

## INFORME ANUAL (2016)

### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COFINANCIADO POR LA CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN (JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN) Y FONDOS FEDER

**1º- Título:** Ajuste, validación, e implantación del modelo físico PhFFS de simulación de incendios forestales.

**Código de Referencia:** SA020U16.

**Código UIC:** UIC 018

**2º- Investigador Principal:** María Isabel Asensio Sevilla.

**Organismo:** Universidad de Salamanca.

**Centro:** Instituto Universitario de Física Fundamental y Matemáticas.

**Miembros del Equipo:**

María Isabel Asensio Sevilla.

Luis Ferragut Canals.

José Manuel Cascón Barbero.

Rafael Alejandro Montenegro Armas.

Gustavo Montero García

**3º- Descripción detallada del trabajo desarrollado durante la primera anualidad (22 de Marzo de 2016- 30 de Junio de 2016):**

#### Resumen del proyecto:

Este proyecto de investigación tiene por objetivo mejorar, validar y ajustar el modelo físico de propagación de incendios forestales PhFFS (Physical Fast Fire Simulator) desarrollado por el grupo de investigación solicitante, así como transferir la tecnología resultante a los sectores públicos y privados dedicados a la prevención, seguridad y gestión de incendios forestales.

Se pretende mejorar el modelo PhFFS de simulación de incendios forestales mediante: la incorporación de la fase gaseosa, el análisis de la influencia de la radiación solar en el contenido de humedad del combustible, la mejora de las técnicas de asimilación de datos y la adaptación del código existente a plataformas de supercomputación.

Paralelamente se hace necesario recopilar información lo más amplia posible de incendios reales a través de las empresas colaboradoras: Tecnosylva S.L., la Sección de Protección de la Naturaleza del Servicio Territorial de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León en Salamanca, y el Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Con los datos recopilados se pretende identificar las características de los combustibles forestales directamente relacionadas con los parámetros del modelo PhFFS mejorado, que permitan generar mapas de combustibles forestales adaptados a dicho modelo. Además, la simulación mediante el modelo PhFFS mejorado de estos casos reales, permitirán ajustar y validar dicho modelo, así como comparar los resultados con otros modelos existentes.

Para que el modelo PhFFS sea una herramienta útil y accesible a los sectores implicados en la prevención, seguridad y gestión de incendios forestales, se debe incorporar en un Sistema de Información Geográfica que aglutine de forma rápida y sencilla toda la información necesaria para la aplicación del modelo. Se debe también divulgar y hacer accesible la herramienta desarrollada.

## Actividades y tareas realizadas:

1.- **Incorporación de la fase gaseosa.** (Tarea 1.1 recogida en la memoria inicial del proyecto).

El actual modelo PhFFS es un modelo bidimensional de una fase que tiene en cuenta como principales mecanismos de transmisión de calor en un incendio la convección y la radiación. Además refleja la influencia de la humedad y de la absorción de calor por la pirolisis. El término de radiación no local permite representar el efecto de la inclinación de la llama en la radiación, debido a la pendiente del terreno y el viento. El modelo está basado en las leyes físicas de conservación de la masa y de la energía sobre la superficie donde tiene lugar el incendio, y la ecuación de radiación en la capa de aire sobre esta superficie. Las simplificaciones adecuadas reducen las incógnitas a tres: la entalpía, la temperatura del combustible sólido y la fracción másica del combustible sólido. La fase gaseosa en el modelo actual aparece parametrizada a través de la temperatura y altura de la llama en el término de radiación.

Para mejorar el modelo se está trabajando en la incorporación de la fase gaseosa con dos nuevas simplificaciones partiendo de un modelo más general de dos fases, donde se tienen en cuenta la temperatura del combustible sólido y del gas, así como la cantidad de combustible sólido y gas, suponiendo que siempre hay oxígeno suficiente para reaccionar con el combustible. Se han planteado dos formas de modificar este modelo de dos fases. Una primera simplificación se basa en suponer un medio promedio del combustible sólido y gaseoso, e introducir una temperatura media sólido-gas  $T$ , de forma que con las oportunas consideraciones, el modelo inicial se reduce a una ecuación para el combustible sólido y otra para la temperatura media, en la que posteriormente se introduce el operador entalpía para tener en cuenta el calor de evaporación de la humedad del combustible y la pirólisis. Una segunda simplificación consiste en utilizar para la temperatura del gas una ecuación que represente el gas en una llama estabilizada, proporcionando expresiones de la temperatura, altura y velocidad vertical de la llama, que junto con la ecuación del combustible sólido y su temperatura, y la entalpía, conforman este segundo modelo simplificado.

En esta tarea está trabajando el investigador L. Ferragut.

2.- **Influencia de la radiación solar en el contenido de humedad del combustible.** (Tarea 1.2 recogida en la memoria inicial del proyecto).

Varios miembros del grupo investigador (R. Montenegro y G. Montero) han desarrollado un modelo numérico de radiación solar que permite calcular la radiación solar en cualquier punto del terreno y hora del día, teniendo en cuenta las condiciones del terreno y las sombras proyectadas, y permitiendo calcular la energía solar generada (ver Ref. [1]). La aplicación inicial de este modelo es en el ámbito de las plantas fotovoltaicas o termo-solares. Es obvio que este modelo tiene otras aplicaciones, en concreto, en cuanto a los objetivos de este proyecto se refiere, este modelo permite diseñar mapas de horas de exposición solar del terreno, que según los expertos son de gran influencia en el desarrollo de la evolución de un incendio, por su efecto sobre el contenido de humedad y temperatura del combustible.

En esta tarea están trabajando los investigadores R. Montenegro y G. Montero.

3.- **Asimilación de datos.** (Tarea 1.3 recogida en la memoria inicial del proyecto).

