

Sistema de Información Geográfica para la Gestión Ambiental en el Municipio Plaza de la Revolución

Autor Principal: MSc. Jorge Caballero Castillo

Instituto de Geografía Tropical, CITMA

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la cuestión ambiental ha cobrado un creciente interés por parte de los intelectuales y de la sociedad en general a escala internacional. En la actualidad, la gestión municipal y urbana está obligada a adoptar nuevos matices y métodos de trabajo, en coordinación con los gobiernos respectivos, en la elaboración de una nueva estrategia de desarrollo tendente a crear una cultura ambiental y una metodología participativa y de cooperación, que integre los componentes físicos, económicos, sociales y políticos; donde la comunidad y todos sus actores se conviertan en sujeto de su propia transformación.

Los estudios ambientales relacionados con el espacio local y regional, lamentablemente no cuentan con un amplio espectro de antecedentes. Con relación al territorio que nos ocupa, se han obtenido algunos resultados vinculados a estudios de caso como, "Premisas para el estudio de la transformación del espacio local: el caso del Consejo Popular Vedado-Malecón" y "Evaluación de las necesidades y potencialidades de la localidad. Una contribución a la Estrategia de Desarrollo Local", resultados aprobados, pertenecientes al proyecto "Transformación del Espacio Local" desarrollado por esta institución en años muy recientes. Así mismo, podemos citar también, el trabajo "Plaza de la Revolución. Importancia Geográfica de un Territorio" realizado por el entonces, Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba entre los meses de Julio a Septiembre de 1989.

Es por ello, que la situación problemática sobre la cual se ha dirigido el objetivo de nuestro trabajo, es dar respuesta a la necesidad según lo expresado por el cliente, de implementar (*ya que no existe*) en el municipio Plaza de la Revolución un Sistema de Información Geográfica que constituya una de las bases que sustente la Gestión Ambiental en el territorio y contribuya al proceso de toma de decisiones

En el marco de la dimensión ambiental urbana, como arista insoslayable dentro del estudio de la transformación del espacio y como aporte a los trabajos de ordenamiento y de gestión, el presente trabajo se plantea como objetivo: sentar las bases de un Sistema de Información Geográfica para la identificación y diferenciación de los principales problemas del medio ambiente residencial del municipio Plaza de la Revolución. No obstante, por la complejidad del tema sería muy pretencioso dar satisfacción amplia o completa a un problema tan polifacético y dependiente de múltiples factores, por lo que en este primer acercamiento se analiza el estado de los principales componentes del ambiente tecnógeno y psicosocial.

En esta oportunidad, con el objetivo de brindar criterios concretos para la gestión ambiental, en medio de la coyuntura socioeconómica cubana actual y de su impacto territorial urbano y específicamente capitalino, se escogió el municipio Plaza de la Revolución por su importancia como centro político-administrativo, de servicios, cultural y turístico y por consiguiente, por la complejidad de las relaciones espaciales generadas por dichas funciones. El interés y apoyo manifestado por las direcciones del Partido y el Gobierno y su comprensión por la necesidad de vincular los resultados científicos con la práctica de la gestión ambiental motivaron también la orientación de la selección y de hecho conforman los clientes naturales de este proyecto.

El desarrollo de un sistema informativo integral sobre el medio ambiente que asegure la adecuada

captación, procesamiento y flujo de información, constituye un instrumento importante en la evaluación de los progresos o retrocesos del estado del medio ambiente; por lo que resulta imprescindible perfeccionar un sistema sencillo de información ambiental, que en un corto plazo de tiempo permita la toma de decisiones de forma efectiva (CITMA, 1999).

Tan compleja urdimbre informativa requiere de una plataforma tecnológica adecuada como los SIG (*Sistemas de Información Geográfica*). La aplicación de un SIG a una localidad urbana podría ofertar productos tales como: la localización exacta del equipamiento de servicios, de los objetivos económicos y de la infraestructura en general; la distribución de la fuerza de trabajo; el potencial de recursos físicos, humanos y económicos; la evaluación de la situación ambiental de la comunidad, el estado de las vías, entre otros. La combinación e integración espacial de todos estos análisis conllevaría a determinar, según el propósito: áreas desabastecidas, irracionalidad en los movimientos de fuerza de trabajo, usos de suelo subpotenciados o sobreexplotados, rutas de transporte óptimas y zonas ambientalmente críticas, todo lo cual facilitaría la propuesta de medidas y coadyuvaría en la adopción de los planes de desarrollo.

Con la implementación del SIG para el análisis geográfico de los datos referidos al Municipio Plaza de la Revolución queda estructurado un sistema de software, hardware, procedimientos, y esquemas operacionales dispuestos para el trabajo mediante las técnicas de los SIG. A su vez, quedan establecidas las estructuras que permitan el mantenimiento, actualización y operación del propio sistema en el futuro, posibilitando en lo adelante, la inclusión de técnicas integradas de geoprocusamiento que faciliten y perfeccionen su explotación.

El trabajo es resultado de un proyecto desarrollado en el Instituto de Geografía Tropical, “Sistema de Información Geográfica Aplicado a la Gestión Ambiental en el Municipio Plaza de la Revolución” perteneciente al Programa Ramal “Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Cubano”.

