

# SERVICIO DE ALERTA TEMPRANA DE RIADAS RELÁMPAGO EN LA CUENCA DEL JÚCAR

Cristina Ariza Guerrero<sup>(1)</sup>, Óscar Alonso Lasheras<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>GMV Aerospace & Defence S.A., Isaac Newton 11, P.T.M. Tres Cantos (Madrid), cariza@gmv.es

<sup>(2)</sup>GMV Aerospace & Defence S.A., Isaac Newton 11, P.T.M. Tres Cantos (Madrid), oalonso@gmv.es

## 1. Introducción

El programa GMES (Global Monitoring for Environment and Security) es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea y la ESA con el objetivo de mejorar los sistemas de monitorización y vigilancia del medio ambiente para optimizar la gestión de los recursos y garantizar la seguridad de los ciudadanos.

Dentro de este marco se está desarrollando el proyecto RISK-EOS, que combina datos de satélite con técnicas de modelización para mejorar los servicios prestados a los ciudadanos en prevención, anticipación y gestión de crisis y post-crisis ante incendios, riadas y riesgos naturales en general.

Una de las participaciones de España en el proyecto RISK-EOS se centra en la implantación de un servicio de Alerta Temprana de Riadas Relámpago (Flash Flood Early Warning (FFEW)) en la cuenca del Júcar. Este servicio, desarrollado conjuntamente por Météo France International e Infoterra France, ya ha sido implantado en Francia e Italia como parte de RISK-EOS. En estos momentos, GMV Aerospace and Defence S.A. colabora con estas dos entidades para la implantación del servicio en España, la cual fue aprobada por la ESA a finales de 2006. Además de los ya mencionados, el desarrollo del proyecto cuenta con la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) como proveedor del servicio y con la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), quien actuará como usuario final y se encargará de la recepción y explotación de los productos generados.

## 2. El sistema FFEW

El servicio FFEW tiene como principal objetivo generar, en tiempo real, mapas de riesgo de inundación y desbordamiento de ríos usando como entrada distintos productos meteorológicos.

El sistema consta de dos componentes principales: el modelo AIGA (Adaptation d'Information Géographique pour l'Alerte) y la plataforma RiskFrame. El modelo AIGA, desarrollado por Météo France Internacional, es el cerebro del sistema. Toma como datos de entrada productos radar de precipitación y datos meteorológicos

diarios, y genera los productos de riesgo hidrológico y pluviométrico.

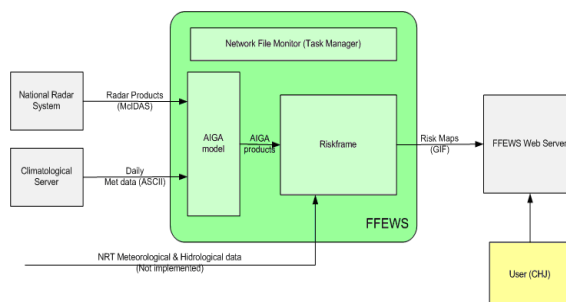


Fig. 1.- Diagrama de contexto de la implementación del Servicio de Alerta Temprana de Riadas Relámpago en la AEMET.

Para la explotación de los productos generados por AIGA se usa la plataforma RiskFrame, la cual ofrece diversas herramientas y módulos de visualización que ayudan a una mejor interpretación de los mismos. Existe además un tercer componente, el Task Manager, que se encarga de la comunicación y transferencia de información entre AIGA y RiskFrame. Finalmente, los productos así generados se pondrán a disposición de la Confederación Hidrográfica del Júcar a través de una página web destinada a tal efecto. En la Fig.1 se puede ver un diagrama en el que aparece esquematizada la estructura del sistema FFEW.

A continuación se explican con más detalle las características tanto de los productos de entrada y salida como de los componentes del sistema.

### 2.1. Datos de entrada

*Datos para la configuración del servicio.* Permiten la adaptación y configuración del servicio a las características de la cuenca, incluyendo:

- *Datos geográficos y de observación de la Tierra:* Sirven para generar modelos hidrológicos y para determinar los periodos de retorno de las escorrentías. Estos datos incluyen: límites de las cuencas y subcuencas, red hidrológica, geología, uso del terreno, modelo de elevación del terreno, etc.
- *Datos históricos meteorológicos e hidrológicos:* Se utilizan para generar una base de datos climatológica usando la

metodología SHYPRE, desarrollada por el instituto francés Cemagref. Para la configuración a la cuenca del Júcar se han utilizado datos de precipitación cada 5 minutos desde 1990 hasta 2007 y diarios desde 1986 hasta 1996 para más de un centenar de estaciones, además de datos de caudal cada 5 minutos y medidos en 50 estaciones desde 1990 hasta 2006.

*Datos para el funcionamiento en modo operacional del servicio.* La ejecución en tiempo real del sistema, para la generación de los mapas de riesgo requiere la ingestión de los siguientes productos:

- Datos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación acumulada para un conjunto de estaciones repartidas a lo largo de la cuenca. Estos datos se recibirán vía e-mail o ftp desde un Servidor Climatológico que recoge y procesa la información de la red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de la AEMET.
- Productos de precipitación radar cada 10 minutos. Estos productos se proveerán vía ftp, en formato McIDAS y proyección Lambert, y contendrán información sobre la reflectividad radar, permitiendo estimar la intensidad de precipitación a una resolución de 2x2 km<sup>2</sup> en un radio de 480 km. El Sistema Nacional Radar de la AEMET es el encargado de la adquisición, centralización y composición de todos los productos regionales radar que generan la Red de Radares Meteorológicos. El sistema FFEW, en modo operacional, trabajará con las composiciones nacionales radar recortadas al tamaño y posición del producto regional del radar de Valencia. Como se discutirá más adelante, esto solucionará problemas de no detección de lluvia debidos a efectos de atenuación por la orografía del terreno que aparecen en el producto regional.

