

Evolución instantánea del fuego a partir de un sistema integrado de sensores multispectrales y térmicos

José Luis Sáiz Díaz

Director de I+D (INAER). Doctor Ingeniero de Montes

En España las competencias en extinción de incendios forestales se han transferido a los gobiernos regionales, por lo que el papel del gobierno central, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, es apoyar con sus medios a los gobiernos regionales.

El sistema EINFOREX fue satisfactoriamente probado en la campaña de incendios de 2008, en medios del gobierno central, quien, en base a dicha experiencia, requirió su puesta en servicio en las campañas de 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013.

A partir de 2009, el sistema EINFOREX también fue implantado en los servicios de incendios de los gobiernos regionales de Extremadura, Castilla La Mancha, Murcia y Aragón, permaneciendo operativos hasta la actualidad.

Posteriormente en el año 2010, INAER fue adjudicataria del proyecto de I+D de mayor envergadura de Europa en materia de lucha contra incendios forestales, PROMETEO. El proyecto PROMETEO cubrió en mayor o menor medida las demandas del sector, con la participación de 15 empresas españolas líderes en su sector, lideradas por INAER, sumando un presupuesto total de 23 millones de euros. Una de las prin-

cipales líneas de desarrollo de PROMETEO han sido las herramientas de observación y los sistemas expertos para la toma de decisiones en emergencias, proyecto que dará continuación a PROMETEO en un nuevo proyecto de desarrollo tecnológico que INAER acaba de iniciar en octubre de 2013 con un proyecto de 4 millones de euros y cuyo objetivo concluirá con el lanzamiento de la nueva versión mejorada del actual sistema EINFOREX-B (Basic), la herramienta de observación y tratamiento de la información para la toma de decisiones EINFOREX-DMT (*Decision Making Tool*). La diferencia entre ambas herramientas radica en que, mientras la primera ofrece al Director de la Emergencia imágenes gráficas georeferenciadas (EO/IR) en tiempo real acompañadas de pronósticos de simulación, el segundo, además, aporta un software específico para la toma de decisiones que se apoya en la información aportada un nuevo sistema multispectral que caracteriza con mayor precisión el riesgo potencial de propagación del fuego.

DESCRIPCIÓN OPERATIVA

Es de vital importancia la correcta ejecución de los trabajos de observación y reconocimiento

en las diferentes fases (aire y tierra) para optimizar el proceso, especialmente, la toma de imágenes en vuelo para su posterior tratamiento en tierra. Para ello se han establecido protocolos de trabajo, concretando de antemano la actuación ante las distintas instrucciones que el Director de Extinción pueda dar.

Estos protocolos establecen la trayectoria de las pasadas, el sensor que debe emplearse, la escala de trabajo, el grado de solape de las imágenes, etc.

Además de los protocolos de actuación se han elaborado manuales de uso de cada una de las aplicaciones así como del manejo de los equipos instalados en la aeronave que se facilitan al usuario en el correspondiente curso de formación.

Con el objeto de hacer una descripción exhaustiva del esquema operativo del sistema de observación EINFOREX, y teniendo en cuenta que INAER incorporará, en un futuro próximo,

una mejora sustancial del servicio al sustituir el EINFOREX-B por el EINFOREX-DMT, a continuación mostraremos en las figuras 1 y 2 los detalles de funcionamiento de cada uno de los dos sistemas.

Descripción operativa del sistema EINFOREX-B (Basic)

En el momento en el que se comunica un incendio la aeronave despegua hacia la zona afectada, en la oficina técnica de Inaer se realiza una primera simulación con la que se evalúa una primera posible evolución del incendio y se determina el plan de vuelo para la aeronave. Este plan de vuelo es enviado al piloto de forma que pueda integrarlo.

Una vez en la zona del incendio la aeronave realiza un primer vuelo perimetral con el que se captura la información a partir de la cámara térmica y se envía, de forma redundante, tanto a la oficina técnica de Inaer como al puesto de mando avanzado. En el puesto de mando avan-

