

Integración de la Tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a la Modelación Hidráulica. Aplicación al Río Mapocho, Sector Rural

Viviana Vallejo Villate

Asesora Hidráulica

Subdirección de Cauces y Drenaje Urbano
DOH, MOPTT.

viviana.vallejo@moptt.gov.cl

Walton W. Edwards

Consultor Gerente

GeoSoluciones EIRL

Geoinformática y Modelación Ambiental

wedwards@geosoluciones.cl

RESUMEN

Actualmente la Modelación Virtual tienen un gran nivel de crecimiento por ser una técnica reciente con multitud de aplicaciones y ventajas; esto hace que la tendencia a su utilización sea cada vez mayor. En este trabajo se pretende demostrar las posibilidades que nos brinda una aplicación SIG, cuando la utilizamos como herramienta de modelación hidráulica en la predicción y evaluación de episodios lluviosos.

El interés fundamental de esta propuesta radica en mostrar a los profesionales del área la existencia de nuevas herramientas tecnológicas que permiten la elaboración y entrega de información para prever la vulnerabilidad ante catástrofes naturales que ponen en riesgo el medio ambiente, permitiendo generar medidas de protección que disminuyan las enormes pérdidas sociales y económicas, aumentando de esta manera, la capacidad de respuesta ante eventos similares.

INTRODUCCIÓN

El impacto de los desastres naturales en la vida humana es un tema de análisis actual por diversas especialidades y disciplinas, las cuales han conceptualizado sus componentes y la metodología de valoración. La incidencia de los desastres provocados por eventos hidrometeorológicos; principalmente, inundaciones, deslizamientos, aluviones, etc, en la sociedad; tienen un alto costo en vidas humanas y millones de dólares en daños y pérdidas materiales lo que se traduce en merma de la economía y por ende de la sociedad. A pesar de todos los esfuerzos e intentos por solucionar y prevenir estos desastres aún existe cierta frustración por la falta de desarrollo teórico y metodológico para determinar los factores que agudizan la vulnerabilidad de los elementos y sistemas territoriales frente a los riesgos.

En este contexto, la modelación y simulación de avenidas implica la realización de pronósticos cercanos a la realidad, representando de la forma más sencilla una idea global de los posibles efectos, intentando no recurrir a expresiones complejas que disminuyan su operatividad y funcionalidad y a la vez agilice, sin perder el rigor técnico, la toma de decisiones, con el objeto de disminuir la incidencia de las catástrofes.

Teniendo en cuenta que la ocurrencia de grandes desastres de este tipo implica la combinación de dos factores condicionantes: los fenómenos meteorológicos que los originan y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas que hacen aumentar la vulnerabilidad a sufrir destrucción por su impacto. Este trabajo pretende demostrar la capacidad predictiva ante la amenaza y probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen lluvioso. Para esto se integran herramientas tecnológicas con

gran capacidad de manejo de datos e información y modelos de simulación hidráulica, obteniendo un producto que permite representar los riesgos, para su posterior evaluación, predicción y pronóstico de las consecuencias de tal evento. De esta forma se visualiza una representación integrada de datos almacenados y analizados que permiten identificar, clasificar y valorar las áreas potencialmente inundables del territorio en estudio.

LA INTEGRACIÓN DE LOS MODELOS ESPACIO-ANALÍTICOS Y LOS SIG

Existen modelos computacionales para la simulación del comportamiento de distintos sistemas ambientales. Cada uno de estos modelos, al tratarse de la simulación de sistemas terrestres, utilizan datos geográficos como entrada y producen como resultado información que podría ser desplegada en un mapa. Esto pone en evidencia la relación que existen entre dichos modelos y los SIG.

Los SIG por ejemplo, incluyen, generalmente, funciones para delimitar cuencas, subcuencas, modelar la acumulación de flujo superficial, calcular pendientes, perfiles transversales, interpolar registros puntuales (p. ej. precipitación) y crear/almacenar modelos *matemáticamente* simples (aunque puedan tener una lógica compleja).

Los software SIG modernos como ArcGIS poseen capacidades excepcionales para la integración, transformación, análisis, gestión y visualización de datos geográficos, además de tener ambientes de programación y/o componentes u objetos interoperables. Los modelos matemático-computacionales a cambio definen y modelan muy bien el objeto, proceso o sistemas bajo estudio; pero poseen limitadas capacidades de manipulación y visualización de datos. La integración de ambos tipos de software permite obtener lo mejor de ambos mundos.

