

## Obtención de eventos lluviosos extremos a partir de los datos históricos en una cuenca

MSc. Maray Garrido Monagas

e-mail: [maray@cih.cujae.edu.cu](mailto:maray@cih.cujae.edu.cu)

Centro de Investigaciones Hidráulicas,

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.

Dr. Modesto R. Gómez Crespo

e-mail: [modesto@cih.cujae.edu.cu](mailto:modesto@cih.cujae.edu.cu)

Centro de Investigaciones Hidráulicas,

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). Habana.

Ing. Yunier Lacerda Sarría

Centro principal de automatización.

Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR). Cuba.

### RESUMEN

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. A los especialistas encargados de tomar decisiones, le sería de gran utilidad poder contar con la información histórica del comportamiento de la cuenca ante eventos extremos y las consecuencias de los mismos en la región. De manera general, en las cuencas se cuenta con los registros históricos de lluvia obtenidos a partir de los equipos instalados. En este artículo se presenta un mecanismo para la obtención de eventos a partir de registros históricos de lluvia. Este método permitirá obtener los eventos ocurridos en la cuenca para su posterior modelación, lo que constituye una herramienta importante para los decisores.

**Palabras clave:** eventos lluviosos, inundaciones, modelación de inundaciones, procesamiento de lluvias.

## Getting extreme rainfall events from historical rainfall data in a watershed

### ABSTRACT

Severe meteorological events are the main threat in the country, as there is a large population living in areas at risk from hurricanes, tropical storms, heavy rains and flooding for different reasons. For specialized decision makers it would be useful to have historical information on the behavior of the basin under extreme events and the consequences thereof in the region. In most cases, historical rainfall records are present in the basins from the installed equipment. In this paper a procedure is presented to obtain these events from historical rainfall records. The method allows to obtain the events in the basin for further modeling, which is an important tool for decision makers.

**Keywords:** rainfall events, flooding, flood modeling, storm processing.

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de toma de decisiones no siempre se dispone de toda la información requerida y mientras más difícil es la decisión, más complejo resulta el conocimiento de las alternativas. De ahí la necesidad de disponer de mayor información con la calidad necesaria, que aporte elementos de juicio sobre el problema a resolver. De esta manera se incrementa la probabilidad de que la decisión sea más racional y saludable para el logro del objetivo deseado (Gutierrez et al. 2002).

La base del proceso de toma de decisiones es la información que se tiene del dominio de aplicación. A más y mejor información, mayor calidad en la definición del problema, en las propuestas de solución, en el análisis de variantes y en la selección de la acción más conveniente.

En Cuba la prevención de inundaciones en las cuencas hidrográficas se lleva a cabo mediante datos históricos transmitidos oral o de forma escrita a los decisores y por la información meteorológica global que se obtiene en tiempo diferido de la red hidrometeorológica instalada en el país por el Instituto de Meteorología (INSMET) y por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Actualmente no se cuenta con bases de datos de los eventos ocurridos en las cuencas y las consecuencias que han producido los mismos, elementos muy importantes a la hora de tomar decisiones ante la ocurrencia de un evento lluvioso.

En este artículo se propone un mecanismo para obtener, a partir de la información histórica de lluvia de una cuenca, los eventos ocurridos atendiendo a un conjunto de criterios y su procesamiento, de manera que puedan ser modelados posteriormente. Dicho mecanismo se incorporó a una herramienta que se está desarrollando en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) denominada Plataforma Modular Integrada (PMI) (Garrido 2012). Esta herramienta tiene como objetivo fundamental apoyar la toma de decisiones ante la ocurrencia de inundaciones producidas por intensas lluvias.

## LA PLATAFORMA MODULAR INTEGRADA (PMI)

En el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) perteneciente al Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), se viene desarrollando este sistema, denominado Plataforma Modular Integrada (PMI) que, mediante la integración de herramientas informáticas, persigue como objetivo fundamental el apoyo a la toma de decisiones ante la ocurrencia de inundaciones producidas por intensas lluvias.

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 (Garrido 2012).

*Modelos de Simulación:* En el caso particular de las inundaciones el sistema interactúa con dos modelos matemáticos 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:* La plataforma 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 de la PMI**

La implementación del sistema requiere de una base de datos inicial, ya que debe contarse con un grupo de informaciones, en su mayoría de índole geográfica, para el buen funcionamiento de los modelos matemáticos.

