

# SIG-PMI: Sistema de información geográfica de la plataforma modular integrada de recursos hidráulicos

## INTRODUCCIÓN

La explotación eficiente y la conservación de los Recursos Hidráulicos son temas de gran importancia a nivel mundial, ya que el recurso agua, imprescindible para la vida humana, se deteriora aceleradamente.

Actualmente en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), perteneciente a el Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" (CUJAE) se desarrolla un sistema concebido para la toma de decisiones en el campo de la gestión de los Recursos Hidráulicos de una región, con el objetivo de preservar el recurso agua y combatir la sequía y la prevención de inundaciones en caso de lluvias intensas.

Este sistema denominado Plataforma Modular Integradora de los Recursos Hidráulicos (PMIRH), integra la adquisición y procesamiento de información con la simulación del proceso en tiempo real. Se estructura a partir de un Sistema de Información Geográfico (SIG) personalizado y actualizado con la información del área de trabajo, Modelos de Simulación, calibrados para las características de la región en estudio, sensores de detección de las variables de la hidráulica que intervienen en el proceso y un Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos (SCADA) como se muestra en la figura 1. Herramientas: matemáticas, electrónicas e informáticas, interactúan con un alto grado de integración permitiendo el intercambio y la actualización de la información. La alta integración posibilita la correcta toma de decisiones para la operación de conjuntos hidráulicos garantizando la preservación del recurso hidráulico superficial y subterráneo y distribuyéndolo espacial y temporalmente para minimizar las afectaciones de las sequías operacionales y para la prevención de desastres provocados por las inundaciones debidas a lluvias intensas.

Un componente importante dentro de la plataforma lo constituye el SIG, herramienta que tendrá como objetivos

## Resumen / Abstract

*Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta importante en el análisis y manejo de datos referenciados geográficamente. Pueden representar el mundo real partiendo de datos digitales y de la simulación de efectos que un proceso natural o antrópico produce sobre un escenario determinado en un momento dado. Un SIG tiene múltiples aplicaciones. En hidráulica son ampliamente utilizados y ahora muchos sistemas de gestión de recursos incorporan sus aplicaciones. En el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), de la CUJAE se desarrolla una plataforma para gestión del recurso agua. Uno de sus componentes es un SIG. En el artículo se describen los aspectos generales de los SIG, herramientas de desarrollo y el SIG diseñado para la Plataforma Modular Integrada de Recursos Hidráulicos.*

*Palabras clave: sistema de información geográfica, plataforma modular integrada de recursos hidráulicos.*

*Geographic information systems (GIS) are an important tool for storing and managing geographically referenced data. They can represent real world through digital data and data from simulation of natural or antropic processes over a given scenario for a given time. GIS has multiple applications. It is widely used in hydraulics and nowadays many resource management systems are incorporating applications. In the Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) of CUJAE a platform is developed for water resources management. One of its components is GIS. In this paper general characteristics of GIS are explained, development tools and the specifically designed GIS for the Modular Integrated Platform of water resources.*

*Keywords: : geographic information systems, modular integrated platform of water resources.*

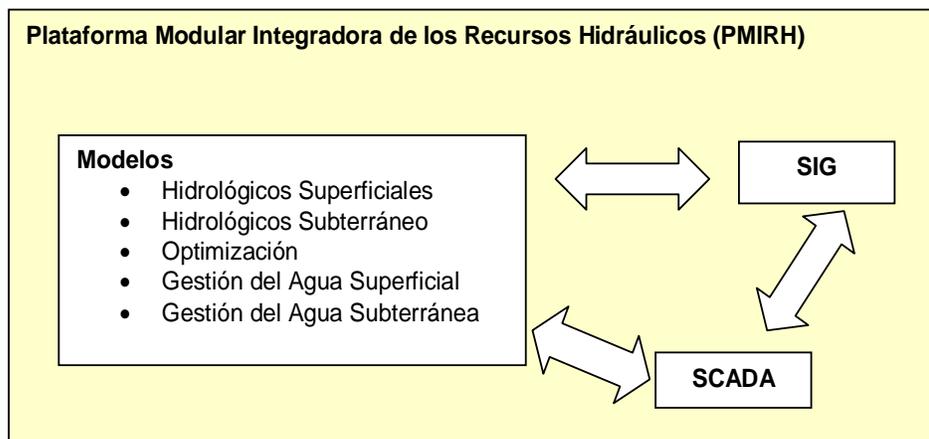


Figura 1. Componentes del PMIRH.

fundamentales el análisis y la representación de la información generada por el SCADA y los Modelos Matemáticos, así como la gestión de los datos de naturaleza espacial.

