

# MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE MÚLTIPLES CÁMARAS MONTADAS EN MEDIOS AÉREOS Y TERRESTRES

J. R. Martínez-de Dios, L. Merino, A. Ollero y B.C. Arrúe

Grupo de Robótica, Visión y Control  
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla  
Camino de los Descubrimientos sn, 41092, Sevilla  
email: {jdedios, merino, aollero y barrue}@cartuja.us.es

## RESUMEN

El artículo presenta un sistema de monitorización y medida de incendios capaz de medir en tiempo real parámetros tales como la posición del frente de llamas, velocidad de propagación, anchura del frente y altura de llama. El sistema se basa en la fusión de información procedente de múltiples sensores como cámaras visuales y de infrarrojos, GPS y sensores de proximidad que pueden encontrarse en localizaciones fijas (observatorios, torres) y/o móviles (vehículos terrestres, helicópteros, aviones). La información procedente de cada sensor es fusionada para obtener medidas únicas de dichos parámetros que son empleadas para generar vistas 3D del incendio que puede ser visualizado desde vistas configurables o sobre un mapa del terreno en un sistema GIS. El sistema ha sido probado con éxito en numerosos experimentos de quemas de campo. El artículo presenta algunos resultados obtenidos en las quemas realizadas en *Serra da Gestosa* (Portugal) en el marco del proyecto europeo SPREAD.

**P.C.:** incendios forestales, sensores, medición, procesamiento de imágenes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un problema con graves repercusiones medioambientales y socioeconómicas en muchos países. La lucha contra los incendios involucra la movilización de importantes recursos humanos y económicos. El problema de los incendios forestales es muy complejo y su lucha debe ser enfocada desde una óptica multidisciplinar.

Los últimos avances tecnológicos y científicos han originado importantes mejoras en sensores y sistemas de comunicación. Las cámaras de infrarrojos, muy útiles para detección y monitorización de incendios, han reducido su coste de forma apreciable en los últimos años. Los sistemas de posicionamiento global por satélite (GPS) permiten calcular, con bajo grado de incertidumbre, la posición de los medios desplegados en el ataque del incendio. Las nueva generación de comunicaciones digitales terrestres pueden transmitir voz y datos a una tasa de hasta 2 mbps.

El desarrollo de dichas tecnologías de sensores y comunicaciones ha propiciado el surgimiento de nuevas herramientas para la lucha contra los incendios. En el campo de la detección de incendios cabe destacar el empleo de sistemas basados en satélites con sensores de muy alta resolución. A pesar de que dichos sistemas son empleados en países con bosques homogéneos, el tiempo entre medidas obtenidas actualmente mediante dichos satélites no permite disponer de información suficientemente actualizada. Además, dichos sistemas en la actualidad producen un número muy alto de falsas alarmas ([San-Miguel-Ayanz y otros, 2005](#)). También se han desarrollado sistemas inteligentes de detección de incendios forestales capaces de rechazar un alto número de falsas alarmas ([Arrue y otros, 2000](#)). Dichos sistemas emplean técnicas de inteligencia artificial y fusión de información de múltiples fuentes para calcular la probabilidad de que una alarma se corresponda con un fuego forestal.

En el campo de la gestión del ataque cabe destacar el desarrollo de sistemas de ayuda a la

decisión. Se han desarrollado sistemas telemáticos de información y control en caso de emergencias (Wybo y otros, 1998). Dichos sistemas deben disponer información en tiempo real de la posición y condiciones del incendio así como de los medios desplegados para su ataque. Tradicionalmente las medidas de los incendios han sido estimadas de forma visual mediante expertos. Tales medidas contienen imprecisiones originadas por la subjetividad humana. Además, en muchas ocasiones el humo dificulta la correcta observación de las llamas así como su estimación.