## 2.2. El modelo AIGA

Como ya se ha citado, el modelo AIGA es el componente encargado de generar los mapas de riesgo tanto pluviométrico como hidrológico.

A partir de los datos de radar que llegan en tiempo real, AIGA dispone de un campo de lluvias espacial y temporal. Comparando estos datos con una base de datos históricos, AIGA es capaz de predecir los riesgos pluviométricos. La base de datos histórica ha sido desarrollada por la empresa francesa HYDRIS usando el método SHYPRE de Cemagref y los datos de configuración del servicio anteriormente citados.

Para el cálculo de las escorrentías AIGA hace uso del modelo SCS (Soil Conservation Service). Según este modelo la escorrentía viene dada por la siguiente expresión:

$$R = \frac{(P - 0.2J)^2}{(P + 0.8J)} \quad (1)$$

donde  $P$  es la cantidad de lluvia acumulada en un tiempo  $t$  y  $J$  es el parámetro de humedad de suelo, el cual es calculado por AIGA diariamente. Conociendo esta descarga efectiva en la zona de influencia de un río, y mediante una ley de adición aplicada a los  $N$  píxeles que ocupa dicha zona, se podrá calcular la cantidad de caudal en la desembocadura del río. Comparando este dato de caudal con los datos históricos en ese mismo punto se podrá determinar si existe o no riesgo hidrológico.

La forma en la que AIGA caracteriza los riesgos tanto pluviométricos como hidrológicos depende de la frecuencia de los mismos. Las bases de datos generadas por HYDRIS a partir de la información geográfica de la cuenca y datos históricos de caudal y precipitación, incluyen mapas de precipitación y escorrentía para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años. Como se comentará más adelante, el nivel de riesgo se calculará por comparación entre los valores de caudal o de lluvia acumulada obtenidos con el FFEWS y los valores de los mapas de precipitación históricos de periodo de retorno de 2, 10 y 50 años.

## 2.3. La Plataforma RiskFrame

Una vez que AIGA ha generado los mapas de riesgo, estos pueden ser visualizados usando la plataforma RiskFrame (Fig.2). Dicha plataforma es un sistema de herramientas de gestión de riesgos basado en GIS (Geographical Information System) y desarrollado por Infoterra France que permite explotar toda la información generada por AIGA. La plataforma consta de varios módulos:

- *Módulo de monitorización.* Permite visualizar los mapas de riesgo, datos meteorológicos (cantidad de lluvia caída en 10 minutos para un determinado radar), superficie inundada, gráficas de medidas tomadas en estaciones de la cuenca y acceder a sitios web de información meteorológica.
- *Módulo de lluvia.* Permite la visualización de la lluvia acumulada durante 1, 2, 4, 6, 12, 24, 48 o 72h y su comparación con la base de datos histórica para el mismo tiempo de acumulación. Así mismo también permite visualizar los mapas históricos de acumulación para diferentes

periodos de integración y distintos periodos de retorno.

- *Módulo de caudal.* Permite visualizar el caudal cada 10 minutos y su comparación con los históricos de caudal, los cuales también podrán ser visualizados.

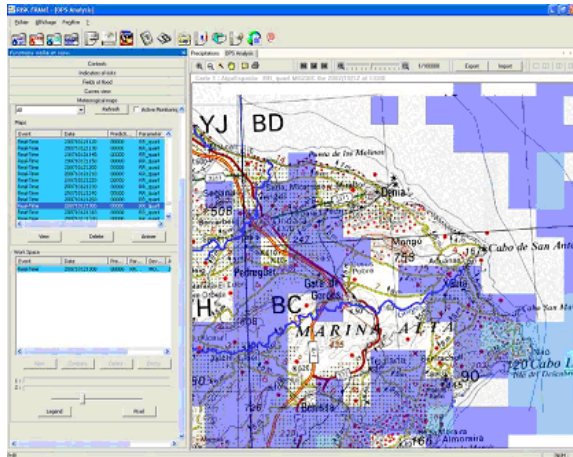


Fig. 2.- Plataforma RiskFrame. Precipitación de radar.

#### 2.4. Producto final: los mapas de riesgo.

Los productos finales y de más importancia generados por el FFEWS son los mapas de riesgo. Existe la posibilidad de elegir si se desea obtener sólo el riesgo hidrológico, el pluviométrico, o ambos sobre el mismo mapa. Los mapas así obtenidos se actualizan cada 10 minutos y tienen una resolución de 1km<sup>2</sup>. En ellos, el riesgo pluviométrico viene indicado mediante coloración de los píxeles sobre el mapa mientras que el riesgo hidrológico viene representado por la coloración de los ríos. Se distinguen tres tipos de riesgo:

- *Nivel amarillo o nivel 1:* Corresponde a un periodo de retorno de entre 2 y 10 años y supone un nivel de riesgo bajo.
- *Nivel naranja o nivel 2:* Corresponde a un periodo de retorno de entre 10 y 50 años y supone un nivel de riesgo moderado.
- *Nivel rojo o nivel 3:* Corresponde a un periodo de retorno de más de 50 años y supone un nivel de riesgo alto.

