

LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA: CONCEPTOS Y UTILIZACION

Manuel Antonio Solano Mayorga¹

RESUMEN

En Costa Rica los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han ido tomando mucho auge en la solución de diferentes problemas, y éstos están siendo utilizados en diversos campos, por ejemplo: en el manejo de cuencas hidrográficas, monitoreo ambiental, en el manejo y conservación de los recursos naturales, como también en los levantamientos del uso del suelo. Fue el Laboratorio de SIG de la Escuela de Ciencias Geográficas el primero en dar a conocer estos programas en Costa Rica; como también fue el Laboratorio el gestor de la Primera Conferencia Latinoamericana sobre SIG y el Primer Curso Latinoamericano en SIGs, en la actualidad son diversas las instituciones que cuentan con equipo y SIG; de tal modo que se hace necesario un documento que contenga información del siguiente tipo: definición de los SIGs, en qué consisten los SIGs, qué tipos existen, qué tipos de datos espaciales manejan, y qué tipo de aplicaciones pueden tener.

1. Coordinador del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfico. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional.

El presente artículo tiene como fin brindar información que permita al lector conocer en una forma breve la estructura de los SIGs, los pasos necesarios para convertir la información analógica en información que sea manejada por un sistema. Se señalan también algunas aplicaciones de los sistemas, las cuales no son únicas, ya que éstas varían de acuerdo con el tipo de estudio que se esté realizando, como también a la cantidad de información que se quiera manejar.

En los últimos años se ha generalizado el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y están siendo utilizados en diversas disciplinas, por ejemplo: Catastro Urbano, Planificación Urbano-Regional, Conservación y Manejo de los Recursos Naturales, Prevención de Desastres Naturales, Geografía, etc. En toda disciplina que se están aplicando han ayudado mucho en el proceso de toma de decisión, ya que los SIGs son una herramienta que colabora en sumo grado en dicho proceso.

El concepto de Sistema de Información Geográfica

El concepto de Sistema de Información Geográfica (SIG) puede ser considerado como una herramienta para analizar información en el contexto espacial.

En términos de definición se puede decir que un Sistema de Información Geográfica es:

Un sistema computarizado de manejo de bases de datos para la captura, el almacenamiento, la reobtención, el análisis y despliegue de datos espaciales, es decir de datos geo-referenciados.

Burrough² es el autor que define en forma clara los SIGs, ya que además de dar una definición bien detallada, realiza una diferenciación de los SIGs y otros conceptos que tienden a confundirse.

«Los Sistemas de Información Geográfica significan mucho más que simple codificación, almacenamiento y recuperación de datos espaciales. En general estos datos representan un modelo del mundo real, el cual nos permite realizar simulaciones con situaciones específicas, algunas de las cuales no podrán llevarse a cabo en la realidad. Es por esta razón que es importante la capacidad de transformación que tenga el sistema y es precisamente esta característica la que marca la diferencia entre los SIGs, la cartografía digital y los sensores remotos».

Para comprender aún más el concepto de los SIGs es necesario tener presente

2. Burrough, P.A.: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. New York. Oxford.

la diferencia entre un banco de datos y un sistema de bases de datos. Un banco de datos es un conjunto de archivos digitales, en los cuales, cualquier consulta que se les quiera hacer, se debe escribir un programa especial para obtener la respuesta. Este programa debe contener diferentes algoritmos, según la estructura de los datos, por ejemplo, travesía, ordenamiento, búsqueda, inserción, etc. Por el contrario a una base de datos se le puede hacer consultas y obtener la respuesta en forma inmediata y es compartida y usada por múltiples usuarios para diferentes propósitos. En un SIG las respuestas a las diversas consultas que se le hacen, se obtienen en forma de mapas, generalmente en la pantalla de la terminal, o bien a través de la impresora o del plotter.

El dato espacial o dato geo-referenciado se compone de dos partes:

- a. el atributo, la variable del dato descriptivo o factor geográfico.
- b. el dato de la imagen o dato de ubicación del atributo de la variable o del dato descriptivo, en un sistema de coordenadas.

El sistema computarizado necesita que la información se le introduzca en forma digital, esto con el fin de que el mismo sistema pueda almacenar recuperar procesar y desplegar la información cartográfica. Este procedimiento de transformar las entidades analógicas en representaciones digitales se conoce como el proceso de **digitalización**.