Este artículo presenta un sistema de monitorización y medición automáticas de incendios forestales. El sistema recibe como entrada secuencias de imágenes visuales y de infrarrojos tomadas por cámaras en localizaciones fijas o móviles (en vehículos terrestres o aéreos). El sistema es capaz de obtener medidas de forma automática y en tiempo real de las características geométricas del incendio tales como la posición del frente de llamas, velocidad de propagación y altura de las llamas. Basándose en dichas medidas el sistema genera de forma automática un modelo gráfico del incendio que puede ser mostrado desde diferentes posiciones. La herramienta de monitorización y medición de incendios es capaz de comunicarse con un Sistema de Información Geográfica (SIG) y de mostrar vistas del modelo gráfico sobre la propia herramienta o sobre un SIG. El sistema presentado en este artículo ha sido desarrollado en el marco del proyecto SPREAD financiado por la Comisión Europea. La herramienta ha sido probada en un alto número de experimentos de fuegos controlados realizados desde 1998 hasta 2004. El sistema ha obtenido resultados prometedores para su aplicación en condiciones operacionales.

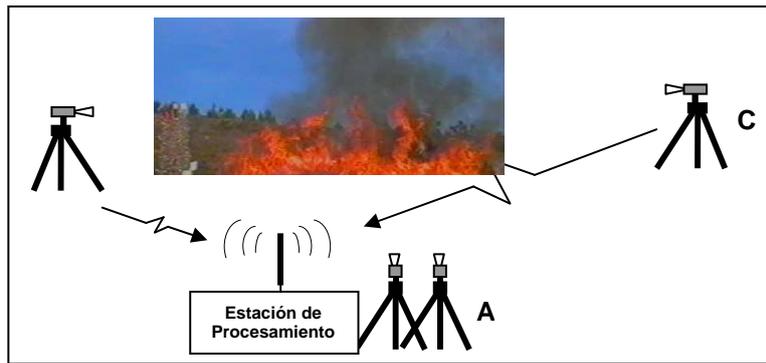
Este artículo se estructura de la siguiente forma. La Sección 2 describe brevemente el sistema de monitorización y medición automática de incendios. La Sección 3 describe el procedimiento realizado en los experimentos de fuegos controlados de campo realizados. En la Sección 4 se presentan algunos resultados. Las conclusiones y referencias son las últimas secciones.

## 2. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y MEDICIÓN AUTOMÁTICA DE FUEGOS FORESTALES

El objetivo principal del sistema de monitorización y medición automática de fuegos forestales - *Fire Monitoring Tool (FMT)*- es el de obtener de forma automática y en tiempo real medidas georeferenciadas de los parámetros de un fuego forestal tales como la posición del frente de llamas, la tasa de propagación y la altura de las llamas.

Tales medidas están afectadas de numerosas fuentes de errores y se necesitan fuentes de información complementarias para incrementar su precisión. Por ejemplo, la presencia de humo puede ocultar la visión de las llamas del incendio y por tanto de su estimación por medio de cámaras visuales. En dichos casos se emplean las cámaras de infrarrojos para obtener medidas del incendio ya que, en la banda de infrarrojos adecuada, el humo es normalmente transparente. El sistema de percepción del *FMT* emplea como sensores principales cámaras visuales y de infrarrojos. Las cámaras puede ser montadas en posiciones fijas o sobre vehículos (terrestres o aéreos tales como helicópteros). Las imágenes de todas las cámaras desplegadas se envían al *FMT*, el cual las analiza mediante algoritmos de procesamiento de imágenes y obtiene estimaciones de las características del incendio en tiempo real.

