

Sistema automatizado de alerta temprana ante el peligro de inundaciones

MSc. Maray Garrido Monagas. e-mail: maray@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH)

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae)

Dr. Modesto Ricardo Gómez Crespo. e-mail: modesto@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH)

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae)

Dr. Alcides Juan León Méndez. e-mail: aleonm@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH)

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae)

RESUMEN

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que más afectan a Cuba. En el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae) se lleva a cabo el diseño de un sistema automatizado capaz de apoyar en la toma de decisiones ante la ocurrencia de inundaciones. Esto último le facilitará a las instancias responsables de la evacuación tomar medidas más certeras. La modelación de las inundaciones es un proceso complejo donde intervienen múltiples factores tanto naturales como sociales. En el artículo se realiza un análisis de los conceptos, herramientas, y metodologías que se consideran importantes en el estudio de las inundaciones, reflejando el estado actual en la solución del sistema que se propone.

Palabras clave: alerta temprana, inundaciones, modelación de inundaciones, tiempo diferido, tiempo real.

Automated system for early warning of potential flooding

ABSTRACT

Floods are one of the natural disasters more affecting Cuba. In the Hydraulic Research Center (CIH) belonging to the Faculty of Civil Engineering of the Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae) is being developed the design of an automated system capable of supporting decision-making at the occurrence of floods. The latter will provide the authorities, which are responsible for an eventual evacuation, to make more accurate decisions. Flood modeling is a complex process involving multiple factors both natural and social. The article makes an analysis of the concepts, tools, and methodologies that are considered important in the study of floods, reflecting the current state of the system in the proposed solution.

Keywords: deferred time, early warning, flood, flood modeling, real time.

INTRODUCCIÓN

El archipiélago cubano está expuesto a diversas amenazas o peligros naturales, tecnológicos y sanitarios debido a un conjunto de factores entre los que se encuentran su ubicación geográfica, clima y relieve. Según la “Guía para la realización de estudios de riesgo para situaciones de desastres” presentada por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil de la República de Cuba en agosto del 2005 (Defensa Civil 2005) existen peligros que se pueden considerar recurrentes, ya que están presentes cada año y en un periodo específico, como los huracanes, depresiones tropicales, penetraciones del mar e intensas sequías. Los eventos hidrometeorológicos severos son la principal amenaza del país, existiendo una gran población que habita en áreas de riesgo por huracanes, tormentas tropicales, lluvias intensas e inundaciones por diferentes causas (Defensa Civil 2005).

Los elementos fundamentales a procesar u obtener como información básica para el estudio de las inundaciones en una cuenca rural son: el mapa de la cuenca (en soporte duro y digital) a una escala apropiada, fotoplano si existe, el análisis puntual y regional de las lluvias máximas, la obtención de los parámetros morfométricos, las características del suelo y la vegetación, la geología, las características de los embalses (de existir) y la información que aportarán las estaciones de medición. Estos elementos servirán para poder modelar el complejo sistema que permitirá el análisis y pronóstico de las avenidas en cierres de interés y las diferentes alternativas de solución, sobre bases científicas, ambientales y tecnológicas más objetivas.

En relación con el análisis integral del control y pronóstico de las avenidas tomando en consideración todos los elementos que intervienen en su formación, y utilizando modelos hidrológicos para eventos extremos máximos que permiten este procesamiento del sistema cuenca como un todo, la experiencia en el país es limitada (Rodríguez 2011).

A nivel internacional el tratamiento de este tipo de problema se está llevando a cabo con la aplicación de tecnologías computacionales, tales como los sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), los software de la familia HEC (Hydrologic Engineering Center), el SWMM (Modelo de Gestión de Tormentas de Agua) y el SWM (Modelo de cuenca Stanford), con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Toriman y Mazlin 2002).

En el CIH de la Cujae se desarrolla una propuesta de integración de herramientas informáticas para la alerta temprana ante el peligro de inundaciones rurales provocadas por intensas lluvias (Garrido 2012).

El presente artículo tiene como objetivo fundamental describir las principales herramientas informáticas involucradas en la propuesta antes mencionada y su integración.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALERTA TEMPRANA

En el sistema se integran la adquisición y procesamiento de la información con la simulación del proceso en tiempo real, a través de cuatro componentes principales: modelos de simulación, sistema de información geográfica, adquisición y supervisión de datos en tiempo real y diferido y una base de datos histórica actualizada, tal como se muestra en la figura 1.

Modelos de Simulación: En el caso particular de las inundaciones el sistema interactúa con dos modelos principales: el HEC-HMS (USACE 2001) y el HEC-RAS (Nanía 2007) encargados del procesamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca respectivamente.

Sistema de Información Geográfica: El sistema cuenta con un Sistema de Información Geográfica (SIG) personalizado para cada región de trabajo. Esta es una de las herramientas principales pues es responsable de almacenar y administrar la información de índole geográfica que se manejará. Además es el encargado de visualizar la información generada por los modelos matemáticos a través de mapas, tablas y gráficos.

Adquisición y supervisión de datos en tiempo real y diferido: La adquisición y supervisión de los datos en tiempo real se hace a través de un sistema SCADA. En el caso de la información en tiempo diferido se puede introducir manualmente o utilizando registradores de variables.