Existen tres tipos de entidades espaciales que pueden ser sometidas al proceso de digitalización, a saber:

- a. **Puntos:** un punto tiene un tamaño que puede o no ser medible. Pero la diferencia entre un punto y una área tiene que ver con los conceptos de escala y resolución. Ejemplos de puntos se pueden mencionar varios y entre ellos, los sitios históricos, las minas en operación, pozos de agua o petróleo, el nacimiento de una red hidrográfica, etc.
- b. **Líneas:** la línea puede ser recta o curva, y puede representar diversos fenómenos, tales como: red vial, tendido telefónico, tendido eléctrico, red hidrográfica, líneas costeras, etc.
- c. **Áreas:** las áreas generalmente representan fenómenos de mayor amplitud, al igual que las dos anteriores entidades pueden ser medidas y pueden ser localizadas en un sistema de coordenadas determinado. Estas áreas pueden ser de diversas formas y por lo general se describen como polígonos definidos por varias líneas. Estas líneas pueden ser cóncavas o convexas, y los polígonos pueden estar encerrados dentro de otros polígonos, y a su vez encerrar a diferentes polígonos. Por ejemplo un mapa de uso del suelo en un cuadrante urbano tiene diferentes categorías, en primer lugar se puede tener la categoría residencial y dentro de ella

pueden existir otras pequeñas manchas de diversos usos, como: industria, comercio, servicios, etc, de este modo se tendrían polígonos dentro de polígonos. De este tipo de entidad es del que existen mayores ejemplos: cobertura vegetal, geología de una zona determinada, elevaciones del terreno, registro de parcelas, microclimas, etc.

Las tres entidades analizadas anteriormente tienen como característica común que son localizables, tienen una forma determinada, tienen tamaño y se relacionan con sus vecinos.

TIPOS DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Todos los SIGs que se conocen actualmente tienen una misma filosofía, y todos ellos se originaron a partir de la tesis doctoral que realizó Dana Tomlin en 1970, y que se denominó álgebra cartográfica. (Figura 1) El álgebra consiste en que cada atributo representa una variable del mapa, que a su vez representa por medio de números asignados a la celda correspondiente, es decir no se les asigna símbolos o colores como en los mapas convencionales. El sistema que él originó se denominó **Map Analysis Package**. A partir de este sistema comenzaron a surgir otros más, sin embargo, el principio y el fin de los demás es el mismo.

Básicamente existen dos tipos de SIGs, cada uno de ellos determina los procesos

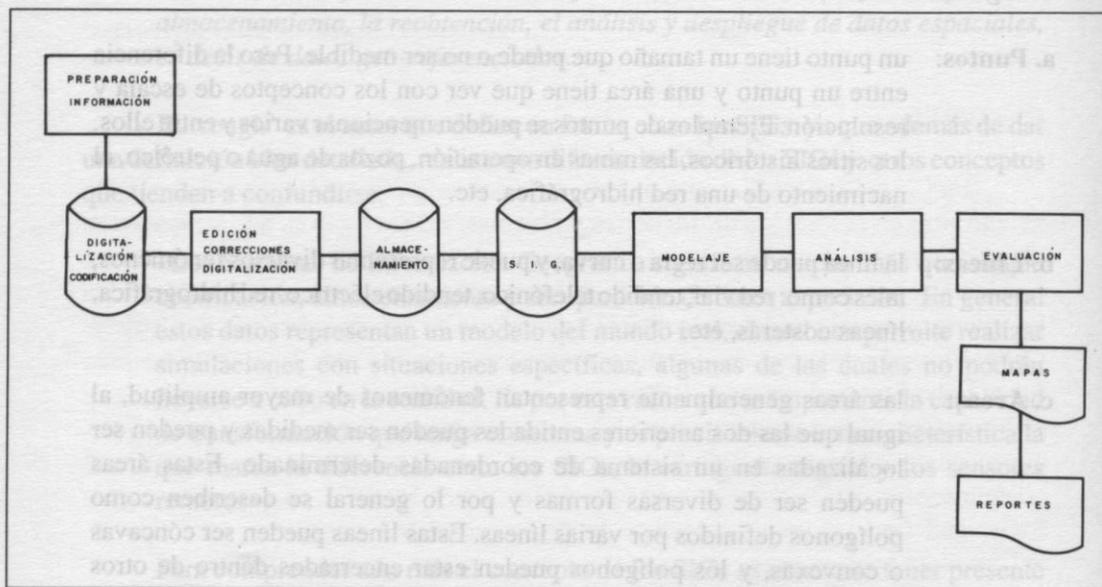


FIG. N° 1
Manipulación de la información en un SIG.

de captura, manipulación y estructura de los datos y consecuentemente también determina la estructura del SIG, el cual puede ser de tipo **vectorial** o de estructura poligonal, o tipo **raster** o de estructura de mallas o celular.

a. Estructura Vectorial:

Los modos vectoriales tienen dos elementos en común, la descripción de la imagen por medio de una lista de pares de coordenadas *xy*, y una lista o tabla de las variables que se encuentran unidas a esa imagen. Las estructuras vectoriales se pueden clasificar en dos grandes grupos:

i. Estructura no topológica o spaghetti.