La **Figura 1** ilustra el despliegue de cámaras en diversas posiciones: **vista frontal** (el eje de la cámara es perpendicular al frente de llamas), **vista lateral** (el eje de la cámara es paralelo al frente de llamas) y **vista aérea** (las cámaras están en vehículos aéreos como helicópteros). Si el humo no oculta las llamas, las imágenes tomadas por cámaras visuales con vista frontal permiten calcular la posición del frente de llamas, la tasa de propagación y la altura de las llamas. Las imágenes tomadas mediante cámaras visuales con vista lateral son útiles para obtener medidas de la altura de las llamas y el ancho del frente de llamas. Las imágenes tomadas desde vista aérea permiten obtener medidas de la posición del frente y tasa de propagación. La **Figura 2** muestra cuatro imágenes de un fuego controlado realizado en *Serra da Gestosa* (Portugal) en mayo de 2002 (imagen de infrarrojos y visual con vista frontal, imagen visual con vista lateral e imagen visual con vista aérea).



**Figura 1:** Esquema del despliegue de cámaras para el sistema de medición de fuegos.

Las imágenes aéreas están afectadas por las vibraciones de los vehículos aéreos en el caso de que no se empleen *gimbals* u otros dispositivos estabilizadores. El primer paso del *FMT* antes de realizar las medidas del fuego es el de estabilizar las imágenes por medio de la aplicación de algoritmos automáticos de procesamiento de imágenes (Merino y otros, 2003). La Figura 3 ilustra el funcionamiento del método de estabilización de imágenes. La Figura 3a muestra tres imágenes aéreas consecutivas tomadas con vibraciones. La Figura 3b muestra las imágenes resultantes después de la estabilización. La primera imagen se toma como referencia y las siguientes se estabilizan para mantener los objetos en la misma posición que ocupan en la imagen de referencia.

Las cámaras visuales proporcionan imágenes en el rango visible [0.4–0.7]  $\mu\text{m}$ . Se emplean para proporcionar medidas de la geometría de la llamas tal como la altura de llamas y también medidas del frente de llamas como posición del frente. Las cámaras de infrarrojos proporcionan imágenes con el campo de intensidad de radiación en el rango de longitud de onda del sensor que emplee la cámara. Las cámaras de infrarrojos que se han utilizado más en el *FMT* son las que tienen respuesta espectral en la banda del infrarrojo térmico [3–5]  $\mu\text{m}$ . que, de acuerdo con la Ley de Wien (Hudson, 1969), tiene sensibilidad óptima en el rango de temperaturas [600–1000]  $^{\circ}\text{C}$ . Además, el gas  $\text{CO}_2$  generado por la combustión presenta un pico de emisión en 4.3  $\mu\text{m}$ . En la banda de infrarrojo térmico la intensidad de radiación emitida por la base del fuego es mayor que la emitida por las llamas, lo cual facilita la interpretación de la imagen. Además, las imágenes de infrarrojos en este rango de longitudes de onda no son ocultadas por el humo. La Figura 4 muestra dos imágenes de cámaras de infrarrojos empleadas para la medición del fuego por la *FMT*. La imagen en Figura 4a muestra una *FLIR ThermaCam P20*, que funciona en la banda [8–14]  $\mu\text{m}$ . y la imagen en Figura 4b, una *Mitsubishi IRM-300* en la banda [3–5]  $\mu\text{m}$ .