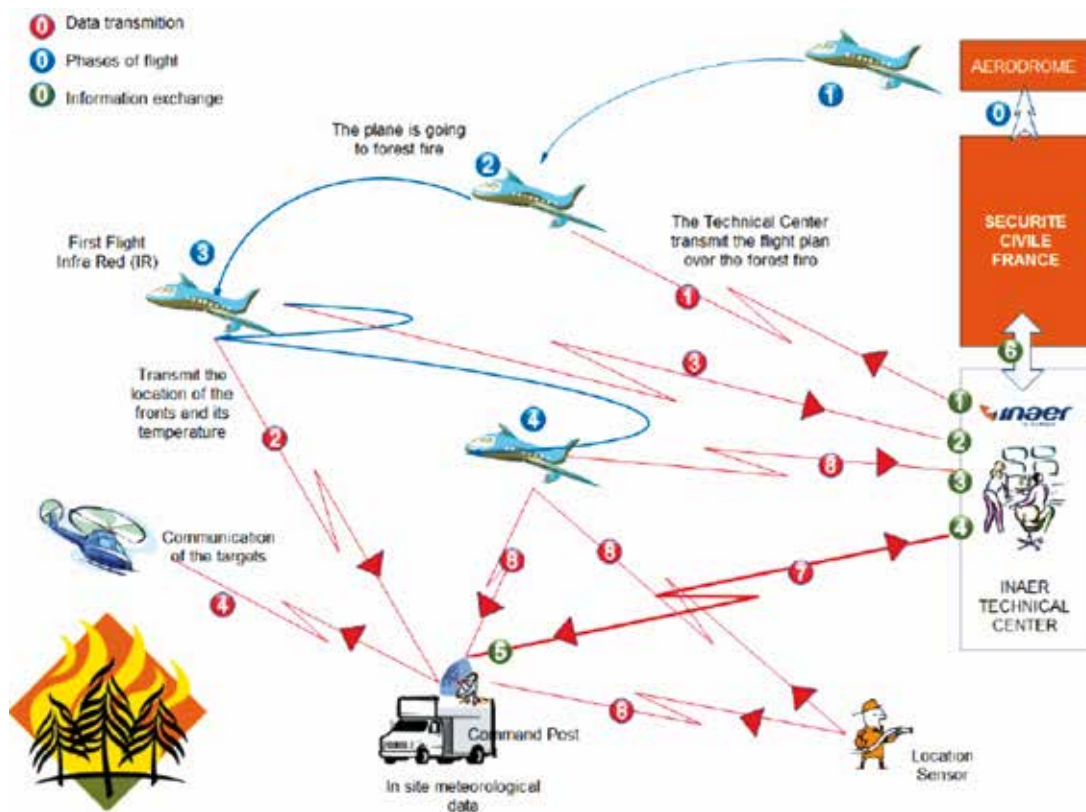


Figura 1. Configuración operativa del Sistema EINFOREX-B (Basic).



Figura 2.
Equipos que
integran el
Sistema Aire,
EINFOREX-B.

zado se emplea esta información para asignar y comunicar los objetivos a las aeronaves de descarga. Por otro lado, la información generada en la oficina técnica de Inaer se procesa integrándola en un GIS y suministrando esta información, junto con las simulaciones de la evolución del incendio, al puesto de mando avanzado a través de un visualizador web. Este vuelo perimetral y el consiguiente envío y procesado de información se repite cada 30 minutos.

Posteriormente al vuelo perimetral, la aeronave actúa como relé de comunicaciones de la posición de los brigadistas (aunque esta posición es detectada en todo momento que la aeronave se encuentre en el escenario del incendio) transmitiendo la misma al puesto de mando avanzado que a su vez la transmite a la oficina técnica de Inaer para su integración dentro del visualizador web. Adicionalmente, durante este periodo, la aeronave envía al puesto de mando avanzado información visual capturada a partir de las cámaras de foto y video y a su vez desde el puesto de mando avanzado se transmite a la oficina técnica de Inaer para su integración dentro del visualizador web.

Cabe destacar que toda la información procesada desde la oficina técnica de Inaer e integrada en el visualizar web está disponible para su consulta en tiempo real desde los centros de control provincial, regional o nacional, según se configure.

MATERIALES Y MÉTODOS

Arquitectura del sistema EINFOREX-B

El sistema EINFOREX-B cuenta con la siguiente estructura:

A) Subsistema aire:

Se realiza la captura y transmisión de imágenes georeferenciadas y parametrizadas. El sistema está constituido por varios elementos:

- *Plataforma externa aerotransportada multisensorizada:*

Dotada de con cámara de vídeo, sensor térmico y fotográfico y controlada desde el interior de la aeronave. Dicha plataforma ha sido diseñada

para permitir total libertad de giro en todas las direcciones del espacio, combinando rotaciones completas de 360° en dos planos (horizontal y vertical) de movimiento independiente. El anclaje de la plataforma permite diferentes configuraciones, adaptables al tipo de aeronave.

- *Unidad de Computación y Control:*

En el interior de la aeronave se aloja el ordenador que actúa como cerebro del sistema, ejecutando las órdenes que recibe del operador a través de los dispositivos periféricos (joystick y pantalla táctil).

- *Dispositivos periféricos:*

El joystick es uno de los dispositivos periféricos que permite la interacción del operador con el sistema. Desde el joystick, el operador inicia o apaga el sistema, controla la orientación de la plataforma externa, selecciona el sensor de trabajo, configura los diferentes parámetros de ajuste de dicho sensor y realiza las capturas.

Al igual que el joystick, la pantalla táctil es otro dispositivo periférico que maneja el operador. A través de la pantalla táctil, el operador visualiza las imágenes del sensor activo junto con el escenario virtual y permite gestionar el módulo de comunicaciones para el envío de imágenes al Centro de Mando.

B) *Subsistema de comunicaciones:*

El envío de imágenes fotográficas y clips de vídeo desde la aeronave se realiza mediante dos vías; directamente al puesto de mando avanzado (PMA) o/y al Centro de Control Provincial o Regional (CC).

En cuanto a la transmisión de vídeo en tiempo real se hace directamente al PMA, pudiendo dirigirse igualmente al CC, vía satélite si el cliente lo demanda.

De esta forma, a los PMA se les dota de mayor relevancia, garantizando la llegada de imágenes para ofrecer en el lugar de la emergencia la in-

formación de la manera más rápida y completa. El equipo de recepción de imágenes y vídeo es compacto e incluso permitiría ser aerotransportado.

C) *Software asociado:*

La actividad que se realiza se basa en la utilización de dos aplicaciones informáticas; Software Aire y Software Tierra, desarrolladas con la participación de la compañía Heligrafics bajo la denominación Observer.

El Software Aire, permite la recepción, consulta y archivado de imágenes georeferenciadas y parametrizadas.

Las imágenes fotográficas llevan asociadas información relativa a la captura como coordenadas GPS, velocidad, altitud o rumbo de la aeronave, permitiendo incorporar, además, información alfanumérica por parte del usuario de tierra.

Los clips de vídeo, de forma análoga a las imágenes fotográficas, también llevan información asociada relativa a los parámetros de captura con georeferenciación de cada frame.

El guardado de las imágenes permite concatenar una secuencia predeterminada por el usuario para facilitar el archivo de las mismas.

Software Tierra: Con esta aplicación se realiza el tratamiento de las imágenes (fusión sobre escenario 3D), las mediciones y la posterior exportación de la información. Finalmente, se realiza el almacenamiento de la información bajo diferentes formatos de tipo universal (archivos kmz/kml, tiff, ecw, shapefiles) para permitir la exportación tanto a aplicaciones de uso convencional (Google Earth), como a otras ampliamente extendidas en la gestión de incendios forestales (SIG).

Ambas aplicaciones, Aire y Tierra, permiten una personalización para el cliente, pudiendo incorporar logotipos y marcas de agua, así como elaborar informes automáticos.