En el mismo se abordan dos acápites fundamentales. El primero expresa las bases teóricas y metodológicas, así como, se define el procedimiento con que será abordado este tipo de Sistema. La segunda parte constituye la espina dorsal del estudio, donde se refleja la importancia del diseño y la estructuración de las bases de datos, a partir de la conceptualización de los diferentes niveles en la representación de los datos geográficos y cual es la información que el Sistema debe contener para enfrentar el estudio de la Gestión Ambiental

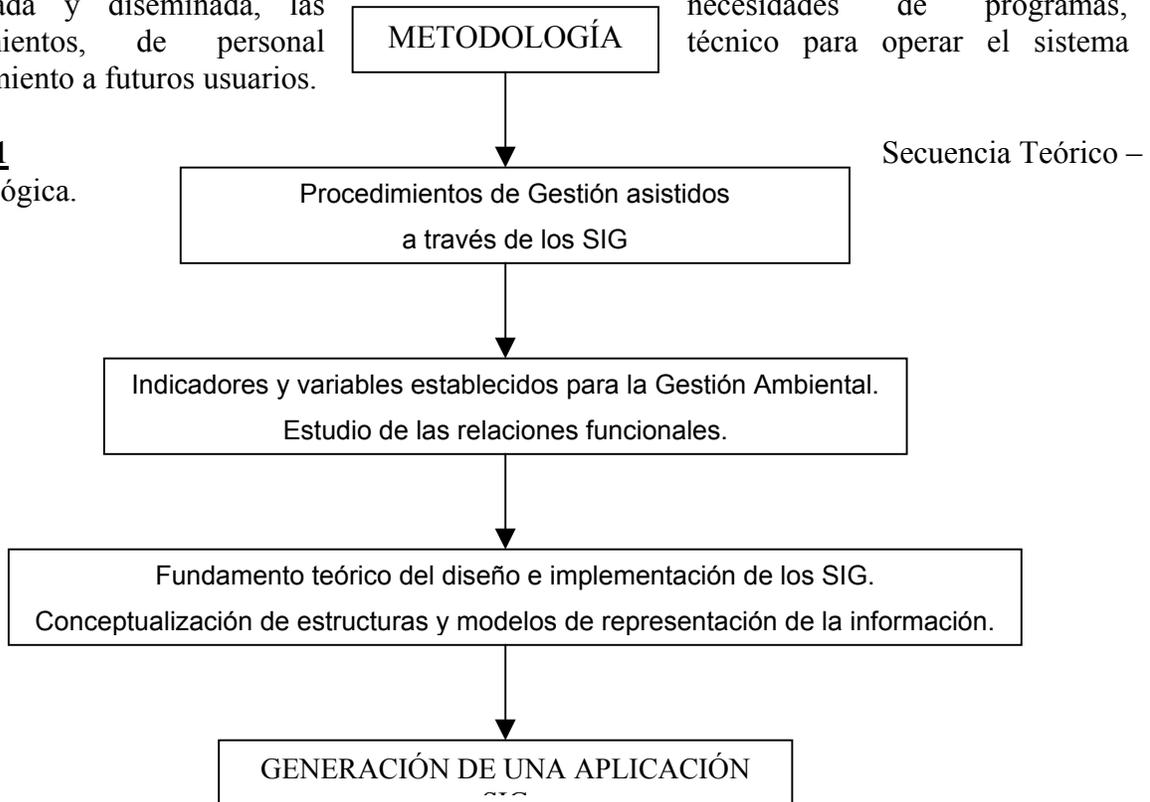
MATERIALES Y MÉTODOS

Para iniciar un proyecto SIG hay que partir de la consideración de que el usuario es el eje alrededor del cual se diseña el sistema, ya que las bases de datos deben reflejar el modelo conceptual y operativo que dicho usuario tiene de su información. Independiente de las capacidades y potencialidades inherentes al SIG comercial que se seleccione, su aplicación requiere de la realización previa de un diseño de implementación, ya que cada una de las aplicaciones persigue objetivos específicos según la demanda del usuario. (Novua, O., 1999)

El proceso de implementación del SIG para la Gestión Ambiental en el municipio Plaza de la Revolución siguió las metodologías de Diseño de Sistemas de Información Geográfica, que para estos fines han sido desarrolladas por diversos autores (Hudxol & Levinson, 1995) (Donna, 1987) (Dourojeanni, 1996), pero de manera general en ellas coinciden una serie de pasos o fases de vital importancia para el éxito de la generación de una aplicación sobre Sistemas de Información Geográfica. Ellos, persiguen dar respuesta a interrogantes relacionadas con los productos finales que

debe proveer el sistema, la información que debe estar disponible en él, cómo será procesada, actualizada y diseminada, las necesidades de programas, de equipamientos, de personal técnico para operar el sistema y el entrenamiento a futuros usuarios.

Figura 1
Metodológica.



Fuente: Elaborada por el autor.

En nuestro caso, preguntas como las que formularemos a continuación se respondieron durante la implementación del SIG:

- Qué información seleccionar como base para el sistema y cuál será su estructura.
- Cuál será su tratamiento según la estructura de datos seleccionada.
- Cómo se debe organizar y estructurar en el SIG la información con características diferentes.
- Qué solución analítica debe encontrarse para los cálculos de distancias, generación de áreas de influencia, etc.
- Cómo resolver algunos aspectos relacionados con la generación de análisis temáticos en entidades espaciales a partir de operaciones matemáticas y estadísticas sobre un conjunto de datos estructurados tabularmente.