Para integrar técnicas de asimilación de datos basadas en el filtro de Kalman en un modelo de simulación, es básico establecer un vínculo entre las variables de

entrada y salida del modelo con los datos observables que serán asimilados. Estos observables, deben poder relacionarse con las variables del modelo mediante alguna transformación o cálculo sencillo, y al mismo tiempo debe ser posible su medición sobre el terreno en un escenario real. En el modelo PhFFS se han fijado como observables el combustible sólido y/o la temperatura, ya que ambos forman parte tanto de la entrada como de la salida de datos. Además se debe definir el patrón que se seguirá para tomar las observaciones, y con qué precisión se tomarán éstas. Se están barajando diversas posibilidades en la implementación: una primera opción es tomar observaciones de forma uniforme en toda la malla, una segunda opción es tomar observaciones únicamente en la región en la que se ha propagado el incendio, y por último una tercera opción híbrida entre las dos primeras. La primera opción reduce el error entre la aproximación de los resultados del modelo y la solución real en mayor medida, pero requiere un mayor tiempo de procesado.

Por otro lado está la cuestión del tipo de datos observables de los que se dispone. Por el momento disponemos de información de dos tipos. En primer lugar, para algunos casos concretos de incendios catalogados, que han sido analizados y estudiados rigurosamente, se dispone de la posición de perímetro alcanzado por el incendio en diferentes instantes de tiempo, generalmente cada hora, lo que llamamos perímetros intermedios. Esto nos indica hasta donde llegó el frente de fuego pero no con exactitud la posición y amplitud del frente activo, es decir, no proporciona de forma directa datos de temperatura y combustible que son los observables para la asimilación. Por tanto en este caso se necesita un trabajo previo de tratamiento de la información disponible para poder adaptarla al proceso de asimilación de datos. En concreto se está trabajando en esta cuestión en el ejemplo de un incendio ocurrido en Osoño (Orense) en agosto de 2009, que se menciona en el apartado 3<sup>o</sup>.5 de esta memoria, ver Figura 1.

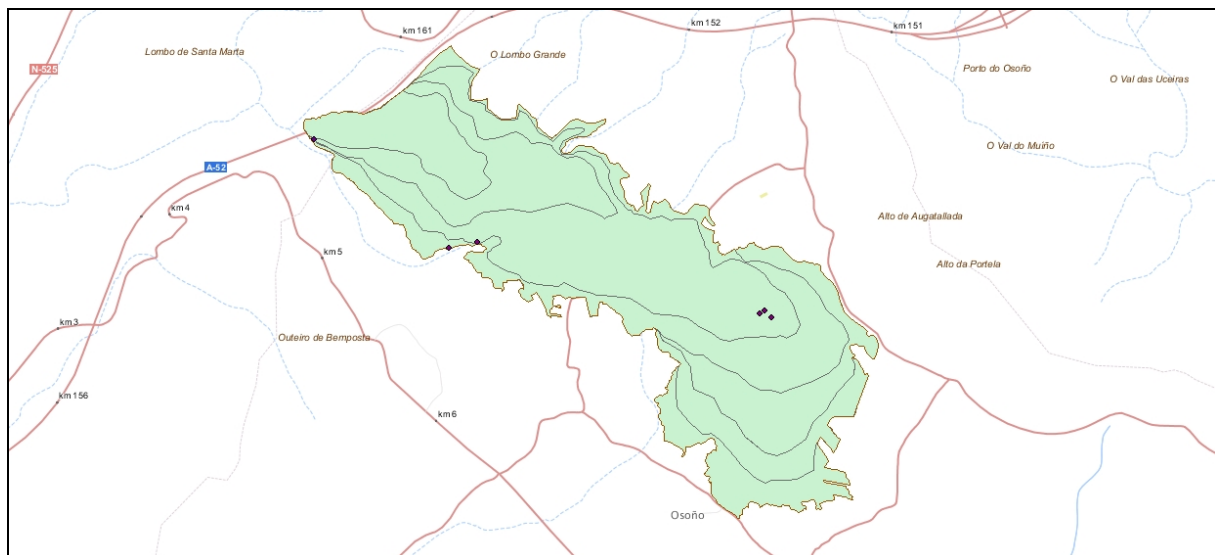


Figura 1. Perímetros intermedios y final, foco inicial y secundarios, del incendio de Osoño (Orense) del 17 de agosto de 2009.

En segundo lugar, gracias a la colaboración con la empresa Tecnosylva S.L. el grupo investigador tiene acceso a datos reales VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) provenientes de la NASA, que proporcionan lecturas de temperaturas en distintos puntos del terreno e instantes de tiempo, permitiendo un seguimiento más preciso y continuado del frente de fuego. Este tipo de datos se utilizan habitualmente en sistemas de alerta temprana de incendios, pero son de

enorme utilidad en la asimilación de datos pues proporcionan los observables necesarios, de modo que los modelos de simulación puedan mejorar sus predicciones incorporando datos precisos y en tiempo real. Se están llevando a cabo los primeros pasos para abordar la asimilación de datos a partir de datos VIIRS, ver Figura 2.



Figura 2. Datos VIIRS de un incendio ocurrido en Bear Creek, Missoula, Montana, EEUU, el 22 de septiembre de 2015.

En esta tarea están trabajando M.I. Asensio, L. Ferragut, J.M. Cascón y la empresa Tecnosylva S.L.

**4.- Mejoras en el código de los modelos PhFFS y HDWM.** (Tarea 1.4 recogida en la memoria inicial del proyecto).

Las mejoras en el código de los modelos PhFFS y HDWM son continuas, aunque su adaptación para plataformas de supercomputación se abordará tras la incorporación del becario postdoctoral, prevista para octubre de 2016, según los plazos establecidos por la Universidad de Salamanca en el proceso de convocatoria pública de dicha beca.