En este tipo de estructura cada entidad es definida por una secuencia de puntos, un identificador o puntero que lo identifica como una línea o polígono.

ii. Estructura Topológica.

En esta estructura se almacenan también las relaciones topológicas que posee una entidad con sus diferentes vecinos. La unidad fundamental en esta estructura no es el vértice, sino la cadena o arco, los cuales están compuestos por nodos, o sea, un nodo es el punto donde se unen una o más cadenas.

b. Estructura Teselar o de Mallas. (Raster)

Este tipo de estructura supone la existencia de una área de estudio sobre la cual se sobrepone un sistema de cuadrículas, donde cada unidad se denomina celda y todas ellas tienen la misma forma y tamaño. La posición de cada celda se define por su ubicación por medio de fila y columna. El tamaño de la celda se define arbitrariamente, por lo que tiene efecto sobre la magnitud de los detalles. Generalmente, el tamaño de la celda se determina tratando de optimizar el cubrimiento del área de estudio, como también la capacidad del sistema.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

Para el diseño de los SIGs se sigue un procedimiento que generalmente se emplea en todo sistema de información. Sin embargo, como los SIGs son para propósitos muy especiales, la investigación actual trata de buscar procedimientos muy propios para los SIGs. Se emplea corrientemente un procedimiento estructurado e interactivo, que consta de las siguientes etapas:

- a. Evaluación de las necesidades de los usuarios.
- b. Evaluación de los datos existentes.
- c. Diseño conceptual del sistema.