En general todas estas interrogantes pueden relacionarse de manera resumida en nueve (9) puntos que se mencionan a continuación (Hudxol & Levinson, 1995):

- Funciones
- Datos

- Aplicaciones
- Equipos y programas
- Personal
- Entrenamiento
- Procedimientos
- Cambios institucionales y de organización
- Consideraciones legales

Esta serie de temas sustentan, al mismo tiempo, el “Diseño Filosófico” de un SIG, que aborda de manera general las tareas fundamentales que deben ser cumplimentadas durante todo el proceso orientado a generar una aplicación sobre SIG (Dourojeanni, 1996). A partir de este esquema filosófico, y tomando en cuenta los aspectos antes mencionados, se trazó una estrategia para el diseño y la implementación de un SIG en la que se identifican un conjunto de pasos a seguir. Uno de estos modelos es el propuesto por Dourojeanni (1996). Dicho esquema o modelo se puede dividir en cinco (5) etapas generales:

Dentro de la estrategia de pasos a seguir para el diseño de un SIG primeramente se parte de su *concepción*, donde se definen las necesidades que justifican el desarrollo del sistema, tipos de consulta, necesidades de análisis espacial, mapas temáticos, etc.; hasta llegar a la etapa correspondiente al propio *diseño* como tal, en la cual se formulan las soluciones factibles y su plan de implementación, los objetivos y necesidades a satisfacer y la descripción y evaluación de los datos existentes. Las restantes tres etapas se corresponden con el *desarrollo* (se adquieren los componentes y se desarrollan las aplicaciones para los usuarios), *operación y auditoría*.

Estos pasos pueden subdividirse aún más en múltiples unidades de trabajo en dependencia de la magnitud del sistema a implementar y funciones que este cumplirá, además de ser variable la secuencia de las acciones específicas según las prioridades, estrategias y entorno particular de cada caso (Dourojeanni, 1996). Es válido señalar que en el caso que nos ocupa, la implementación del sistema sirve de apoyo a una investigación específica, o sea, se puede considerar de propósito simple a diferencia de las aplicaciones que se orientan a propósitos múltiples “sistemas abiertos”, donde participan variedad de instituciones y el propio proceso de implementación se torna más complejo. Al ser considerado el sistema de “aplicación específica” la información que lo conforma está sujeta propiamente a las funciones que este debe soportar, o sea, el sistema responde a tareas dirigidas (muy bien definidas) a la optimización de la Gestión Ambiental.

Por tal razón, para nuestro caso particular, la atención estuvo centrada de manera singular en las etapas de *Diseño y Desarrollo*. El diseño del sistema es uno de los pasos más importantes en la implementación de cualquier sistema de información. Conjuntamente con el desarrollo, constituyen los procedimientos indispensables y a la vez suficientes para alcanzar el objetivo propuesto. La ejecución de estas dos fases dio respuestas a las interrogantes planteadas con anterioridad, permitiendo el éxito de la implementación.

El diseño del SIG, muestra la manera del funcionamiento del Sistema, describiendo las especificaciones estructurales y funcionales, las entradas y salidas de información y los diferentes procesos que posibilitan el trabajo. El mismo constó de tareas tales como:

- Revisión de documentos y consultas bibliográficas sobre las características del área de estudio, así como las relacionadas con los SIG.
- Determinación de la información básica a incluirse dentro de las bases de datos.

- Crear la estructura más adecuada para las bases de datos.
- Selección del hardware y software a utilizar en dependencia de los requerimientos y necesidades.
- Selección de las bases cartográficas y su preparación para la conversión a formato digital.
- Preparación de los atributos que conforman la base digital y creación de ésta.
- Vinculación de la base de datos espaciales y sus atributos.
- Puesta a punto de la base de datos y generación de las aplicaciones del SIG.

A su vez, el diseño de la base de datos implicó la entrada, conversión y manipulación de los datos geográficos, considerando:

- Los requerimientos de las consultas, los análisis geográficos y los tipos de mapas.
- La flexibilidad y rapidez de las operaciones de actualización, edición y búsqueda o recuperación de la información que el SIG permite.
- La optimización en la organización de los datos a partir del establecimiento de relaciones entre los atributos y entre éstos y la parte gráfica.

El funcionamiento general del SIG, después del establecimiento de su base de datos principal, queda en manos de los usuarios, previo un entrenamiento de su personal en la utilización del sistema, según su diseño, contemplando sus esquemas de operación y su base de datos.

En un futuro los tipos de datos a analizar, las escalas, los temas tratados y la manera de abordarlos pueden variar. Es posible que para el análisis de un problema determinado sea necesario la digitalización de nuevos temas y la modificación de los existentes, pero basándose en los procedimientos descritos en el diseño y en la base de datos ya elaborada, el usuario puede hacer la modelación cartográfica requerida para su problema en cuestión.

La posibilidad del empleo del geoprocetamiento está implícita en cada una de las fases que se describen. El esquema funcional que se propone permite el uso de manera flexible de un software básico de orientación general seleccionado para las aplicaciones (MapInfo en su versión 5.5) y de programas gestores de bases de datos (Microsoft Excel, Access, etc.) para la solución de las tareas de entrada, manejo o salida de los datos, siendo esencial el intercambio de formatos de almacenamiento de los mismos. Esto no elimina la posibilidad del uso de un software especializado en determinada aplicación.

Los diferentes recorridos que presenta la información dentro de la aplicación que se desarrolla siguen el esquema funcional mostrado en la Figura 2. Según el mismo las tareas a ejecutar fluyen de la forma siguiente:

Las aplicaciones orientadas son analizadas, en primera instancia, para establecer los recursos teóricos y metodológicos necesarios para darle respuesta al problema en cuestión. Posteriormente se realiza la transferencia de los planteamientos temáticos al lenguaje cartográfico del SIG, para lo cual se demandan los datos necesarios con los requerimientos, según la modelación concebida. Los datos se adquieren y son convertidos a formato digital, copiados o transformados desde de otros sistemas.

