas pueden dedicarse para el seguimiento de la vegetación. *TM* ofrece una resolución espacial de 30 m en casi todas sus bandas, salvo en la correspondiente al infrarrojo térmico que es de 120 m.

La misión *Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT)*, iniciada en 1986, está formada por una varios satélites de órbita baja de los que en la actualidad están operativos tres, *SPOT 2, 4 y 5*, siendo el 4 y el 5 los más empleados.

SPOT 4 está equipado con los instrumentos *High Resolution Visible and Infrared (HRVIR)* y *VEGETATION*, que incorporan cuatro bandas espectrales todas ellas apropiadas para realizar seguimientos del estado de la vegetación, seguimientos de los ecosistemas y actividades cartográficas. La resolución

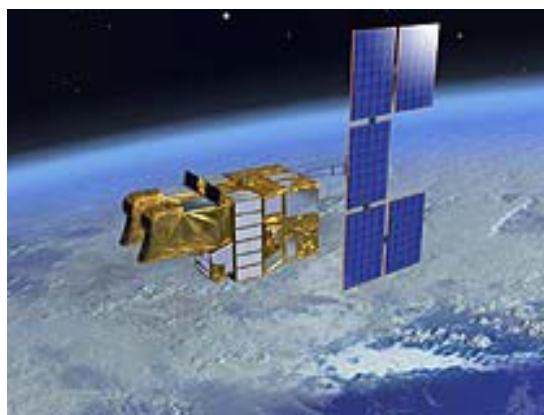


Figura 5— Satélite SPOT 5

espacial del sensor *HRVIR* es de 10 a 20 m, mientras que la del *VEGETATION* es de 2.250 m.

SPOT 5 lleva los instrumentos *High Resolution Geometric Imaging Instrument (HRG)* y *VEGETATION 2*, que amplían generosamente las capacidades de sus predecesores. El *HRG* tiene seis bandas espectrales y una resolución espacial que oscila de los 2 a los 20 m, mientras que el nuevo *VEGETATION* tiene cuatro canales espectrales y alcanza 1 km de resolución espacial.

Productos Derivados de la Tecnología Espacial

A partir de las imágenes obtenidas desde los satélites, es posible derivar productos adaptados a las necesidades de los diferentes organismos. Si consideramos una imagen como una matriz donde cada píxel es representado por un valor, derivar productos consiste en realizar operaciones con esos valores.

De todas las técnicas de procesado de imagen que podrían aplicarse, la interpretación física de su contenido es una de las más utilizadas en teledetección. La base de ello es el modelo de *radiación del cuerpo negro*, propuesta por Max Plank y que se traduce en la fórmula [1]:

$$L(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{(e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1)} \quad [1]$$

Una de las consecuencias más importantes de esta expresión es que un cuerpo negro que se encuentra a una determinada temperatura, radiará energía en todo el espectro electromagnético, pero con un máximo en una longitud de onda particular. En el caso particular del fuego, que alcanza temperaturas entre 800 y 1.200 K, el máximo predicho por el modelo de Plank se encuentra en la región comprendida entre 2,2 y 4 μm (*infrarrojo de onda corta e infrarrojo medio*). Esta consideración teórica se puede confirmar de manera experimental, como trata de ilustrarse en la *Figura 6* comparando una imagen en el visible y otra en el infrarrojo medio.

La técnica de la caracterización espectral permite obtener un gran conjunto de información valiosa relacionada con la vegetación, el terreno e incluso la influencia humana en el entorno. A partir de aquí, se pueden obtener diversos tipos de productos dependiendo de las necesidades particulares del usuario y de su actividad en un momento particular. Algunos ejemplos que permiten tomar conciencia de su potencial son la determinación del estado de la vegetación, identificar la presencia o