El presente artículo tiene como objetivo fundamental dar a conocer el Sistema de Información Geográfica concebido como componente de la Plataforma Modular Integradora de los Recursos Hidráulicos y las ventajas que tiene su utilización.

### ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS

Existen múltiples definiciones de lo que es un Sistema de Información Geográfico, estas varían en dependencia de la visión de los autores y del año en que fueron expuestas, pero todas convergen en que un SIG es un conjunto de elementos organizados (sistema) con el fin de mantener o proveer información geográfica [1].

El concepto de SIG tiene como antecesor al mapa, que es una representación simplificada de la realidad geográfica. Un SIG es un mapa digital compuesto por varias capas o temas, en cada una de las cuales se recoge un aspecto de la realidad de una zona geográfica. Este mapa inteligente permite consultar los datos asociados a cada elemento del mapa y estudiar las relaciones entre ellos [1].

Los SIG tienen cinco componentes fundamentales como se representa en la figura 2.

El equipamiento es el soporte físico del SIG y el software son las herramientas que le permiten captar, almacenar, manipular, analizar y representar gráficamente la información.

Los recursos humanos son un elemento importante pues sin un personal experto, la información no se mantendrá actualizada y se manejará erróneamente, por tanto aunque se cuente con un software y hardware avanzados, estos no podrán ser explotados al máximo [2].

El componente más importante para un SIG es la información. Es imprescindible que se cuente con los datos

adecuados para que el sistema funcione correctamente.

Para que un SIG tenga una implementación exitosa además de poseer los datos adecuados debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y practicas operativas exclusivas en cada organización.

Los Sistemas de Información Geográfica tienen cinco funciones principales como muestra la figura 3 [2].

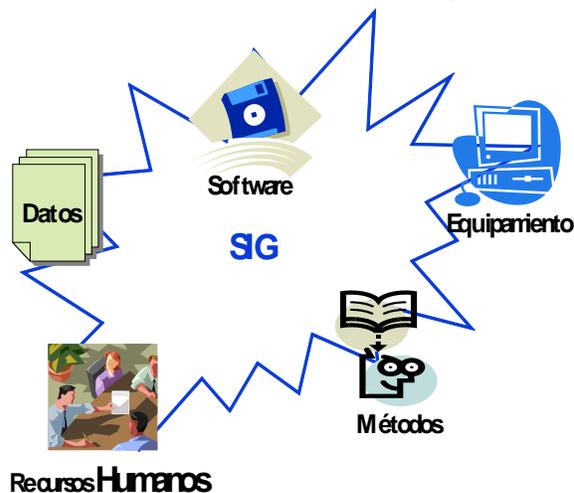


Figura 2. Componentes fundamentales de los Sistemas de Información Geográfica.



Figura 3. Funciones Principales del SIG.

Una de las fortalezas de este tipo de sistemas es que dan la posibilidad de hacer análisis y consultas a los datos, lo que permite responder preguntas y dar solución a problemas particulares.

Entre las consultas más frecuentes se encuentran:

- ◆ Ubicación de un objeto determinado en el espacio.
- ◆ Ubicación de un objeto con relación a otro.
- ◆ Cálculo de áreas, perímetros, volumen, frecuencias, etc.
- ◆ Operaciones con mapas.
- ◆ Qué objeto se encuentra en una coordenada determinada.
- ◆ Caminos más cortos entre dos puntos.
- ◆ Análisis de proximidad entre objetos.

El resultado de estas consultas se puede presentar al usuario en diferentes formatos: de manera tabular, mediante mapas y planos, listados, reportes, vistas 3D, imágenes, etc.

Los datos en un SIG se almacenan como una colección de capas temáticas que pueden estar vinculadas entre sí a través de la geografía, como se muestra en la figura 4.