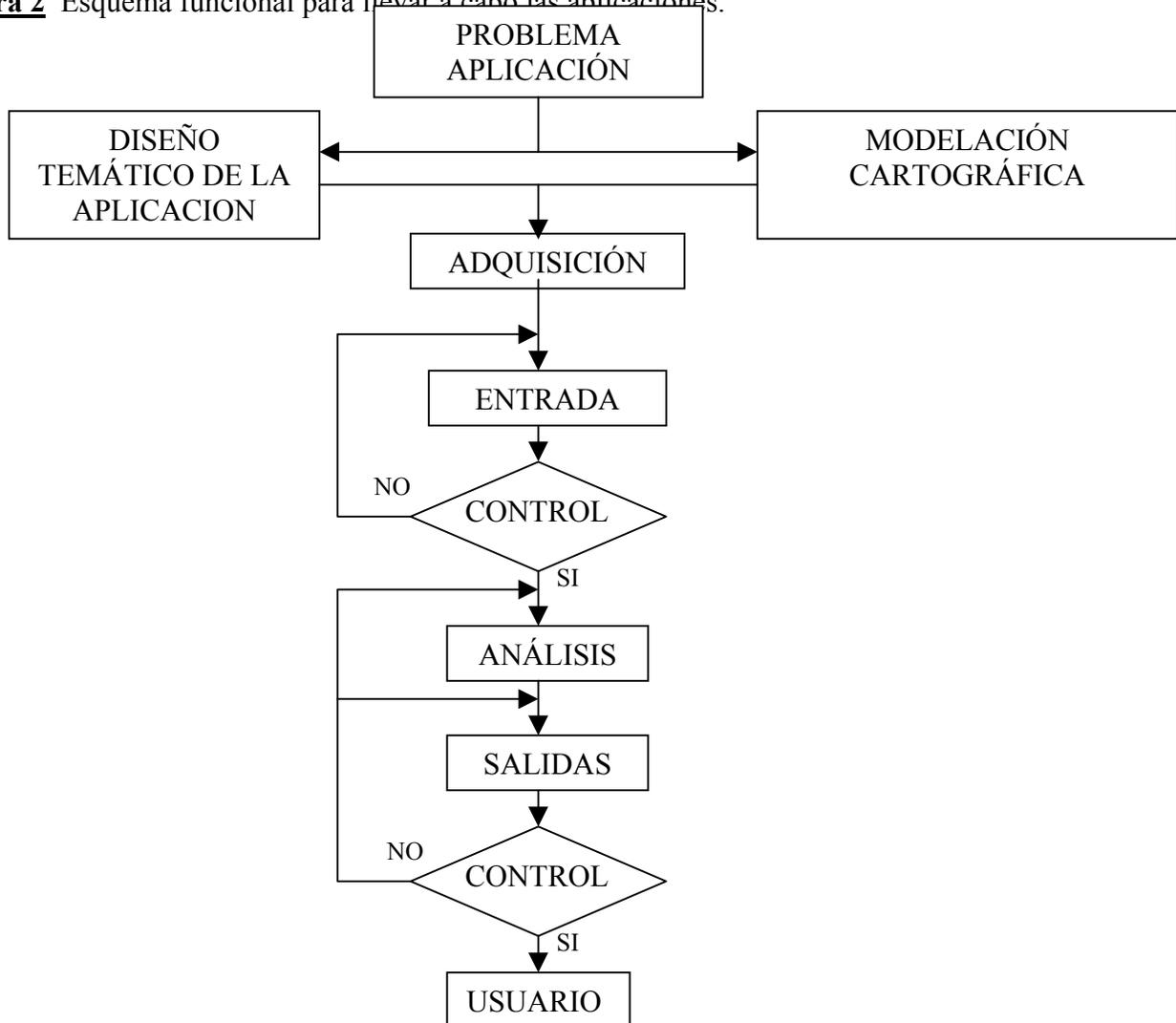
Los datos quedan establecidos en el formato digital que exige el software básico del SIG. Luego, al ser introducidos se someten entonces a un control. Si la evaluación no es satisfactoria en algún caso, se pasa a su corrección. Si la evaluación es satisfactoria, pasan a formar parte de la base de datos y quedan disponibles para su extracción y análisis.

En la extracción, el análisis y la salida se construyen modelos digitales óptimos que den respuesta al problema de la aplicación y se elaboran soluciones cartográficas que cumplan con todos los requerimientos de la transmisión lógica de la información, de manera que posibilite al usuario final, llegar al universo de conocimiento con relación a un problema que la cartografía permite ofrecer.

Las salidas, igualmente son controladas y evaluadas. Para este paso se utilizan siempre, además del ejecutor, otras personas cuyo conocimiento del problema o su interés les permita dar su evaluación del producto. Los usuarios, también pudieron manifestar opiniones valiosas acerca de una versión preliminar del resultado que se les entrega.

Los señalamientos hechos irán a parar a las fases de análisis o salida, según corresponda y cuando se obtenga una evaluación satisfactoria, el producto de la aplicación estará en condiciones de entregarse al usuario.

Figura 2 Esquema funcional para llevar a cabo las aplicaciones.



Fuente: Novua O., 1999.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las bases cartográficas en un SIG, pueden ser consideradas como elementos estáticos instantáneos, lo cual no las haría tan diferentes del concepto cartográfico tradicional. Sin embargo, en el interior de todo SIG deben existir los elementos necesarios para dinamizar la representación gráfica cartográfica, al mismo tiempo que imprimirle las características de multidimensión, las que difícilmente se logran en la forma tradicional. (Guevara, 1993)

El dato espacial, es el que diferencia a los SIG de otras bases de datos, representando el centro en torno al cual giran todas las posibles aplicaciones de los SIG; así tenemos, que contiene en su acepción más elemental, características de localización (X,Y) y tipo de característica temática (Z), en las cuales se asienta la base de todas las operaciones posibles a llevar a cabo en un SIG (Barredo, 1996).

