

# PROTOTIPO DE SISTEMA DE SOPORTE A LA DECISIÓN PARA EVALUACIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS BASADO EN UN GIS

*Nieves Roqueñí\*, José Manuel Mesa\*, Gemma Martínez\*, Belén Prendes\*\**

\*Universidad de Oviedo – Área de Proyectos de Ingeniería

\*\* Universidad de Oviedo – Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería

## RESUMEN

La evaluación de nuevos proyectos de explotación de recursos hidráulicos para la generación de energía eléctrica tiene un componente fundamental en el estudio de las variables ligadas a la localización del salto. El emplazamiento influye en la viabilidad del proyecto, desde el momento en que determina la cuantificación del potencial eléctrico proyectado, mediante factores como: magnitud del salto, datos de caudales y régimen del río. La topografía también condiciona la solución técnica, al definir el tipo de esquema de la central, el tipo de turbina y la magnitud de las obras que es necesario ejecutar. Estos parámetros inciden directamente en la rentabilidad económica y financiera del proyecto planteado y determinan las implicaciones medioambientales que van a intervenir en la tramitación administrativa de la concesión.

Para optimizar el tratamiento de estas variables resulta muy adecuada la utilización de herramientas como la presentada en este artículo. Se trata de una aplicación basada en un Sistema de Información Geográfica (GIS) integrada en un Sistema Espacial de Soporte a la toma de decisiones (SDSS).

Se gestionan objetos temáticos que representan aspectos geográficos relativos a los proyectos a evaluar, incluyendo atributos (datos) que son entidades de las cuencas tales como caudales, pendientes, saltos potenciales, potencia teórica, etc. Las leyes físicas que gobiernan los objetos espaciales, como las políticas ambientales o los factores económicos que influyen en la viabilidad, están definidas como relaciones entre objetos.

La explotación del sistema se realiza mediante consultas en las que tanto los objetos de la red, como los atributos y las relaciones entre objetos se conectan bajo interacciones que define el usuario de la aplicación.

## SUMMARY

The hydropower new projects evaluation has a fundamental component in site location. Location influences in the project viability, since the moment in which determines the projected hydroelectric potential, by means of factors as: height of the dam, data of volumes and state of the river. Topography also conditions technical solution, because define the type of powerhouse, type of turbine and magnitude of civil works that is necessary to execute. These parameters impact directly in the economic profit value and financing of the project and determine the environmental implications that are going to intervene in the administrative processing of concession. This paper presents a prototype spatial decision support system (SDSS), which is a conjunctive application of GIS and DSS technologies, for optimisation. Thematic objects represent geographical aspects

relating to the projects, including attributes (data) that are basin entities such as water resource potential, pending, height of dam, hydropower potential, etc. Thematic objects, attributes, physical laws that govern the spatial objects in the real world, and the environmental policies or economic factors are connected under user interactions.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) basados en Sistemas de Información Geográfica (GIS), a menudo denominados Sistemas Espaciales de Soporte a la toma de decisiones (SDSS), son un tipo de sistemas informáticos en los que las tecnologías GIS y DSS se aplican para ayudar a tomar decisiones en problemas con una dimensión espacial (Walsh,1992). El GIS es una tecnología de propósito general que permite manejar datos geográficos en forma digital, con la posibilidad de tratar los datos de forma adecuada para realizar análisis y modelización y poder procesar los resultados.

El GIS ofrece una representación espacial de los sistemas hidráulicos, pero tiene limitaciones a la hora de resolver problemas complejos de gestión de los recursos, al tener poca capacidad analítica y predictiva. Los DSS son programas interactivos, que normalmente utilizan un interface gráfico y permiten utilizar técnicas de simulación tradicionales junto con modelos de optimización para la resolución de problemas complejos. Una extensión de estos sistemas son los denominados SDSS, que integran DSS y GIS, añadiendo la dimensión espacial a la resolución de problemas de optimización (McKinney, 1997).

En este artículo se considera la aplicación de estos sistemas de ayuda a la toma de decisiones espaciales a la gestión de los recursos hidráulicos de un territorio con el fin de su aprovechamiento energético.

La gestión de recursos hídricos considerada en una escala espacial regional, debe permitir un análisis de decisiones sobre criterios físicos, ambientales y condicionantes socioeconómicos, entre otros, con el fin de evaluar la viabilidad y permitir planificar las distintas acciones que se concretan en proyectos de saltos hidroeléctricos.