Base de datos histórica actualizada: Es el componente central del sistema, pues constituye la base de información necesaria para el funcionamiento de los elementos que lo componen, jugando así un papel fundamental como elemento integrador.

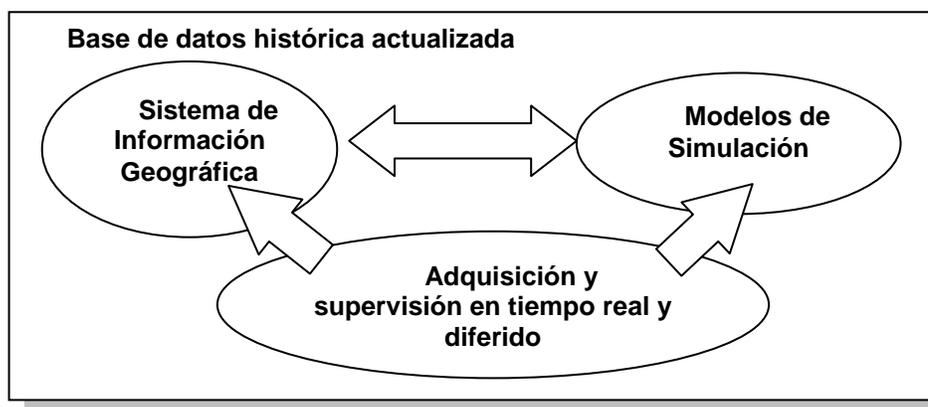


Figura 1. Componentes principales del sistema

MODELOS MATEMÁTICOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

La modelación se considera parte integrante de la gestión de las inundaciones, empleando modelos tanto para la planeación y el diseño, como para la predicción de la misma.

Existen reportados actualmente un conjunto elevado de herramientas informáticas de simulación hidrológica e hidráulica. Un estudio realizado por los autores (Garrido 2012) demuestra que la mayoría de las herramientas de simulación hidrológica son libres, sin embargo ocurre todo lo contrario con las de modelación hidráulica que, a excepción del HEC-RAS, son comerciales.

Existe un número elevado de estudios reportados en la bibliografía que utilizan los modelos HEC-RAS y HEC-HMS obteniendo resultados satisfactorios. Teniendo en cuenta que son herramientas de libre distribución, que se vinculan armónicamente con el SIG mediante las herramientas HEC-GeoHMS (USACE 2009) y HEC-GeoRAS (Cameron 2009), que existe una documentación amplia y detallada de su funcionamiento y que múltiples estudios realizados con su empleo avalan su calidad, se decidió emplear el HEC-HMS para la modelación hidrológica y el HEC-RAS para la modelación hidráulica.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La inclusión de un SIG al sistema automatizado de alerta temprana constituye un elemento muy importante, ya que representa la principal interfase de interacción del personal de operación en el puesto central o sala de despacho, con la información de los recursos de campo y demás datos de la geografía.

La representación espacial de la información además de brindar a los especialistas una visión más amplia de la región de estudio, les permite analizarla y estudiarla con mayor profundidad, ya que el SIG incluye información de diversa índole como por ejemplo: uso de suelos, información hidrológica, información hidrográfica, información topográfica, entre otras. También es capaz de representar la información generada por la corrida del modelo matemático en forma de mapas, lo cual constituye un soporte importante para el trabajo de los especialistas.

Se decidió utilizar como herramienta SIG el ArcGis 9.3 (ESRI 2004), ya que brinda un conjunto amplio de funcionalidades y además las últimas versiones de las herramientas Hec-GeoRAS 4.2 y Hec-GeoHMS 4.2 están implementadas para dicha versión.

Esta herramienta, además de brindar las funcionalidades principales de los sistemas de información geográfica, es personalizable y permite la inclusión de nuevas funciones mediante extensiones y scripts que pueden ser programadas en el lenguaje ArcObject.

El SIG contiene la información geográfica general de la cuenca, la cual sirve de entrada a los modelos y los mapas resultantes de las corridas. La herramienta debe satisfacer un conjunto de requisitos entre los que se encuentran: las operaciones básicas del trabajo con mapas, el preprocesamiento de la información hidrológica, el preprocesamiento y posprocesamiento de la información hidráulica, la visualización de la información de los instrumentos de tiempo real instalados en la cuenca y la administración de la base de datos geográfica. También es muy importante que la herramienta se integre armónicamente con el resto de los componentes del sistema.

ADQUISICIÓN Y SUPERVISIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL Y DIFERIDO

Una de las características que diferencian al sistema automatizado de alerta temprana ante el peligro de inundaciones de otras herramientas para el control de este tipo de fenómenos es contar entre sus componentes principales con un sistema de adquisición y supervisión de datos en tiempo real y diferido cuyo esquema se representa en la figura 2.



Figura 2. Recursos que involucran la adquisición y supervisión de los datos en tiempo real y diferido

En la concepción del sistema propuesto, se consideró un esquema flexible de adquisición y monitoreo de la información a captar mediante el equipamiento e instrumentación de campo, que permite, a partir del estudio y análisis de cada una de las variables de interés de la automatización, su clasificación y agrupamiento según sus características temporales y relevancia (Garrido 2012).

Las variables a medir en el sistema de alerta temprana se especifican en la tabla 1.