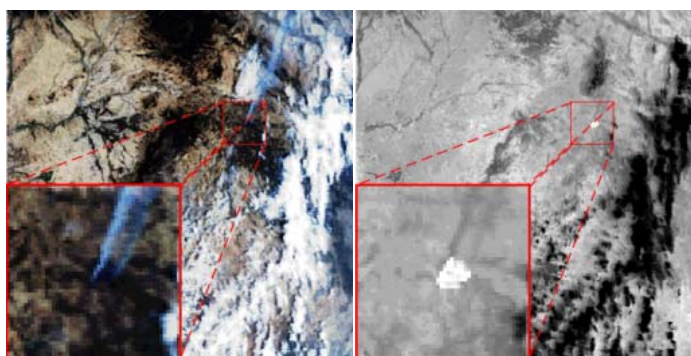


Figura 6— Incendio visto con cámaras visibles e infrarrojas

ausencia de la misma, localización de nieve y agua, e incluso modelar el comportamiento atmosférico.

Sin embargo, lo que se puede sacar a partir de esta caracterización requiere su elaboración para que sea realmente útil, pasando del grado de “dato” al de “producto”. Algunas de las transformaciones que se plantean para obtener estos productos son la geo-referenciación de los datos, la vectorialización temática, la agrupación de elementos, o incluso la discriminación de ciertos bloques de información. Todas ellas se agrupan dentro de lo que se conoce como “post-procesado” y su resultado, los productos, es la base de los servicios de valor añadido, validos para los usuarios.

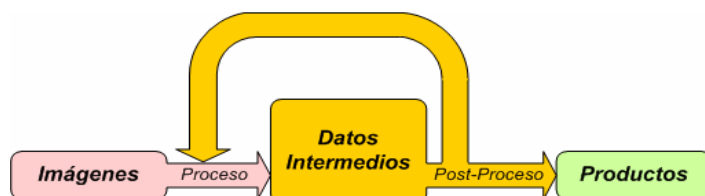


Figura 7— Esquema de proceso para obtener productos

Servicios Basados en Información Espacial

Un servicio consiste en la prestación de una manera regular o bajo demanda de una determinada asistencia. En este caso, la prestación son los productos, que habrán sido diseñados previamente de acuerdo a lo que las imágenes de satélite pueden ofrecer y a lo que los usuarios quieren recibir.

Tras sucesivas demostraciones de lo que la tecnología espacial es capaz de ofrecer, y gracias a la intervención activa de los servicios de lucha contra incendios forestales, hoy es posible disponer de un catálogo de servicios operacionales y semi-operacionales, que abarcan todas las fases en la vida de un incendio forestal.

Servicios de Prevención

Tan importante como la actuación cuando se produce la emergencia es prevenir su aparición, particularmente en el caso de los incendios forestales. No sólo la concienciación de la población, la limpieza de los bosques o incluso la quema controlada de maleza y de pastos secos es muy importante; no hay que olvidar que también lo son las tareas de vigilancia, poniendo especial atención en aquellas regiones donde existe más riesgo de que se produzcan incendios.

Es precisamente en la supervisión del territorio donde la teledetección espacial puede ayudar más. La interpretación física de las imágenes obtenidas con diferentes bandas espectrales permite estimar la salud de la vegetación con una gran cobertura varias veces al día; Dado que el número de productos que pueden proporcionarse excede las demandas de los usuarios, se considera que son servicios operacionales. Dentro de los posibles servicios que se pueden ofrecer, destacan los siguientes.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI): El *NDVI* es un producto que proporciona una potente herramienta para monitorizar la salud de la vegetación en un momento particular. Se calcula mediante la siguiente expresión [2]:

$$NDVI = \frac{(L_{\rho,NIR} - L_{\rho,RED})}{(L_{\rho,NIR} + L_{\rho,RED})} \quad [2]$$

Siendo L_{ρ} la reflectividad en las bandas necesarias para realizar el cálculo. A partir del *NDVI* es posible determinar la existencia de vegetación seca, y por lo tanto, de zonas que requieran una especial atención para evitar la aparición de incendios así como su descontrol.