## **2 DISEÑO DEL SISTEMA**

La idea para el diseño del sistema es usar los datos, el modelo espacial y el proceso de análisis para toma de decisiones de manera conjunta en un entorno de GIS. El GIS utilizado es el AUTODESK MAP, paquete de software con un lenguaje de programación orientado a objeto.

La Figura 1 muestra la estructura del DSS basado en GIS. Las cuencas hidrográficas se representan mediante objetos espaciales, que representan entidades del mundo real, objetos temáticos, atributos, relaciones lógicas y modelos. Se genera un modelo programado matemáticamente basado en la red, en los atributos, en las leyes físicas y políticas de control y en la interacción con el usuario. Uno de los modelos propuestos se basa en la interferencia del proyecto hidráulico con las diferentes figuras de protección ambiental, otro de los modelos trata de evaluar la rentabilidad económica del proyecto, introduciendo el balance entre la valoración del coste de la obra civil a construir y el coste de la turbina frente al retorno de la inversión con el

potencial energético explotado. Para este último modelo se precisa de herramientas de cálculo externas, usando en el caso que nos ocupa programas realizados con la hoja de cálculo Excel. Autodesk Map genera la llamada a Excel y una vez que Excel resuelve la macro, vuelca el resultado nuevamente al sistema SDSS.

El sistema espacial de apoyo a la toma de decisiones se diseña como un sistema adaptativo, capaz de incorporar nuevos objetos espaciales y temáticos, incluir atributos y nuevas relaciones y modelos y responder a las reglas de operación que defina el usuario. Esta posibilidad de adaptación permite resolver la gestión de problemas de planificación hidroeléctrica en cualquier cuenca de la que se tengan datos.