Tabla 1. Variables a medir en el sistema de alerta temprana

Dato	Vía de Entrada	Frecuencia
Lámina de lluvia (mm)	SCADA/Registrador	5 min, 20min,1h,1 día
Nivel (cota del agua)(cm)	SCADA/Registrador	15 min
Escurrimiento (m ³ /s)	SCADA/Registrador	1 hora, 1 día o en evento
Intensidad de Lluvia (mm/h)	SCADA/Registrador	15 min

Una vez establecida la frecuencia del muestreo de cada variable, la siguiente decisión a tomar es el modo o momento en que su información es recibida en la sala de despacho y registrada en la base de datos.

Tiempo real

El modo de actualización en tiempo real (TR), se adopta para aquellas variables en las que se puede aceptar que no media tiempo entre el momento de su lectura y el momento de su registro en el sistema. Generalmente estas variables están asociadas a estaciones de autómatas, con conexión en línea al sistema de comunicación, que integra el sistema SCADA.

Tener todas las variables del sistema disponibles en tiempo real sería lo ideal, pero en la mayoría de los casos esto no es posible debido al costo de los medidores, controladores y del sistema de comunicación.

Por otro lado, existen fenómenos donde la variación en la magnitud de determinadas variables es tan lenta que no justifican una transmisión en tiempo real. Esto hace que la estrategia en cuanto a la captura de información y transmisión a la sala de despacho se deba adecuar para cada aplicación.

Los objetivos del sistema SCADA son los siguientes:

- Monitoreo y control sobre las variables: lámina de lluvia, nivel en el cauce, escurrimiento e intensidad de la lluvia en la cuenca.
- Reducir los niveles de operación del personal, a través de la automatización o mediante la operación del sistema desde una sola sala de despacho minimizando la necesidad de visitas rutinarias a sitios remotos.
- Almacenar datos sobre el comportamiento de la cuenca ante la ocurrencia de intensas lluvias y, por lo tanto, lograr el total cumplimiento de los requerimientos de reporte para los decisores.
- Suministrar información sobre la situación de la cuenca en cualquier instante de tiempo y establecer procedimientos efectivos para la comunicación remota con los recursos de campo.
- Establecer un sistema de alarma que permita alertar a los decisores ante una situación que pueda producir inundaciones en la cuenca.

La herramienta seleccionada para implementar el sistema SCADA es el Wizcon 8.3 (Axeda 2002). El SCADA para el sistema automatizado de alerta temprana ante el peligro de inundaciones cuenta con dos pantallas fundamentales: la pantalla principal donde se muestra la cuenca con los instrumentos de medición ubicados y los valores de las variables medidas (precipitación o nivel según sea el caso) y una segunda pantalla donde se detalla el instrumento de campo que se seleccione y se visualizan sus propiedades y estado actual tal como muestra la figura 3.

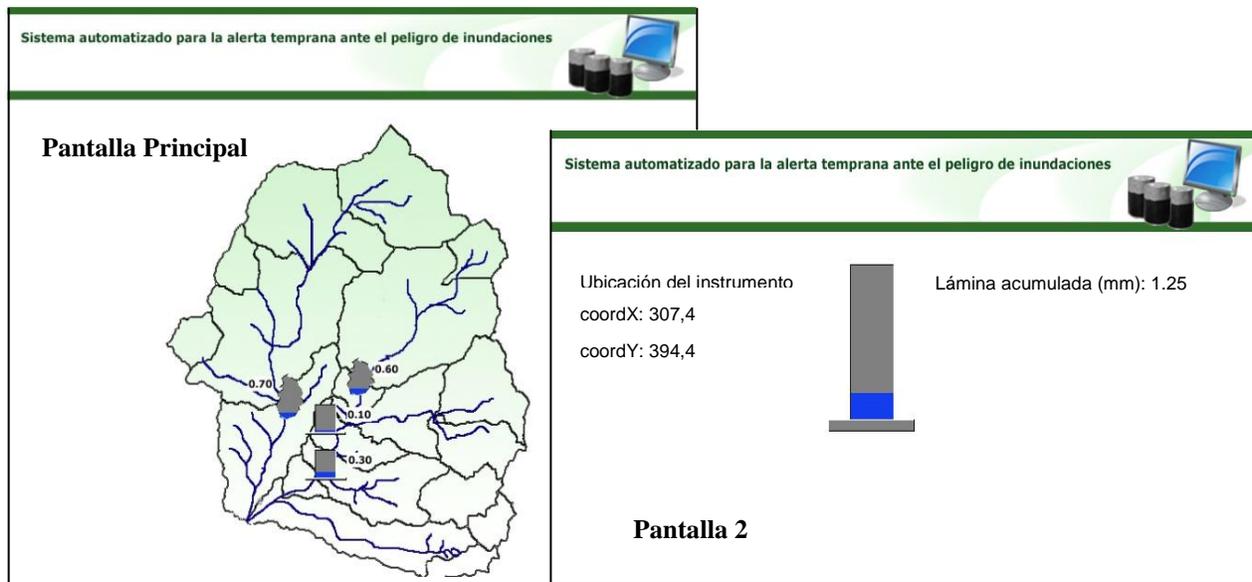


Figura 3. Pantallas principales del SCADA

Tiempo diferido

La tecnología para el tratamiento del dato en *tiempo diferido* (TD) consta de tres elementos fundamentales: el equipo para el registro de las variables, la memoria de registro y el programa de aplicación para la interpretación y preprocesamiento de la información contenida en la memoria de registro.