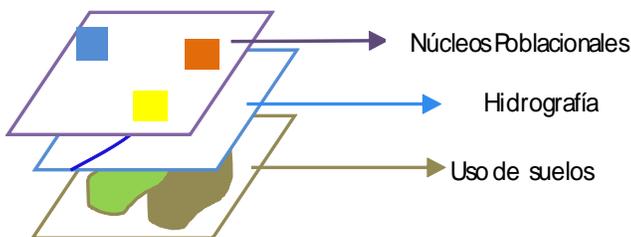


Figura 4. Estructura de capas.

Los datos geográficos representan la información a través de mapas y símbolos, que describen la geografía como formas geométricas, redes, superficies, ubicaciones e imágenes, a los cuales se les asignan atributos para definirlos y describirlos [2].

En los SIG la información se puede presentar en dos tipos de formatos fundamentales: Vectorial y Ráster.

Los datos vectoriales se representan con tres tipos de objetos espaciales: Puntos, Líneas y Polígonos como se muestra en la figura 5. Los puntos se determinan por las coordenadas terrestres de latitud y longitud, estos pueden representar por ejemplo ciudades, edificaciones, etc.

Las líneas son objetos abiertos que cubren una distancia dada y comunican varios puntos o nodos, como por ejemplo ríos, carreteras, líneas férreas, entre otros. Los polígonos son figuras planas conectadas por diferentes líneas u objetos cerrados que abarcan un área, como por ejemplo países, lagos, etc. [2].

La información en formato Ráster se obtiene mediante la digitalización de mapas o las imágenes digitales capturadas por satélites u otros medios, la representación de

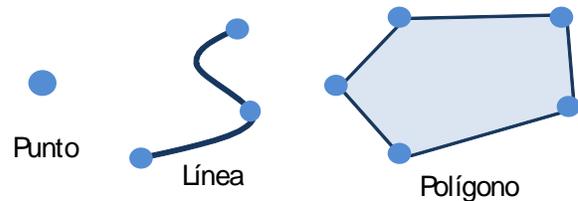


Figura 5. Formas de representación de los objetos espaciales.

este tipo de modelos es a través de una matriz que permite asociar datos a una imagen, o sea, se relacionan tablas a los píxeles de una imagen digital [2].

## HERRAMIENTAS SIG

En el desarrollo SIG se encuentran herramientas del lado del servidor y herramientas clientes. Entre las herramientas del lado del servidor se encuentran: los servidores de bases de datos geográficas, servidores de mapas y herramientas de metadatos. Por otro lado, las aplicaciones clientes se clasifican en: clientes pesados de escritorio y clientes ligeros web.

En el mundo existen hoy múltiples herramientas de las antes mencionadas, muchas de ellas propietarias. Entre ellos los productos de la familia ArcGis son los más estandarizados, porque brindan un conjunto de herramientas robustas que abarcan tanto las funcionalidades del lado del servidor como del lado del cliente.

Los productos de la familia ArcGis [3] son desarrollados por la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute) [4], la cual es una de las compañías líderes a nivel mundial en el desarrollo y comercialización de Sistemas de Información Geográfica. La amplia utilización de sus productos ha supuesto la estandarización de sus formatos de almacenamiento, como por ejemplo el *shapefile*. Su producto más conocido es el ArcGis [3].

ESRI brinda un grupo de herramientas de desarrollo que posibilita la creación de aplicaciones personalizadas o introducir funcionalidades GIS dentro de aplicaciones existentes.

ESRI Developer Network (EDN) [5] es un programa de suscripción anual que tiene como objetivo proporcionar a los desarrolladores herramientas que permitan aumentar la productividad y reducir el costo final de desarrollo. Incluye una biblioteca para el desarrollo y la prueba de aplicaciones, la documentación necesaria y una página web donde intercambiar información y conocimiento.

La biblioteca incluye: ArcGis Server, ArcIMS, ArcSDE, ArcGis Engine Developer Kit y un conjunto de ArcWeb Services [6].

Es importante señalar que se observa el aumento de proyectos y aplicaciones libres y de código abierto relacionados con la geomática (término moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para capturar, analizar, tratar, interpretar, difundir y almacenar información geográfica).

Esto se debe principalmente a que los productos comerciales son caros y complejos de manejar, no funcio-

nan sobre todos los sistemas operativos, no adoptan generalmente las estandarizaciones promovidas por el Open Geospatial Consortium (OGC) [7] y no ofrecen libertad de uso.