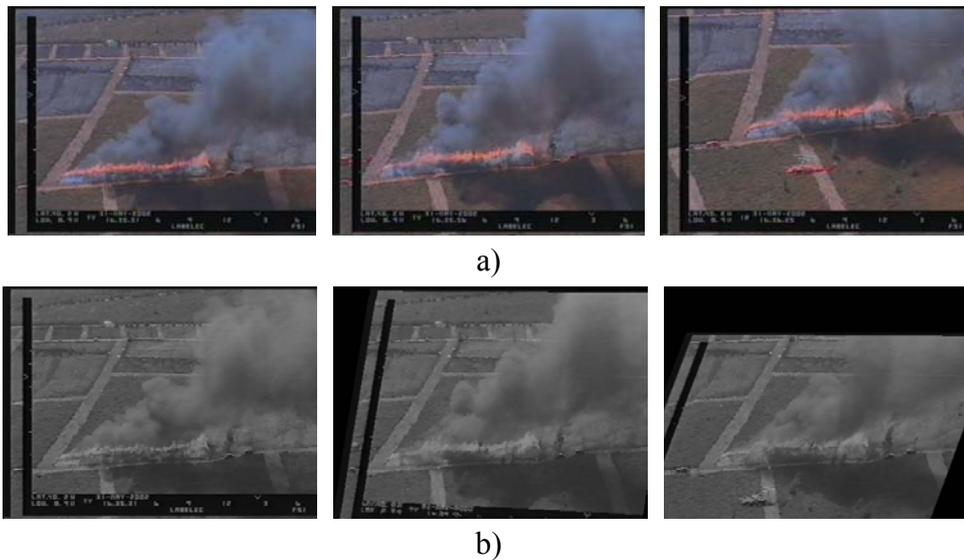


a)

b)

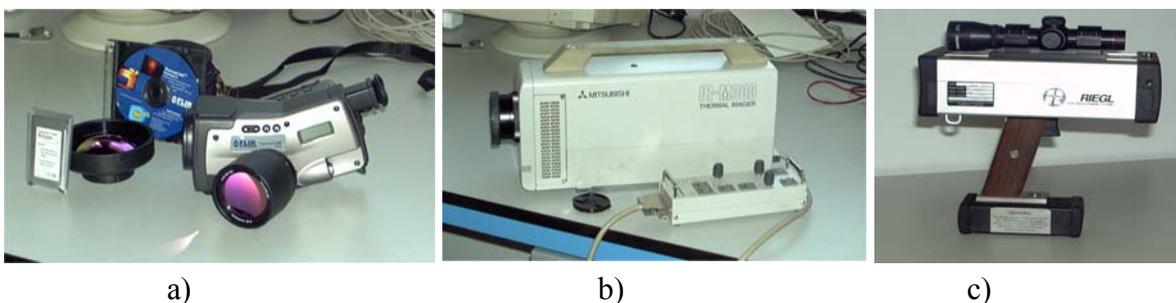


**Figura 2:** Cuatro imágenes de un experimento de fuego controlado realizado en *Serra da Gestosa* (Portugal) en 2002: a) imagen de infrarrojos con vista frontal, b) imagen visual con vista frontal, c) imagen visual con vista lateral y d) imagen visual con vista aérea.



**Figura 3:** Aplicación del método de estabilización de imágenes en tres imágenes aéreas: a) imágenes originales con vibraciones, b) imágenes resultantes después de la estabilización.

Para poder georeferenciar las imágenes tomadas por las cámaras y por tanto las medidas del fuego es necesario disponer de un mapa digital del terreno. También es necesario conocer la posición y orientación de las cámaras. A tal efecto se emplean GPS y dispositivos de medición de distancias y ángulos como el mostrado en la **Figura 4c**, que integra un medidor láser de distancias por tiempo de vuelo, una brújula y varios inclinómetros.

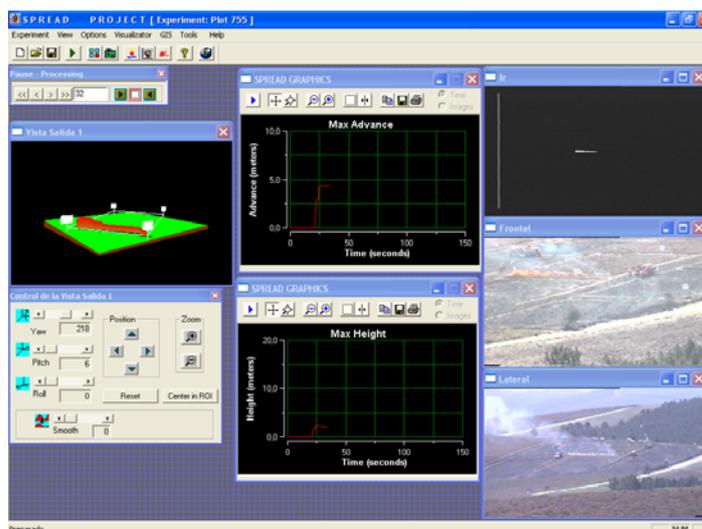


**Figura 4:** a) y b) Cámaras de infrarrojos empleadas en los experimentos de medición de *FLIR ThermoCam P20* y *Mitsubishi IRM-300*. c) Medidor láser de distancias empleado en los experimentos de medición de fuegos.