El empleo de equipos registradores de variables en las localizaciones de campo donde las especificidades de la operación lo permitan, constituyó una estrategia de la propuesta de solución. La utilización de estos equipos permite obtener los valores de un subconjunto de las variables a procesar, sin necesidad de utilizar y saturar el medio de transmisión en tiempo real. Las mediciones se almacenan en un dispositivo y se descargan a la base de datos del sistema, vía PC, de forma periódica.

El equipo utilizado es un registrador de variables diseñado en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Las memorias de registro, también diseñadas en el CIH, cuentan con una interfase compatible con algunos de los puertos de la PC y tienen como objetivo acoplarse a los equipos registradores de variables para el almacenamiento de información en la instalación de campo.

Se diseñó e implementó el software PluvioProc (Garrido 2012) que permite la interpretación y preprocesamiento de la información de la lámina de lluvia contenida en la memoria. Entre sus objetivos fundamentales se encuentran: gestionar la información de los equipos instalados en la cuenca, descargar los datos contenidos en la memoria hacia la PC y procesar los mismos.

La herramienta cuenta con una interfaz sencilla y amigable que le permite al especialista en pocos pasos obtener los resultados esperados.

El procesamiento de los datos de lluvia en la versión 1.0 se centra en obtener a partir de los datos de lluvia caída en una fecha determinada los siguientes resultados: gráfico de la curva de masa, puntos de inflexión, gráfico del hietograma y el gráfico del hietograma posprocesado (para un Δt constante).

La figura 4 muestra la pantalla principal de la herramienta con el gráfico de la curva de masa correspondiente a una fecha determinada.

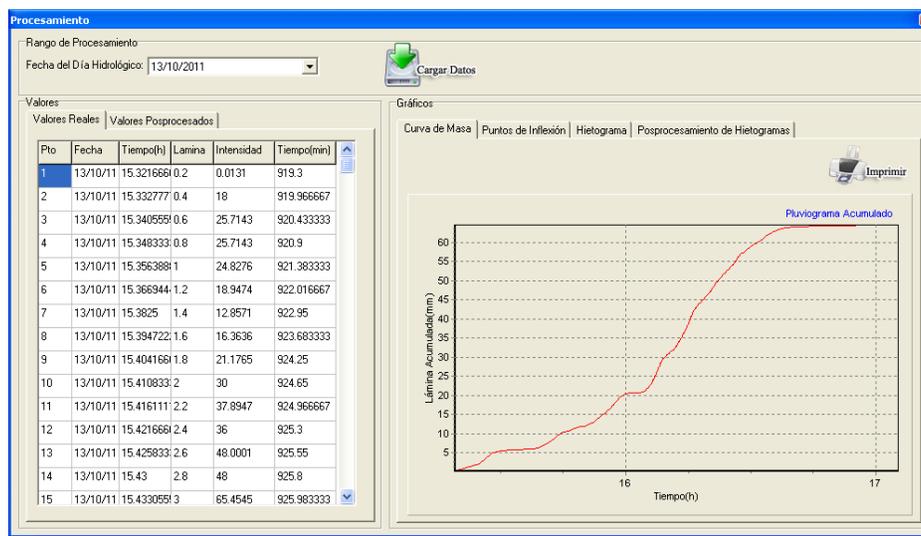


Figura 4. Gráfico de la curva de masa obtenido con la herramienta PluvioProc

BASE DE DATOS HISTÓRICA ACTUALIZADA

Una de las peculiaridades que tiene el sistema es que almacena, además de la información alfanumérica común, datos de naturaleza geográfica y temporal, característica que le imprime un alto grado de complejidad al diseño de la base de datos. Por otro lado no todos los gestores brindan soporte para datos espaciales, por lo que este fue un elemento importante a tener en cuenta en la elección del mismo.

La figura 5 muestra un esquema general de las entidades identificadas en el diseño de la base de datos y sus relaciones.

La implementación del sistema automatizado para la alerta temprana ante el peligro de inundaciones requiere de una base de datos inicial, ya que como se mencionó anteriormente debe contarse con un grupo de informaciones, en su mayoría de índole geográfica, para el buen funcionamiento de los modelos matemáticos.

La formación de la base de datos es un proceso que nunca termina y que, mediante su actualización, el sistema se hace más efectivo al identificarse aún más con las particularidades del problema a resolver.

Una vez generada la base de datos inicial con la información histórica que se disponga, la puesta en marcha del sistema actualiza sistemáticamente esta base de datos por las vías referidas anteriormente. La posibilidad de disponer de un mecanismo automatizado de actualización de la información que tribute a la conformación de una base de datos histórica en línea, es un valor

agregado de esta tecnología que posibilita su desarrollo incremental y además ofrece nuevas oportunidades para el estudio y análisis de otros procesos de interés para los decisores.