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. 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.

Cuando se implanta la plataforma en una región por lo general no se cuenta inicialmente con una base de eventos, sino solo con los registros de datos históricos de los equipos instalados en la cuenca. Es por esto que se hace necesaria la implementación de un mecanismo para obtener los eventos ocurridos a partir de los registros de lluvia.

## OBTENCIÓN DE EVENTOS A PARTIR DE LOS DATOS HISTÓRICOS DE LLUVIA

En la figura 2 se muestra la secuencia de actividades a realizar para obtener eventos a partir de los registros históricos de lluvia (Lacerda 2014).

La obtención de eventos a partir de los datos históricos de lluvia comienza con la selección del criterio a seguir. Si se encuentran registros que cumplan con el criterio seleccionado se procede al procesamiento de los mismos. Como en la base de datos histórica pueden encontrarse almacenadas mediciones tanto de pluviómetros como de pluviógrafos es necesario hacer un análisis para determinar la frecuencia con que se mide el dato.

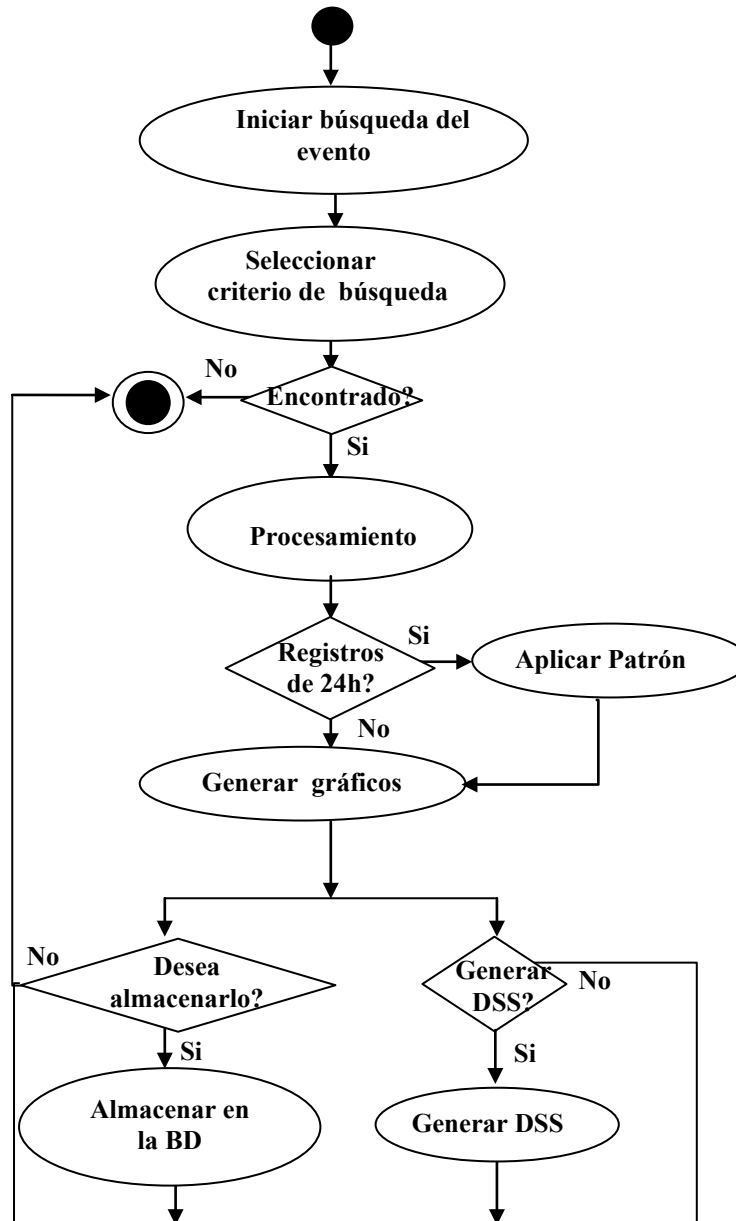


Figura 2. Secuencia de actividades en la obtención de eventos a partir de los datos de lluvia históricos

En el caso de contar con mediciones de 24 h es preciso aplicarles un patrón con el objetivo de distribuir las en el tiempo y poder obtener los gráficos correspondientes al evento. De acuerdo con la información obtenida, el especialista puede agregar el evento a la base de datos y generar un fichero HEC-DSS (CEIWR-HEC 2009) para su procesamiento en el modelo HEC-HMS.