Los métodos de procesamiento de imágenes empleados incluyen técnicas de estabilización de imágenes aéreas, técnicas de procesamiento de imágenes de infrarrojos como la descrita en (**Martínez-**

de Dios y Ollero, 2005), procesamiento de imágenes visuales y técnicas de fusión de información. El *FMT* calcula las medidas del fuego y con ellas genera un modelo gráfico 3D del fuego. Dicho modelo puede ser representado en un SIG que puede ser ejecutado en el mismo computador o en otro. Se utiliza una conexión TCP/IP entre el *FMT* y el SIG para el intercambio de datos que permita la representación del modelo en el SIG de tal forma que se pueda enviar el modelo a través de Internet a un Sistema de Información Geográfica que se ejecuta en un computador remoto.

La **Figura 5** muestra la ventana principal del *FMT* en un experimento de fuego controlado realizado en *Serra de Gestosa* en 2004. En este caso se muestran de tres vistas: una frontal de infrarrojos, una frontal visual y una lateral visual. Además de las tres imágenes, se representa el modelo gráfico 3D del fuego y dos ventanas para visualizar las medidas.



**Figura 5:** Ventana del *FMT* en un experimento realizado en *Serra de Gestosa* en 2004.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

El *FMT* se ha probado en numerosos experimentos de fuego en campo. El sistema de percepción del *FMT* considera dos tipos de estaciones: **estaciones remotas** y **estación de procesamiento**. Las estaciones remotas disponen de cámaras y del equipamiento necesario para tomar, grabar y transmitir imágenes del fuego. La estación de procesamiento contiene un computador en el que se ejecuta el *FMT* durante los experimentos. Todas las estaciones están equipadas con baterías o equipos electrógenos.

En los experimentos de *Serra da Gestosa* se han empleado al menos dos estaciones remotas: con vistas frontal y lateral. Típicamente, la estación remota con vista frontal contiene una cámara de infrarrojos y una visual y la estación remota lateral, una cámara visual. Si la topografía del terreno lo permite se despliegan dos estaciones remotas laterales. También se utilizan estaciones remotas con vista aérea montadas en helicópteros. Se suelen emplear una o dos estaciones remotas aéreas en helicópteros diferentes.

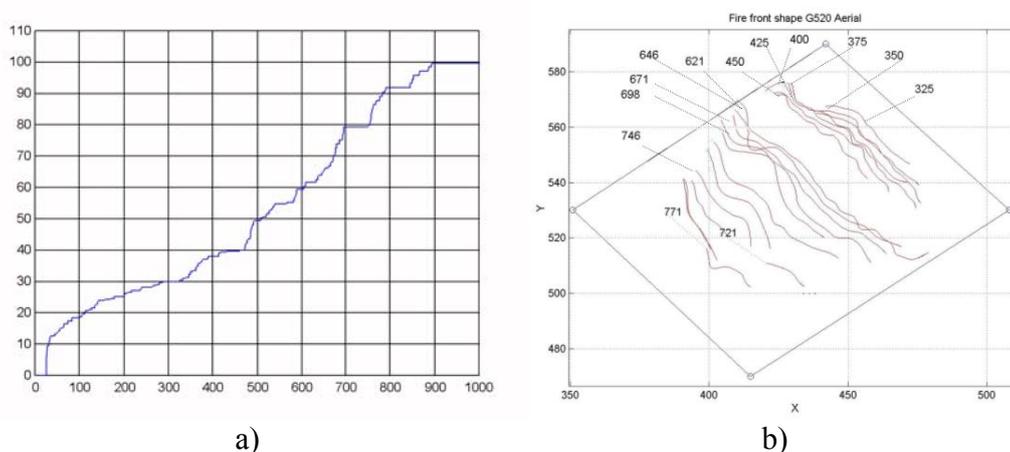
Para mejorar la resolución de las medidas se recomienda que el fuego esté contenido por completo dentro de la imagen y que ocupe un porcentaje significativo de la imagen. Las cámaras visuales utilizadas son el modelo JAI 2060 con resolución 752x582 y un zoom marca *Cosmicar* con distancia focal entre 15 y 90 mm. La cámara de infrarrojos es una *Mitsubishi IRM-300* en el rango [3-5]  $\mu\text{m}$ . con distancia focal de 25 mm.