#### **5.- Modelo de viento HDWM.**

Paralelamente al modelo de propagación de incendios PhFFS, el grupo investigador ha desarrollado un modelo de campos de viento (HDWM) que aparece descrito en la memoria inicial, y que puede ser utilizado de forma independiente o conjunta con el modelo de propagación de incendios. Se ha estudiado la aplicación de la técnica de bases reducidas a dicho modelo de viento HDWM. Este modelo proporciona mediante la resolución de una EDP lineal en 2D, una descripción

precisa del viento en 3D y tiene en cuenta la difusión vertical, la conservación de la masa y la topografía, pudiendo considerar si se desea los gradientes térmicos en la superficie. El campo de viento se ajusta a las mediciones realizadas en diferentes puntos de observación a través de un problema de control óptimo en el que el flujo de viento actúa como un control en el contorno. Con el fin de utilizar el método de bases reducidas se ha realizado una descomposición afín en función de los parámetros relacionados con el coeficiente de rozamiento en la capa límite y las medidas de viento en los puntos de observación. Se ha diseñado también un estimador del error a posteriori que se necesita para llevar a cabo el proceso off-line en el método de las bases reducidas. Se han realizado ya unos primeros experimentos numéricos: un problema de prueba y un ejemplo correspondiente a un caso real en el área de Quintero-Puchuncaví (Chile V región), que corroboran el correcto comportamiento del método en ambos casos. Los resultados de este trabajo han sido recientemente publicados (ver Ref. [2])

En esta tarea están trabajando L. Ferragut, J.M. Cascón.

**6.- Recopilación y análisis de información de incendios reales.** (Tarea 2.1 recogida en la memoria inicial del proyecto).

Se ha trabajado en profundidad en el análisis de un incendio ocurrido en Osoño (Orense) en agosto de 2009, gracias a la cantidad de datos (perímetros intermedios y final, foco de inicio y focos secundarios, plan de actuación, fotos aéreas, datos meteorológicos, etc., ver Figura 3) de los que se disponen sobre este incendio, en el que participó el colaborador del proyecto Arsenio Morillo, como director de extinción, que es quien ha proporcionado al grupo toda esta información, así como su análisis experto del incendio.

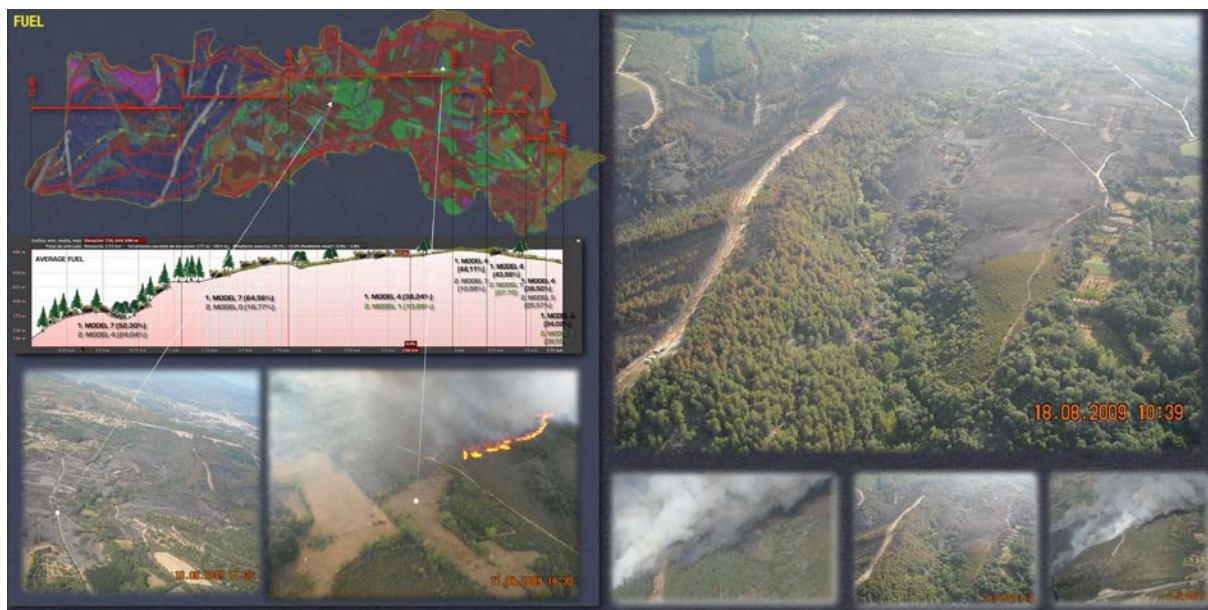


Figura 3. Datos de perímetros final e intermedios, combustibles y fotos aéreas del incendio de Osoño (Orense) del 17 de agosto de 2009.

La información de este caso concreto está permitiendo avanzar en varios de los objetivos planteados en la memoria inicial: asimilación de datos de perímetros intermedios, ajuste de parámetros del modelo, integración en GIS, y ha sido incluida como ejemplo en una publicación del grupo de investigación que está en proceso de revisión (ver Ref. [3]).

Tras las reuniones realizadas por el grupo investigador y la empresa colaboradora Tecnosylva S.L. se está procediendo a organizar la información y datos de incendios reales en España y Estados Unidos, así como el acceso a datos VIIRS I, provenientes de la NASA, que proporcionan puntos calientes sobre cualquier área de la superficie terrestre con una resolución de 375 m. Los datos son filtrados e interpolados por Tecnosylva S.L. con el fin de obtener una estimación del perímetro de un incendio en cada momento (ver Figura 4, del perímetro estimado del incendio de Bear Creek de la Figura2).