Dentro de los servidores de mapas, el proyecto principal es el UMN MapServer [8], desarrollado por la universidad de Minnesota, la NASA y el departamento de recursos forestales de Minnesota. Nació como un grupo de scripts para ArcInfo que generaban de forma dinámica impresiones cartográficas para publicar en la web, en la actualidad se presenta como ejecutable CGI (interfaz de entrada común) que se puede invocar desde páginas web para generar de forma dinámica imágenes en los formatos más habituales de publicación. También se presenta como biblioteca para diferentes lenguajes, como por ejemplo PHP.

Existen otras aplicaciones destacadas en este sentido, como son: GeoServer [9], Degree [10] y MapGuide Open Source [11].

Dentro de las aplicaciones clientes se encuentran: GRASS [12], Quantum GIS [13], SAGA [14], SEXTANTE [15], MapWindow [16], World Wind [17], Open JUMP [18], uDig [19] y gvSIG [20], entre otros.

Este análisis demostró que existen dentro del software libre herramientas con calidad y que cubren la mayoría de los requerimientos que se necesitan para desarrollar aplicaciones SIG profesionales. Lo que hace considerar la factibilidad de emplearlas.

#### MAP WINGIS OCX

En esta sección se describe la herramienta MapWinGis, ya que fue la seleccionada para desarrollar el SIG de la Plataforma Modular Integradora de los Recursos Hidráulicos.

El MapWinGIS.ocx [21] es un componente ActiveX escrito en C++ y desarrollado por el proyecto MapWindow Gis. Facilita el desarrollo de aplicaciones en varios lenguajes de programación (C#, VC++, VB6, VB.NET, VBA y Delphi). Está compuesto por una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) que permite el acceso a objetos, funciones, propiedades y métodos relativos a la visualización y manipulación básica de información geográfica en formato Shapefile, Grid y TIN.

Brinda una colección amplia de objetos y funciones, es fácil de utilizar y cuenta con una documentación amplia. Otra ventaja es que se encuentra libre y puede descargarse desde su sitio web oficial [http:// www.mapwindow.com](http://www.mapwindow.com).

### **SIG-PMI: EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA DE LA PLATAFORMA MODULAR INTEGRADA DE RECURSOS HIDRÁULICOS**

Cuando se concibió la Plataforma Modular Integradora de los Recursos Hidráulicos, se decidió desarrollar un Sistema de Información Geográfico personalizado para la región de aplicación de la plataforma.

Se decidió no utilizar directamente alguna de las herramientas profesionales existentes, ya que se pretendía obtener un producto homogéneo en lo referente al diseño de interfaz de sus componentes. Por otra parte, dentro de las funcionalidades del SIG se encuentran algunas operaciones que no son las básicas contempladas en la mayoría de las herramientas de esta naturaleza, como por ejemplo: Mostrar las isolíneas reales y de simulación en un escenario determinado y otros cálculos relacionados con la hidráulica específicamente.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta es el alto grado de integración que tendría esta herramienta con el resto de las aplicaciones que conforman la plataforma. En muchos casos las herramientas profesionales no permiten la comunicación mediante la programación o los lenguajes que implementan para estos fines son engorrosos, como por ejemplo el Avenue propuesto por ArcView.

Después de una investigación rigurosa de las herramientas existentes para desarrollar aplicaciones de esta naturaleza, se decidió utilizar el componente MapWinGis, teniendo en cuenta las razones siguientes:

- ◆ Se integra al Delphi, herramienta en la cual se desarrollaron el resto de los componentes de la plataforma. Lo que facilita la integración y comunicación entre ellos.
- ◆ Brinda un conjunto de objetos y funcionalidades que abarcan las funciones básicas que se necesitan implementar.
- ◆ Se encuentra libre en Internet.
- ◆ Cuenta con documentación y una web donde se puede acceder a un grupo amplio de ejemplos y artículos vinculados al mismo.