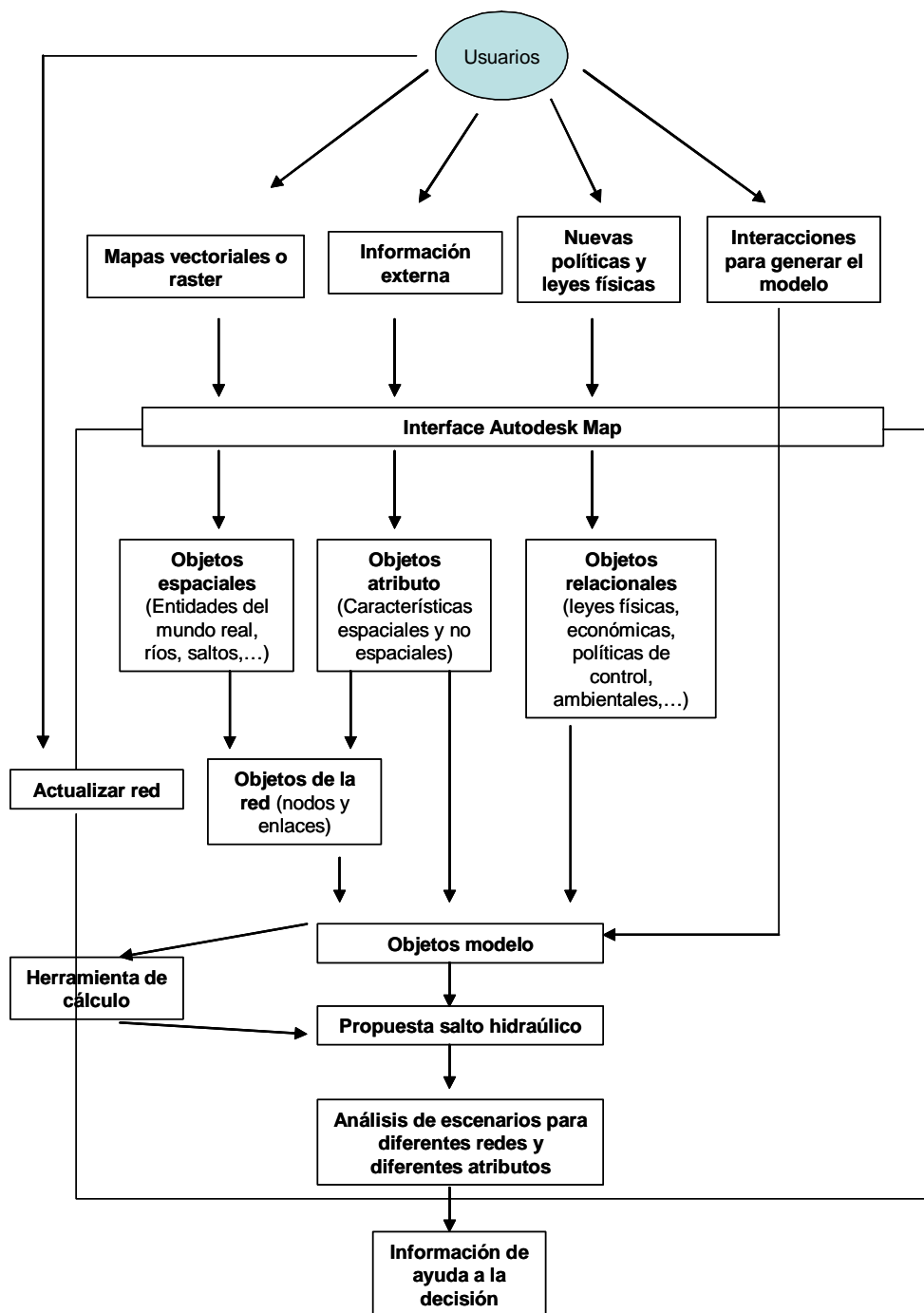


Figura 1. Estructura del sistema SDSS propuesto

### **3 REPRESENTACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA**

En el sistema propuesto se ha utilizado como caso de estudio las cuencas hidrográficas de la región de Asturias, en las que se han identificado unas 10 cuencas de los principales ríos que atraviesan la región y más de 200 subcuencas de los ríos subsidiarios o afluentes de aquellos.

#### **3.1 Objetos espaciales**

Para este estudio, los elementos espaciales requeridos son:

- Los ríos principales, divididos en tramos
- Los principales afluentes o tributarios
- Los saltos hidroeléctricos ya construidos
- Los saltos hidroeléctricos potenciales
- Los concejos o distritos administrativos
- Las áreas con figuras de protección ambiental

Para introducir estas entidades en el GIS se ha procedido a utilizar datos ya digitalizados adquiridos en el Centro Nacional de Información Geográfica del Ministerio de Fomento a escala 1:25.000, como límites administrativos, hidrografía y topografía, y a digitalizar para el propósito de este estudio los datos referentes a saltos hidroeléctricos.

#### **3.2 Objetos topológicos**

En las cuencas hidrográficas estudiadas, algunos objetos espaciales se tratan como nodos (por ejemplo, los saltos), otros se tratan como redes (un río y sus afluentes) o como áreas (subcuencas, zonas de protección, concejos,...). Es necesario establecer relaciones espaciales entre objetos mediante la definición de relaciones topológicas.

#### **3.3 Objetos Atributos**

Además de los datos espaciales es preciso introducir datos numéricos o alfanuméricos que se relacionan con los datos geográficos, con este fin se habilita una conexión de Autodesk Map con Access como base de datos donde se almacenan atributos como: potencia teórica, salto neto, caudal de diseño, cota de captación, cota de restitución, cota de cauce, cota máxima de agua, etc.

### **4 MODELO DE EVALUACIÓN DE SALTOS HIDRAÚLICOS**

Para la evaluación de los saltos hidráulicos potencialmente viables en el área geográfica estudiada hay que introducir un modelo matemático que permita valorar en una primera aproximación la rentabilidad económico-financiera del posible proyecto identificado. Además este modelo debe valorar otra serie de restricciones de carácter medioambiental, socioeconómico, administrativo, etc

#### **4.1 Restricciones**

Se identifican a la hora de tomar decisiones varias clases de restricciones o condicionantes que hay que introducir en el modelo:

- restricciones geográficas (p.ej. diferencia de cotas, caudal, ...),
- restricciones medioambientales (p.ej. caudales ecológicos, zonas de exclusión, impacto ambiental de la obra,...) y
- restricciones técnico-económicas (p.ej. tipo de turbina, esquema del salto, inversión inicial, potencia teórica generada,...).

Son precisamente las restricciones económicas unas de las más difíciles de evaluar por el sistema de toma de decisiones, por lo que el modelo matemático sobre el que se basa esa toma de decisiones tiene que desarrollar el método de cálculo correspondiente.