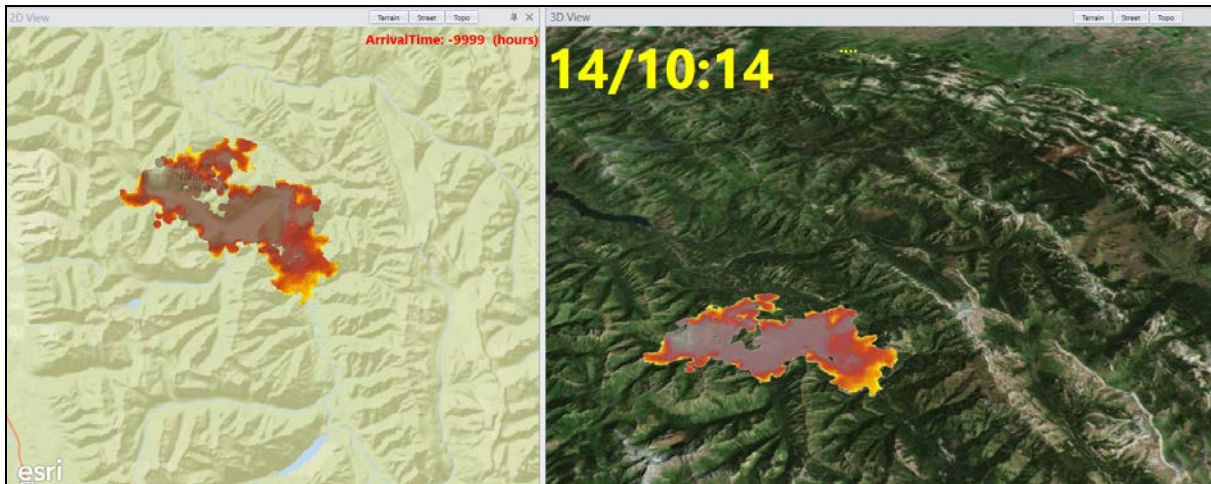


Figura 4. Perímetro estimado del incendio de Bear Creek, Bear Creek, Missoula, Montana, EEUU, el 22 de septiembre de 2015, a partir de datos VIIRS.

En los contactos con el Servicio Territorial de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León en Salamanca, se ha solicitado información y datos sobre incendios acaecidos en la provincia de Salamanca.

En esta actividad están trabajando M.I.Asensio, L. Ferragut, J.M. Cascón, la empresa Tecnosylva S.L, la Sección de Protección de la Naturaleza del Servicio Territorial de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León en Salamanca, y el colaborador A. Morillo.

**7.- Caracterización de combustibles forestales.** (Tarea 2.2 recogida en la memoria inicial del proyecto).

Miembros del grupo de investigación (M.I. Asensio, L. Ferragut) se han reunido en el Centro de Investigación Forestal de Lourizán con miembros del Departamento de Protección Forestal de dicho centro, dirigido por José Antonio Vega Hidalgo, pionero en España en la investigación de incendios forestales. La puesta en común del trabajo de ambos grupos de investigación abre varias vías de colaboración. Relacionado con los objetivos de este proyecto, se ha iniciado una colaboración en el ámbito de la clasificación de combustibles forestales según su comportamiento frente al fuego. Los datos de velocidad de propagación y longitud de llama, en función del viento, pendiente del terreno y tipo de combustible, publicados recientemente por el grupo de Lourizán (ver Ref. [4]) y que han puesto a disposición de nuestro grupo de investigación, en el marco de la colaboración de ambos grupos para el desarrollo de este proyecto, están permitiendo avanzar en el objetivo del ajuste del modelo PhFFS.

En esta actividad están trabajando L. Ferragut, M.I. Asensio y el Departamento de Protección del Centro de Investigación Forestal de Lourizán como entidad colaboradora.

## 8.- Integración en GIS, (Tarea 3.1 recogida en la memoria inicial del proyecto).

El modelo PhFFS comenzó a ser integrado en un Sistema de Información Geográfica (ArcGis) para la Comunidad Autónoma de Castilla y León (ver Ref. [5] y Figura 5).