Arquitectura del sistema EINFOREX-DTM

El sistema EINFOREX-DMT cuenta con la siguiente estructura:

D) Subsistema aire:

Se realiza la captura y transmisión de imágenes georeferenciadas y parametrizadas. El sistema está constituido por varios elementos:

- *Plataforma externa aerotransportada multisensorizada:*

La plataforma está giroestabilizada en 4 ejes de forma que pueda minimizar el impacto de los movimientos del helicóptero en el proceso de captura de imágenes. De esta forma, el sistema de estabilización compensar tanto los movimientos propios de la aeronave como las vibraciones asociadas a los mismo, obteniéndose una estabilización por debajo de los 25 microradianes. Por otra parte la plataforma permite una rotación continua de 360°. Esta plataforma ha sido diseñada para integrar las cámaras multispectral, térmica y de video. Por otra parte, la plataforma incorpora un sistema de localización basado en GPS y una unidad

de medición inercial que permite asegurar una buena precisión en la georreferenciación de los datos capturados.

- *Sensor multispectral de alta resolución*

La cámara multispectral constituye un desarrollo especial realizado dentro del programa PROMETEO de detección y análisis de incendios forestales. La cámara multispectral posee 5 sensores en paralelo que permiten que exista un solo camino óptico, garantizando que la información de cada canal corresponda al mismo punto. Estos sensores están configurados en longitudes de onda determinantes para la obtención de información del combustible vivo y muerto.

- *Cámara Térmica*

La función principal de la cámara termográfica es la obtención a tiempo real de las temperaturas alcanzadas por el frente de llama. Sin embargo, la aplicación de la información térmica es aún más extensa. La información térmica se utiliza para evaluar el contenido de humedad del combustible y el estado de vigor de la vegetación. Este sensor ha sido seleccionado con



Figura 3.
Equipos que
integran el
Subsistema
Aire,
EINFOREX-
DMT.

una sensibilidad térmica específica para aplicaciones en la lucha contra incendios forestales.

- *Cámara de Video*

La cámara permite la captura de imagen continua, cuenta con un zoom óptico y digital de 120x y permite la grabación tanto en formato HD como SD.

- *Unidad de Computación y Control:*

En el interior de la aeronave se aloja el ordenador que actúa como cerebro del sistema, ejecutando las órdenes que recibe del operador a través de los dispositivos periféricos, en el caso del EINFOREX-DMT la unidad de computación se ajusta a las nuevas tecnologías aportadas por el proyecto PROMETEO.

- *Dispositivos periféricos:*

Mismas aplicaciones que el EINFOREX-B, incorporando un hardware y software tecnológicamente más avanzado.

E) *Subsistema de comunicaciones:*

El envío de la información generada se realiza desde la aeronave se realiza mediante dos vías:

- A través de vía GPRS/3G o conexión satelital en banda KU se envían las imágenes a un servidor central que almacena permanentemente la información y que permite la consulta en remoto desde cualquier CC.
- Por otra parte, vía microondas se realiza el envío directo de imágenes (fotográficas o clip de vídeo) a la Unidad Avanzada DMT, situada en las inmediaciones de la emergencia, de forma independiente de las redes generales de comunicación que la tecnología actual permite, asegurando la comunicación entre la aeronave y la unidad terrestre.

Asimismo, desde la Unidad Avanzada DMT se ha ideado un sistema redundante en cuanto a

las comunicaciones, pudiendo enviar las imágenes desde esta unidad al servidor y recibir la información procesada proveniente de la oficina técnica de Inaer vía GPRS/3G o bien vía satélite en banda Ku.

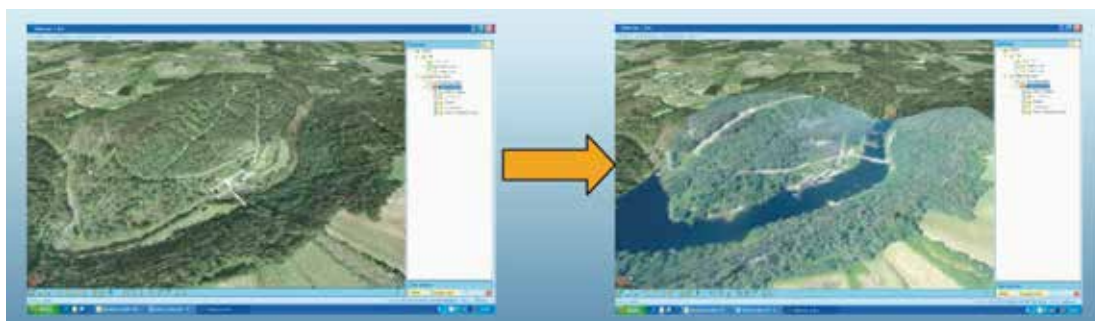
F) *Subsistemas unidad avanzada DMT y centro de control:*

La actividad que se realiza se basa en la utilización de una aplicación informática: El software procesa la información obtenida mediante las cámaras multispectral y térmica de forma que pueda generar mapas dinámicos del combustible vivo y muerto, su humedad y estructura y las temperaturas a nivel terrestre del escenario del incendio. Esta información es enviada en tiempo real al CC y permite al propio software asistir en la toma de decisiones de tipo táctico tales como movilizar recursos, indicar puntos de (des)carga y generar alarmas asociadas a la seguridad de los intervinientes y de la población.