### **CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EVENTOS**

Para la selección de los eventos en la base de datos histórica se identificaron un conjunto de criterios los cuales se enuncian a continuación:

*Evento comprendido en un rango de fecha:* Este criterio se basa en el conocimiento que tiene el especialista de la cuenca y de los eventos que han tenido lugar en ella. De esta forma él puede identificar un período de tiempo en el cual ocurrió un evento lluvioso que causó inundación.

*Evento comprendido en un rango de fecha en un equipo determinado:* Se sigue el mismo principio que el anterior, solo que en este caso se especifica la zona de la cuenca seleccionando un equipo determinado.

*Máximo de precipitación:* Se seleccionan los registros que superan un valor de precipitación definido por el usuario.

*Máximo de precipitación en un equipo determinado:* Es similar al anterior, lo que en este caso se especifica también el equipo que se desea analizar.

### **APLICACIÓN DE PATRONES DE COMPORTAMIENTO A LOS DATOS DE LLUVIA**

En el caso de la PMI se cuenta con registros históricos de lluvia de pluviómetros y pluviógrafos. La frecuencia de medición de los pluviómetros es cada 24 h, por ello es necesario aplicar un patrón que permita distribuir la lluvia en el tiempo. En su primera versión la PMI implementa dos patrones fundamentales:

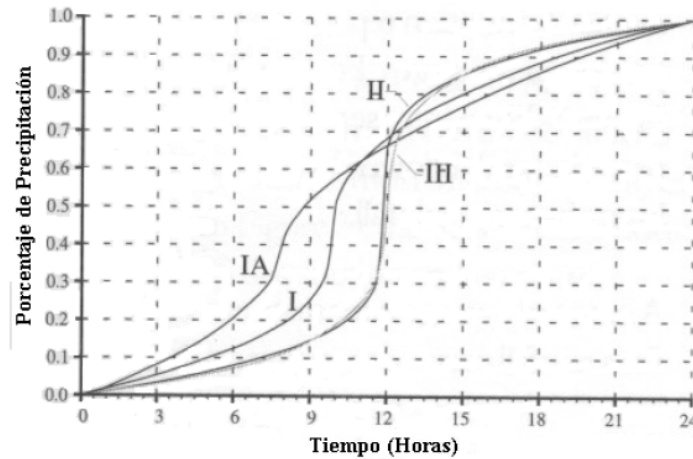
#### **Curva adimensional**

Patrón de lluvia determinado por el Servicio de Conservación del Suelo (Soil Conservation Service) de los Estados Unidos (CHOW et al. 1994), existen cuatro tipos de tormentas de 24 h de duración denominadas: tipo I, IA, II y III, representadas en forma de curva de masa tal como muestra la figura 3.

Cada tipo corresponde a un área geográfica, siendo la de tipo III la que puede utilizarse en Cuba, ya que esta corresponde al Golfo de México y las áreas costeras del Atlántico, zona donde las tormentas que se generan tienen características similares a las que afectan al país.

#### **Patrón típico**

Este patrón fue desarrollado por Planos et al. (2004). Para evaluar la distribución temporal de la precipitación se emplea la información de las curvas IFD para un área de peligro o la combinación de varias áreas en dependencia de la zona de estudio.



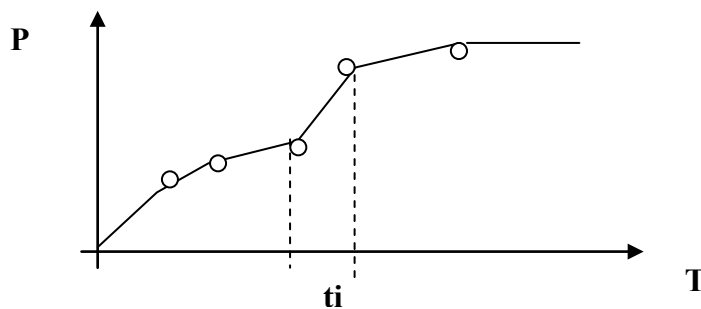
**Figura 3. Representación de los tipos de tormentas de 24 h obtenidos por el SCS**

### TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Los registros de lluvia asociados con los eventos se procesan para obtener tres gráficos fundamentales:

- Curva de Masa.
- Puntos de Inflexión.
- Hietogramas.