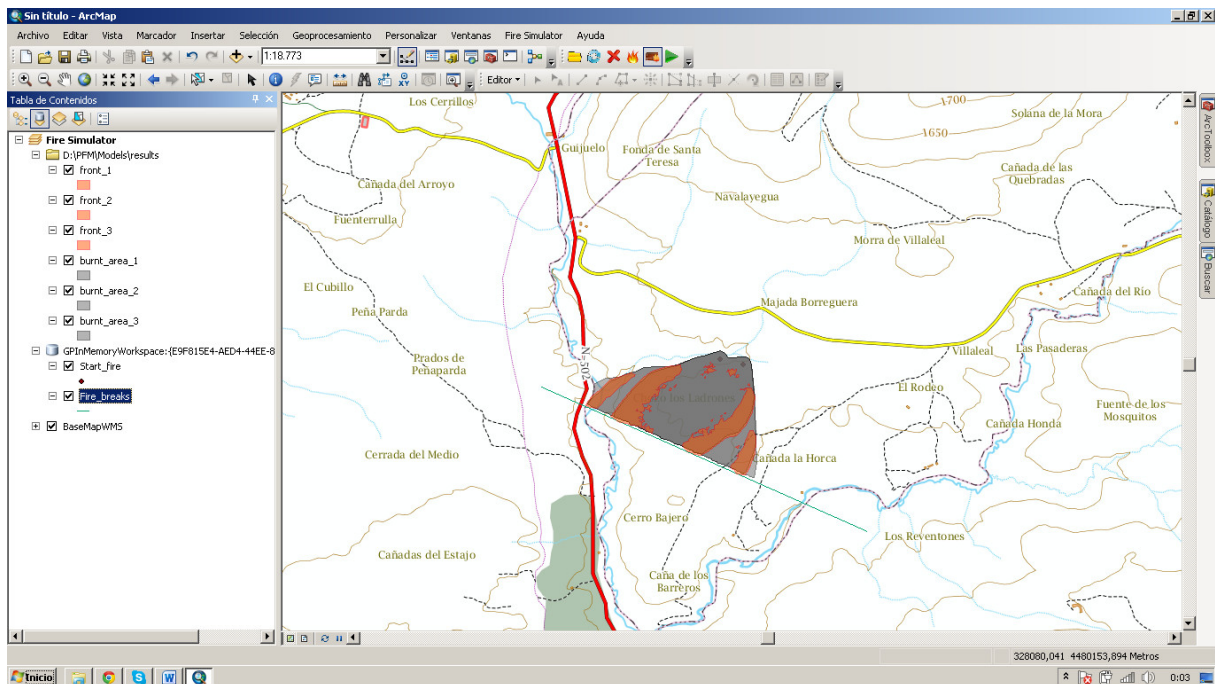


Figura 5. Imagen de la primera versión de la integración del modelo PhFFS en ArcGis para la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Se ha ampliado para su uso sobre todo el territorio nacional, generando una herramienta sobre ArcMap 10.3.1, mediante lenguaje Python y la librería ArcPy de Esri. Del mismo modo, se ha integrado el modelo de viento HDWM, para su uso por separado o de forma conjunta con el modelo de simulación de incendios PhFFS. La herramienta generada permite cargar los mapas base con toda la información geográfica y de cubierta vegetal necesaria, seleccionar el área de simulación, la posición de los focos de inicio del incendio y eventuales contrafuegos, introducir los datos meteorológicos de viento, procesar los datos para ser usados por los modelos PhFFS y HDWM, ejecutar estos modelos de forma independiente o conjunta, configurar los parámetros de los modelos y visualizar los resultados (ver Figura 6).

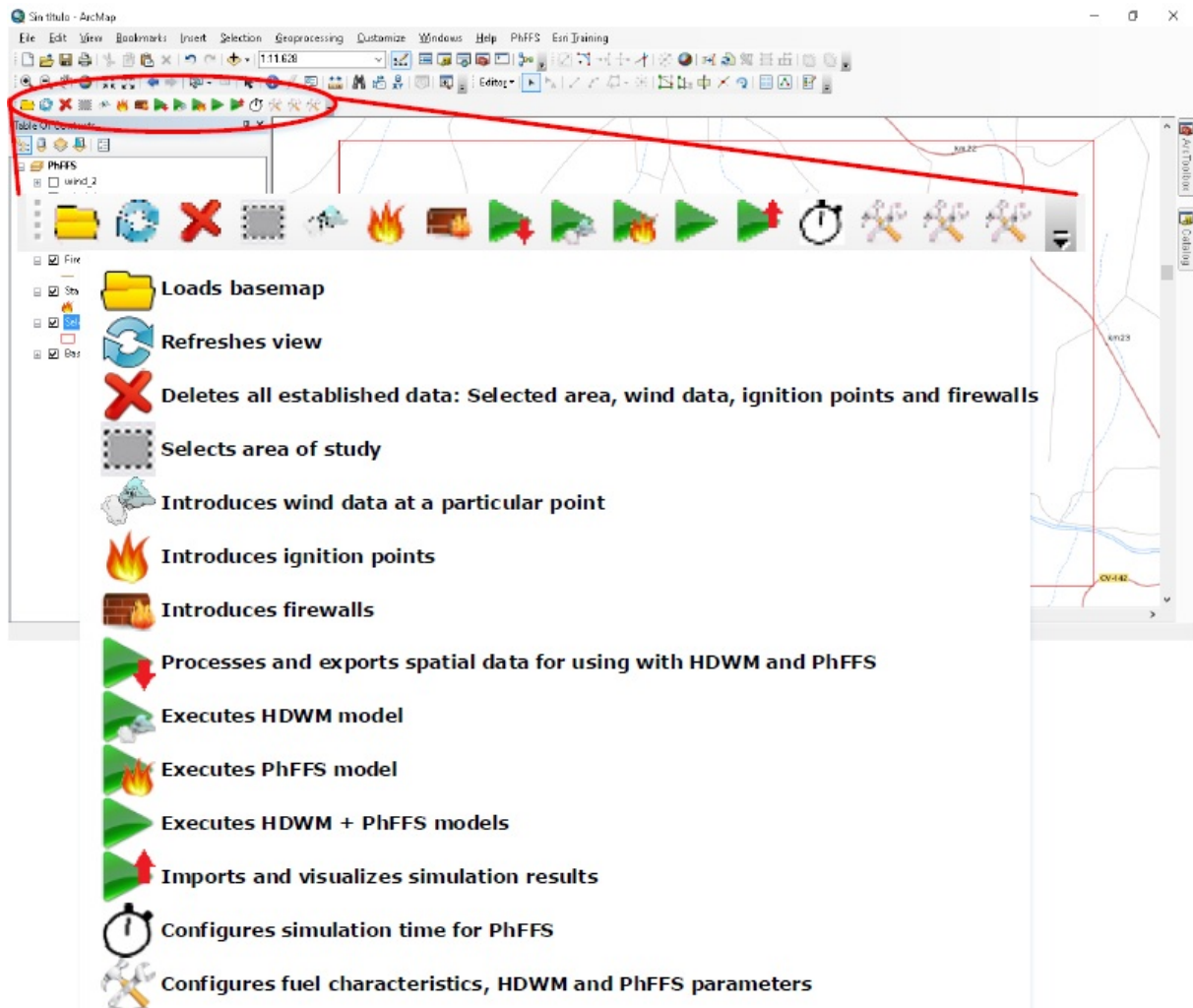


Figura 6. Detalle de las funcionalidades de la herramienta que integra los modelos PhFFS y HDWM en ArcGis.