La integración de los SIG con los modelos computacionales se puede clasificar en tres tipos dependiendo del grado de la unión.

- a) Sueltamente acoplados. Debido a sus distintos orígenes, propósitos, ciclos de desarrollo y sus caminos paralelos de evolución. La integración entre los software a este nivel resulta por el intercambio de archivos en formatos abiertos, documentados o estándares. En este caso el SIG sirve de pre- y post- procesador del modelo computacional.
- b) Fuertemente acoplados. Este nivel de integración incluye una fuerte relación y dependencia entre la interfaz y los datos producidos por un software y el otro, sin embargo, siguen siendo software separados y mayormente independientes.
- c) Totalmente integrados. En este nivel de integración se construye el modelo dentro del ambiente del software SIG o al modelo se le agregan capacidades SIG. De esta forma se elimina la necesidad de convertir archivos, y de realizar otros procesos; pero pese a la ilusión de ser ideal esta configuración, sería difícil y costoso de mantener en el tiempo.

En el estudio se utilizó la extensión HEC GeoRAS para ArcView. Esto permitió un acoplamiento fuerte entre ArcView y HEC-RAS al agregar menús específicos al modelo en el software SIG y al hacer uso de funciones intrínsecas de ArcView en la ejecución de los comandos de los menús. La integración final de ambos software se realiza a través de la creación de archivos de importación – al final del

preprocesamiento para su exportación a HEC-RAS, y al final de la modelación para su pos-procesamiento y visualización en ArcView.

FASES DEL ESTUDIO

Considerando el objetivo de la modelación a realizar, las etapas desarrolladas en este estudio tienen el siguiente orden:

- Recopilación de antecedentes.
- Preparación y procesamiento de datos.
- Modelación hidráulica.

RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta que la modelación cartográfica e hidráulica es fundamental para la construcción de un mapa de riesgo por inundación, se escogió como trabajo de referencia el Proyecto titulado: Análisis Hidráulico Fluvial y Ambiental del Río Mapocho, entre Desembocadura Estero Lampa y Confluencia con el Río Maipo, Región Metropolitana (1998), realizado por el Instituto Nacional de Hidráulica (INH), considerando que el contenido de su estudio abarcaba la información necesaria para nuestra integración de modelos, es decir, se contaba con levantamiento topográfico, estudio hidrológico e hidráulico, zonas de alto riesgo, áreas habitadas afectadas por inundaciones, diagnóstico con eventos hidrológicos extremos, etc. Para evaluar nuestro modelo, delimitamos la zona de estudio al tramo del Río Mapocho que atraviesa la Comuna El Monte, aguas arriba de la Confluencia con el Río Maipo y aguas abajo de la Comuna de Talagante.

PREPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para el área de estudio se contaba con todas las láminas de planta en formato dwg de AutoCAD, sin embargo, las mismas no estaban dentro del marco de un sistema de referencia espacial conocido. Se procedió a comprobar su calce, pudiéndose constatar una orientación arbitraria y variable entre muchas de ellas, que unidas representan el cauce del río. Usando la capacidad de ArcGIS para leer directamente los archivos CAD podemos transformarlos posteriormente (mediante archivo *world*, coordenadas conocidas o ingresando los parámetros de transformación directamente) para luego seleccionar y desplegar las capas que contienen las curvas de nivel y perfiles en cada uno de los dibujos. En nuestro caso la transformación se realizó mediante coordenadas conocidas, obtenidas a partir de los rótulos de la cuadrícula de los dibujos. En la figura 1 se muestra la disposición y calce de algunas de las láminas en formato CAD.

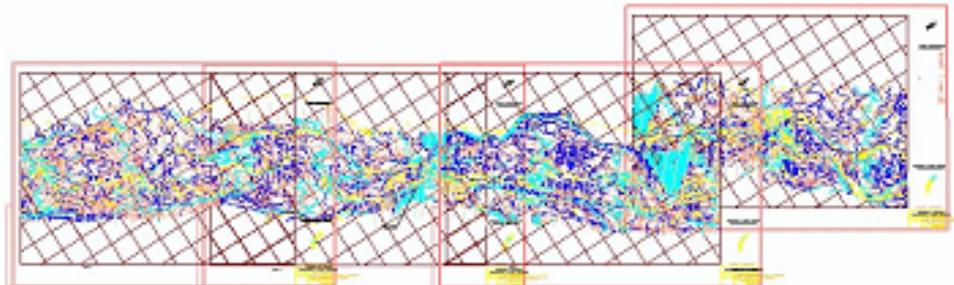


Fig. N° 1: Disposición y Calce de las láminas en formato CAD.