RESULTADOS

El sistema EINFOREX permite poner a disposición de los responsables de la emergencia la información actualizada de la zona afectada para facilitar la toma de decisiones. Esta información puede ofrecerse tanto "in situ" en un PMA como en remoto en cualquier Centro de Control (CC), ofreciendo:

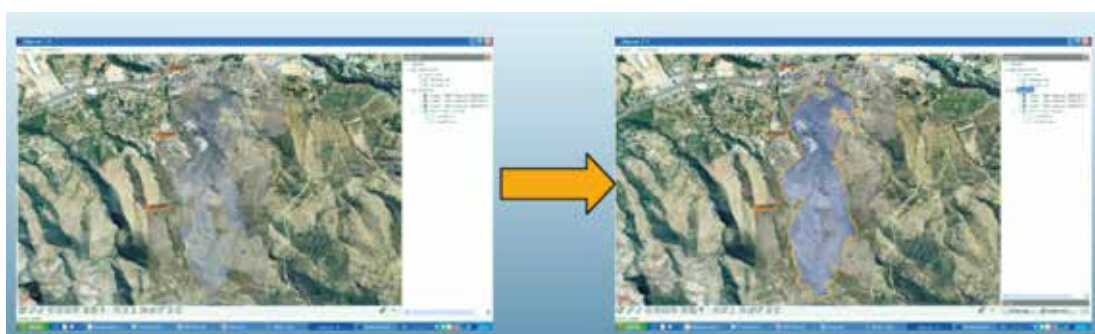
- REPLANTEO DE LA ZONA AFECTADA EN 3D: Actualización de la cartografía de base (ortofotografía en 3D) mediante la proyección de las imágenes cenitales tomadas por la aeronave de observación. Esta funcionalidad es posible gracias a la georreferenciación de dichas imágenes en el momento de ser capturadas. Así es posible localizar la situación de cortafuegos, analizar cambios en las infraestructuras, visualizar el nivel de agua en un cauce, etc.
- MEDICIONES EN LA ZONA AFECTADA: Mediciones sobre la nueva cartografía a dis-



posición del Responsable de la Emergencia, en las UMMT o bien en el Centro Operativo, evaluando, por una parte, las dimensiones del incendio por la cuantificación del perímetro, realizando la inventariación de recursos activos y pasivos presentes en la zona y la localización de elementos sensibles que pudieran verse afectados.

d) EXPORTACIÓN A APLICACIONES GIS: Cualquier información puede ser exportada; imágenes y capas vectoriales.

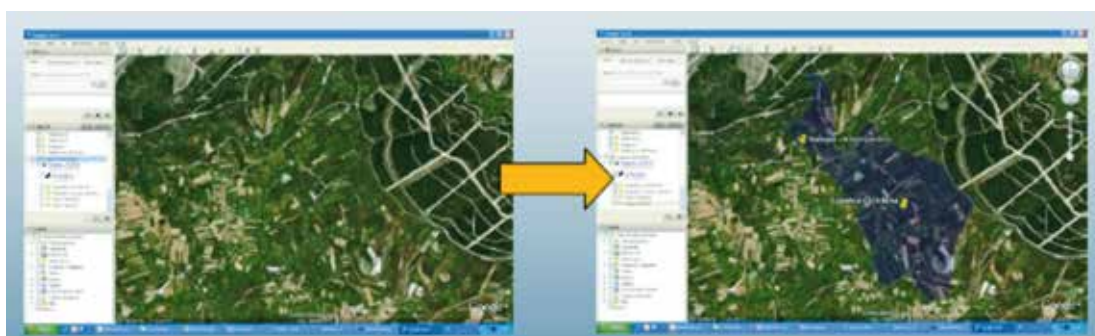
e) IMAGEN CONTÍNUA (VÍDEO): Visualización en tiempo real vía microondas, Transmisión de clip de video y Grabación digital, individual o dual de video térmico y visible.



c) ENVÍO A GOOGLE EARTH: La información (tanto imágenes, como proyecciones sobre el terreno o incluso capas vectoriales) puede remitirse vía e-mail bien desde el propio incendio o desde el Centro de Control Operativo (CC) a cualquier otro lugar para ser visualizada sobre la aplicación Google Earth.

Además el EINFOREX-DMT incorpora las siguientes las siguientes funcionalidades:

El sistema EINFOREX-DMT permite poner a disposición de los responsables de la emergencia la información actualizada de la zona afectada para facilitar la toma de decisiones. Esta



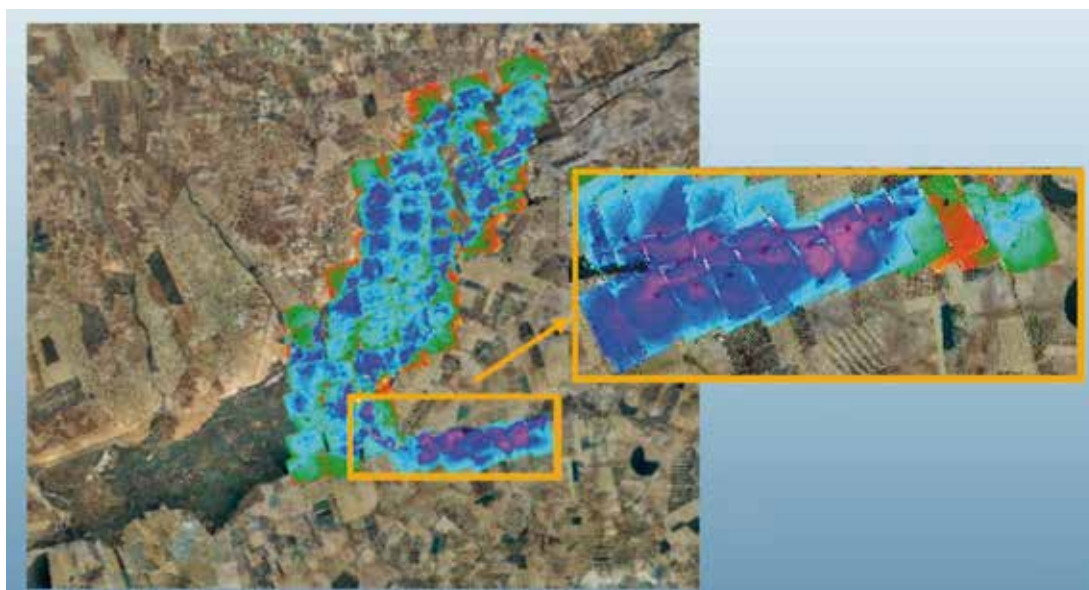


Figura 4.
Exportación
importación
de cartografía
dentro de
GIS.

información puede ofrecerse tanto “in situ” en el PMA, como en remoto en cualquier Centro de Control Operativo.