#### 4.2 Modelo matemático

Para evaluar los proyectos hidroeléctricos es preciso calcular los costes de inversión: presa, central, túneles, canales, etc. (Eliasson, 1999). Estos cálculos se basan en una serie de hipótesis sobre datos geográficos, geológicos e hidrológicos del emplazamiento a evaluar, y otros datos numéricos sobre precios y diseño, obtenidos todos ellos a partir del GIS.

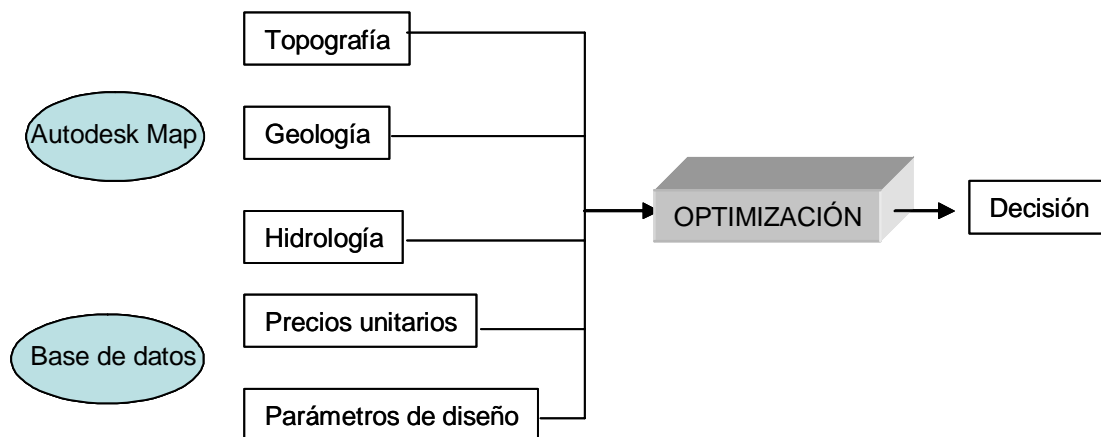


Figura 2. Modelo matemático

#### 4.3 Modelo geográfico

Para incorporar a la decisión las restricciones medioambientales es necesario superponer a los datos geográficos referentes al salto evaluado, las zonas en las que existe alguna figura de protección medioambiental. En el Principado de Asturias estas figuras están recogidas por el PORNA (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias (PORNA,1994), contempla las cuatro figuras previstas en la normativa estatal: Reservas, Parques, Monumentos Naturales y Paisajes Protegidos. El propio GIS es capaz de delimitar interferencias y afecciones mediante sencillas consultas espaciales.

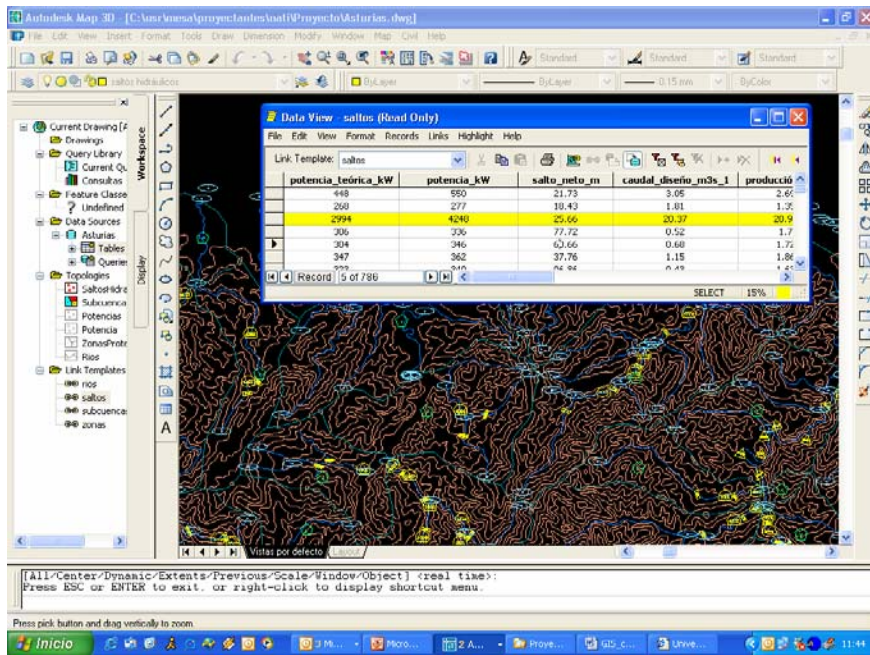
## 5 OPERACIÓN DEL SDSS

El sistema de soporte a la decisión se apoya en primer lugar en el GIS. La realización del sistema de información geográfica base conlleva, como cualquier otro GIS, un importante trabajo de limpieza y preparación de la cartografía, de inserción de los elementos gráficos, configuración de las tablas de datos asociadas y creación de topología. El diseño de esta estructura debe realizarse en función de los objetivos finales, puesto que condiciona enormemente la explotación posterior del sistema. En la Figura 3 puede verse el espacio de trabajo de Autodesk Map, donde se tiene acceso a todos los elementos creados.