Además los mapas de riesgo están representados sobre un mapa cartográfico para la mejor localización de las áreas de riesgo.

Los mapas se generan en formato JPEG y serán puestos a disposición del usuario final, la CHJ, a través de una página web como la que se muestra en la Fig.3.

### 3. Validación del Servicio. Procesado del episodio de lluvias del 12 de Octubre de 2007.

#### 3.1. Simulación con productos radar

Aunque el principal objetivo de FFEWS es la producción de mapas de riesgo en tiempo real, el sistema también permite el procesado de un episodio de lluvia pasado, ejecutando el servicio en modo “simulación”.



Fig. 3.- Prototipo del servicio WEB de Productos del Servicio FFEW .

Para comprobar que el sistema, habiendo sido configurado y adaptado a la cuenca del Júcar, genera productos que se ajustan a la realidad, se escogió el episodio de lluvia que tuvo lugar los días 11 y 12 de Octubre de 2007. Dicho evento se sabe que provocó importantes daños en la zona de Valencia y Alicante, con lo cual, obteniendo los mapas de riesgo para esos días y comparándolos con datos reales obtenidos por la AEMET se podrá verificar si el sistema es realmente fiable.

Con este fin se recuperaron las imágenes de mosaico radar comprendidas en el intervalo de tiempo del 3 al 13 de Octubre de 2007, ya que es necesario procesar varios días previos al comienzo del evento para que AIGA pueda generar el modelo de humedad del suelo. Con estos productos radar debidamente recortados, junto con datos de temperatura máxima, mínima y precipitación acumulada en 24 horas, se ejecutó el software del FFEWS en modo simulación. Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios debido a problemas en los productos de entrada. Así, durante los momentos de mayor intensidad de precipitación el radar de Murcia dejó de funcionar, estando disponible tan sólo el radar situado en Valencia. Sin embargo, es importante destacar que el uso de este radar no es suficiente para cubrir correctamente todo el área afectada por las intensas precipitaciones, ya que sus productos muestran claros efectos de atenuación provocados por la orografía del terreno (ver Fig.4 y 5). Por lo tanto, en

los mapas de riesgos generados por el Servicio FFEW para este evento no apareció riesgo alguno y no se pudo validar el servicio.

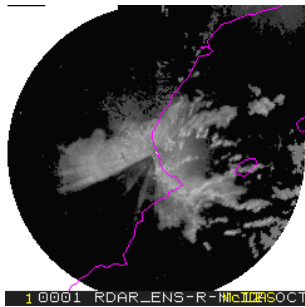


Fig.4. (Izquierda) Imagen radar ENS diezminutal del 12 Octubre 2007 a las 04:50. Se aprecia claramente cómo los efectos de atenuación por orografía hacen imposible que el radar obtenga dato de reflectividad.

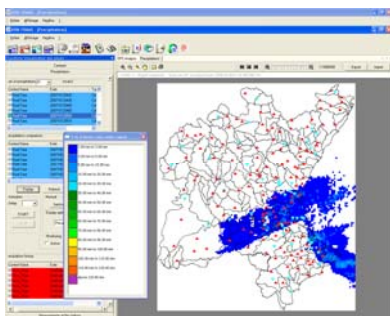


Fig.5. Precipitación acumulada en 1h el día 12 de Octubre de 2007 a las 5:00h. Incluso en los productos procesados por el FFEWS se sigue apreciando el patrón provocado por la atenuación debida a la orografía.

En vista de estos resultados, se intentó buscar algún otro evento sobre la zona con mejores datos radar. Hasta seis eventos más, comprendidos entre 2004 y 2007, fueron estudiados, pero ninguno de ellos resultó reunir las condiciones necesarias para la validación.

### 3.2. Simulación con productos CRR (Convective Rainfall Rate)

Retomando el evento del 11 y 12 de Octubre de 2007, se intentó buscar otro tipo de productos de precipitación para estas fechas. De esta manera, se decidió hacer uso del producto Convective Rainfall Rate (CRR) generado por el Satellite Application Facility (SAF) de predicción inmediata del MSG (SAFNWC/MSG).

El SAFNWC/MSG es un paquete software para la generación operacional de hasta 12 productos meteorológicos derivados, principalmente, de las imágenes adquiridas con el instrumento SEVIRI a bordo de los satélites Meteosat (MSG). Uno de estos productos, el CRR, proporciona una estimación de la precipitación convectiva a partir de la reflectividad observada en el canal visible y de las temperaturas

de brillo obtenidas en dos bandas, Infrarroja y de Vapor de agua.

No obstante, estos productos CRR también presentan problemas respecto a los productos radar. A parte de la menor resolución espacial (de 3km) o errores de paralaje, estudios previos de validación muestran que la cantidad de lluvia derivada de estos productos es siempre muy inferior a la deducida a partir de productos radar o de la medida in-situ.

Para poder determinar en qué factor se estaría subestimando la precipitación en caso de trabajar con los productos CRR, se calculó la acumulación de lluvia en las 48 horas que comprenden los días 11 y 12. Buscando el máximo de precipitación acumulada en estas 48 horas, el cual resultó ser 149.6mm, y comparándolo con datos publicados por AEMET, según los cuales el máximo fue de unos 450mm, se dedujo que la precipitación acumulada calculada a partir de productos CRR es 3 veces inferior a la publicada por AEMET. Multiplicando por este factor la precipitación acumulada calculada se obtuvo un mapa de precipitación muy similar al obtenido por AEMET (Fig.6). Con lo cual, aplicando este factor a todos los productos CRR se podrá reproducir el evento de forma bastante aproximada.