La estación de procesamiento se suele colocar próxima a una estación remota con vista frontal para facilitar la adquisición de las imágenes tomadas de las cámaras frontales. Las imágenes de las cámaras remotas se transmiten mediante transmisores de radiofrecuencia.

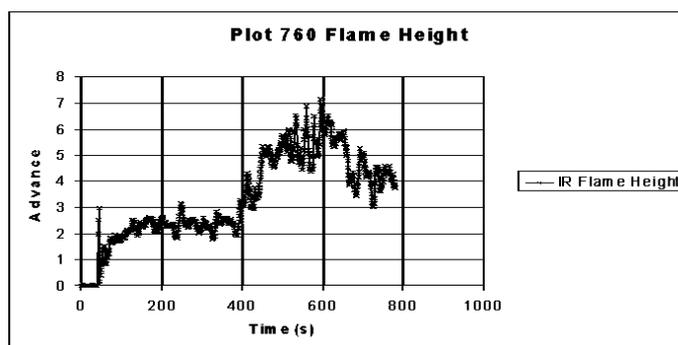
#### 4. ALGUNOS RESULTADOS

A continuación se muestran algunos resultados obtenidos en los numerosos experimentos de fuegos de campo realizados desde 1998. La **Figura 6a** muestra los resultados de la evolución del punto más avanzado del frente de llama calculado a partir de la fusión de los resultados de la cámara visual y la cámara de infrarrojos. La **Figura 6b** muestra la evolución georeferenciada del frente de llamas durante el experimento calculado a partir del procesamiento automático de imágenes aéreas. Los números que se aprecian sobre la imagen son los instantes de tiempo de las medidas. Ambas gráficas fueron obtenidas en tiempo real durante el experimento.

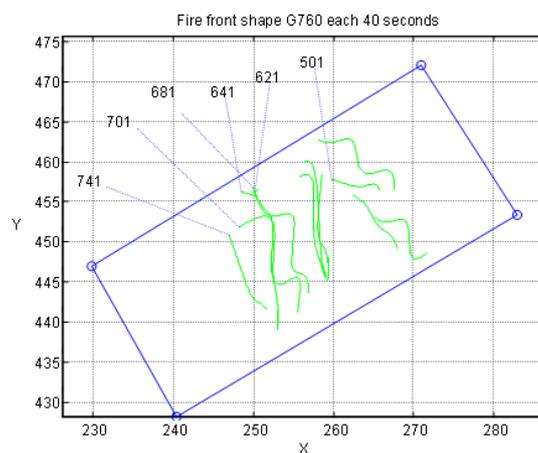
La **Figura 7** muestra la evolución de la altura de llamas en una parcela quemada en los experimentos de *Serra de Gestosa* de 2004. Debido a la presencia del humo que ocultaba las imágenes visuales, la estimación de la altura se realiza con los resultados del procesamiento de las imágenes de infrarrojos. Estos resultados no están exentos de imprecisión debido a la dificultad para estimar la altura de las llamas mediante las cámaras de infrarrojos. La **Figura 8** muestra la evolución de la posición georeferenciada del frente de llamas a lo largo del experimento.