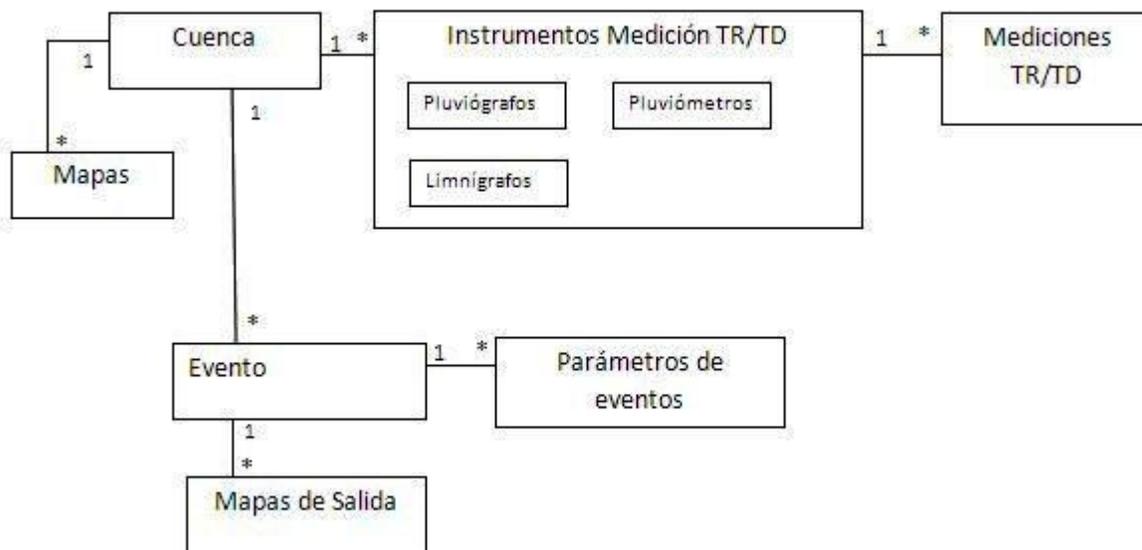


Figura 5. Entidades generales identificadas en el diseño de la base de datos del sistema
 (Los símbolos 1 y * representan la cardinalidad de la relación que se establece entre las entidades, ej: una cuenca (1) tiene ubicados muchos (*) instrumentos de medición).

El ArcGis soporta la implementación de los modelos de datos de tres maneras: como sistemas de archivos aislados, con sistemas gestores de bases de datos y en ficheros XML. La selección del tipo más adecuado de geodatabase depende de las necesidades específicas de los sistemas de información geográfica del proyecto y/o aplicación. En el caso particular del sistema de alerta temprana se determinó emplear un sistema gestor de base de datos, en este caso el PostgreSQL (GROUP 2010).

INTEGRACION DE LAS HERRAMIENTAS EN EL SISTEMA

En el proceso de modelación intervienen tres herramientas fundamentales: el SIG -ArcGis en este caso y los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS.

El proceso de modelación comienza con el procesamiento de la cuenca, esta actividad se lleva a cabo en el ArcGis y consiste básicamente en el preprocesamiento del terreno y luego en el procesamiento de la cuenca, lo que da como resultado el denominado modelo hidrológico conceptual de la cuenca. Este modelo es la entrada al procesamiento hidrológico, el cual se realiza en el HEC-HMS. Como resultado de esta actividad se obtienen los hidrogramas en los puntos significativos de la cuenca, los cuales son definidos por los especialistas. Estos hidrogramas constituyen la entrada al modelo HEC-RAS donde se lleva a cabo el procesamiento hidráulico, del cual se obtiene como resultado las respuestas hidráulicas del sistema fluvial, o sea, los niveles que alcanzan las aguas en los tramos de río modelados y sus caudales. Esta información se exporta al ArcGis, donde se lleva a cabo una etapa denominada Post-RAS, a través de la cual se pueden visualizar las corridas del HEC-RAS en forma de mapas, en este caso

las áreas de inundación que es el resultado principal que obtiene el especialista y el cual sirve de apoyo en la toma de decisiones. Este proceso se ilustra en la figura 6.

La integración entre los modelos está dada por el intercambio de información entre ellos mediante los ficheros HEC-DSS (CEIWR-HEC 2009). Los ficheros HEC-DSS se generan de manera automática desde los modelos. En el caso de la integración con el ArcGis, esta se establece de manera natural con la instalación de las extensiones HEC-GeoHMS y HEC-GeoRAS, las cuales proporcionan información de entrada a los modelos y permiten visualizar el resultado de las corridas a través del sistema de información geográfica.

Por otro lado el hecho de contar con un entorno de almacenamiento único para toda la información que se genere en el sistema (base de datos histórica actualizada), constituye un método efectivo de integración, en este caso basado en datos, que permite la implementación de mecanismos robustos de interrelación y transferencia de datos entre los componentes del sistema.