Figura 3: Espacio de trabajo del Gis en Autodesk Map

En este caso resulta especialmente importante la configuración de las topologías base (ríos, saltos hidráulicos, subcuencas, concejos, zonas protegidas,...) que permitirán generar de forma sencilla consultas espaciales, a partir de interacción o superposición de las mismas, o generar nuevas topologías específicas para problemas determinados. Asimismo se ha desarrollado una librería de consultas habituales que sirven como base para la evaluación de los casos de estudio con sólo cambiar, por ejemplo, el río, la subcuenca especificada, o la potencia requerida.



**Figura 4: Localización de un salto hidráulico**

En la Figura 4 se observa un ejemplo en el que se ha seleccionado un salto hidráulico, obteniendo toda la información asociada (potencias, caudal, cotas, etc.) dentro de un grupo de saltos que cumplen una serie de criterios espaciales, pertenencia a un concejo determinado, no estar incluidos en ninguna zona protegida así como tener una cota y caudal determinados.

La otra parte del sistema de ayuda a la decisión se basa en la aplicación de los criterios de selección a las posibles alternativas a evaluar. En el caso que nos ocupa algunos de estos criterios de selección son geográficos (viabilidad medioambiental, concesión de licencias administrativas en los concejos afectados, dificultad de la obra civil a realizar,...). Estos criterios son directamente gestionados sobre el GIS.

Sin embargo, hay otros factores que deben ser evaluados aplicando complejos modelos matemáticos, por ejemplo, los indicadores de rentabilidad económico-financiera.

La información obtenida desde el sistema de información geográfica se exporta a Microsoft Excel y se procesa junto con los parámetros de diseño y la base de datos de precios (almacenados en la misma base de datos del GIS) en el modelo matemático. La comparación de las valoraciones obtenidas, evaluando distintas opciones de diseño, emplazamientos, distancias de toma, etc. junto con las correspondientes a otros saltos permitirá una mejor selección de alternativas.

La presentación de las opciones puede realizarse mediante el administrador de escenarios, de forma numérica, y reforzarse de forma gráfica mediante la generación de mapas temáticos.

## 6 CONCLUSIONES

El prototipo presentado permite al evaluador, ya sea un posible promotor de proyectos hidráulicos o un organismo planificador regional, obtener de una manera rápida el potencial real de un posible salto identificado.

La decisión de actuación o inversión realizada sobre un sistema SDSS incorpora todos los criterios conjuntamente, no sólo económicos sino también ambientales, geográficos o de territorio.

El sistema, en una fase posterior, permite hacer análisis de escenarios para comparar las posibilidades de distintos emplazamientos o diferentes alternativas técnicas en un mismo tramo de un río.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(Walsh,1992) Walsh, M. R. (1992) *Toward spatial decision support systems in water resources, J. of Wat. Resour. Plng. And Mgmt.* 109 (2): 158-169

(McKinney,1997) McKinney, D.C.; Cai, X.;Maidment, D.R. (1997) *A prototype GIS-Based Decision Support System for River Basin Management. ESRI International User Conference Proceedings*

(Eliasson, 1999). Eliasson, J.; Ludvigsson, G.; Doujak, E.; Ólsen, A. (1999) "A proposal to exploit optimally the Hydropower potential of Fljotsdalur Iceland" *Water Power'99 Conference*

(PORNÁ, 1994) Principado de Asturias (1994) Plan de Ordenación de de los Recurso Naturales de Asturias. *Decreto 38/1994, de 19 de mayo, BOPA núm 152 de 2 de julio*

## CONTACTO

Nieves Roqueñí Gutiérrez  
Área de Proyectos de Ingeniería  
Independencia, 13  
33004 Oviedo  
Telf: +34 985 104272  
Fax: +34 985 104256  
E-mail: [nievesr@api.uniovi.es](mailto:nievesr@api.uniovi.es)