**Figura 6:** Evolución de la posición del punto más avanzado del frente de llamas obtenido mediante: a) fusión de resultados de la cámaras visual y de infrarrojos, b) cámara visual aérea.



**Figura 7:** Altura de llamas en la parcela 760 de los experimentos de Gestosa'2004.



**Figura 8:** Localización georeferenciada de los frentes de llama cada 40 s. correspondientes a la quema de la parcela 760.

## 5. CONCLUSIONES

Este artículo presenta un sistema para la medición automática de fuegos forestales mediante procesamiento de imágenes visuales y de infrarrojos procedentes de cámaras fijas o montadas en vehículos terrestres o aéreos. El sistema es capaz de proporcionar medidas georeferenciadas de la posición del frente de llamas, velocidad de propagación, altura de llamas, etc. A partir de estas medidas, el sistema genera un modelo gráfico 3D que puede ser representado en un SIG. El sistema ha sido probado en numerosos experimentos con resultados que pueden calificarse de muy satisfactorios. Actualmente se está investigando en vehículos aéreos no tripulados para sustituir a los actuales helicópteros tripulados (UAVs). La principal ventaja es el gran ahorro de costes. En el proyecto europeo COMETS (<http://www.comets-uavs.org>), cuyo coordinador científico-técnico es el grupo autor de este artículo (Ollero, 2005), en que cooperan un conjunto de vehículos aéreos no tripulados heterogéneos para realizar misiones cooperativas de detección, monitorización y medición de incendios forestales.

Los sistemas desarrollados son muy prometedores. Sin embargo es necesario continuar su investigación para adecuarlos a las condiciones operacionales de la lucha contra incendios.

## Agradecimientos

El trabajo descrito ha sido realizado en los proyectos “SPREAD: Forest Fire Prevention and Mitigation” (EVG1-CT-2001-00043) y “EUFIRELAB” (EVR1-CT-2002-40028) financiados por la Comisión Europea. Los autores desean expresar su gratitud al Prof. Domingos X. Viegas y a su equipo de ADAI por la organización de los experimentos. También desean agradecer a D. Francisco Salas y D. Ernesto Estes de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

## Referencias

ARRUE B. C., OLLERO A., y MARTÍNEZ-DE DIOS J.R.; 2000; [An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection](#), *IEEE Intelligent Systems*, vol. 15, no. 3, 64-73.

HUDSON R.D.; 1969; *Infrared System Engineering*, Editorial John Wiley & Sons.

MARTINEZ-DE DIOS J.R. y OLLERO A.; 2005; A Multiresolution-Fuzzy Method for Robust Threshold Selection; revista *Intelligent Automation and Soft Computing*; en prensa.

MERINO L., OLLERO, A. FERRUZ J., MARTINEZ-DE DIOS J.R. y ARRUE B.C.; 2003; Motion analysis and Geo-location for aerial monitoring in the COMETS multi-UAV system, *The 11th International Conference on Advanced Robotics-ICAR 2003*, 30 Junio- 3 Julio.

OLLERO A y otros; 2005; Control of multiple heterogeneous unmanned aerial vehicles: Architecture and perception issues in the COMETS project; *IEEE Robotics and Automation Magazine*; Aceptado para publicación prevista en 2005.

SAN-MIGUEL-AYANZ J., RAVAIL, N., KELHA, V. y A. OLLERO; 2004; Potential and limitations on the operational use of remote sensing for active fire detection, *Natural Hazards Journal*, en prensa.

WYBO J.L, EFTICHIDIS G., KOUTSOURIS D., MANGANAS T., VIEGAS D.X. APOSTOLOPOULOS T., PELOSIO E., BOVIO G., OLLERO A., SCHMIDT D. y CRIADO A. 1998, DEDICS: A General Supporting Management of Forest Fire; *Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Forest Fire Research*. Luso, Portugal. November 1998; 2003-2012.