Los SIG son diseñados para tratar de manera simultánea con datos espaciales e información descriptiva de datos no gráficos (información estadística) referida a los primeros. Las entidades se describen por sus atributos temáticos, por su localización geográfica y su configuración espacial. Las bases de datos de un SIG se pueden considerar como su espina dorsal y de su estructura y representatividad dependerá la validez del resultado final (producto cartográfico). Así, de la calidad de los datos introducidos dependerá la calidad de los resultados. (Bosque S., 1992)

Por ser los Sistemas de Información Geográfica programas capaces de contener bases de datos espaciales y bases de datos alfanuméricos vinculadas entre sí, todas las operaciones y funciones con manifestación espacial o no se basan en su existencia como soporte informativo. La conformación de las bases de datos es de vital importancia, siendo el objetivo del presente acápite mostrar todo el proceso que sustenta su creación y estructuración sobre las que se apoya el sistema para su funcionamiento.

Teniendo como antecedentes las funciones que cumple el sistema, así como la información que contiene, se crearon las condiciones para realizar el diseño y la estructuración de las bases de datos que conforman el mismo. Este aspecto es extremadamente importante debido a:

- Las bases de datos son estructuras donde se almacena toda la información necesaria.
- La existencia y estructura de esta base de datos determina la funcionalidad del SIG implementado y su eficiencia.

Desde el punto de vista conceptual, los datos manipulados por un Sistema de Información Geográfica pueden agruparse en dos (2) grandes grupos (Bosque, 1995):

1. Las observaciones de soporte.
2. Las variables temáticas medidas u observadas sobre las primeras.

En otras palabras, estos dos grupos de datos conforman los dos grupos de bases de datos imprescindibles para el funcionamiento correcto de los Sistemas de Información Geográfica, estas son:

1. Las bases de datos espaciales.
2. Las bases de datos asociadas o de atributos.

Las incursiones en el diseño y estructuración de una base de datos implican conceptualizar de manera detallada la propia esencia del proceso, para lo cual se debe partir de los diferentes niveles en la representación de los datos geográficos, tomando como punto de referencia los niveles establecidos por Peuquet (1990):

1. Representación del Mundo Real.

2. Modelo de Datos (Modelo Conceptual)
3. Estructura de Datos (Modelo Lógico)
4. Estructura de ficheros (Mundo Interno)

Por el contenido de nuestro trabajo, la orientación del SIG y sus usuarios iniciales, sólo es necesario la determinación de los dos (2) primeros niveles de representación, puesto que los restantes se encuentran altamente permeados de elementos técnicos específicos y que a nuestro nivel de investigación no reporta ninguna ventaja su profundización; además, se logra dar cumplimiento a los objetivos perseguidos sin hacer énfasis en ellos.

En el primer caso como el nombre lo indica, se persigue la identificación de los fenómenos que existen en la superficie terrestre y que constituyen un conjunto de elementos que son clasificados por su forma geométrica; estos pueden ser puntos, líneas y superficies incluyendo todos los aspectos que pudieran considerarse o no como individuos independientes (Peuquet, 1990). El nivel de partida es en extremo importante, puesto que establece las bases para la conformación de un segundo nivel.

Tomando en consideración que nuestra escala básica de trabajo es la municipal y el Consejo Popular y el barrio como unidades diferenciadoras intramunicipales y, además, que esta estructura es extrapolable y válida a otras regiones de la ciudad, en la fase de diseño y en las sucesivas, asumimos la existencia de las unidades mencionadas y de los elementos que la componen.

En nuestro caso se identificaron los siguientes elementos:

- El municipio, escala base de trabajo.
- Los Consejos Populares y los barrios que subdividen operativamente el municipio y que son las unidades espaciales que sirven de "soporte" para la identificación del resto de los componentes.
- Areas de Salud, unidades espaciales a las que se subordina la información de Salud Pública
- Manzanas e interiores.
- Areas verdes.
- Las vías de comunicación.

Los tres últimos elementos, diseminados en todo el municipio y perfectamente ubicados dentro de los consejos y los barrios



Figura 3 Entidades geográficas identificadas en el nivel espacial estudiado (Mundo Real)

Fuente: Elaborado por el autor

A partir de este esquema quedan identificadas explícitamente las entidades geográficas y el mismo puede ser estructurado como una base de datos jerárquica.

Es necesario aclarar que la apreciación de los diferentes niveles de representación de la información tienen siempre como punto de partida la percepción del mundo real y se encuentran sujetos a las funciones que cumple el Sistema y a la información que esta contenida en este, es por ello que podemos plantear que los niveles de percepción tienen un alto grado de selectividad.

En el segundo caso, el Modelo Conceptual, de mayor nivel tanto en términos de análisis como de representación, permite una estructuración de los objetos (geográficos o no) y toma en cuenta sus relaciones; es una abstracción del mundo real que incorpora solo las propiedades que se consideran relevantes para determinada aplicación. El modelo conceptual es considerado como una conceptualización humana de la realidad. (Peuquet, 1990)

El paso a este nivel implica realizar algunas reflexiones en cuanto a la selección del tipo de estructura de datos a utilizar. A nivel bibliográfico existen disponibles una serie de estructuras de datos que han sido desarrolladas como alternativa a las diferentes necesidades de representación y análisis, estas son: (Bosque, 1995)

1. Estructuras Vectoriales (sin topología y con topología)
2. Estructuras tipo Raster
3. Estructuras Jerárquico-recursivas
4. Estructuras RSEL

En la práctica, las estructuras más frecuentes, sencillas y asequibles son de tipo raster y de tipo vectorial, debido a facilidades de los *software* disponibles.