El siguiente paso fue adaptar estos productos CRR a los requisitos de entrada del sistema FFEW. Para ello se intentó “simular” unos productos radar a partir de los productos CRR., recalibrando, re proyectando y recortando estos últimos para lograr tener las mismas características que los productos radar que el sistema FFEWS es capaz de ingestar.

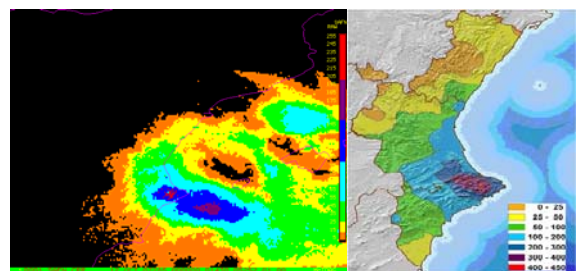


Fig.6.- Izquierda: Precipitación, en mm, acumulada en los días 11 y 12 de Octubre de 2007 calculada a partir de productos CRR. Derecha: Acumulación, también en mm, para esos mismos días publicada por la AEMET.

Además, los productos deberán tener la frecuencia adecuada. Recordemos que el FFEWS acepta imágenes radar cada 10 minutos. Sin embargo los productos CRR son generados cada 15 minutos. Para solventar este problema se crearon dos nuevas imágenes, la de la hora y 10 minutos y la de la hora y 20 minutos, como una copia de la imagen CRR correspondiente a la hora y 15 minutos. Un proceso similar se llevó a cabo para las de la hora y 40

minutos y las de la hora y 50 minutos, copiando esta vez la imagen de la hora y 45 minutos.

Tras todo este preprocesado de imágenes se lanzó de nuevo el sistema FFEW en modo simulación, obteniendo los resultados que se discuten a continuación.

### 3.3. Resultados de la simulación.

#### 3.3.1. Análisis de los mapas de acumulación de lluvia.

Los mapas de acumulación horaria de lluvia son bastante útiles para tener una idea de cómo evolucionó el evento. En la Fig.7 aparecen los mapas de acumulación horaria desde las 6:00h de la madrugada a las 10:00h de la mañana del día 12. Alrededor de las 9:00h se produce el máximo de precipitación horaria, llegándose a alcanzar valores de entre 90 y 100mm/h en zonas cercanas a la población de Tollos, y superándose los valores del mapa histórico de precipitación horaria con periodo de retorno de 2 años.

En la Fig.8 se muestran los mapas de acumulación de 24 horas para los días 11 y 12. Claramente, la mayor cantidad de precipitación se produjo durante el día 12, en el que se llegaron a superar los 330mm, sobrepasando los valores históricos de periodo de retorno de incluso 10 años.

Todo ello se traducirá en mapas de riesgo pluviométrico mostrando al menos nivel 1 de alerta, como se discutirá a continuación.

#### 3.3.2. Mapas de riesgo.

En la Fig.9 se presentan, para cada hora, los mapas de riesgo generados por el FFEWS.

A las 6:00h comienza a aparecer riesgo pluviométrico de nivel 1 y riesgo hidrológico también de nivel 1 en los ríos Serpis y afluentes, Gorgos, Guadalest y Algar. A medida que pasa el tiempo el riesgo pluviométrico se va extendiendo más por las comarcas de la Marina Alta, Comtat y Marina Baixa, y a las 9:00h el riesgo hidrológico en el río Serpis y sus afluentes pasa a ser de nivel 2, mientras que prácticamente la totalidad de los ríos de la zona pasan a mostrar riesgo de nivel 1. A las 11:00h se mantiene el nivel 1 de riesgo pluviométrico sobre la zona de Alcoy y las poblaciones cercanas a los ríos Vallaseta y Serpis, se mantiene el nivel 1 de riesgo hidrológico en la mayoría de los ríos y el nivel 2 en el Serpis y afluentes, sumándose también a la alerta naranja el Sella y el Guadalest. A partir de las 13:00h el riesgo pluviométrico prácticamente desaparece, pero aún se mantiene el riesgo hidrológico en todos los ríos anteriormente citados.

## 4. Conclusiones

GMV Aerospace and Defence S.A. en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología, la Confederación Hidrográfica del Júcar, Météo-France Internacional e Infoterra France están desarrollando un proyecto para la Agencia Europea del Espacio en el marco del proyecto Risk-EOS de GMES para la implantación de un Servicio de Alerta Temprana de Riadas Relámpago en la cuenca del Júcar.

Tras una primera fase para la configuración del sistema a las características de la cuenca se ha procedido a la verificación y validación del mismo mediante el reprocesado de un evento pasado, en este caso el episodio de lluvias del 12 de Octubre de 2007.

Tras un primer intento de ejecución del servicio FFEWS usando como entrada productos radar extraídos del mosaico nacional, los resultados que se obtuvieron no fueron satisfactorios debido al mal funcionamiento del radar de Murcia, el cual cubre la zona que el radar de Valencia es incapaz de alcanzar debido a efectos de atenuación por orografía.