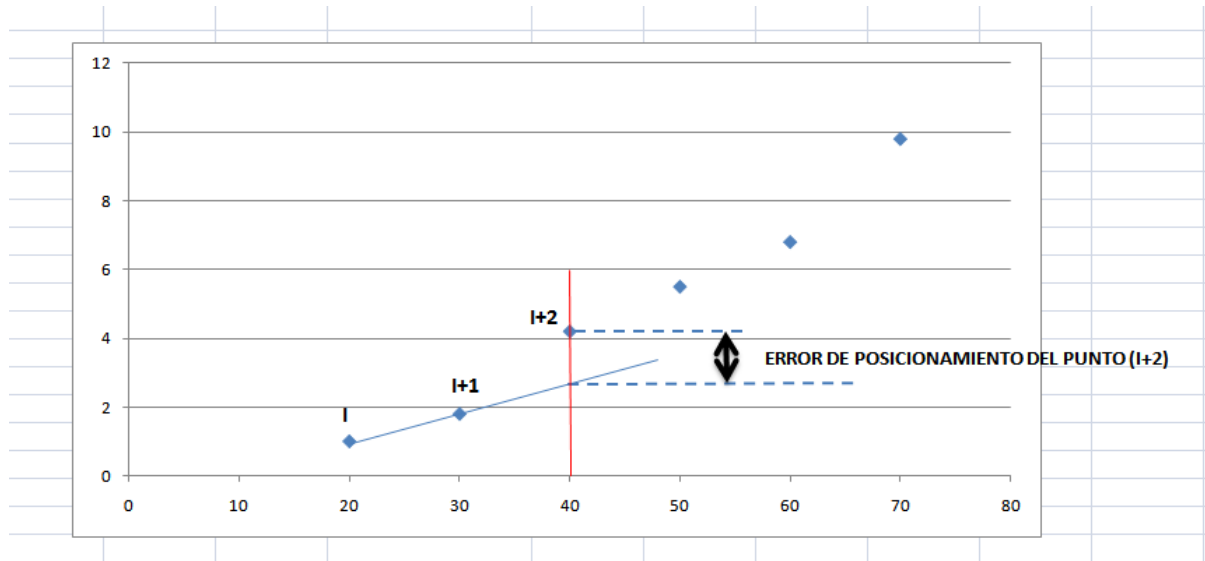
La curva de masa (figura 4) es la representación de la altura de precipitación acumulada a través del tiempo, desde el inicio de la tormenta hasta su terminación.



**Figura 4. Gráfico de la curva de masa**

Uno de los aspectos fundamentales en el procesamiento de los datos de lluvia es la determinación de las intensidades de lluvia. Para realizar este proceso uno de los primeros análisis que realiza el especialista es la determinación de los “puntos de inflexión” (PI). Cada PI indica el cambio de la intensidad de la lluvia en un intervalo de tiempo. Se pueden definir los PI de forma manual pero, en un proceso automatizado como el que se propone, esta acción manual queda totalmente fuera de lugar. La obtención de los puntos de inflexión de manera automática se logra con la utilización del procedimiento denominado Recta-Error (Garrido 2012).

El procedimiento Recta-Error parte del gráfico de la curva de masa (ver figura 4) y analiza los resultados de cada día comenzando por la primera lámina caída de 0,2 mm. Entre los dos primeros puntos (i) e (i+1) se establece la ecuación de la recta que los une y en esa ecuación se comprueba el siguiente punto (i+2). Si el Error de Posicionamiento (EPos) del siguiente punto es mayor que el Error Permisible (EPer) establecido por el especialista ese nuevo punto se marca como PI y se pasa a analizar los siguientes puntos, si no es un PI se obtiene una nueva ecuación a partir del punto (i+1) e (i+2) y se prueba el (i+3). Así sucesivamente hasta el final de la tormenta. Ver figura 5.