A la hora de seleccionar la estructura de datos apropiada se enfrenta el problema relacionado con la dificultad para definir y establecer las unidades de observación (Bosque, 1995). En este sentido se pueden diferenciar dos formas de unidades de observación espaciales, las naturales y las artificiales, producto de las propias características de los datos que se observan.

En la primera, las naturales, la función locativa es intrínseca a la información, ya que los límites vienen impuesto de forma natural (suelos, geología, etc.). En la segunda, las artificiales, los límites son determinados de manera arbitraria, en gran medida han sido impuestos por el hombre y no se derivan de la propia naturaleza de la variable medida (Bosque, 1995), por lo que los límites pueden ser modificados a elección del usuario. Este último es el caso de nuestro trabajo, donde se maneja y se genera información subordinada a unidades político-administrativas y que su representación en unidades o áreas de escala mayor puede ser muy variable.

De esto se derivan problemas muy tratados actualmente en la bibliografía internacional a partir de la difusión del uso de las nuevas tecnologías en diferentes campos de las ciencias geográficas y sociales, entre los que se encuentran: la planificación urbana y regional, caracterización de problemas socio-económicos y políticos, etc., que tienen como base unidades político-administrativas.

En tal sentido, la selección del tipo *vectorial* como estructura de partida para el trabajo se justifica por la existencia de límites que aunque aleatorios, se encuentran muy bien representados y delimitan

unidades donde los fenómenos que en éstas se generan poseen un comportamiento discontinuo en el espacio. En el territorio también existen elementos, que a pesar de su igual comportamiento desde el punto de vista geométrico, tienen una diferenciación entre partes de ellos pero a la vez una articulación y una relación intrínseca. Por otra parte, existen áreas diferentes que identifican a los Consejos Populares y los barrios, que al mismo tiempo se integran y conforman al municipio como una unidad político-administrativa. En todos los casos planteados con anterioridad, las unidades o elementos poseen una serie de atributos o descriptores que caracterizan a dichas entidades.

No obstante, no se debe desechar totalmente la utilización de las estructuras de tipo *raster* puesto que ellas suelen ser muy convenientes en algunos tipos de análisis y tratamiento de la información, por las ventajas que en este sentido ofrecen y que pueden ser tomadas en una etapa más avanzada del proyecto donde se enmarca la presente investigación.

La estructura vectorial implica el agrupamiento de las entidades geográficas según su geometría.

Tabla No.1 Relación entre la geometría de las entidades y el tipo de dato en la estructura vectorial.

| Geometría | Clasificación en las Estructuras Vectoriales |
|------------------------------------|--|
| Fenómenos puntuales | Puntos |
| Fenómenos lineales | Líneas |
| Fenómenos con comportamiento areal | Polígonos |

Fuente: Elaborada por el autor.

A la vez, los tres tipos de elementos básicos en las estructuras vectoriales están definidos por una serie de elementos como son los segmentos, los arcos, los puntos y los nodos.

En este nivel de representación de los datos (nivel conceptual), que identifica a las entidades geográficas con una estructura topológica bien definida y tomando en cuenta el tipo de estructura de datos capaz de soportar este nivel de abstracción (vectorial topológico), se logra diseñar la base de datos espacial, creando capas temáticas que recogen información homogénea desde el punto de vista geométrico; estas se derivan de cada uno de los grandes grupos de entidades geográficas identificadas. El nivel conceptual implica la definición de las capas temáticas que conforman las bases de datos espaciales, así como, la definición del contenido de las bases de datos asociadas (atributos).

Dado que un SIG opera con información georreferenciada, latitud - longitud, la relación entre cartografía y los Sistemas de Información Geográfica es inevitable, ya que la información para que adquiera su característica de geográfica, debe estar asociada a un sistema de coordenadas referenciales, generalmente ortogonales. De tal forma, el centro de gravedad de cualquier SIG lo constituye una base cartográfica sobre la cual se ubicarán, puntual, lineal o arealmente los fenómenos y procesos geográficos a fin de que mantengan las características inequívocas de localización espacial. (Barredo, 1990)

Los análisis espaciales necesarios en la gestión ambiental incluyó la generación de una serie de mapas, según las diferentes temáticas a tratar, con expresión a escala 1: 10 000 para los fenómenos a representar a nivel del municipio Plaza de la Revolución y sus respectivos Consejos Populares.

La base digital a escala 1:10 000 en formato vectorial sobre la plataforma Mapinfo, versión 5.5, ha sido elaborada a partir de la base cartográfica confeccionada y editada por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía en el año 1980 y actualizada en el año 1993. La conforman las Hojas Topográficas, 3785-

III-a-3 y 3785-III-c-3. Las mismas fueron escaneadas y georreferenciadas con un error máximo de 0,2 pixel en cada punto de transformación. Las entidades espaciales tomadas de los mapas topográficos están georreferenciadas según el sistema de coordenadas planas rectangulares del Sistema Geodésico Nacional, del Datum NAD 27. La proyección utilizada es la Cónica Conforme de Lambert, Cuba Norte, y el elipsoide de referencia es el de Clarke 1866.