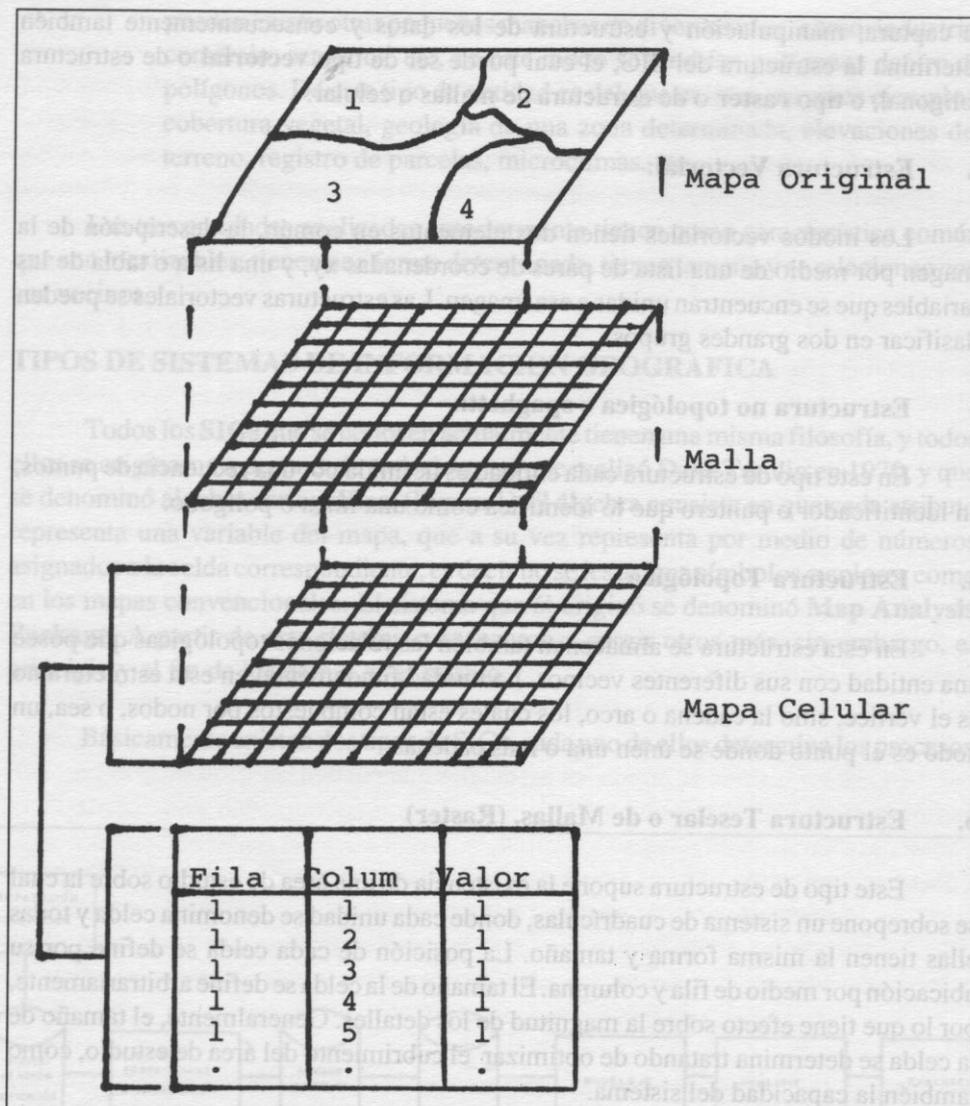


FIG. N° 2
Proceso de Codificación.

- d. Desarrollo de las especificaciones institucionales.
- e. Desarrollo de un plan para la implementación.
- f. Desarrollo y prueba de un sistema prototipo.

Una vez que el diseño del SIG haya cumplido todas sus etapas, éste tiene que ser capaz de cumplir las siguientes funciones:

1. **Captura de información espacial:** En este tópico existen diferentes maneras de capturar información, ya sea que se esté utilizando un sistema **vectorial o raster**. En el sistema raster el método es el de cuadrícula, el cual supone la elaboración de una matriz que se superpondrá al mapa (figura 2), éste debe estar **preparado** para ser leído o sea a cada variable del mapa se le debe dar un código específico, con el fin que éste comience a ser leído por medio de filas y columnas. Por tanto cada celda está delimitada por una localización x y y , y tendrá un valor o atributo determinado. El proceso de lectura del mapa de la anterior manera se conoce como el proceso de codificación, y el cual permite escribir en hojas especiales la información levantada para luego ser introducida al computador por diferentes programas que existen al respecto.

Por el contrario si se está utilizando un sistema vectorial el proceso de introducir los datos espaciales del mapa al computador se aligera sobremanera, dado que existen diversos paquetes de digitalización que permiten pasar la información cartográfica de manera directa al computador. Uno de los paquetes más conocidos es el desarrollado por **Harvard University Graduate School of Design Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis**, el cual se denomina **Roots**, este programa es muy versátil y el proceso de digitalización es sumamente rápido. Roots permite digitalizar la información ya sea como polígonos, líneas o puntos, y posteriormente exportar esta información a diferentes SIGs, tales como: Map Analysis Package (MAP), IDRISI, ARC/INFO, CI-SIG, o bien convertir la información de formato vectorial al formato raster, este proceso se realiza a través de un comando dentro de Roots denominado **Chopin**.

2. **Procesamiento y Edición:** al digitalizar o codificar información espacial se puede cometer diversos errores los cuales tienen que ser corregidos con el fin de introducir al computador los datos espaciales exactos, por tanto existen diversas formas de corregir esos errores. Si se está utilizando el formato raster lo más lógico es utilizar un editor que permita visualizar la información introducida y de este modo hacer las correcciones necesarias. Cuando se está en el proceso de introducción de los datos lo más probable es que se cometan los más diversos errores, tales como: dejar celdas vacías las cuales tienen información, o bien, que en una determinada celda se asignó un valor que no correspondía, también puede darse el caso que una fila entera no se le asignó ningún valor. Todos estos errores pueden ser corregidos por medio de un editor. Los errores mencionados anteriormente no son únicos, ya que existen muchos otros más, lo importante es conocer el medio para depurar la información espacial. Algunos SIGs traen incorporados comandos que permiten la depuración de la información directamente desde el mapa, lo cual es más ventajoso dado que la información espacial se puede desplegar, observar cuáles son los errores existentes, y posteriormente **entrar** al mapa para realizar las correcciones pertinentes.

Si se está utilizando un sistema vectorial el proceso de corrección también es mucho más flexible, dado que los errores pueden ser corregidos casi al instante, y de ese modo obtener una información más exacta.