Como sustituto a los productos radar, se ha estudiado el uso de la estimación de precipitación proporcionada por el producto Convective Rainfall Rate del SAFNWC/MSG. Tras un preprocesado para la adaptación de estos productos al sistema FFEWS se volvió a lanzar la simulación, obteniendo una serie de mapas de acumulación de lluvia y de riesgos, los cuales, en un primer testeo visual frente a los datos ofrecidos por la AEMET para esas fechas, parecen ajustarse bastante a lo que cabía esperar. Sin embargo, para poder asegurar la fiabilidad del sistema se deberá llevar a cabo una validación mucho más exhaustiva contrastando los resultados obtenidos con datos reales de riesgo proporcionados por la CHJ y la AEMET.

Durante este mes de Abril de 2008, GMV seguirá trabajando en la validación del sistema y comenzará la puesta operacional del mismo en las dependencias de la AEMET, quien actuará como proveedor del servicio. Se espera que para primeros de Mayo de este mismo año ambas tareas hayan concluido satisfactoriamente y la CHJ pueda comenzar a obtener en tiempo real los mapas de riesgos generados por el FFEWS.

## 5. Referencias

GMES. <http://www.gmes.info/>.  
RISK-EOS. <http://www.risk-eos.com>  
CHJ. <http://www.chj.es>  
AEMET <http://www.aemet.es>  
GMV: <http://www.gmv.es>

**Mapas de Precipitación Acumulada en 1 hora**

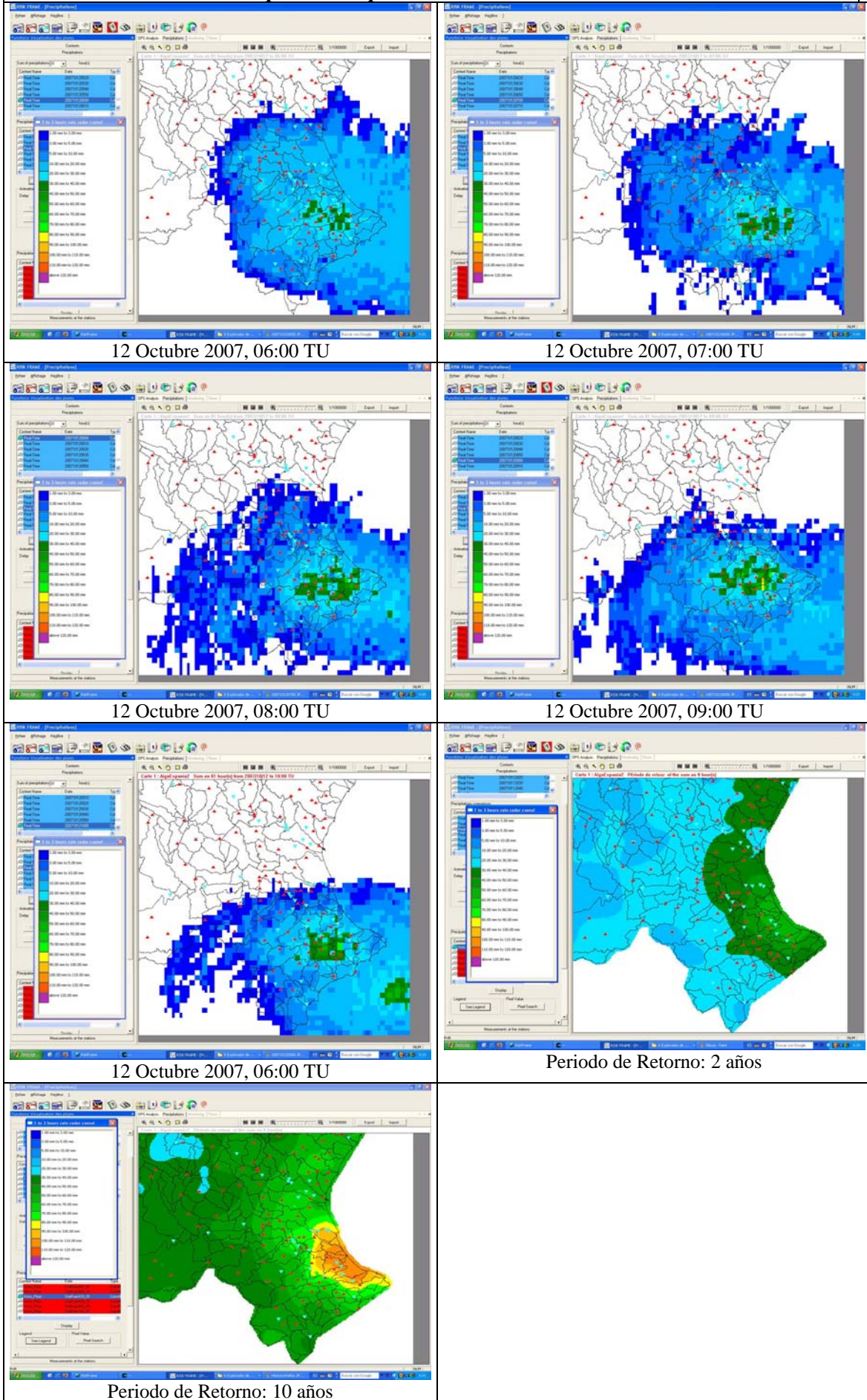
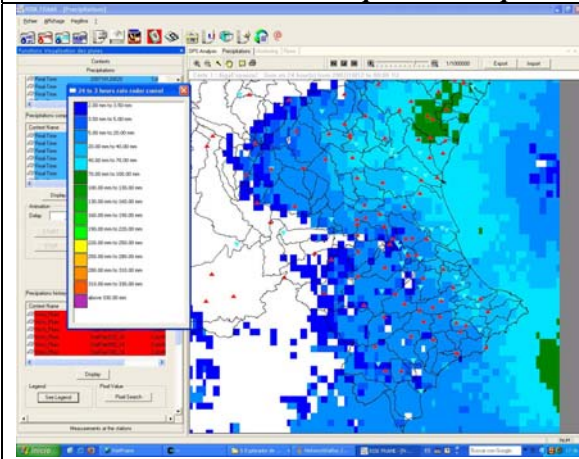
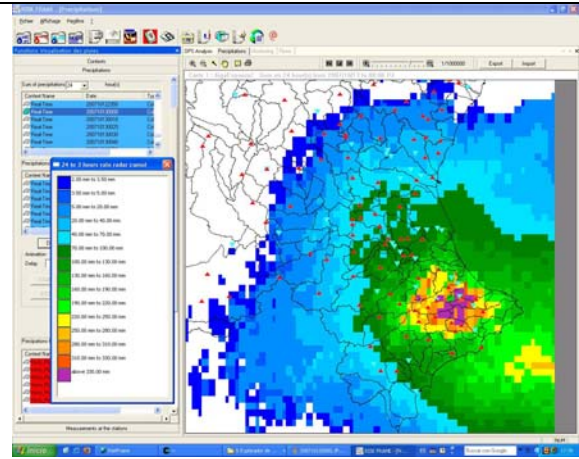