El sistema tiene capacidad potencial para la obtención a tiempo real de información multies-

pectral y térmica maximizando las condiciones de estabilidad gracias a la incorporación de los sensores en una plataforma giroestabilizada.

Los sensores están configurados para recoger información espectral en longitudes de onda

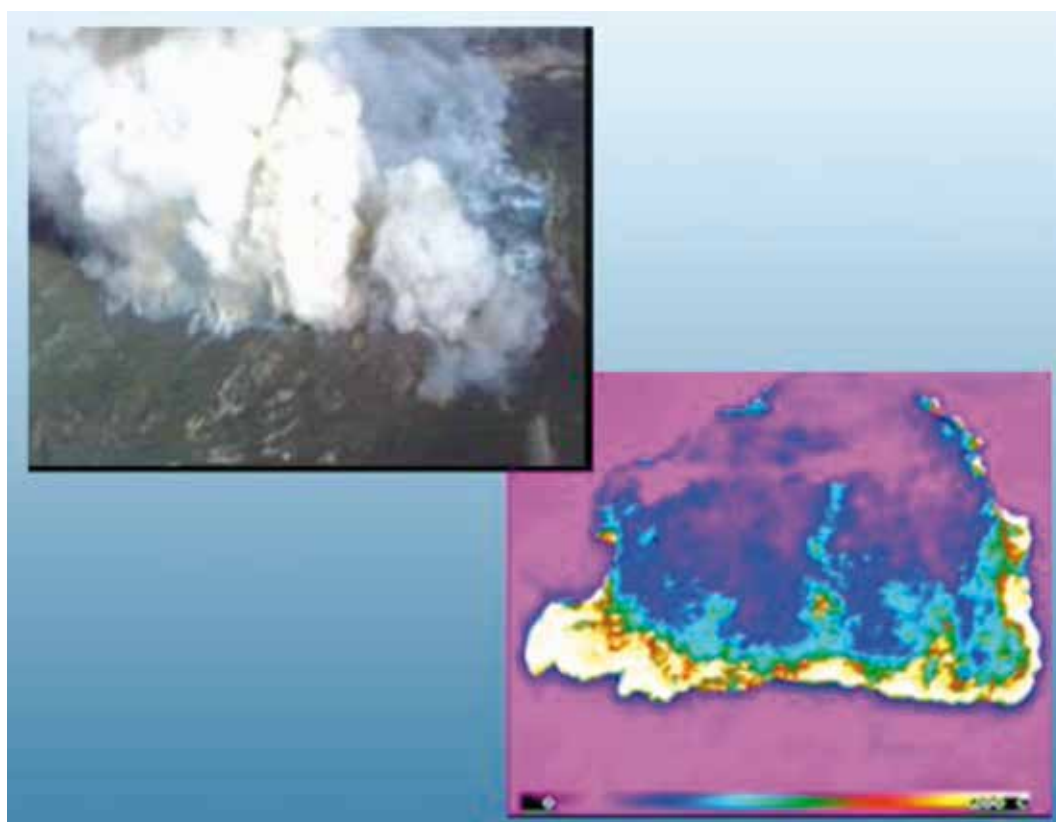


Figura 5.
Vista de
video visible y
térmico.

Figura 6.
Clasificación
% de fracción
de cabida cubierta,
Nerva
(Huelva).

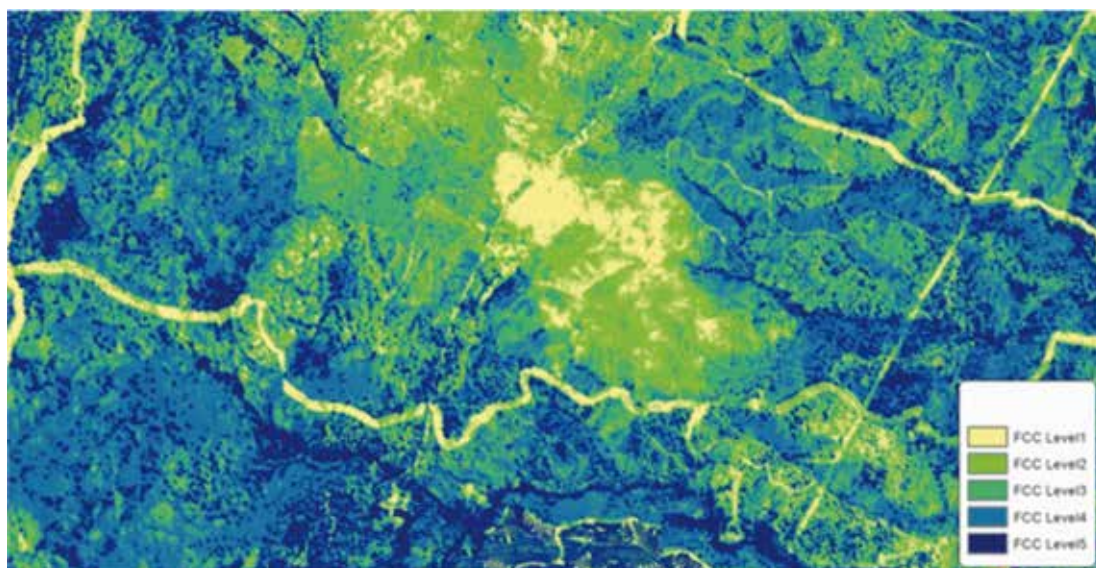
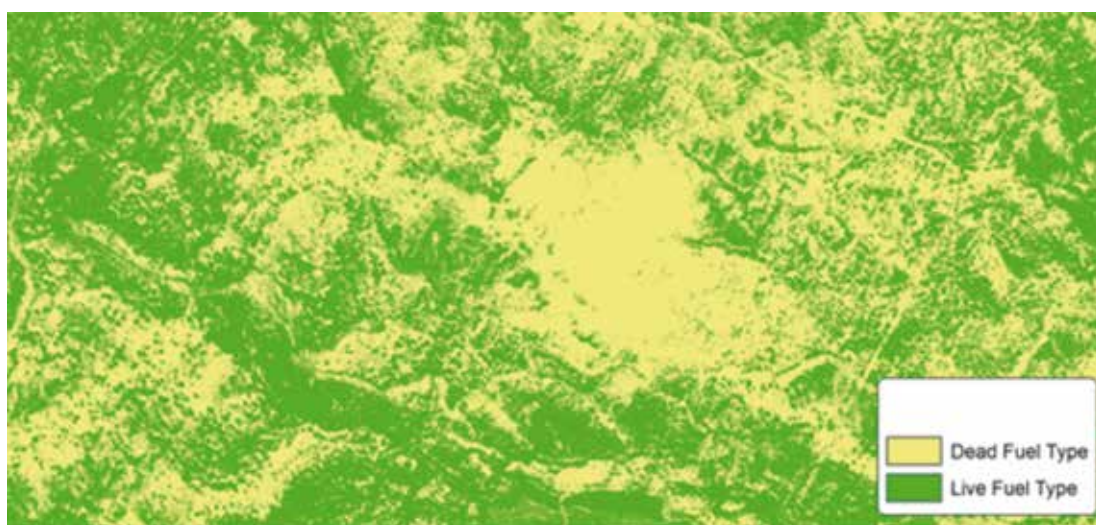