Después de la aplicación de la transformación, los archivos quedaron en el sistema de coordenadas definidos por los rótulos de las cuadrículas (supuestamente UTM, huso 19 de PSAD56).

Las capas resultantes fueron exportadas al formato shapefile en ArcMap y luego unidas para crear una capa de curvas de nivel y otra de perfiles transversales en preparación para las fases posteriores de generación del TIN y la modelación hidráulica (ver fig N° 2)

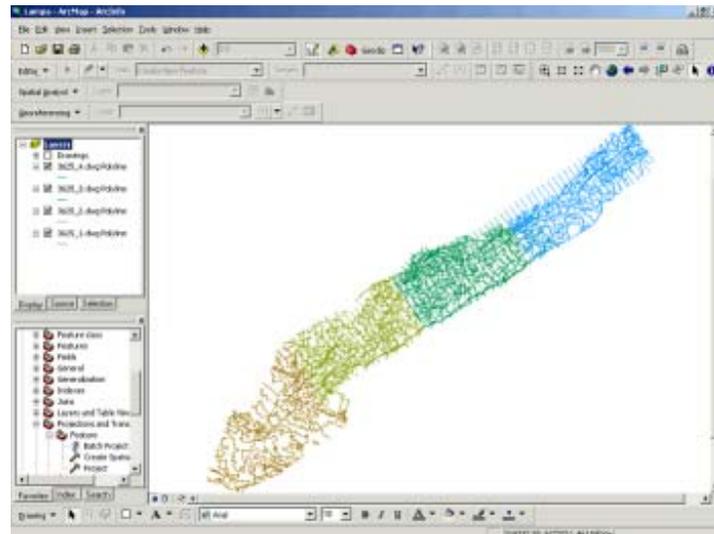


Fig. N° 2: Unión de las Curvas de Nivel y Perfiles Transversales en ArcMap.

Sin embargo, al sobreponer estas curvas y perfiles sobre una base de imágenes satelitales Landsat de 15mts de resolución espacial y un modelo digital de terreno de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 90 mts, ambos en WGS84, se pudo constatar un error de sobre 300 mts en la georeferenciación de los datos CAD (ver fig N° 3).



Fig. N° 3: Error de calce entre los datos CAD y la ubicación real del cauce.

Debido a que en la imagen satelital se aprecia muy bien la cobertura del suelo es importante una buena georeferenciación/calce con los perfiles y la definición de cauce para poder sobreponer el resultado de la modelación hidráulica, además, en las primeras corridas de la modelación quedó en evidencia que algunos de los perfiles transversales eran demasiado cortos (aprox. 700 mts). Tomando en cuenta lo anterior se decidió reconstruir las coberturas del cauce del río y de los perfiles basados en la imagen satelital. Los nuevos perfiles quedaron con una longitud promedio de 1,5 km y en sustitución de las curvas de nivel se utilizó la grilla de cotas del SRTM para construir el TIN que servirá de base para la modelación hidráulica con HEC-RAS.

A continuación se muestra la configuración de los perfiles, el cauce y el gráfico de uno de los perfiles transversales.