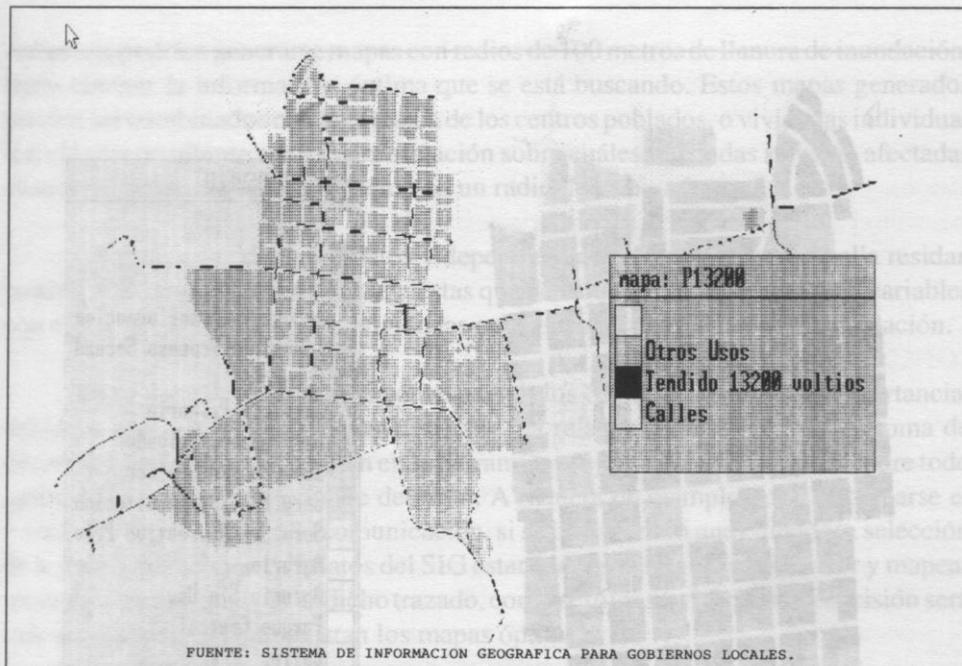
3. Almacenamiento y Recuperación de la Información: Una vez codificado o digitalizado el mapa es necesario salvarlo dentro del computador con el fin de darle un posterior tratamiento. El medio de almacenamiento del mapa tiene diversas formas, se puede realizar a través de todos los medios que se conocen para almacenar información, y los cuales van desde el diskette hasta cintas, todo depende de la cantidad de información que se quiera almacenar y de los dispositivos con que se cuenten para el proceso del almacenamiento. Una vez que la información ha sido almacenada y se quiera aplicar algún proceso (corrección, edición, etc.) es necesario recuperar esa información para los fines deseados, la información puede ser recuperada por medio de un editor para aplicarle los diferentes tratamientos que se crean necesarios.

4. Análisis de la Información: Este quizá es uno de los procesos más importantes dentro de un Sistema de Información Geográfica, ya que permite la **manipulación** de la información para los fines que se quiera utilizar. Todo sistema está compuesto de diversos comandos que ayudan al tratamiento de la información y a la vez permiten realizar las más variadas operaciones con los mapas existentes en la base de datos. Dentro de la base de datos del SIG es necesario tener presente que entre un 80% y un 85% de la información presente corresponde al análisis de la información que se ha realizado, el restante porcentaje corresponde a la información básica que fue digitalizada o codificada. Una vez elaborada la base de datos es necesario preparar el método a ser utilizado para el análisis de la información, por tanto hay que preparar diferentes planteamientos a realizar con los mapas existentes.