La visualización de los resultados de las simulaciones permite comparar gráficamente las simulaciones con los datos reales, véase la Figura 7 en la que se compara el perímetro final real del incendio ocurrido en Osoño (Orense) en Septiembre de 2009, con el perímetro simulado con el modelo PhFFS, simulación en la que no se han tenido en cuenta las actuaciones de los equipos de extinción.



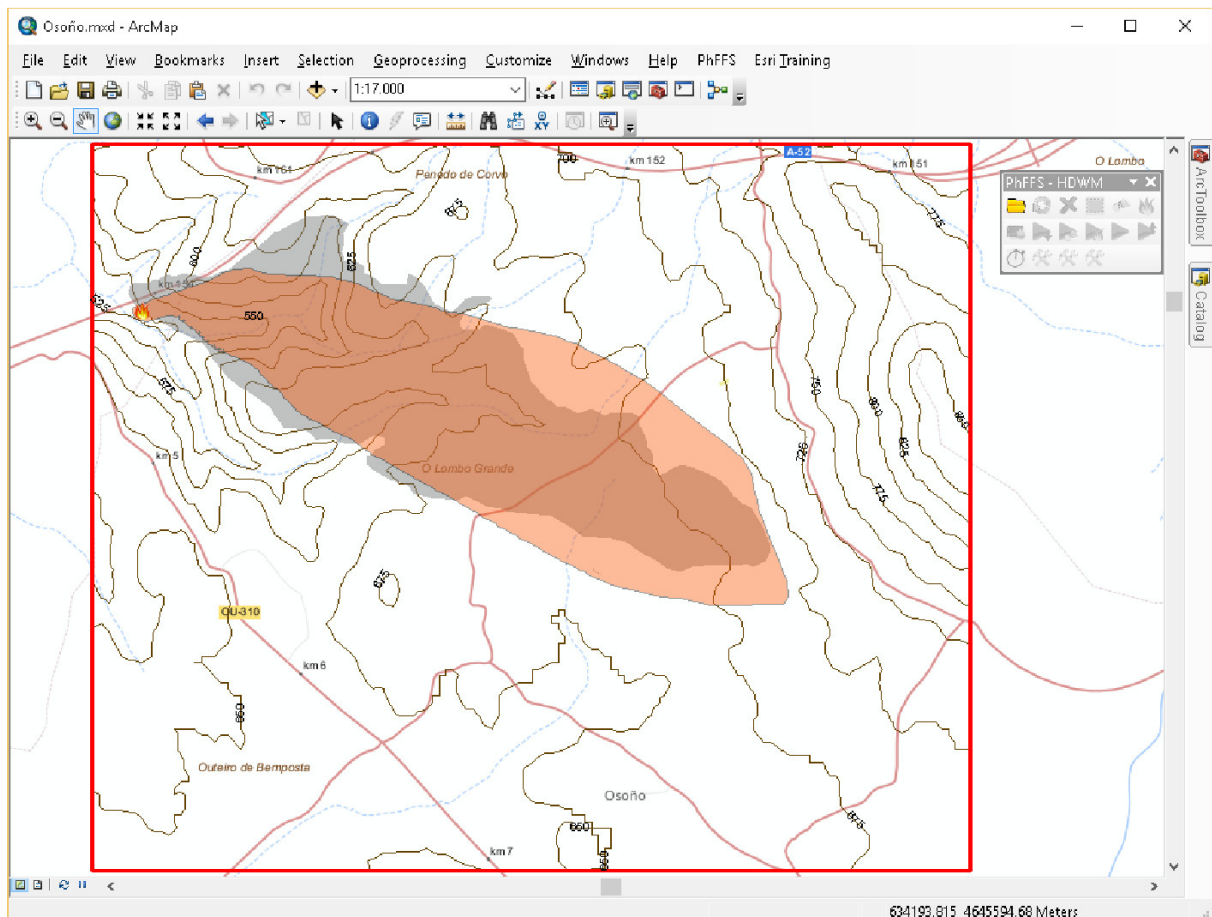


Figura 7. Comparación del perímetro final real (gris) del incendio de Osoño de Septiembre de 2009, con el perímetro simulado con el modelo PhFFS (naranja). En la simulación no se han incorporado las actuaciones de los equipos de extinción.

El trabajo realizado para la integración de los modelos PhFFS y HDWM en una plataforma GIS ha dado lugar a una publicación que actualmente está en proceso de revisión (ver Ref. [3]).

En esta actividad están trabajando M.I. Asensio, L. Ferragut, J.M. Cascón, y el colaborador A. Morillo, así como el alumno de doctorado, Diego Prieto, que actualmente está elaborando su tesis doctoral en el grupo de investigación.

### 9.- Actividades de gestión.

Se ha iniciado el procedimiento para la contratación del becario postdoctoral siguiendo los plazos y requerimientos establecidos por la Universidad de Salamanca. Una vez diseñadas las bases de la convocatoria pública, se le ha dado la mayor difusión posible a través de bolsas de trabajo de distintas universidades, sociedades de investigación, institutos y centros de investigación, así como la propia web del grupo investigador (<http://diarium.usal.es/sinumcc/postdoc/>), y se está a la espera de la resolución de dicha convocatoria.