Figura 7.
Clasificación
en porcentaje
combustible
vivo y
combustible
muerto
(Huelva).



específicas con las que se puede obtener información biofísica de las siguientes variables:

- Fracción de cabida cubierta
- Biomasa
- Clorofila
- Combustible vivo y combustible muerto
- Medida indirecta de la cantidad de humedad del combustible

La generación de esta información en conjunto con el software ofrece las siguientes funcionalidades:

- GENERACIÓN DE MAPAS 3D DINÁMICOS DE COMBUSTIBLES Y TEMPERATURAS: Esta funcionalidad permite poder predecir la evolución del incendio con mayor exactitud e incluso emplear la información para la alimentación de un simulador de evolución del fuego. Por otra parte, el mapa de temperaturas permite localizar el frente de llama así como los focos secundarios que puedan originarse. Así es posible localizar zonas de alto riesgo o zonas donde la probabilidad de propagarse el incendio (o generarse focos secundarios) es muy elevada y asistir en la toma de decisiones para la extinción del incendio.

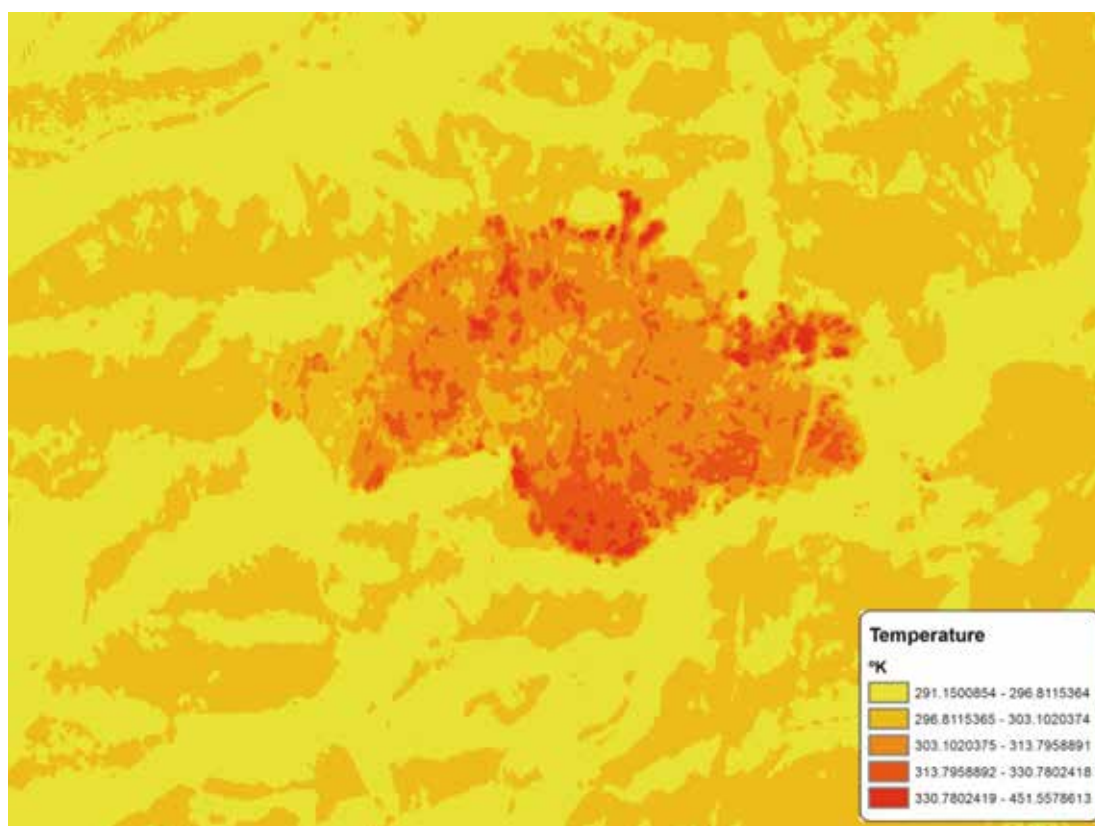
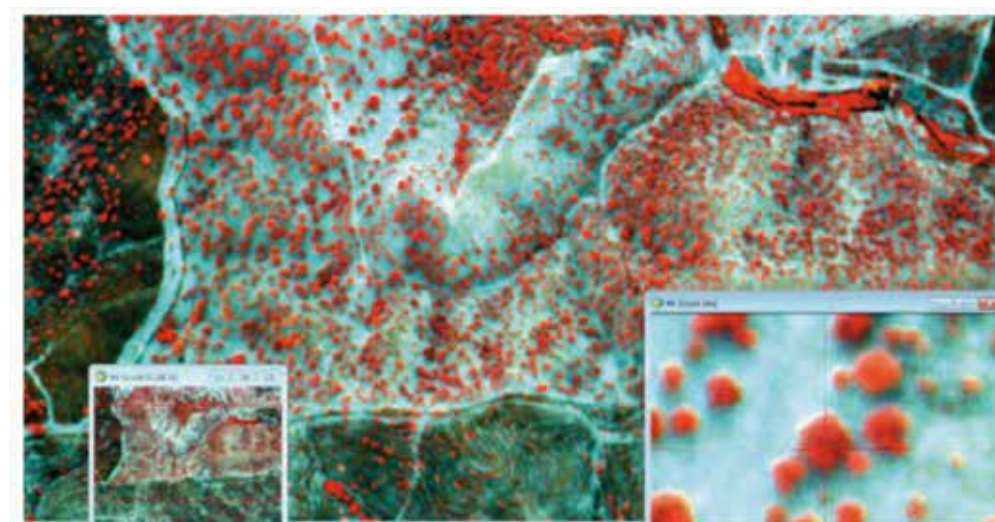