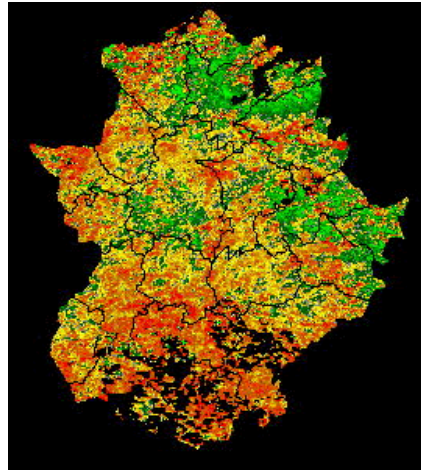


Figura 8— *NDVI* de Extremadura

Gracias a los satélites meteorológicos en órbita (*NOAA*, *MetOP*, *MODIS*), se puede proporcionar el *NDVI* varias veces al día, particularmente en momentos considerados clave por los usuarios: a primera hora de la mañana, a mediodía y a media tarde.

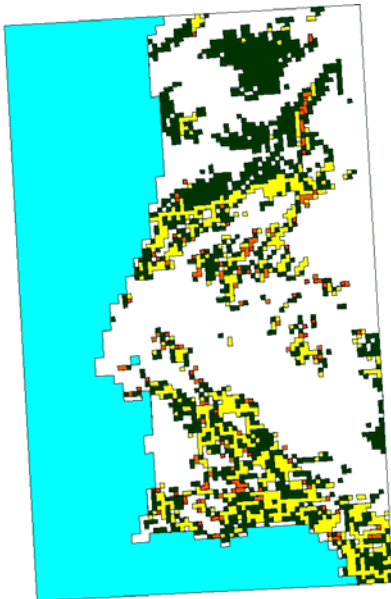


Figura 9— Ejemplo de mapa de riesgo de propagación

Mapas de Riesgo de Incendios: Una de las desventajas del *NDVI* es su alto nivel de granularidad. Para los servicios de lucha contra incendios forestales suele ser más útil la definición de regiones de riesgo dentro de su área de acción. Por otra parte, no existe ningún tipo de correlación entre la información actual y la obtenida anteriormente. No es lo mismo tener dos días consecutivos de *NDVI* bajo que un día haya un *NDVI* alto y al siguiente bajo. Para solucionar todo esto, se definen los mapas de riesgo de incendios, correlando la información de *NDVI* obtenida de varios días junto con otros factores, como la presencia de vientos, la temperatura del día o incluso la acción humana.

Aunque se pueden definir muchos tipos de riesgos, los dos más importantes son el índice de ignición (dónde es más probable que se produzca un incendio) y el índice de propagación (de producirse un incendio, dónde se extendería más), que reflejan las zonas más críticas sobre las que hay que prestar una mayor atención.

Servicios Durante Una Crisis

Cuando las tareas de prevención no consiguen impedir que se produzca un incendio forestal, la acción más inmediata consiste en detectarlo y seguir su

evolución. Los satélites de observación de la Tierra permiten realizar estas dos acciones, y a día de hoy es posible ofrecer los siguientes servicios:

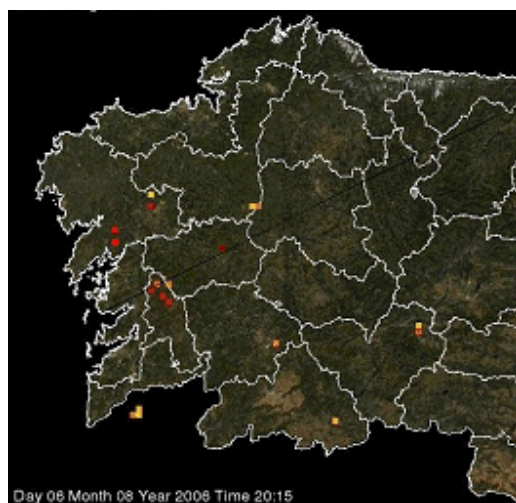


Figura 10— Inventario de incendios con MSG

evaluación de la situación, para realizar la mejor gestión posible de los recursos disponibles para sofocar los incendios de las regiones más críticas.