Tal y como se reflejó en la memoria inicial del proyecto, se ha procedido a la mejora del equipo informático del que dispone el grupo investigador para el cálculo de las simulaciones, adquiriendo una nueva estación de trabajo DELL Precision Tower 5810 XCTO Base. Además de mejorar la capacidad de cálculo de la que dispone el grupo investigador, esta estación servirá de puesto base para el becario postdoctoral a contratar en el marco de este proyecto, por lo que se completará dicho equipo con financiación propia del grupo.

En esta actividad está trabajando la investigadora principal M.I. Asensio.

#### Metodología:

Tal y como se puso de manifiesto en la memoria inicial del proyecto, un aspecto clave para el desarrollo eficiente de este proyecto es la **interdisciplinariedad**, basada en la colaboración de investigadores y profesionales de diversas áreas de conocimiento: los propios investigadores del grupo entre los que se encuentran ingenieros y matemáticos con dilatada experiencia; otros grupos de investigación (Centro de Investigación Forestal de Lourizán) que aportan expertos en técnicas de protección contra incendios, mitigación del impacto ambiental del fuego, y combustibles forestales; la empresa privada (Tecnosylva S.L.) que aporta ingenieros forestales con diferentes perfiles y su experiencia en el sector privado; entidades públicas (Sección de Protección de la Naturaleza del Servicio Territorial de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León en Salamanca) que aporta personal con experiencia directa en la lucha contra incendios, al igual que el colaborador Arsenio Morillo.

Para que esta colaboración sea lo más eficiente posible, la **coordinación** de todos los grupos es esencial. Esta labor la realiza la investigadora principal, junto con la gestión y seguimiento del proyecto, en aras de optimizar la **eficiencia** del proyecto.

Las características particulares de este proyecto, enmarcado en una fase muy avanzada del desarrollo de un modelo de simulación de incendios, precisa de una labor de **documentación** exhaustiva, en cuanto a adquisición, gestión y tratamiento de datos de incendios reales.

#### **4º- Grado de consecución de los objetivos propuestos y otros posibles objetivos alcanzados**

Se han cumplido los objetivos previstos en el plan de trabajo para el primer año avanzando considerablemente en los objetivos previstos para el siguiente:

- Incorporación de la fase gaseosa (Tarea 1.1).
- Efecto de la radiación solar (Tarea 1.2).
- Asimilación de datos (Tarea 1.3).
- Recopilación y análisis de incendios reales, y simulación de los mismos con el actual modelo PhFFS (Tarea 2.1).
- Características de combustibles forestales (Tarea 2.2).
- Integración en ArcGIS del modelo actual PhFFS siendo ya operativo para todo el territorio nacional (Tarea 3.1).

Así mismo, se han alcanzado otros objetivos relacionados con el proyecto:

- Bases reducidas para el modelo de viento.

Se están llevando a cabo todas las tareas de gestión relacionadas con el proyecto, en particular las relativas a la beca posdoctoral.

#### **5º- Descripción global de los resultados alcanzados y repercusión de los mismos.**

Se han desarrollado las actividades previstas en el plan de trabajo alcanzando los objetivos previstos para la primera anualidad a pesar de lo reducido de las fechas. Los logros de dichos objetivos se están materializando en publicaciones en revistas de prestigio y transferencia de resultados, tal y como se recogen al final de este apartado, así como en el apartado 8º siguiendo las recomendaciones

establecidas para la redacción de las memorias anuales.

Por otra parte, también se han obtenido algunos resultados no previstos inicialmente en el plan de trabajo y que ha sido fruto del buen desarrollo de la investigación y la capacidad del grupo de adaptarse a las necesidades de la evolución del proyecto.

Las colaboraciones externas con otros grupos de investigación se han desarrollado satisfactoriamente siendo las mismas corroboradas por las publicaciones conjuntas a las que han dado lugar, las reuniones presenciales y virtuales celebradas, y el intercambio de datos e información.

No ha habido incidencias dignas de mención en el equipo de trabajo. En conclusión, el inicio del proyecto está siendo plenamente satisfactorio.

#### Publicaciones en revistas científicas (se incluyen cuartiles del último año disponible)

J.M. Cascón, A. Engdahl, L. Ferragut, E. Hernandez, A reduced basis for a local high definition wind model. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. Accepted. DOI:10.1016/j.cma.2016.08.028 (Impact Factor 2015: 3.467, cuartil 2015: Q1)

D. Prieto, M.I. Asensio, L. Ferragut, J.M. Cascón, A. Morillo. GIS-based interface development for a simplified physical windland fire model and a wind field model. En revisión.

#### Otras aportaciones

F. Díaz, H. Montero, D. Santana, G. Montero, E. Rodríguez, L.M. Aguiar, A. Oliver. Improving Shadows Detection for Solar Radiation Numerical Models. ESCO Congress 2016 (Pilsen, Czech Republic, Junio de 2016).

E. Rodríguez, G. Montero, A. Oliver, G.V. Socorro-Marrero, R. Montenegro, Wind Ensemble Forecasting Using Differential Evolution. ESCO Congress 2016 (Pilsen, Czech Republic, Junio de 2016).

### **6º- Interés de los resultados para el entorno socioeconómico**

Los incendios forestales son uno de los problemas medioambientales, sociales y económicos más significativos que amenazan a las superficies forestales. La herramienta desarrollada en esta anualidad y que debe validarse en los posteriores años permite anticiparse al comportamiento del fuego, elaborar mapas de riesgo y servir como soporte de decisión para los equipos de extinción.

El conocimiento generado puede ayudar a minimizar el riesgo ante incendios forestales y mitigar los daños derivados de los mismos, lo que sin duda, es de gran interés social, medioambiental y económico.