Figura 8. Imagen térmica de incendio en Nerva (Huelva).

b) APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES MEDIANTE EL SOFTWARE/HARDWARE PROMETEO DMT: A partir de la información generada el sistema será capaz de suministrar un apoyo al director de extinción en la toma de decisiones. De esta forma, a partir de las isócronas de propagación a

3 horas, permitirá marcar objetivos en cuanto al control y corte de carreteras y el control de la evacuación de la población que potencialmente pueda verse afectada. A partir de la información de los vuelos perimetrales con la cámara IR térmica podrán establecerse puntos de descarga, así como medir la



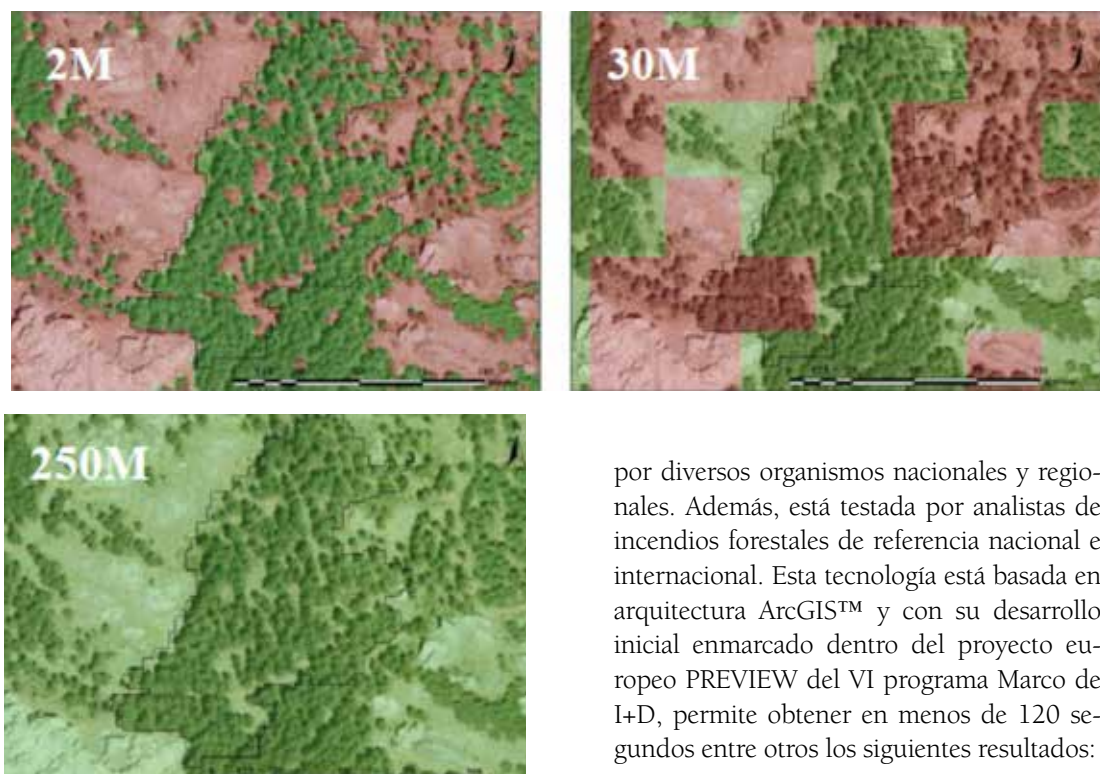


Figura 9.
Clasificación
de combustible
a diferentes
escalas de
resolución
espacial.

eficacia de los mismos y evaluar potenciales situaciones de riesgo para las brigadas. Además a partir de esta información y de los mapas dinámicos de combustible el sistema apoyará en la decisión de acciones tácticas preventivas (contrafuegos).

- c) SIMULADOR OPERACIONAL: SIMULADOR OPERACIONAL: Wildfire Analyst es el módulo para la simulación operacional de incendios forestales. La herramienta ha sido desarrollada por Tecnosylva y es empleada

por diversos organismos nacionales y regionales. Además, está testada por analistas de incendios forestales de referencia nacional e internacional. Esta tecnología está basada en arquitectura ArcGIS™ y con su desarrollo inicial enmarcado dentro del proyecto europeo PREVIEW del VI programa Marco de I+D, permite obtener en menos de 120 segundos entre otros los siguientes resultados:

- Propagación del fuego.
- Análisis de la capacidad de extinción.
- Reconstrucción de incendios.
- Ajuste automático de la velocidad de propagación.
- Cálculo de tiempos de evacuación.