Caracterización de puntos calientes: Mediante las imágenes suministradas por los satélites MODIS, resulta posible realizar una caracterización precisa de determinados escenarios. La buena resolución espacial que permite este instrumento (entre 250 m y 1 km) permite determinar no sólo la localización del fuego, sino estimar con gran precisión su temperatura, el área que afecta, la potencia radiada, e incluso proporcionar una figura de mérito que indique la fiabilidad del resultado. En el caso de que el incendio sea grande, es posible elaborar líneas de fuego o incluso hacer un mapa de diversos frentes.

Debido al tiempo de revisita de los satélites (entre cuatro y seis horas), este servicio sólo se puede ofrecer de forma semi-operacional.

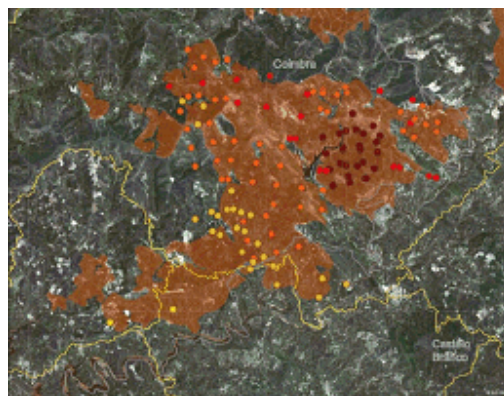


Figura 11— Puntos calientes

Servicios Post-Crisis

Una vez acaba la campaña de incendios forestales, es necesario estimar las hectáreas destruidas y los daños producidos por los incendios ocurridos. El Plan Forestal Español obliga a la recopilación de esta información y a su continua actualización. Los agentes forestales son los encargados normalmente de realizar el parte de incendio, y por tanto de recabar los datos de él. Inicialmente la información sobre superficie afectada era estimada de manera visual con ayuda de mapas.

Actualmente, se está generalizando el uso de receptores *GPS* gracias a los cuales se obtienen medidas muy precisas.

La utilización de satélites de Observación de la Tierra permite la clara identificación y el estudio de las huellas dejadas por los incendios. El análisis multi-temporal en el visible, infrarrojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético de las cámaras espaciales ofrece la posibilidad de generar cartografía de la superficie afectada y los daños ocasionados por los incendios. La cartografía se genera después de cada campaña de incendios, con imágenes obtenidas antes, durante y después para así poder cartografiar cada fuego. La resolución espacial de los productos finales depende del satélite utilizado como fuente y puede oscilar entre los 10 y los 30 metros.



Figura 12— Vista del incendio ocurrido en la Riba de Saelices (Guadalajara) en Julio 2005

Las superficies medidas a través de los datos de satélite difieren de las medidas con otros métodos. En términos generales se puede afirmar que esas superficies son en torno a un 30% inferiores a las medidas directamente realizadas por los agentes forestales. Las diferencias se deben, por un lado al procedimiento de medida, y por otro a la dificultad de los satélites de observar ciertos fuegos.

Los sistemas espaciales tienen dificultades para ver determinados incendios en zonas boscosas o con vegetación muy cerrada, cuando el fuego se propaga por la superficie y la única vegetación quemada es a ras del suelo. Lo mismo sucede en zonas de turbas donde los incendios se propagan por el subsuelo, sin quedar a la vista del satélite sus efectos.

Las estimaciones realizadas in-situ, suelen ser justo después del incendio y por regla general, sólo miden el perímetro del área afectada. Los incendios forestales no se propagan de forma homogénea, ni queman toda la superficie por igual. Las imágenes obtenidas a partir de satélite permiten diferenciar las zonas no quemadas dentro del incendio y estimar el grado de afeción de la vegetación, dando información más veraz y precisa.

Los satélites equipados con sensores pasivos tienen nula o muy reducida visibilidad en presencia de nubes. Esta limitación se subsana utilizando diversas fuentes espaciales que complementen el plan de adquisición de imágenes. Los satélites más empleados son *LANDSAT* y *SPOT* por su alta resolución; *TERRA* y *AQUA* pueden ser una opción cuando la cobertura nubosa es omnipresente durante los pases de los sistemas de alta resolución.