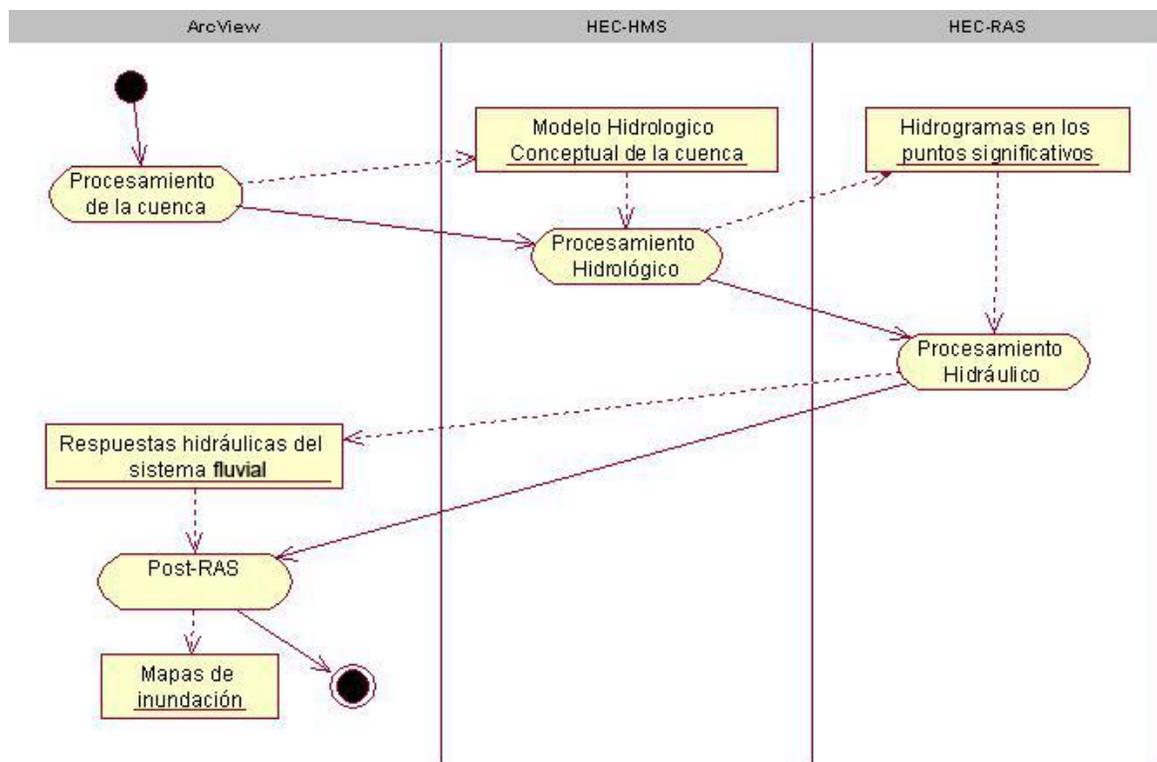


Figura 6. Actividades del proceso de modelación

CASO DE ESTUDIO: EVENTO PALOMA

Con el objetivo de ejemplificar el modo de actuación del sistema ante la llegada de un evento se prosigue a describir un caso de estudio. Para este ejemplo se escogió un huracán que afectó a la cuenca San Pedro, provincia de Camagüey, en el año 2008. En la figura 7 se muestra la trayectoria que siguió el mismo. Hay que señalar que para el caso de estudio se generaron pronósticos de lluvia ya que no se cuenta con datos reales.



Figura 7. Trayectoria del evento Paloma

El caso de estudio comprende tres momentos fundamentales, el primero cuando se informa por parte del Instituto de Meteorología la posible afectación de la Isla por el evento (momento I), el segundo cuando el evento está más próximo pero aún no ha llegado a la región (momento II) y el tercero cuando el evento está afectando directamente la cuenca (momento III).

La cuenca del río San Pedro tiene un área hasta la línea de costa de 930 km², las micropresas construidas alcanzan un área colectora total de cerca de 163 km², la pendiente media de la cuenca toma un valor igual a 17% y el cauce principal tiene una longitud de 134 km.

Existe un equipamiento instalado en cuatro puntos de Camagüey, lo que permitirá la transmisión, en tiempo real, de los eventos meteorológicos en cualquiera de las áreas tributarias de la cuenca, los cuales se registran en el centro de control de la Empresa Provincial de Aprovechamiento Hidráulico.

Dos de los equipos, en este caso registradores de lluvias, están ubicados al noreste de la ciudad, en áreas aledañas al Aeropuerto Internacional Ignacio Agramonte y en la carretera que conduce a Paso de Lesca, con el propósito de efectuar mediciones pluviométricas de intensidad y duración de las precipitaciones, así como la determinación de la frecuencia de las mismas.

La instrumentación de campo dispone, además, de dos sensores registradores de caudal, cota topográfica y nivel de los ríos, ya instalados en los repartos Saratoga y Garrido, que brindan elementos complementarios sobre posibles crecidas del Hatibonico o de los arroyos Juan del Toro y Güije ante lluvias localmente intensas, y que puedan ocasionar inundaciones en zonas cercanas a sus riberas.

El proceso de modelación de la cuenca se realiza una sola vez ya que es independiente del evento que esté ocurriendo, en ella se obtiene el modelo hidrológico conceptual que solo cambia si hay alguna variación en la morfometría de la cuenca o se construye alguna obra hidráulica.

En el procesamiento de la cuenca se encuentran involucradas las herramientas: *Spatial Analyst*, *3D Analyst* y *HEC-GeoHMS 4.2* las cuales son extensiones del ArcGis. Para llevar a cabo esta actividad es necesario contar con información inicial en este caso el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la cuenca.