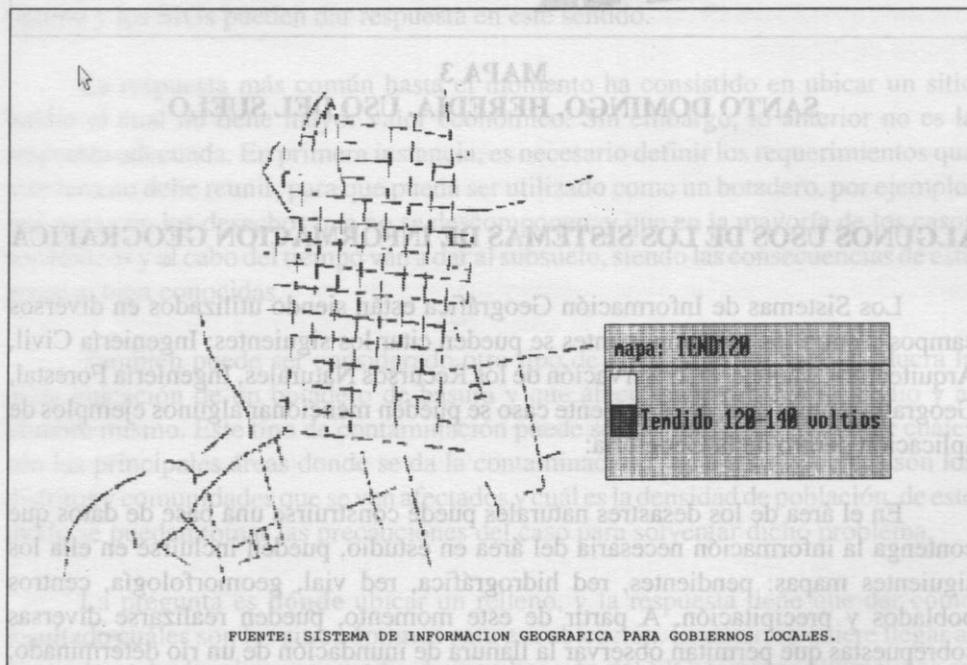
Los SIGs como se ha mencionado anteriormente ayudan en el proceso de toma de decisión, por tanto es necesario plantearse diferentes situaciones para encontrar de qué modo el sistema colabora en ese proceso de toma de decisión.

Conociendo la situación para la cual fue levantada la base de datos, se pueden realizar diferentes sobrepuestas que darán como resultado nuevos mapas con las características deseadas por el usuario, estas sobrepuestas son las que permitirán que ese **proceso de toma de decisión** sea el óptimo, y el que permita mayores beneficios al usuario.

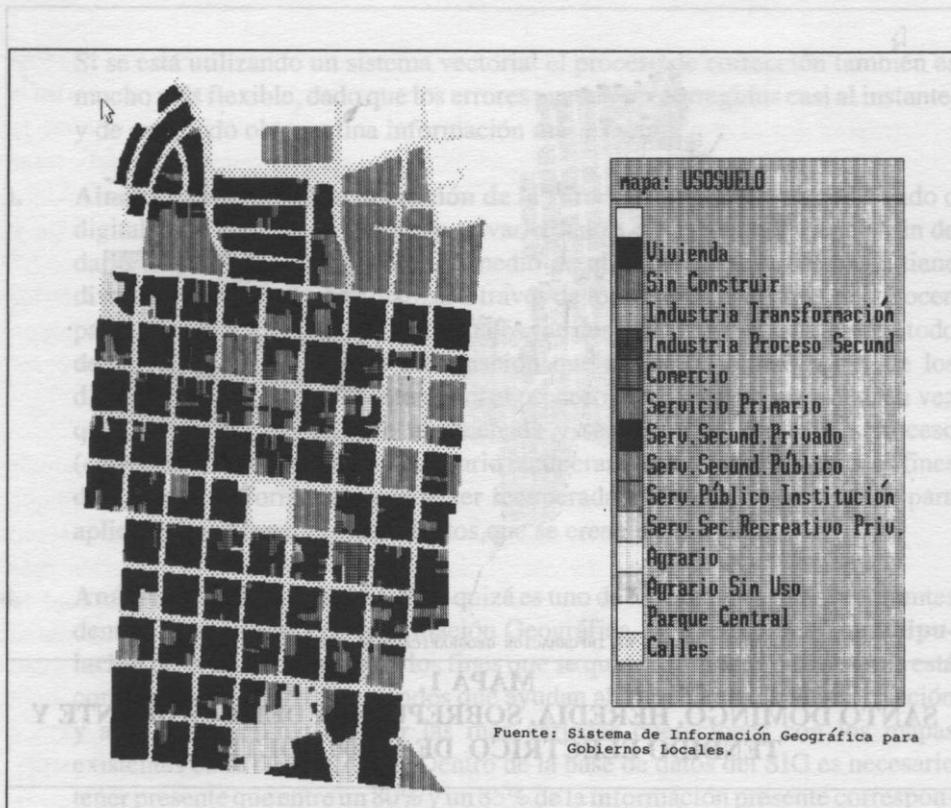
5. Salida de la Información: El despliegue de la información se realiza por medio del monitor, en él se notarán las diferentes sobrepuestas para analizar la información, en el caso que sea necesaria la salida dura de la información se pueden utilizar diversos medios, tales como: vía impresora o vía plotter con el fin de obtener un documento que permita visualizar claramente los diferentes análisis de la información que se han realizado. (Ver mapas 1, 2, 3).