El SIG que se propone tiene como funciones principales:

- ◆ Cambiar escala de colores.
- ◆ Visualizar mapas.
- ◆ Zoom (in, out, all).
- ◆ Paneo.
- ◆ Mostrar información relacionada con el mapa elementos específicos dentro del mismo.
- ◆ Seleccionar un elemento.
- ◆ Calcular distancia de punto a punto.
- ◆ Calcular área y perímetro de una región.
- ◆ Mostrar la información por capas.
- ◆ Mostrar isolíneas reales y de simulación en un escenario determinado.
- ◆ Leer formatos estándares (dxf, shp, ascii).
- ◆ Realizar consultas selectivas a la BD.

El sistema se concibió con una interfaz de usuario amigable y comprensible como se puede apreciar en la figura 6. Se tuvo en cuenta el diseño del resto de los componentes de la plataforma en cuanto a los colores utilizados, los menú, etc. De esta forma el usuario no percibe cambios bruscos de una aplicación a otra y le es más fácil interactuar con el sistema.



Figura 6. Sistema de Información Geográfica del PMIRH.

La articulación del SIG con los modelos matemáticos, permite llevar a cabo las tareas de verificación y visualización de los resultados de la modelación con el empleo de mapas, gráficos y visualizaciones tridimensionales.

Existen actualmente tres tendencias fundamentales para implementar la conexión entre los SIG y los modelos matemáticos de agua subterránea [22]:

Tendencia #1: Vincular el SIG con el modelo matemático mediante programas de transferencia de datos como se muestra en la figura 7. En este caso el modelo matemático y el SIG son esencialmente autónomos, e incluso el modelo se puede ejecutar sin tener necesidad de utilizar bases de datos producidas o gestionadas por el SIG. En este caso, los programas convierten datos desde el SIG a un formato que pueda servir como entrada al modelo, y realizar el mismo proceso pero de forma inversa para que los resultados producidos por el modelo puedan ser utilizados por el SIG.

Esta variante no requiere de un gran esfuerzo en cuanto a programación y además utiliza de manera eficiente todas las capacidades que, por separado, presentan estas herramientas. La principal desventaja es que las entradas y salidas tienen que ser almacenadas dos veces: en el SIG y en el modelo.

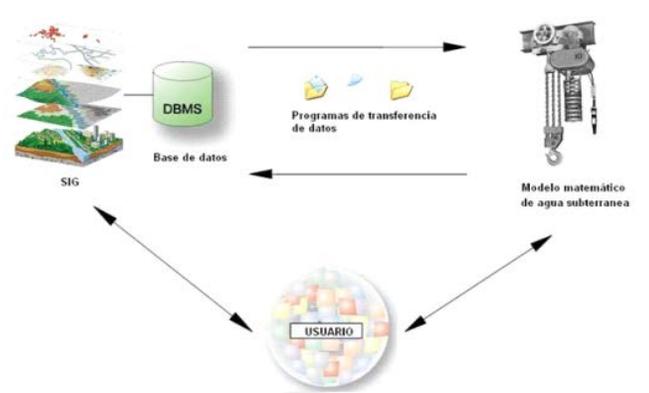


Figura 7. Conexión SIG-Modelo matemático mediante programas de transferencia de datos.

Tendencia #2: Integrar las bases de datos del modelo matemático y el SIG como se muestra en la figura 8. En esta forma de integración, la interacción del usuario es solamente con el SIG, o con el modelo, mediante una interfase previamente definida.

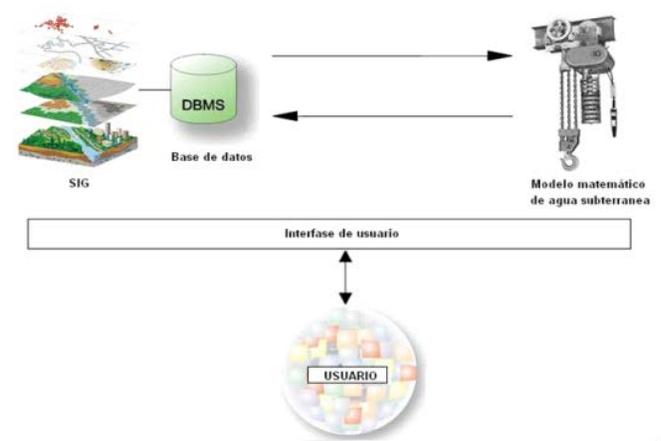


Figura 8. Esquema de integración Modelos matemáticos-SIG

Este esquema emplea una sola base de datos en lugar de dos separadas con lo cual se gana en eficiencia en cuanto a tiempo de cálculo y necesidades de almacenamiento en línea.