Como resultado final se obtiene una capa con el esquema de la cuenca el cual se exporta hacia el modelo HEC-HMS como se muestra en la figura 8.

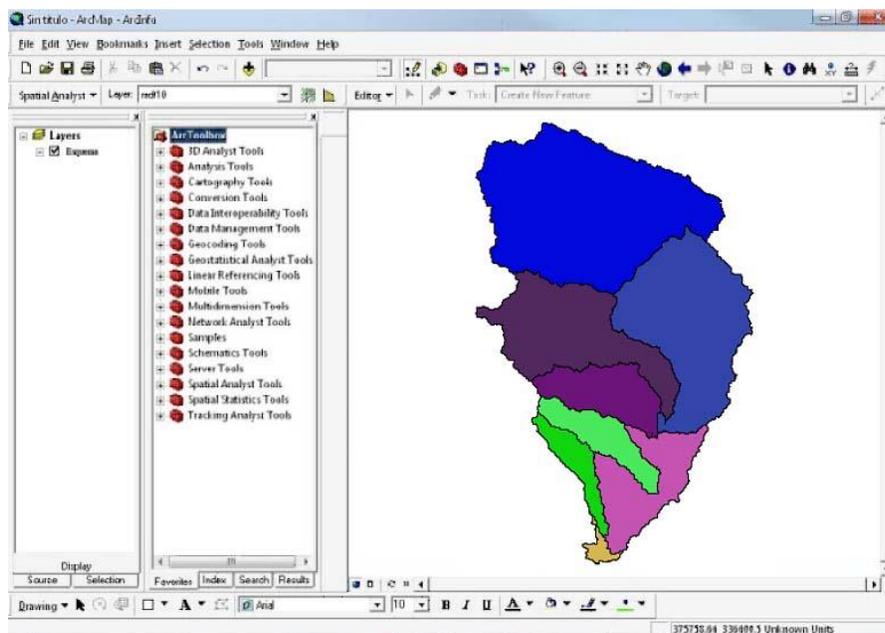


Figura 8. Mapa con el esquema de la cuenca resultante de la actividad Procesamiento de la cuenca

El procesamiento hidrológico es la actividad que le sigue, que se ejecuta en el modelo HEC-HMS y se definen los modelos de la cuenca y meteorológico, las especificaciones de control y los datos de entrada.

Para la simulación en los momentos I y II se toma como información de base el pronóstico de la intensidad media de las precipitaciones que pueden producirse y el hidrólogo obtiene el hietograma correspondiente a esta intensidad de lluvia aplicando un patrón de comportamiento definido para la zona o teniendo en cuenta patrones obtenidos por el SCS (Soil Conservation Service) (Chow et al. 1994).

Del HEC-HMS se obtienen, en cada momento, los hidrogramas en cada cierre de subcuenca, los cuales son la entrada a la actividad Procesamiento Hidráulico. En esta actividad intervienen las herramientas *Hec-GeoRas*, *3Danalyst* y *SpatialAnalyst*. El resultado del procesamiento hidráulico es la representación de las secciones transversales a lo largo del cauce, lo que constituye una entrada al modelo HEC-RAS.

Para la simulación hidráulica también es necesario establecer las condiciones iniciales y de frontera (para lo cual se utilizan los hidrogramas obtenidos de la modelación hidrológica), así como el coeficiente de rugosidad en el cauce principal y en las llanuras de inundación. Finalmente en la figura 9 se muestran los mapas de inundación obtenidos para cada uno de los momentos analizados luego de realizar el proceso denominado Post-RAS.

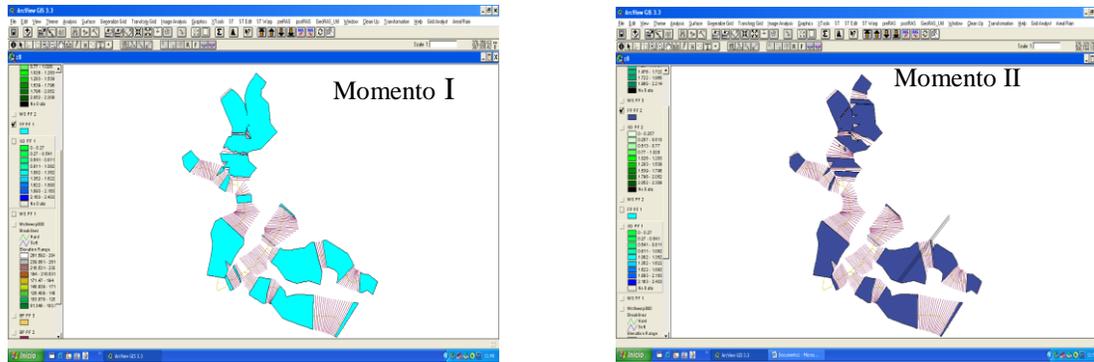


Figura 9. Mapas de las áreas de inundación en los momentos I y II

El momento III es cuando el huracán se encuentra sobre la cuenca, por lo que la información que se toma es la que se registra en tiempo real mediante los pluviógrafos automatizados, es en esta etapa donde comienza a jugar un papel fundamental el SCADA, ya que será a través de él que podrá monitorearse el estado de la cuenca en los puntos donde se encuentren ubicados los equipos y con esta información correr los modelos.