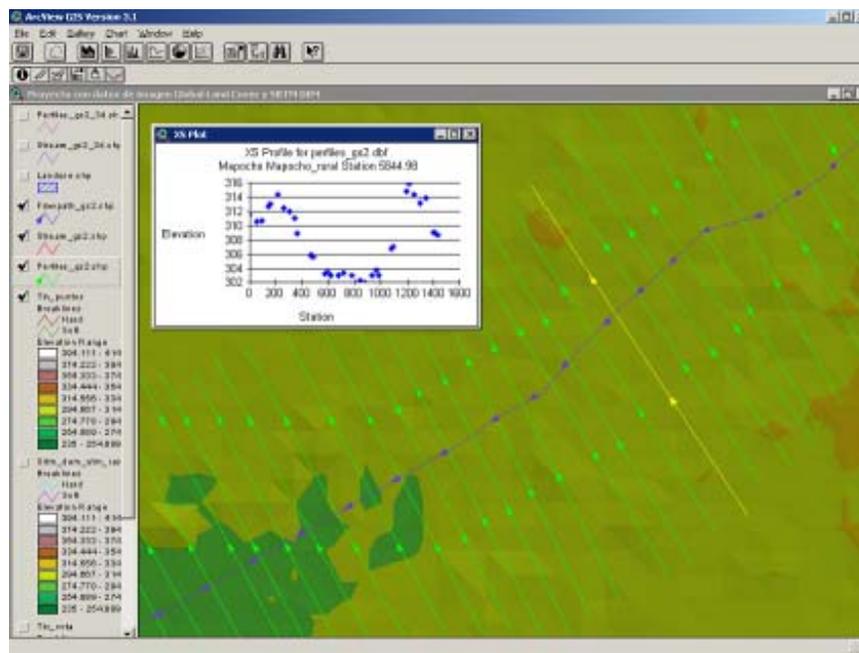
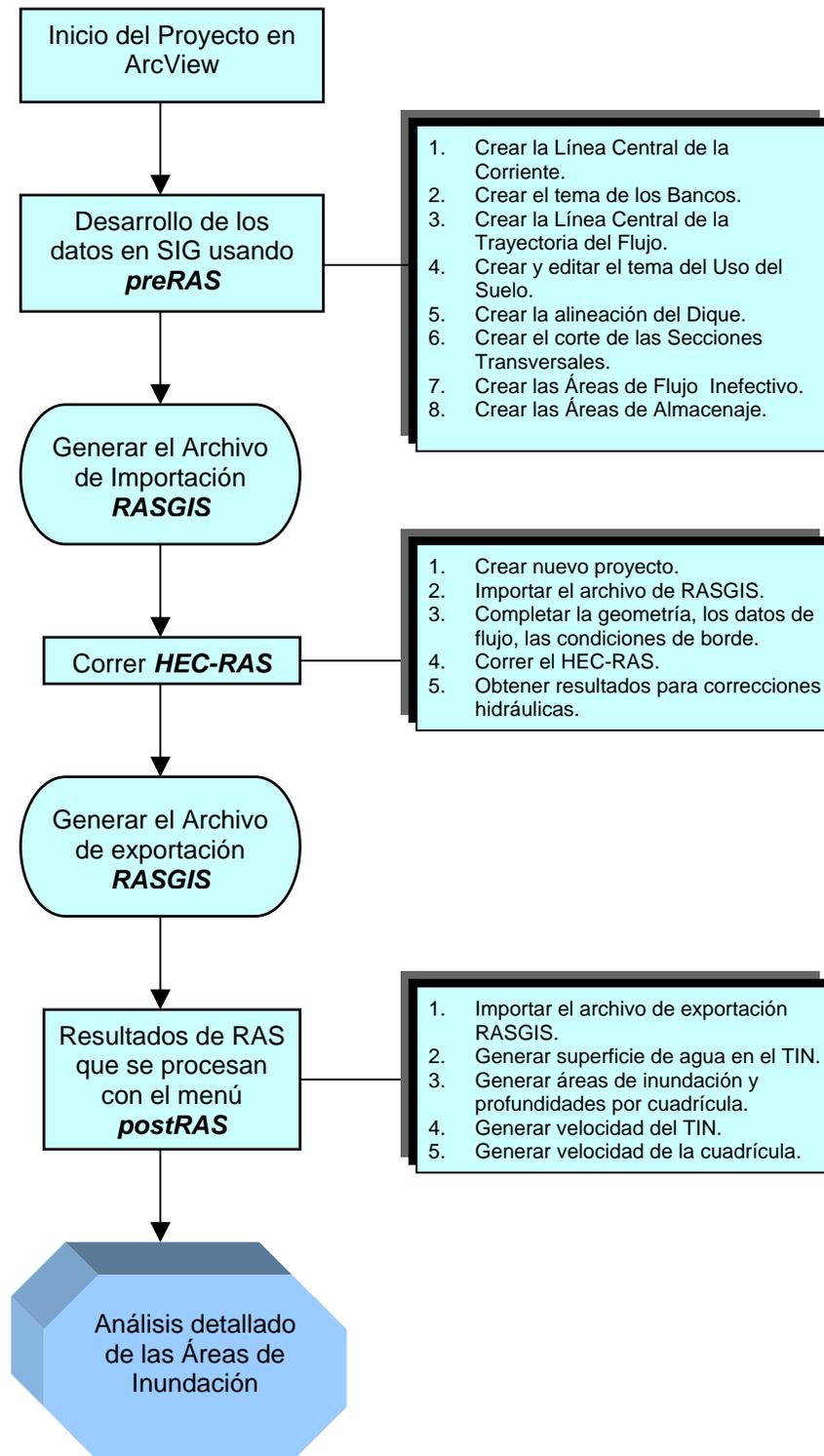


Fig. N° 4: Configuración de los perfiles transversales y cauce.