**Figura 5. Determinación de los PI de forma automática por el proceso Recta-Error**

El hietograma es una gráfica que se genera a partir de los registros de los pluviógrafos o de datos de pluviómetros que muestren cómo varía la lámina de lluvia durante cierto intervalo fijo de tiempo  $\Delta t$ . El área bajo el hietograma representa la intensidad de la precipitación. Mediante el hietograma es muy fácil decir a qué hora la precipitación adquirió su máxima intensidad y cuál fue el valor de esta.

En el caso de la PMI se grafica el hietograma a partir de la curva de masa y el especialista puede también establecer intervalos de 5, 10, 30 y 60 minutos para obtener dicho gráfico.

### **GENERACIÓN DE FICHEROS DE ENTRADA AL MODELO HEC-HMS**

Los ficheros HEC-DSS (The Hydrologic Engineering Center's Data Storage System) (CEIWR-HEC 2009) fueron desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos a finales de la década del 70. Ellos surgen con el objetivo de viabilizar la transmisión de datos entre los programas de análisis hidrológicos que hasta el momento se hacía de forma manual e improductiva; ya que muchos de estos programas tenían relaciones, o sea, la información que generaba uno servía como entrada a otro, sin embargo no contaban con un formato de datos común.

Los ficheros HEC-DSS tienen un bloque de datos secuenciales como unidad básica de almacenamiento, lo que le permite un acceso más eficaz a las series de tiempo u otros tipos de datos secuencialmente relacionados (CEIWR-HEC 2009).

Cada uno de ellos al ser almacenados se identifica por un nombre único denominado *pathname*, el cual constituye su llave dentro de la base de datos.

Los *pathnames* pueden contener hasta 391 caracteres y separarse en seis partes de 64 caracteres cada una etiquetadas desde la A hasta la F y separadas por un *slash* “/”, de la forma siguiente: /A/B/C/D/E/F/ (CEIWR-HEC 2009). La tabla 1 muestra el contenido de cada una de ellas.

**Tabla1. Descripción de los elementos del *pathname***

Parte	Descripción
A	Nombre del proyecto, río o cuenca
B	Localización
C	Parámetro del dato
D	Fecha de inicio del bloque (formato militar)
E	Intervalo de tiempo
F	Descripción adicional definida por el usuario

En la implementación del sistema la creación de los ficheros HEC-DSS se hace a través de la aplicación *dssits.exe* desarrollada también por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos y con libre distribución.

Esta herramienta permite crear ficheros HEC-DSS a partir de un fichero texto que contiene la información a almacenar en el mismo.

## CARACTERIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS EVENTOS

Los eventos que conformarán la base de eventos de la PMI se definen a través de cuatro elementos fundamentales:

- Intensidad de la lluvia.
- Área de influencia.
- Duración.
- Trayectoria.

Esta información se calcula a partir de la información de lluvia procesada y si el especialista lo cree conveniente puede insertarse en la base de datos de la PMI y generar un fichero de entrada al modelo HEC-HMS en formato HEC-DSS.

En la figura 6 se muestra la pantalla de la PMI donde se procesan los datos del evento y se pueden graficar, almacenar en la base de datos y exportar todos dichos datos.





Figura 6. Pantalla de la PMI donde se procesan los datos de lluvia

### EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA PLATAFORMA MODULAR INTEGRADA

Con el objetivo de ilustrar el procedimiento y la herramienta que se describe en este artículo se presenta parte del estudio realizado en la cuenca del río Zaza. Se cuenta con la información pluviométrica de 43 años (1965-2008), con esta información se conforma la base de datos histórica.

La figura 7 muestra la ventana dentro de la PMI donde comienza el proceso de búsqueda de los eventos. En esta ventana se selecciona el criterio de búsqueda a emplear.