MAPA 1
SANTO DOMINGO. HEREDIA. SOBREPUESTA DEL CUADRANTE Y
TENDIDO ELECTRICO DE 13.200 VOLTIOS.



MAPA 2
SANTO DOMINGO. HEREDIA. TENDIDO ELECTRICO DE 120-140
VOLTIOS.



MAPA 3
SANTO DOMINGO. HEREDIA. USO DEL SUELO

ALGUNOS USOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Los Sistemas de Información Geográfica están siendo utilizados en diversos campos y entre los más importantes se pueden citar los siguientes: Ingeniería Civil, Arquitectura, Manejo y Conservación de los Recursos Naturales, Ingeniería Forestal, Geografía y otros más, en el presente caso se pueden mencionar algunos ejemplos de aplicación dentro de la Geografía:

En el área de los desastres naturales puede construirse una base de datos que contenga la información necesaria del área en estudio, pueden incluirse en ella los siguientes mapas: pendientes, red hidrográfica, red vial, geomorfología, centros poblados y precipitación. A partir de este momento, pueden realizarse diversas sobrepuestas que permitan observar la llanura de inundación de un río determinado, también pueden realizarse diferentes simulaciones sobre la extensión de la llanura de inundación ya que un SIG está en capacidad de generar un mapa de radios de acción de una determinada actividad, de tal modo que se pueden generar mapas con diferentes

radios, así podrían generarse mapas con radios de 100 metros de llanura de inundación, hasta obtener la información óptima que se está buscando. Estos mapas generados pueden ser combinados con la cercanía de los centros poblados, o viviendas individuales, el layer resultante arrojará información sobre cuáles viviendas se verán afectadas cuando se produzca una inundación en un radio determinado.

Consultando la base de datos y dependiendo de los mapas que en ella residan pueden realizarse diferentes sobrepuestas que permitan combinar diferentes variables con el fin de reubicar aquellas viviendas que se verán afectadas por la inundación.

En el área de la planificación espacial, los SIGs son de capital importancia, debido a que la planificación está en estrecha relación con el proceso de toma de decisión. Los SIGs se convierten en la herramienta óptima que aligera pero sobre todo optimiza el proceso de toma de decisión. A manera de ejemplo podría colocarse el trazado de una nueva vía de comunicación, si se ha realizado una cuidadosa selección de la cartografía, la base de datos del SIG estará en disposición de responder y mapear las diferentes alternativas de dicho trazado, como se dijo anteriormente la decisión será más acertada en el tanto existan los mapas óptimos.

Siempre dentro de la planificación se puede agregar que los SIGs son la herramienta óptima para la ubicación de un botadero de basura, la mayoría de los municipios de nuestro país necesitan de una metodología que les permita ubicar el sitio óptimo y los SIGs pueden dar respuesta en este sentido.

La respuesta más común hasta el momento ha consistido en ubicar un sitio baldío el cual no tiene mayor valor económico. Sin embargo, lo anterior no es la respuesta adecuada. En primera instancia, es necesario definir los requerimientos que este terreno debe reunir, para que pueda ser utilizado como un botadero, por ejemplo, qué pasa con los desechos que no se descomponen, y que en la mayoría de los casos son tóxicos y al cabo del tiempo van a dar al subsuelo, siendo las consecuencias de este proceso bien conocidas.

También puede ser considerado otro tipo de contaminación que involucra la mala ubicación de un botadero de basura y que afecta directamente al medio y al hombre mismo. Este tipo de contaminación puede ser mapeado para observar cuáles son las principales áreas donde se da la contaminación, por ejemplo, cuáles son los distritos y comunidades que se ven afectados y cuál es la densidad de población, de este modo se pueden tomar las precauciones del caso para solventar dicho problema.

La pregunta es **dónde** ubicar un relleno, y la respuesta tiene que dar como resultado cuáles son los sitios óptimos para esa ubicación. Es decir, se quiere llegar al punto de poder localizar por medio de la utilización del SIG, terrenos alternativos en el mapa, tomando en cuenta ciertos criterios de selección.

Los anteriores son algunos ejemplos en los que se puede utilizar un Sistema de Información Geográfica para localizar áreas o puntos óptimos para establecer en ellos alguna actividad o bien para conocer cuáles son los sitios dónde no se debe ubicar determinada actividad. Por tanto, la aplicación de los SIGs se puede dar en diversos campos, y no es por casualidad que esta herramienta está siendo utilizada en otros países en el Catastro Urbano, en el trazado de los diferentes acueductos, en la búsqueda de la ruta óptima en las horas de mayor tránsito, o en el monitoreo de la toma de decisiones.