Los resultados tanto en forma de informes como en capas cartográficas dentro del propio simulador y con ficheros estándar como KML de Google Earth son una herramienta altamente eficaz y útil para el analista de incendios a la hora de difundir sus resultados.

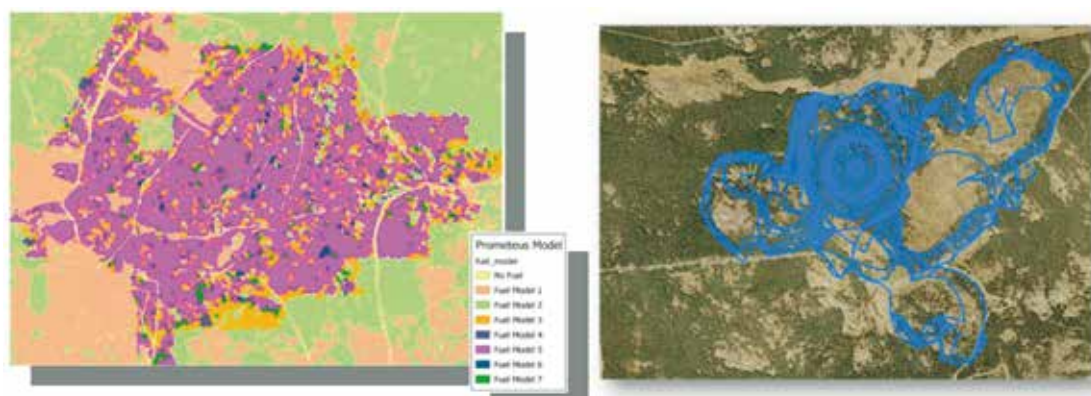


Figura 10.
Cartografía de
combustibles
y simulación del
comportamiento
del fuego.

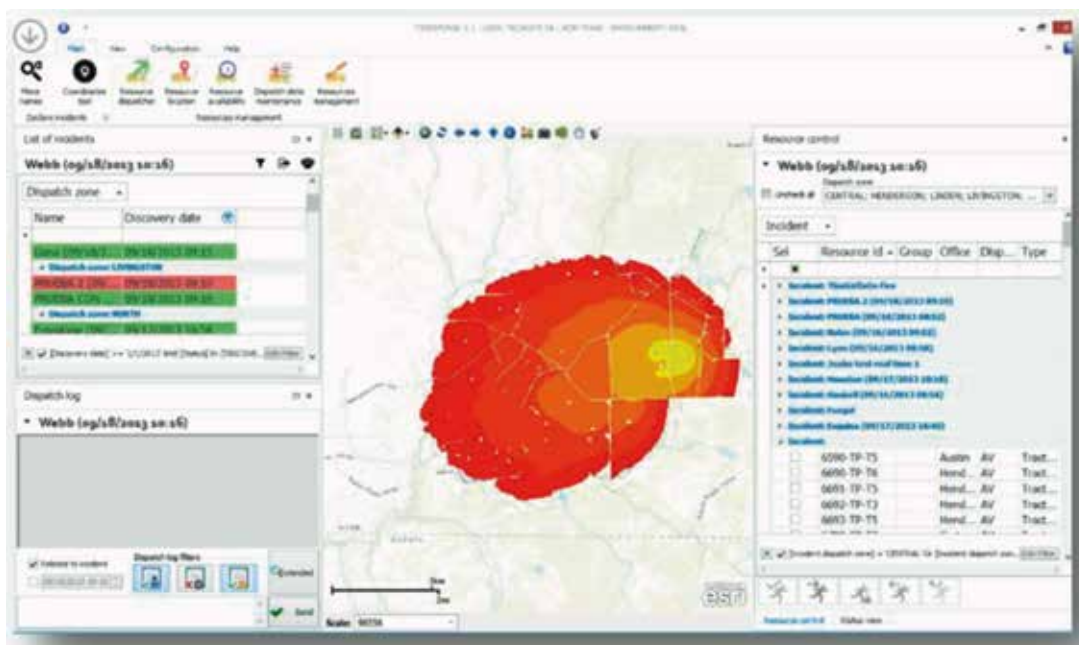


Figura 11.
Visor de
simulación.

d) **VISUALIZADOR GIS:** El visualizador GIS permite la gestión de toda la información generada y procesada mediante el sistema EINFOREX-DMT. En función de los distintos usuarios que pueden consultar la información y sus capacidades/necesidades asociadas se definen tres módulos distintos dentro del visualizador.

Cliente WEB

El cliente web da soporte multisistema y múltiples navegadores. Se trata de un Common Operational Picture completo, configurable en función de perfiles y roles de usuario. Esta versión ligera tiene acceso a determinadas funcionalidades del cliente de escritorio como la declaración de incendios y el cambio de estado de medios.

Visor ejecutivo

Esta versión del cliente web reducida para gestores permite el acceso en tiempo real al estado de los incendios y tener una visión global de los medios y su tiempo de actuación a través de una interfaz simple y sencilla y con una rápida integración sobre implantaciones existentes.

Cliente Móvil

Esta aplicación sencilla y ligera se presenta como multidispositivo (web móvil) o bien como una aplicación nativa de Android. Es adaptable y permite el filtro de funcionalidades por usuarios. Su configuración facilita una rápida implantación.

CONCLUSIÓN

En el marco de los proyectos EINFOREX y PROMETEO, se ha desarrollado un sistema capaz de capturar información espectral a tiempo real con la que podemos cuantificar y caracterizar el estado instantáneo de los combustibles situados en zonas perimetrales a un incendio. El sistema está diseñado para el envío y procesamiento a tiempo real de la información y por lo tanto, para suministrar datos de vital importancia en la toma de decisiones facilitando las labores de extinción de incendios forestales y en situaciones de emergencia. Toda la información adquirida por medio de los sensores (multiespectral, térmico y video), y procesada posteriormente en el centro de control constituye una pieza clave para abordar el tema de la modelización desde un punto de vista empírico que se acerca más a la realidad que los modelos teóricos aplicados hasta el momento. ❀