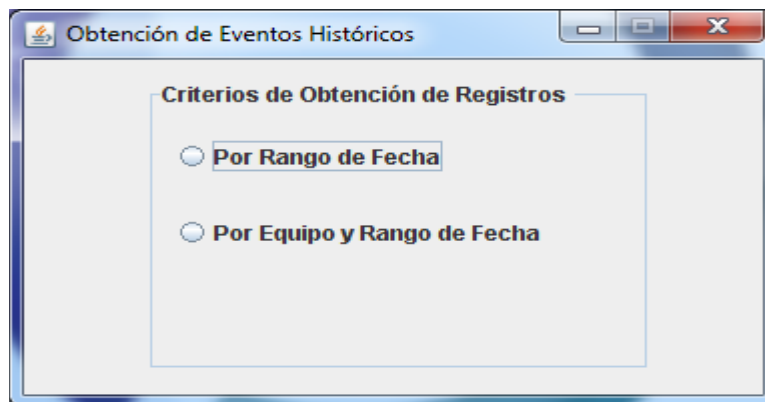


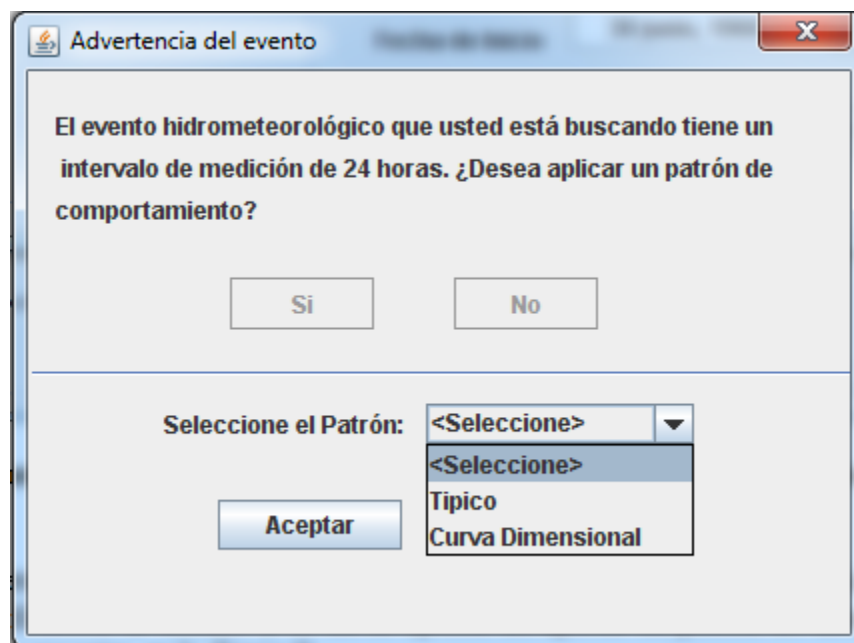
Figura 7. Pantalla de la PMI donde se inicia el proceso de búsqueda de los eventos

Una vez seleccionado el criterio, se muestra una pantalla donde se introducen los datos para iniciar la búsqueda tal como muestra la figura 8. En este caso se realiza la búsqueda del evento ocurrido el 30 de junio de 1966.



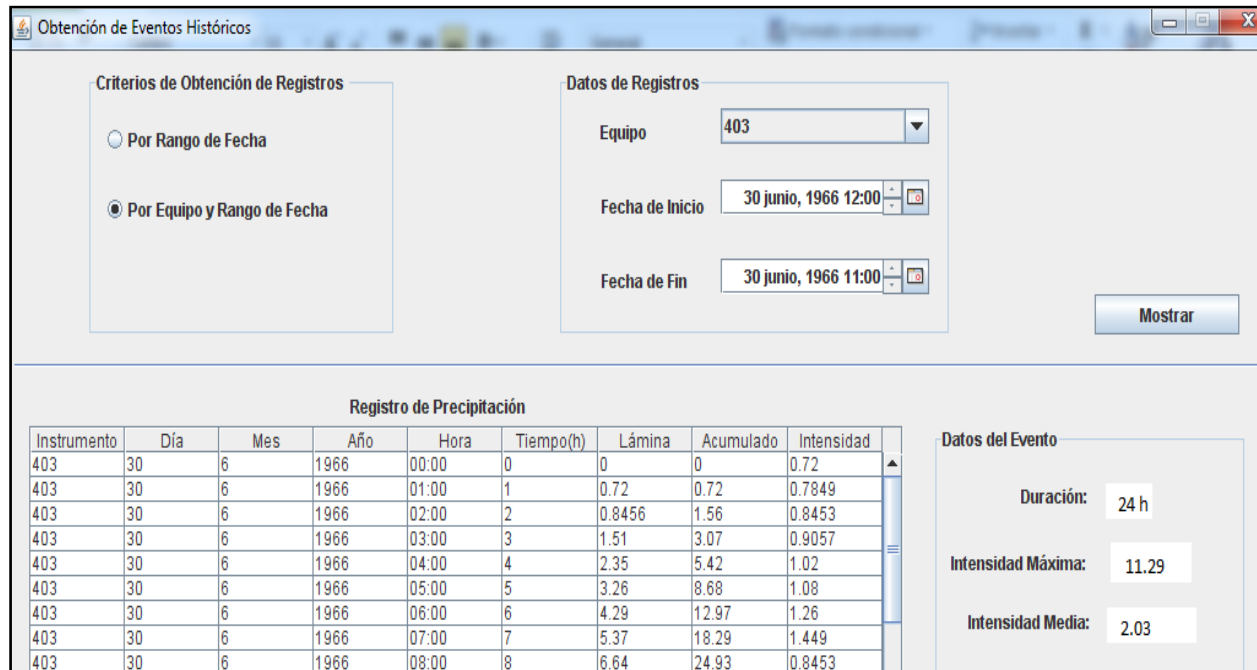
**Figura 8. Pantalla de la PMI donde se introducen los datos para iniciar la búsqueda de los eventos**