Fig.7.- Acumulación horaria de lluvia en diferentes instantes calculada por el FFEWS. Mapas históricos para el mismo tiempo de acumulación

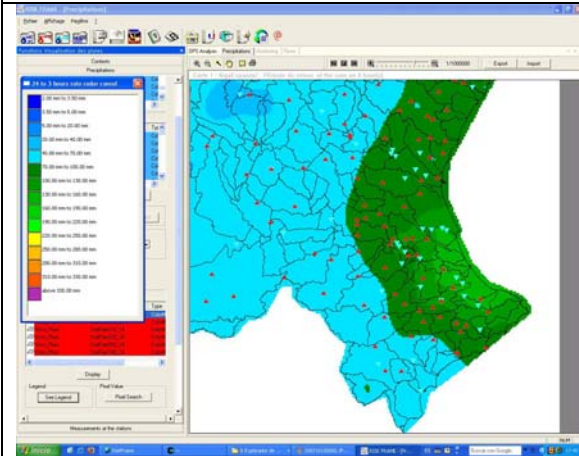
**Mapas de Precipitación Acumulada en 24 horas**



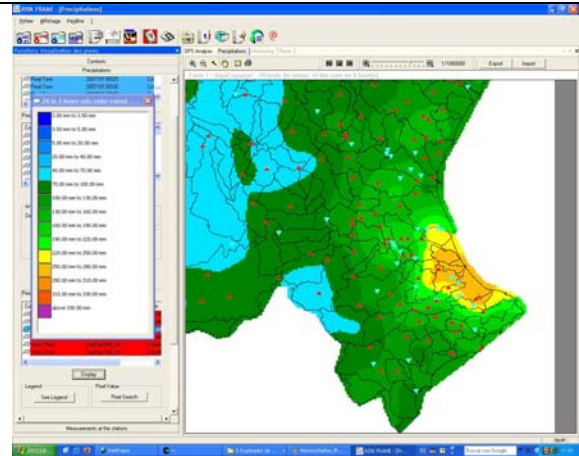
12 Octubre 2007, 00:00 TU



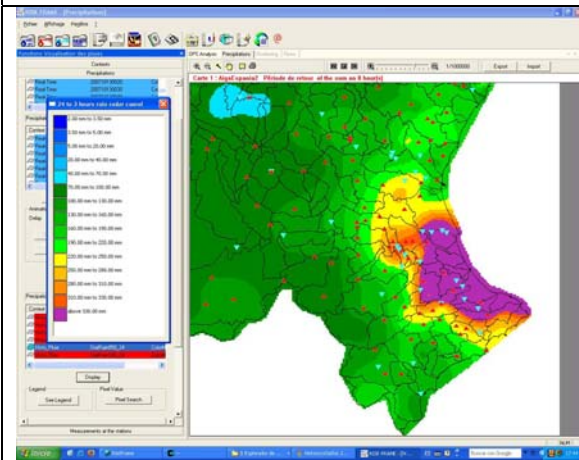
13 Octubre 2007, 00:00 TU



Periodo de Retorno: 2 años



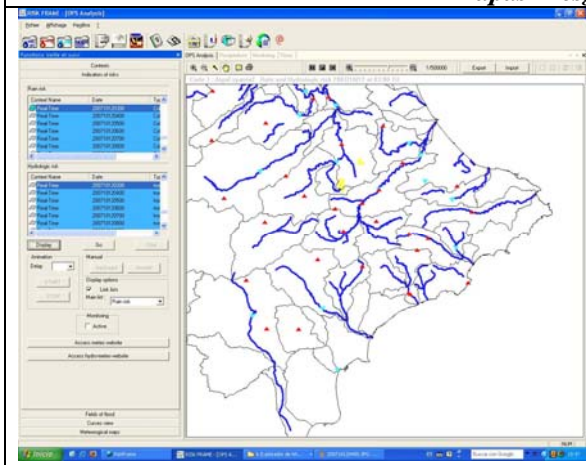
Periodo de Retorno: 10 años



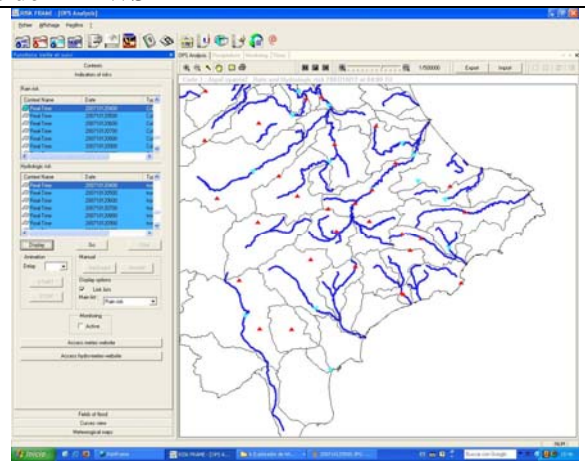
Periodo de Retorno: 50 años

Fig.9.- Acumulación de 24 horas de lluvia en diferentes instantes calculada por el FFEWS. Mapas históricos para el mismo tiempo de acumulación