MODELACION HIDRÁULICA

Para la modelación hidráulica se utilizó la extensión HEC-GeoRAS de HEC-RAS elaborado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, habilitada previamente en el menú de la ventana principal de ArcView mediante tres menús de trabajo denominados: preRAS, postRAS y GeoRAS_Util. El HEC-GeoRAS es un sistema de procedimientos, herramientas y utilidades que procesa los datos geoespaciales en ArcView utilizando una interfaz gráfica. Dicha interfaz permite la preparación de los datos geométricos para la importación en HEC-RAS y procesa los resultados de la simulación exportados en HEC-RAS. Para crear el archivo de la importación, el usuario debe tener un Modelo Digital de Terreno (MDT) del sistema de río y crear una serie de temas, necesarios para desarrollar los datos geométricos de la futura modelación hidráulica, entre ellos: las secciones transversales, la trayectoria del flujo, utilización del suelo, etc y algunos otros temas a elegir por el usuario. Los resultados de la modelación son exportados de HEC-RAS y procesados por HEC-GeoRAS para el análisis en SIG de las áreas de inundación, el eje hidráulico, etc.

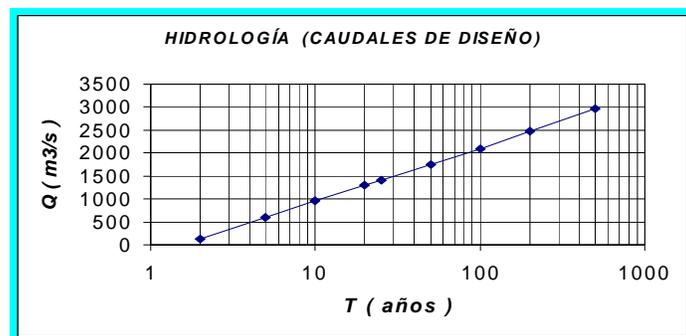
Complementando la descripción anterior, a continuación se ilustra un diagrama de flujo, que describe el proceso de modelación usando la herramienta HEC-GeoRAS.



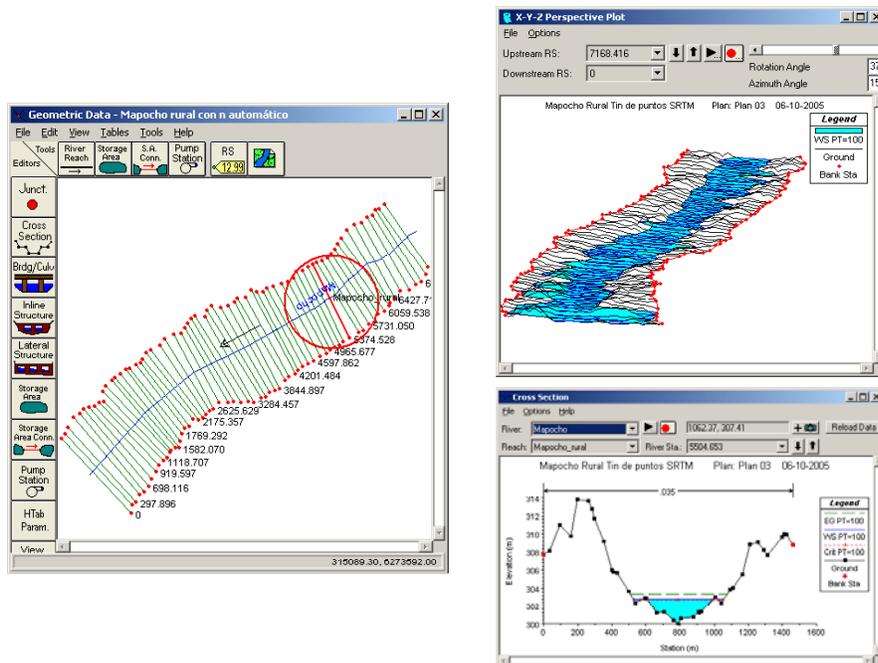
Basados en la hipótesis de que los fenómenos hidráulicos a analizar se desarrollan bajo condiciones de flujo permanente, podemos emplear modelos unidimensionales permanentes para el cálculo del eje hidráulico, donde las propiedades del flujo sólo varían a lo largo del río, teniendo además, como datos de entrada los perfiles transversales, la pendiente promedio, el coeficiente de rugosidad de Manning y las condiciones de borde existente; bajo estas premisas, coincidentes en criterio con las del INH, y asumiendo como caudales de modelación los adoptados en las crecidas de su Estudio Hidráulico (ver cuadro N°1) para los diferentes Períodos de Retorno, nos encontramos en condiciones de hacer una nueva Modelación Hidráulica empleando otras herramientas, es decir, nuestros nuevos parámetros hidráulicos serán obtenidos utilizando un Modelo Digital de Terreno, obtenido del preprocesamiento en ArcView de la topografía, y suministrado como archivo geométrico en la información inicial del Modelo Hidráulico en HEC-RAS.