### **7º- Grado de innovación que se ha conseguido con la investigación**

En esta anualidad se ha trabajado en la mejora del actual modelo de simulación de incendios forestales PhFFS desarrollando diversos submodelos de la fase gaseosa y analizando los modelos de radiación solar para incorporar su efecto en la humedad del combustible. Se ha avanzado en la integración del modelo en un Sistema de Información Geográfica, ampliando la herramienta obtenida de un uso sólo sobre la comunidad autónoma de Castilla y León, a todo el territorio nacional.

Además, se ha iniciado el trabajo sobre la clasificación de combustibles en función de su comportamiento frente al fuego adaptada al modelo PhFFS. Igualmente se ha avanzado en la recopilación de datos de incendios forestales reales y su simulación con el modelo PhFFS.

Por todo lo anteriormente apuntado, el grado de innovación que se ha conseguido puede catalogarse como muy satisfactorio.

#### **8º- Difusión de los resultados del proyecto:**

A continuación se recogen por tipología la difusión de los resultados conseguidos en la primera anualidad 2016 del proyecto.

##### Artículos publicados:

J.M. Cascón, A. Engdahl, L. Ferragut, E. Hernandez, A reduced basis for a local high definition wind model. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. Accepted. DOI:10.1016/j.cma.2016.08.028

##### Artículos en proceso de revisión:

D. Prieto, M.I. Asensio, L. Ferragut, J.M. Cascón, A. Morillo. GIS-based interface development for a simplified physical windland fire model and a wind field model.

##### Congresos:

F. Díaz, H. Montero, D. Santana, G. Montero, E. Rodríguez, L.M. Aguiar, A. Oliver. Improving Shadows Detection for Solar Radiation Numerical Models. ESCO Congress 2016 (Pilsen, Czech Republic, Junio de 2016).

E. Rodríguez, G. Montero, A. Oliver, G.V. Socorro-Marrero, R. Montenegro, Wind Ensemble Forecasting Using Differential Evolution. ESCO Congress 2016 (Pilsen, Czech Republic, Junio de 2016).

Además se ha llevado a cabo la actualización de la información relativa a la investigación realizada en el marco de este proyecto en la web del grupo de investigación: <http://diarium.usal.es/sinumcc/>

#### **9º- Calendario de los desplazamientos realizados**

17/4/2016 Desplazamiento a la Escuela Politécnica Superior de Ávila para reunión con el Grupo de Investigación TIDOP (Tecnologías de la Información para la Documentación del Patrimonio, <http://tidop.usal.es/es/>). Una de las líneas de investigación este grupo es la aplicación de fotogrametría de bajo coste al inventario forestal, en la que tratan combinar la fotogrametría de bajo coste con datos LIDAR (a través de PNOA) para obtener modelos digitales de vegetación de alta calidad. Es evidente la relación de esta línea de investigación con los objetivos del presente proyecto, en concreto la generación de mapas de combustibles forestales adaptados al modelo PhFFS. Esta reunión se realizó para compartir la experiencia y conocimientos de ambos grupos de investigación en este tema y diseñar futuras colaboraciones. Los miembros del grupo que se desplazaron a esta reunión fueron M.I. Asensio y L. Ferragut.

22/6/2016 Desplazamiento al Centro de Investigación Forestal de Lourizán. El Departamento de protección forestal del Centro de Investigación Forestal de Lourizán, con su director José Antonio Vega Hidalgo al frente, son un centro pionero en la investigación de la protección forestal y el estudio del comportamiento del fuego forestal y su impacto sobre el arbolado y el suelo. La reunión de trabajo celebrada ha permitido poner en común el trabajo y objetivos de ambos grupos y ha abierto una línea de colaboración centrada en la clasificación de combustibles

forestales respecto a su comportamiento frente al fuego, siendo este uno de los objetivos específicos planteados en la memoria inicial. Los miembros del grupo que se desplazaron a esta reunión fueron M.I. Asensio y L. Ferragut.

Este viaje también permitió afianzar la colaboración con Arsenio Morillo, Ingeniero de Montes, con amplia experiencia de campo en la extinción de incendios forestales. Esta colaboración se ha traducido en la aportación de datos sobre incendios forestales ocurridos en Galicia. En concreto la información aportada sobre el incendio de Septiembre de 2009 ocurrido en Osoño (Orense), su análisis y estudio con el modelo PhFFS se describe en una publicación del grupo que está en proceso de revisión en la actualidad.

A lo largo de esta anualidad, y de forma continuada y numerosa se han realizado reuniones virtuales (vía Skype) con Tecnosylva, S.L. Estas reuniones no han sido presenciales pues los interlocutores de la empresa para el proyecto se encuentran actualmente en Estados Unidos y China.

### **10º- Cambios en la composición del equipo**

No ha habido cambios en la composición del equipo.

### **Referencias**

[1] F. Díaz, G. Montero, J.M. Escobar, E. Rodríguez, R. Montenegro. A new predictive Solar Radiation Numerical Model. Applied Mathematics and Computation, vol. 267, pp. 596-603, 2015.

[2] J.M. Cascón, A. Engdahl, L. Ferragut, E. Hernandez, A reduced basis for a local high definition wind model. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. Accepted. DOI:10.1016/j.cma.2016.08.028

[3] D. Prieto, M.I. Asensio, L. Ferragut, J.M. Cascón, A. Morillo. GIS-based interface development for a simplified physical windland fire model and a wind field model. En revisión.

[4] S. Arellano, J.A. Vega, A.D. Ruíz, A. Arellano, J.G. Álvarez, D.J. Vega, E. Pérez. Foto-guía de combustibles forestales de Galicia. Versión I. Andavira Editora, S.L., 2016.

[5] D. Prieto, (2013) Asimilación de datos en un modelo de incendios forestales e integración en GIS. Proyecto Fin de Master, Universidad de Salamanca. (Disponible en: <http://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/122173>)

María Isabel Asensio Sevilla  
Investigadora Principal