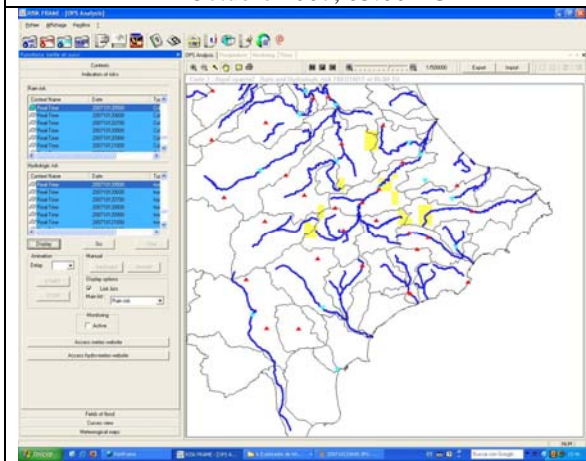
*Mapas Riesgo del FFEWS*



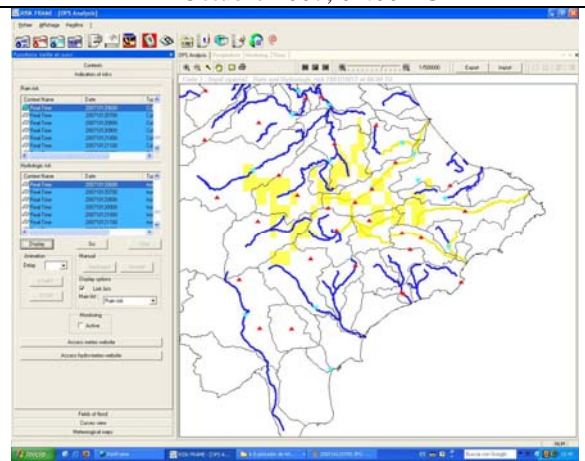
12 Octubre 2007, 03:00 TU



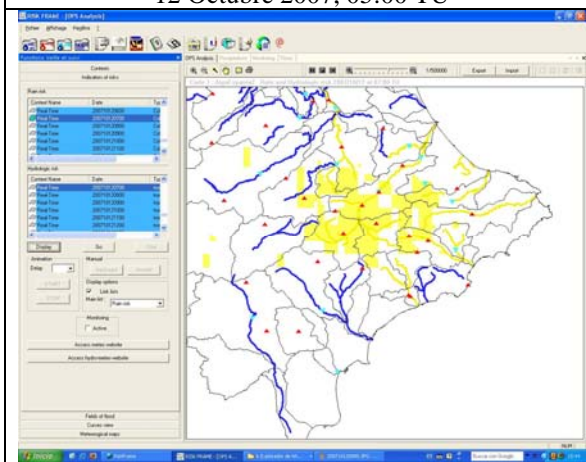
12 Octubre 2007, 04:00 TU



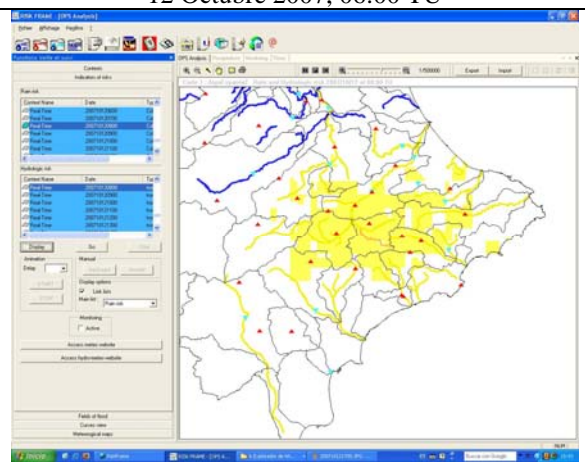
12 Octubre 2007, 05:00 TU



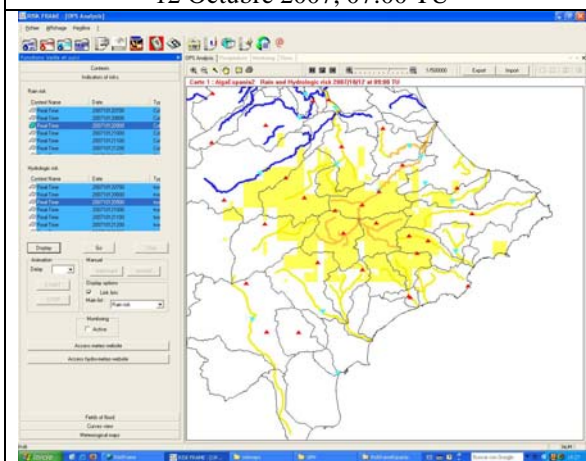