Datos	
Período (T)	Caudal (Q)
2	120
5	590
10	970
20	1300
25	1400
50	1750
100	2100
200	2480
500	2970

Cuadro N° 1: Caudales adoptados.



Se presentan los resultados del cálculo resumidos solamente para el caudal de 100 años de Período de Retorno; aunque para efectos de la modelación fueron analizados todos los caudales.



El cuadro N° 2 presenta una comparación de los resultados de ambos modelos, a partir de los valores promedios de algunos parámetros que definen el régimen de la corriente en el sector de El Monte, para un caudal de 2100 m³/seg y T=100 años.

Parámetros	Modelo INH	Modelo HEC-RAS
Ancho Superficial (Lsup)	432,87 m	565.79 m
Velocidad Media (Vmed)	3.14 m/s	2.90 m/s
Número de Froude (Fr)	0.80	0.81
Altura del Escurrimiento (h)	2.12 m	2.98 m
Altura Crítica (hc)	1.85 m	2.67 m
Pendiente Línea Energía (J)	0.0071	0.0083
Pendiente del Fondo (i)	0.0079	0.0079
Coefficiente de Rugosidad (n)	0.035	0.035
Tipo de Régimen	Subcrítico	Subcrítico

Cuadro N° 2: Comparación de valores promedios de parámetros representativos de los modelos hidráulicos.

Finalmente en la Fig. N° 6 se representa la superposición del área de inundación (correspondiente al período de retorno T=100 años) y la imagen con la cobertura del suelo.



Fig. N° 6: Superposición del área de inundación (T = 100) y la imagen con la cobertura del suelo.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este estudio, en particular, permitió comprobar varios beneficios producto de la integración de la tecnología SIG con la Modelación Hidráulica, que son importantes de destacar:

- Incremento en la calidad de la información.
- Incremento en la productividad.
- Mejora en los procesos de administración.
- Reducción en la duplicidad de datos y procedimientos.
- Introducción de los conceptos geográficos dentro de los proceso de análisis, evaluación y presentación de la información.
- Optimización de los procesos de evaluación de riesgo y sobre todo, podemos decir que se incrementa el acceso a la información geográfica necesaria para la toma de decisiones de forma objetiva, mejorando los sistemas de protección a la sociedad preventivamente y en caso de emergencias.

BIBLIOGRAFIA SELECCIONADA.

Goodchild, M.F., B.O. Parks & L.T. Steyaert (1993), Environmental Modeling with GIS, Oxford University Press.

Arce Gerardo E. Ortega (1998), HEC-RAS. Hacia la Estandarización del Cálculo de los Ejes Hidráulicos en Cauces Naturales y Canales Artificiales. Universidad de Chile (Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil).

Maidment, D. y Djokic, D. (eds) (2000) Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. ESRI Press.

HEC-GeoRAS User's Manual.(2002). US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center

Horcajada Tamara, Simancas Moisés, Dorta Pedro (2001), La Constatación y Validación de los Mapas de Riesgo de Avenidas en Pequeñas Cuencas Hidrogáficas mediante Sistemas de Información Geográfica. Propuesta Metodológica y Aplicación a la Ordenación del Territorio.