La principal desventaja de este método de integración es que requiere un alto nivel de programación para desarrollar finalmente la plataforma que integre ambos productos.

Tendencia #3: Introducir el modelo matemático dentro del SIG como muestra la figura 9. En este caso el modelo está diseñado para utilizar el mismo formato de datos que utiliza el SIG.

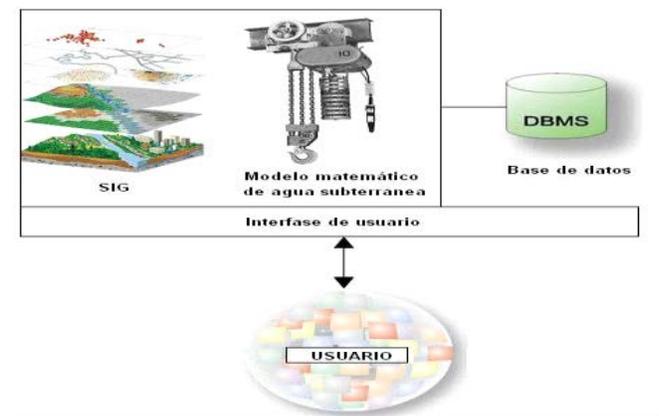


Figura 9. Esquema de la integración del Modelo matemático dentro del SIG

El usuario interactúa directamente con el SIG y el modelo no está oculto, sino que se puede acceder a él siempre desde el propio SIG. Tiene la gran ventaja de que, la geometría del acuífero, propiedades, fronteras y puntos pueden ser definidos dentro del SIG y fácilmente transfe-

ridos a la plataforma de modelación.

Como desventaja, requiere muy alto nivel de programación para implementar extensiones en el SIG para acomodar las funciones del modelo.

Además, al incrementarse el nivel de complejidad del modelo (consideraciones de anisotropía, modelos tridimensionales, etc.), aumentan los requerimientos del modelo de datos y disminuye la eficiencia en el tiempo de cálculo.

Como se puede observar, cada variante tiene aspectos particulares que la hacen apropiada en determinadas condiciones. De igual modo, estos aspectos pudieran constituir una desventaja para otros escenarios de aplicación o implementación.

No obstante, no deben considerarse estas opciones de forma rígida, es decir, pudieran buscarse soluciones intermedias o flexibles que incluyeran aspectos particulares y permitieran adaptarse a las necesidades concretas de integración.

En el caso particular del SIG que se propone, se consideró la segunda variante como la más adecuada, ya que presenta un enfoque modular e independiente, apropiado para la estrategia de integración en la que se fundamenta la plataforma propuesta.

Un ejemplo de cómo se realiza la conexión entre el SIG y el modelo matemático dentro de la Plataforma Modular Integradora, es la generación de los mapas de isolíneas reales y de simulación para diferentes escenarios.

Para lograr esto, se ejecuta el modelo matemático, el cual genera un conjunto de información que es procesada luego por el SIG y con la cual construye los mapas antes mencionados, como se muestra en la figura 10.

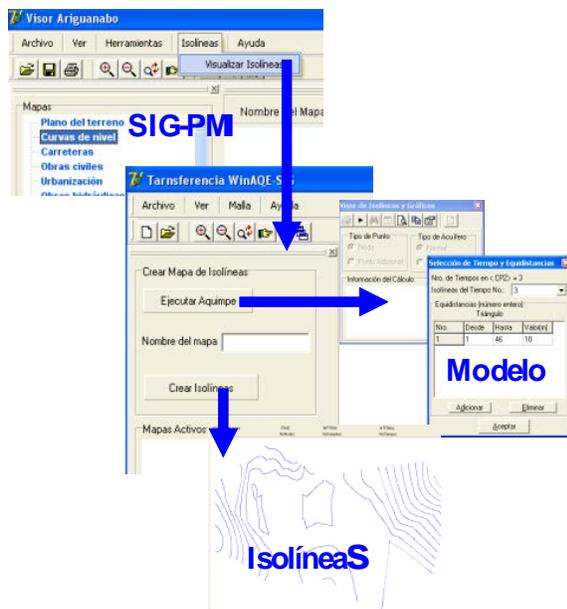


Figura 10. Interacción SIG-Modelo matemático en la generación de mapas de isolíneas.