Se vectorizaron en pantalla todos los elementos básicos del terreno, los cuales incluyen los niveles de manzanas, edificaciones, áreas verdes, etc., así como, se incorporaron los datos de atributos asociados a estas unidades espaciales, como son los rótulos de calles y avenidas y las coordenadas planas rectangulares, formando parte de la información del SIG, pudiendo gestionarse o representarse cartográficamente (Etiquetas). En el caso de la cartografía geomorfológica, tanto de las formas como de los procesos, igualmente se utilizó como base los mapas topográficos a escala 1:10 000 confeccionados por el ICGC. También se utilizó el mapa geológico y un mapa topográfico con las escarpas de las terrazas abrasivas a escala 1:50 000 de investigaciones geólogo - geomorfológicas anteriores sobre el área de estudio, pertenecientes al actual Departamento de Geodinámica y Riesgos de nuestra institución.

Se debe señalar que el grado de urbanización del territorio limitó la cartografía a itinerarios por las calles transversales y longitudinales cada 100 metros al no poderse atravesar las áreas más densamente urbanizadas, por lo que para la realización del Modelo Digital del Terreno e interpolación de curvas de nivel se digitalizaron las curvas a partir del mapa topográfico 1:10 000 y se interpolaron nuevas curvas mediante el modulo Vertical Mapper del Software Mapinfo, 6.5 creándose un nuevo mapa hipsométrico digital. El mismo se halla terminado con curvas cada 1-2 metro, sirviendo para precisar las principales formas del relieve existentes en el territorio como las escarpas de terrazas abrasivas marinas y las terrazas fluviales, lo que permitió la generación de perfiles geomorfológicos.

La información espacial de la base cartográfica de referencia se encuentra organizada de la siguiente manera:

Tabla No. 2 Elementos que conforman la base cartográfica de referencia 1: 10 000 del Municipio Plaza de la Revolución.

| Nombre Nemotécnico de la Capa (Table) | Tipo | Color | Contenido |
|---------------------------------------|--------|-------------|---|
| Límite Municipal | Lineal | Rojo | Límite con los Municipios Cerro y C. Habana |
| Línea Costa | Lineal | Azul oscuro | Límite por mar y río Almendares |
| Contornos | Lineal | Negro | Calles que no conforman Manzanas |
| Consejos Populares | Areal | Variado | Polígonos que delimitan los Consejos Populares |
| Barrios | Areal | Variado | Polígonos que delimitan los Barrios |
| Areas de Salud | Arial | Variado | Polígonos que delimitan las Areas de Salud |
| Manzanas | Arial | Ocre claro | Polígonos que delimitan todas las manzanas |
| Interiores | Arial | Azul claro | Edificaciones según generalización de escala |
| Areas Verdes | Arial | Verde | Polígonos de principales parques y áreas verdes |

Fuente: Elaborada por el autor.

En lo sucesivo se incorporó a la base de datos de partida la información referente a diversas temáticas. Estas fueron, entre otras:

- Población
- Problemas sociales
- Focos contaminantes
- Educación Ambiental
- Geomorfología y Fenómenos naturales adversos

Las diferentes temáticas se expresan en la base de datos espacial mediante entidades básicas (puntos, líneas y polígonos) que definen los espacios geográficos representados. Los elementos temáticos se agrupan en diferentes capas. Esta agrupación puede estar dada por el tipo de entidad, por el solape espacial existente entre los elementos contemplados o por conveniencias en el manejo, análisis y representación futura de la temática. (Bosque S., 1992)

Los datos de atributos contienen rasgos específicos del mapa. Se manejan en una base de datos compatible con los estándares existentes. Contienen records (filas) y campos (columnas). Cada record se corresponde con una entidad del mapa y cada campo con una característica o atributo. Así mismo, todo record con sus atributos se enlaza con una entidad geográfica mediante un identificador (ID).

Los datos de entrada son el resultado del levantamiento en el terreno que realizaron los investigadores para cada una de las temáticas, así como de las fuentes estadísticas que se lograron. La información que se recogió se organizó en bases de datos y pudo ser cartografiada en mapas de inventario que serán utilizados para los diferentes análisis espaciales necesarios para la toma de decisiones y las propuestas de soluciones.

En el caso de la Geomorfología, durante los itinerarios se identificaron y cartografiaron los procesos geomorfológicos activos y las áreas sometidas a su influencia en el municipio. Se crearon las capas digitales para el esquema geomorfológico y el mapa de susceptibilidad a los peligros a escala 1: 10 000.

A continuación, se relacionan los campos de atributos de cada una de las bases que conforman el Sistema y que a juicio del cliente, son de interés y/o de importancia clave para la gestión del territorio.

Los indicadores propuestos por ellos están encaminados a medir y comunicar información sobre la gestión ambiental en el municipio Plaza de la Revolución, de parte tanto del Gobierno Municipal y sus instancias como de los ciudadanos de esta parte de la ciudad.

La adecuada selección y valoración de los indicadores o atributos según las diferentes prioridades, fueron de gran importancia para lograr una buena planificación en la etapa correspondiente a la carga del sistema y poder satisfacer las necesidades urgentes de los usuarios.

Tabla No.3 Campos de atributos.