Las imágenes procedentes de satélites de alta resolución, constituyen un complemento para la estimación de superficie afectada y los daños ocasionados a la vegetación por el efecto del fuego. Los servicios de cartografía post-incendio basados en datos de satélite facilitan la obtención de información uniforme, homogénea y comparable de todos los incendios ocurridos en zonas forestales. Esta información

ofrece muchas utilidades entre las que cabe destacar, el mantenimiento y actualización de inventarios, el asesoramiento de daños y la evaluación de pérdidas, el seguimiento de la regeneración de la vegetación, el seguimiento de la evolución de la reforestación, así como la observación de los posibles cambios originados por el hombre en las zonas quemadas.

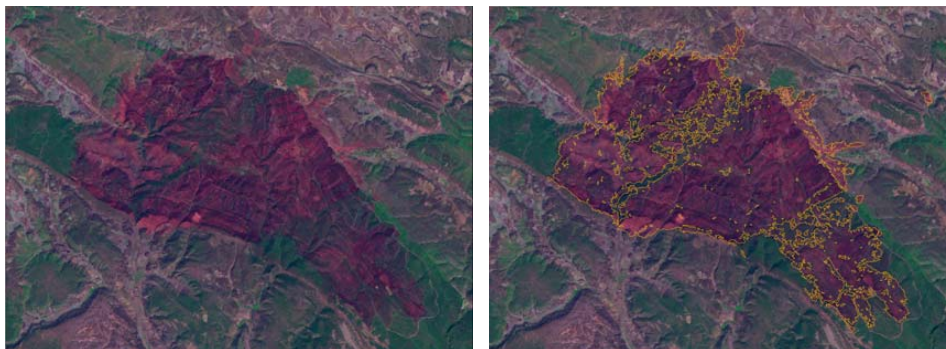


Figura 13— Vista de la superficie afectada por el incendio en la Riba de Saelices (Julio 2005). Imagen derecha es una vista de satélite y la de la izquierda es la vista de satélite con el perímetro correspondiente superpuesto

Conclusiones

La tecnología de Observación de la Tierra es hoy una herramienta en la que los servicios de lucha contra incendios forestales pueden contar. Más allá del ámbito científico y experimental, gracias a los satélites que actualmente hay en órbita, es posible proporcionar servicios de valor añadido abarcando todas las fases en la vida de un incendio.

Se ha presentado el segmento espacial con el que se cuenta actualmente, haciendo una breve descripción de sus capacidades, así como la base física que se utiliza para encontrar tanto los incendios como la vegetación o la zona quemada.

Después de esto, se ha hecho un breve repaso de aquellos servicios de carácter operacional y semi-operacional que están prestando actualmente, a saber, servicios de prevención de incendios forestales, servicios que se pueden prestar durante el transcurso de una crisis, y por último, servicios que pueden darse después de la crisis.

Gracias a la tecnología espacial, pero sobre todo, gracias a los servicios de carácter operacional proporcionados por ella, la gestión de los recursos por parte de las autoridades es más eficiente. Se tiene información global de todo el entorno de la emergencia en tiempo real, y se pueden tomar decisiones sobre la base de datos obtenidos a través de una plataforma objetiva.

Referencias

- [1] Velez R., coordinador: “La defensa contra incendios forestales”. McGrawHill, 2000
- [2] DEMOBIRD Final Report, BIRD-INSA-100-FR-01, 2004-01-13
- [3] NOD Final Report, NOD-INSA-0000-TN-01, 2005-12-15
- [4] Burnt Scar Map Validation, Validation Report, RISK-EOS/C6.11/INSA/2.0, Diciembre 2004.
- [5] Risk-EOS 2 : S3 Service Prospectus, RISKEOS2-200-SP-INFOTERRAFrance-042. Mayo 2006