El sistema detecta de forma automática que la información es pluviométrica por lo que muestra una notificación al usuario y le da la opción de aplicar un patrón de distribución de la lluvia, tal como se muestra en la figura 9.



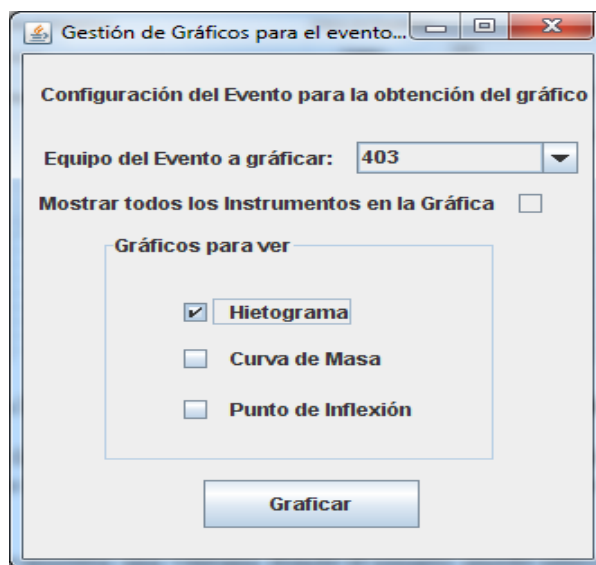
**Figura 9. Notificación que muestra el sistema indicando que la información es pluviométrica**

El sistema aplica el patrón seleccionado y muestra una ventana donde se recogen los registros procesados (ver figura 10).