Hay que señalar que pese a que el sistema se concibió como parte del PMIRH, está diseñado para funcionar como un Sistema de Información Geográfico independiente. Por lo que puede ser utilizado como un SIG de propósito general o formar parte de alguna otra plataforma donde se manipulen datos de naturaleza espacial y se requiera de su visualización y gestión.

## CONCLUSIONES

La gestión y conservación de los Recursos Hidráulicos es un tema de gran interés para el país, por lo que las investigaciones enfocadas a esta línea revisten una gran importancia.

La utilización de herramientas SIG constituyen un soporte importante en las aplicaciones que gestionan datos de índole espacial, como es el caso de la Plataforma Modular de los Recursos Hidráulicos, ya que aportan a los especialistas información visual en diferentes formatos y permiten el manejo y la consulta a los mismos.

La herramienta MapWinGis brinda los objetos y los métodos necesarios para implementar las funcionalidades generales de los sistemas de información geográfica.

El SIG propuesto abarca las funcionalidades básicas de las aplicaciones de esta naturaleza y las particulares de la plataforma, por lo que puede utilizarse de forma independiente como SIG de propósito general o como parte de otras plataformas.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar desarrollando la aplicación, incorporándole nuevas funcionalidades, ya que ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad.

## REFERENCIAS

- [1] Moldes, F. J. T. (2004). Proyectos GIS con Autocad 2002, Anaya Multimedia.
- [2] Ortiz, R. G. (2005). Sistemas de información geográfica (SIG). Boletín de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica.
- [3] ESRI (2004). What is ArcGIS?
- [4] ESRI. (1995-2008). "ESRI Gis and Mapping Software." Retrieved 30/11/2007, from <http://www.esri.com>.
- [5] ESRI. (2008). "ESRI Developer Network."
- [6] Peters, D. (2006). System Design Strategies, ESRI.
- [7] Open Geospatial Consortium (OGC), O. G. C. (1994 - 2008). "OGC." Retrieved 3/12/2007, from <http://www.opengeospatial.org/>.
- [8] Pericles S. Nacionales. (1996-2008). "MapServer." from <http://biometry.gis.umn.edu/tutorial/>
- [9] Atlassian Confluence, (2006). "GeoServer." Retrieved 30/11/2007, from <http://geoserver.org/>
- [10] Degree. (2007). "Free Software for Spatial Data Infrastructures." Retrieved 30/11/2007 from <http://>

- www.deegree.org/.
- [11] OSGeo. (2005). "MapGuide Project Home." Retrieved 30/11/2007 from <http://mapguide.osgeo.org/>.
- [12] GRASS, D. T. (1999-2007). "GRASS: Introduction." Retrieved 28/11/2007 from <http://grass.itc.it/intro/general>.
- [13] OsGeo. (2006). "Quantum GIS Documentation." Retrieved 28/11/2007 from <http://qgis.org/content/view/106/79/>.
- [14] Saga, T. (2005). "About SAGA GIS." Retrieved 29/11/2007, from <http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php>.
- [15] Olaya, V. (2007) "Implementación sencilla de algoritmos de análisis geográfico en gvSIG. La clase SEXTANTE."
- [16] MapWindow, O. S. T. (2007). "MapWindow Gis." Retrieved 30/11/2007, from <http://www.mapwindow.com/>
- [17] NASA. (2004). "World Wind Web Manual." Retrieved 29/11/2007, from <http://worldwind.arc.nasa.gov/manual.html>.
- [18] Jump-Project. (2003). "The Jump Project." Retrieved 30/11/2007, from <http://jump-project.org/>
- [19] Refrations, R. (2007). "UDIG-User Documentation." 30/11/2007.
- [20] IVER, (septiembre 2007). gvSIG 1.1 Manual de usuario Versión 3 .
- [21] P. Ames Daniel (2006) "Getting Started With the MapWinGIS ActiveX Control".
- [22] MAIDMENT, D. et al. Use of Geographic Information Systems in Ground- Water Flow Modelling. Journal of Water Resources Planning and Management. March/April, 1996.

---

Recibido: enero del 2009  
Aprobado: febrero del 2009