CONCLUSION

Como se ha mencionado a través del artículo, el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha convertido en una necesidad para la mayoría de las diferentes disciplinas, tales como: Planificación, Monitoreo Ambiental, Arquitectura, Geografía y otras más. En nuestro caso (geografía) es importante que el uso de los SIGs se disemine, con el fin, de que éstos sean utilizados en los diversos problemas que tienen que ver con el uso del espacio y las repercusiones que se suceden sobre él. Es necesario que el geógrafo profesional conozca y maneje este tipo de herramienta para que se apoye en ella en la búsqueda de diferentes soluciones a los problemas que se presentan sobre nuestro medio; de modo que se pueda simular una inundación, por ejemplo, y los SIGs informen sobre cuáles serán las áreas más afectadas, cuáles viviendas deben ser desplazadas y dónde deben ser desplazadas, la cantidad de población que se verá afectada, como también cuáles son las rutas óptimas para llegar al punto de desastre.

En la mayoría de los países desarrollados los SIGs son utilizados en diversos campos, sobre todo, en la conservación de los recursos naturales como en la planificación urbana, razón por la cual es importante que la Geografía pueda hacer uso de ellos, ya que la formación del geógrafo profesional le permite conocer sobre las principales características físicas y humanas de una área determinada, características que pueden ser mapeadas, almacenadas y manipuladas en un SIG; de este modo se podrán realizar simulaciones de la combinación de dos o más variables, lo cual permitirá conocer qué sucederá si se cruzan dos variables con determinado grado de incidencia; de este modo el proceso de toma de decisión se aligerará sobremanera y podrán resolverse más problemas en menor tiempo, lo cual es muy necesario en nuestro medio donde las decisiones se toman cuando las consecuencias son inevitables.

El uso de los SIGs es de vital importancia para el siglo que se aproxima, ya que, el manejo de la información el siglo entrante, será tan importante como el petróleo en este siglo. En la actualidad el que maneja mayor información en el menor tiempo tiene la ventaja sobre el resto; es por esta razón que la mayoría de equipo que se confecciona tiene la ventaja de ser pequeño, de una enorme capacidad de almacenamiento y velocidad en el manejo de la información; por tanto, la Geografía no debe quedarse atrás y comenzar a utilizar los SIGs para resolver los problemas que se presentan, o bien

para realizar las simulaciones necesarias que permitan tomar una decisión antes que se presenten cualquier tipo de eventualidades, llámense éstas, inundaciones, deslizamientos, localizaciones de obras de infraestructura, manejo de cuencas, manejo de planes reguladores, etc.

BIBLIOGRAFIA

Burrough, P. A.: PRINCIPLES OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR LAND RESOURCES ASSESSMENT. New York. Oxford University. 1986.

Morgan, Glenn (1987), A REVIEW OF LAND INFORMATION SYSTEMS CONCEPTS WITH REFERENCE TO THE MANAGEMENT OF MUNICIPAL INFRASTRUCTURE AND PUBLIC SECTOR UTILITIES. Geo Processing, 4. March 18, 1987.

Russel, B & Peter Croswell & Wally Dryden (1986), THE APPLICATION OF THE KENTUCKY NATURAL RESOURCES INFORMATION SYSTEM IN THE EVALUATION OF SANITARY LANDFILL SITE SUITABILITY. Geo-Processing, 3 (1986) pp. 119-142.

GEOGRAPHY INFORMATION SYSTEMS LABORATORY DEPARTMENT OF GEOGRAPHY. The Ohio State University. OSU MAP for the PC. Users Guide. Version 3.0. September 1989.

Ligia Hernando

RESUMEN

La cuenca del río Poás es representativa de las características físicas de la Depresión Tectónica Central y de la Sierra Volcánica Central.

Se aplicó en la cuenca el balance hídrico de acuerdo con el método de Thornthwaite y Mather (1957) (modificado), según uso del suelo, unidad geomorfológica y zona climática; mediante el cual se relacionan características edafológicas, climática y uso del suelo.

Así, se determinó que la cantidad de agua para recarga está determinada por varios factores, principalmente por el clima y en segundo término por el uso del suelo.

Por lo tanto, las áreas cubiertas de bosque son las que originan la recarga anual, mientras que las sembradas de pasto, la mayor.

Integrante del Proyecto: Morfología Aplicada y Dinámica del Suelo, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.