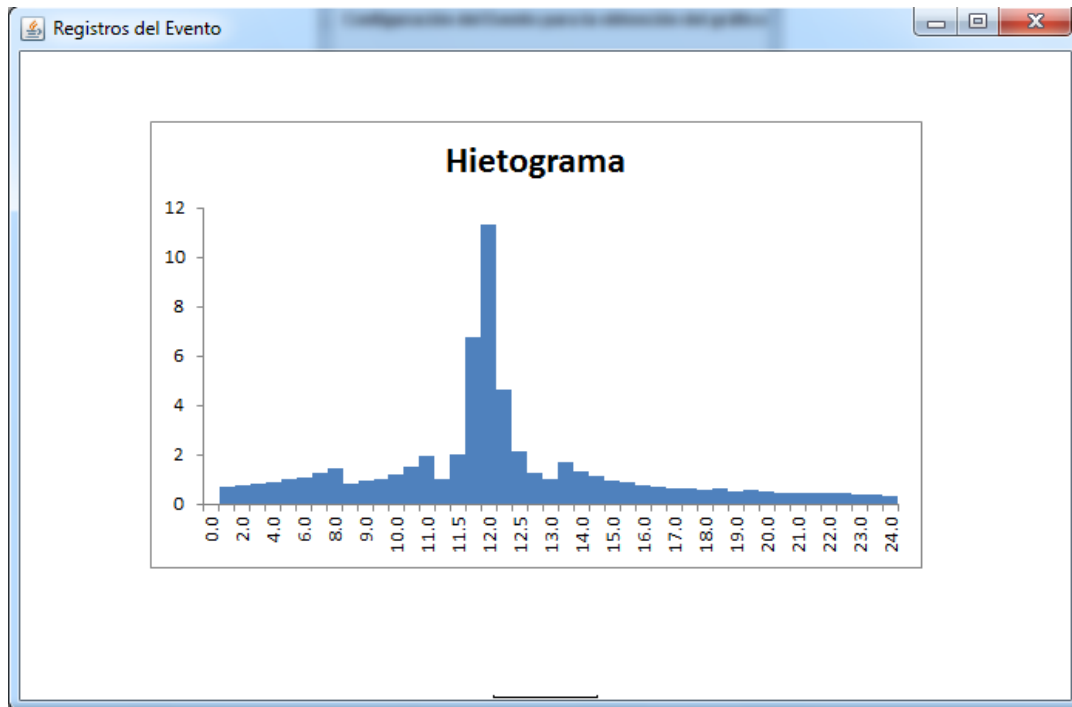


**Figura 10. Ventana donde se observan los registros y datos del evento**

El especialista si lo desea puede observar las gráficas resultantes del procesamiento, exportar la información como fichero HEC-DSS y almacenar el evento para que forme parte de la base de eventos de la PMI. En la figura 11 se muestra una ventana donde el usuario puede seleccionar el tipo de gráfica que desea ver. Para este ejemplo se ha seleccionado el hietograma, el cual se puede observar en la figura 12.



**Figura 11. Ventana donde el usuario puede seleccionar la gráfica que desea mostrar**



**Figura 12. Gráfico del hietograma del evento procesado**

Con este proceso se pueden obtener múltiples eventos que irán conformando la base de datos inicial de la PMI. Además constituye una herramienta útil de trabajo, al obtener resultados partiendo de datos pluviométricos, que son los que se disponen en la mayoría de las cuencas del país.

## CONCLUSIONES

Se puede concluir que el método para obtener eventos a partir de los datos históricos de lluvia en una cuenca es de suma importancia para el correcto funcionamiento de la PMI, pues es un elemento fundamental en la creación de la base de datos inicial de este sistema.

Por otro lado constituye una herramienta útil de trabajo pues la falta de datos representa un problema en la actualidad y mediante este método se puede generar información a partir de datos de pluviómetros que es con lo que mayormente se cuenta en las cuencas.

## REFERENCIAS

**CEIWR-HEC** (2009). “HEC-DSSVue HEC Data Storage System Visual Utility EngineVersion 2.0”, Hydrologic Engineering Center. USA. Extraído de: [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dss/documents/HEC-DSSVue\\_20\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dss/documents/HEC-DSSVue_20_Users_Manual.pdf). en octubre 2014.

**Chow V. T. M., David R. y Mays, L. W.** (1994). “Hidrología Aplicada”. Traducido de la primera edición en inglés de Applied Hydrology. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A., Santafé de Bogotá, ISBN: 958-600-171-7, Colombia, 585 pp.

- 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.
- Gutiérrez I., Bello R.E. y Tellería A.** (2002). “Un Sistema basado en casos para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre”. Revista Investigación Operacional, vol. 23, no. 2, pp. 103-121, ISSN:0257-4306. Depto. Matemática Aplicada, Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana, Cuba.
- Lacerda Y.** (2014). “Gestión de eventos lluviosos extremos en la Plataforma Modular Integrada a partir de datos históricos de lluvia en una cuenca”. Tesis de grado. Facultad de Informática. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana.
- 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](http://www.ugr.es/~lnania/private/ManualBasico_HEC-HMS300_HECGeoHMS11_Espanol.pdf). en octubre 2014.
- Planos E., Limia M. y Vega R.** (2004) “Intensidad de las precipitaciones en Cuba”. Programa Ramal: Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial", Proyecto 4053, 80pp., Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- 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](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74A_2001Jan.pdf) en febrero 2013.