12 Octubre 2007, 06:00 TU



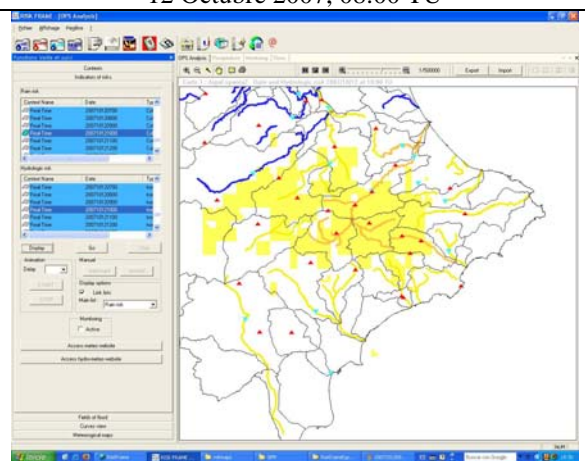
12 Octubre 2007, 07:00 TU



12 Octubre 2007, 08:00 TU



12 Octubre 2007, 09:00 TU



12 Octubre 2007, 10:00 TU



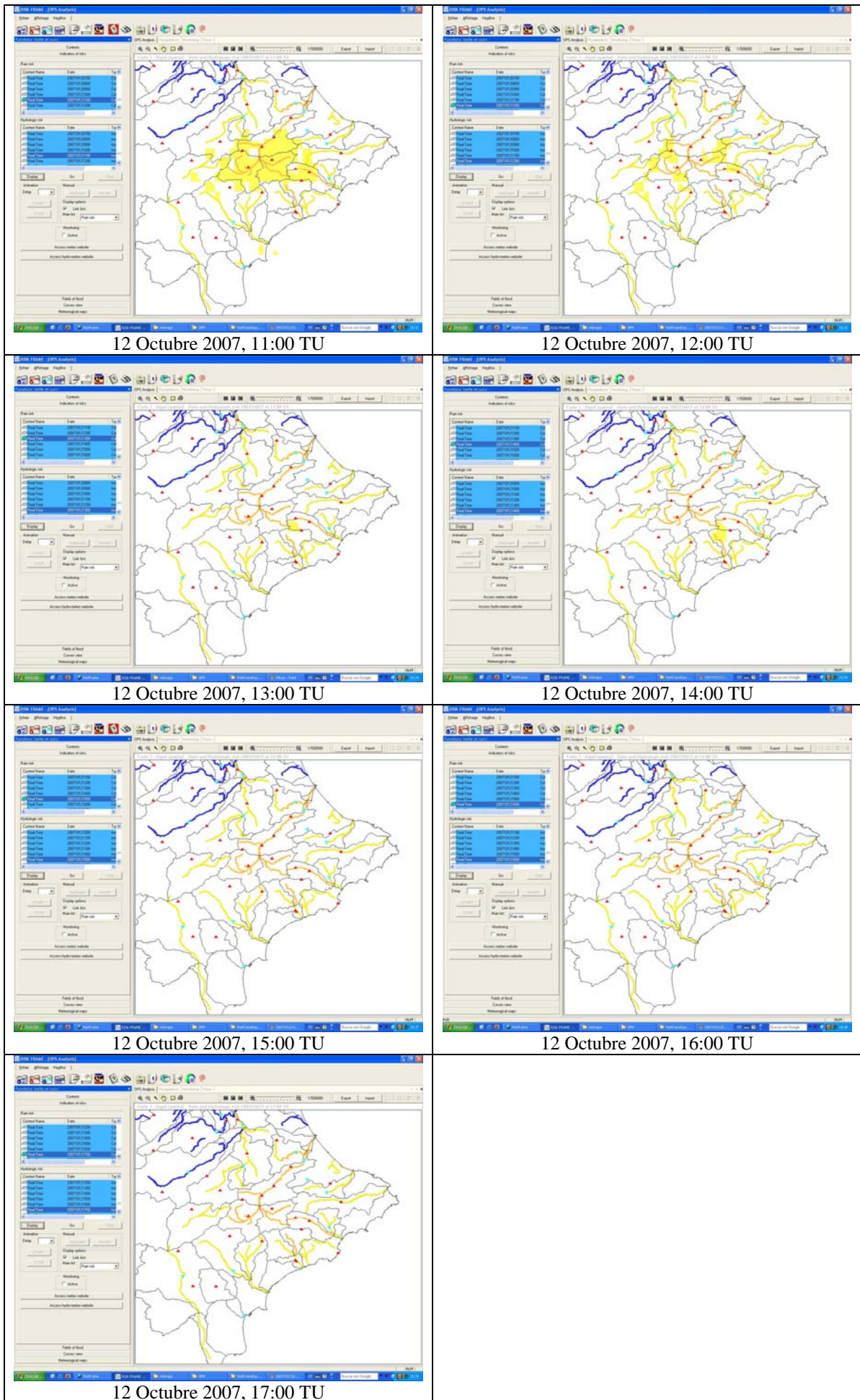


Fig.10.- Mapas de riesgo pluviométrico e hidrológico desde las 3:00h a las 17:00h