En el SCADA implementado para la cuenca San Pedro se definieron cuatro etiquetas (tag: etiqueta, son los valores de control supervisados o monitoreados por Wizcon) que se corresponden con los instrumentos ubicados en la región y una alarma que se ejecuta en el momento en que el nivel del río supera una cota establecida como el máximo nivel que puede tomar este.

La información de lluvia recogida por los pluviógrafos en tiempo real es necesario procesarla, lo que se lleva a cabo con la herramienta PluvioProc 1.0. Aunque esta herramienta se implementó para la manipulación de los datos leídos desde la memoria del registrador también se pueden cargar los datos desde hojas de Excel por lo que se puede utilizar para obtener los hietogramas en el instante de tiempo que se necesite, datos con los cuales se obtienen los hidrogramas como resultado del procesamiento con el modelo matemático de simulación hidrológica. Luego se repiten las actividades antes descritas hasta obtener las áreas de inundación que se muestran en la figura 10.

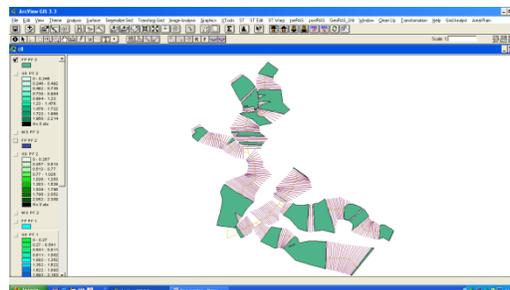


Figura 10. Área de inundación obtenida en el momento III

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el sistema de alerta temprana ante el peligro de inundaciones que se propone está basado en la integración de herramientas informáticas, identificándose como componentes fundamentales: los modelos matemáticos, el sistema de información geográfica, el SCADA y la base de datos histórica actualizada.

El estudio de los conceptos, herramientas y metodologías relacionados con los componentes antes mencionados es de suma importancia para la selección de las aplicaciones que se utilizarán ya que de ello dependerá el buen funcionamiento del sistema de alerta temprana.

Con la realización del caso de estudio se demostró la eficacia de la metodología de trabajo con la herramienta y los resultados principales que brinda cada uno de sus componentes, demostrando además el aporte de la misma en la alerta temprana.

REFERENCIAS

- Axeda** (2002) "Wizcon for Windows and Internet 8.2 User Guide." Axeda Supervisory, extraído de: <http://support.wizcon.com/Data/Wizcon%20Supervisor/Versions/Wizcon%208.2/Documentation/PDF%20files/Wizcon%208.2%20-%20User%20Guide%20%28English%29.pdf>, en enero 2013.
- Cameron T.** (2009). "HEC-GeoRas Gis Tools for Support of HEC-RAS using ArcGis". User's Manual, Hydrologic Engineering Center, USA, extraído de: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-GeoRAS_43_Users_Manual.pdf, en enero 2013.
- CEIWR-HEC** (2009). "HEC-DSSVue HEC Data Storage System Visual Utility Engine Version 2.0", Hydrologic Engineering Center, USA, extraído de: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dss/documents/HEC-DSSVue_20_Users_Manual.pdf, en enero 2013.
- Chow V. T., David R. y Mays L. W.** (1994). "Hidrología Aplicada", Editorial McGRAW HILL, Traducción de la 1ª. edición en inglés de Applied Hydrology, Bogotá, Colombia.
- Defensa Civil** (2005) "Guía para la realización de estudios de riesgo para situaciones de desastres". Ciudad de la Habana, extraído de: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/desastres/gu%C3%A1%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20de%20estudios%20de%20riesgo%20para%20situaciones%20de%20desastres.pdf>, en enero 2013.
- ESRI** (2004). "What is ArcGis". USA, extraído de: http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What_is_ArcGis.pdf, en enero 2013.
- Garrido M.** (2012) "Integración de herramientas informáticas para la alerta temprana ante el peligro de inundaciones". Tesis de Maestría. Facultad de Informática. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- GROUP** (2010) "PostgreSQL 9.0 beta3 Documentation", extraído de: <http://www.postgresql.org/files/documentation/pdf/8.3/postgresql-8.3-US.pdf>, en enero 2013.

Nanía L. S. (2007). “Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1.” Curso de especialización: Cálculo de Avenida con HEC-HMS y SIG. Universidad de Granada. España, extraído de: http://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HECGeoHMS11_Espanol.pdf, en enero 2013.

Rodríguez Y. (2011). "Modelación hidrológica de avenidas. Caso de estudio: cuenca del río Zaza". Tesis de Doctorado. CIH, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.

Toriman M. E. y Mazlin M. (2002). "Mitigación de las inundaciones utilizando un modelo integrado de pronóstico en tiempo real para la Cuenca del Río Langat". Malasia, extraído de: http://www.cazalac.org/documentos/simposio_help_2011/articleDr%20Ekhwan%20Panama%20HELP_espanol.pdf, en enero 2013.

USACE (2001). “Hydrologic Modeling System HEC-HMS”. Hydrologic Engineering Center. USA, extraído de: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74A_2001Jan.pdf, en febrero 2013.

USACE (2009).”HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension version 4.2”. Hydrologic Engineering Center .USA, extraído de: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_4.2.pdf, en febrero 2013.