| Nombre de las Capas (Tables) | Campos de atributos | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|------------|-----------|----------|-------------|-------------|
| Base cartográfica de referencia | | | | | | |
| Límite Municipal | ID | Superficie | Población | Densidad | Crecimiento | Estructura. |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|----|------------|-----------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Consejo | ID | Nombre | Superficie | Población | Circunscripción | C.D.R. |
| Areas de Salud | ID | Nombre | Población | Casos EDA | Casos ERA | Casos ETS |
| Problemas sociales | | | | | | |
| Casos Sociales | ID | Ubicación | Discapacitados | Ancianos Solos | Niños Desatendidos | Madres Solas |
| Problema Conducta | ID | Ubicación | Alcoholismo | Violencia Doméstica | Conductas Suicidas | Conductas Delictivas |
| Vivienda | ID | Ubicación | Ciudadela | Insalubre | Inhabitada | Población |
| ETS | ID | Ubicación | Tipo | Sexo | Edad | |
| Infraestructura técnica y servicios | | | | | | |
| Educación | ID | Ubicación | Tipo centro | Matrícula | Profesores | |
| Turismo | ID | Ubicación | Categoría | Cadena | % Ocupación | Características |
| Acueducto | ID | Cobertura | Viviendas | Estado de la red | Fuentes | Calidad del agua |
| Calidad Ambiental | | | | | | |
| Areas Verdes | ID | Superficie | Ha / habitantes | Ha / superficie | Uso | Tipo |
| Cobertura Boscosa | ID | Superficie | Ha / habitantes | Ha / superficie | Uso | Valor |
| Focos Contaminantes | ID | Ubicación | Naturaleza | Contaminante | Vertimiento | Destino |
| Salideros | ID | Ubicación | Agua Potable | Albañales | Gasto | Afectación |
| Educación Ambiental | ID | Proyectos | Actividades | Grupos | Talleres | Otros actores |
| Parques | ID | Dirección | Nombre | Estado | Uso | Valor |
| Procesos Geomorfológicos Activos | | | | | | |
| Formas del Relieve | ID | Ubicación | Tipo | Características | | |
| Procesos Activos | ID | Ubicación | Tipo | Area de Incidencia | Intensidad | |
| Zonas de Peligro | ID | Ubicación | Tipo | Area de Incidencia | Magnitud | Plan de medidas |

Fuente: Elaborada por el autor.

Uno de los principios esenciales que caracteriza a la Teoría Sistémica de las Ciencias Geográficas (ciencias naturales y sociales) es la concepción del espacio y del tiempo como propiedades objetivas de los hechos geográficos, que se han desarrollado resultado de los procesos de la propia evolución de los fenómenos naturales y sociales.

Los datos geográficos, al recoger la información pertinente, participan también en las propiedades inherentes a los fenómenos que cuantifican o califican y en la dinámica peculiar de la envoltura geográfica. Ellos se “mueven” en el espacio y en el tiempo, esa es su dinámica o ritmia. (Díaz L.R., 1992)

Existen dos tipos de dinámica natural: la cíclica y la periódica. Los que presentan una dinámica cíclica tienen una duración variable; los periódicos manifiestan ritmos de la misma longitud. La dinámica de los procesos geográficos se evidencia en los procesos atmosféricos, en el régimen hidrológico, en la formación del relieve, en el desarrollo de la población, en las formaciones sociales y en el estado ambiental. (Mateo, 1984)

Tomando en cuenta que el SIG recoge todos estos tipos de información, la actualización de la misma tiene que estar acorde con la naturaleza del fenómeno que representa. Para ello y sobre la base de las características a las que ya se ha hecho referencia ha sido establecida una gradación en categorías para su clasificación según su dinámica. La relación de mapas a adquiridos por el SIG y sus propuestas de

actualización es la siguiente:

Tabla No. 4 Categorización de la información y periodización de su actualización.

| Periodización (años) | 1 | 3 | 5 | Más de 5 |
|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------|--------------------|
| Categoría (Dinámica) | Alta | Media | Baja | Ritmo Lento |
| Mapas | Focos Contaminantes | Educación Ambiental | Consejos | Límite Municipal |
| | Acueducto | Grupos Comunitarios | Barrios | Línea de Costa |
| | Demografía | Vivienda | Areas de Salud | Red de Coordenadas |
| | Educación | Infraestructura técnica | Manzanas | Contornos |
| | Problemas Sociales | Cultura | Interiores | Geomorfología |
| | Turismo | Deporte | Areas Verdes | |
| | Fenómenos Adversos | Transporte | Parques | |
| | Fuerza de Trabajo | Patrimonio | | |

Fuente: Elaborado por el autor a partir de la clasificación hecha por Díaz L.R., 1992.

CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye una herramienta indispensable para la implementación y explotación de forma eficaz, de un Sistema de Información Geográfica para la Gestión Ambiental del Municipio Plaza de la Revolución. Al concluir el mismo podemos realizar las siguientes consideraciones finales:

- 1- Se logró un Sistema con un enfoque integrador, a partir de la combinación de variables o indicadores socio-ambientales, orientado al manejo, recuperación y análisis entre diferentes estratos temáticos.
- 2- El diseño de partida presentado orienta y organiza la forma de captación y manejo de los datos correspondientes a los principales aspectos temáticos a considerar por el SIG, definiendo los procedimientos y las características de las técnicas necesarias a emplear para su manejo. Así mismo, la propuesta articula los aspectos claves de la estrategia ambiental.
- 3- La base está conformada de forma tal que una vez coleccionada la información territorial referenciada, permite añadir de forma independiente los atributos que la complementen, así como, agregar nuevas capas con información temática que posibiliten realizar la gestión y análisis de los datos, además de las salidas correspondientes por parte de los usuarios.
- 4- La selección de Software MapInfo y su flexibilidad para el intercambio de información con otros programas gestores de bases de datos y hojas de cálculo (Microsoft Excel, Access, etc.) respondieron a las necesidades de análisis indispensables para hacer efectivo el desarrollo de la aplicación. Además permitió la inclusión de técnicas integradas de geoprocésamiento que facilitan y perfeccionan su explotación.
- 5- Una vez implementado, el SIG garantizará el control sistemático de los cambios territoriales y el análisis espacial de los fenómenos y procesos vinculados con el Medio Ambiente, puesto que quedan establecidas las estructuras que posibilitan su mantenimiento, actualización y operación futura a corto mediano y largo plazo.

- 6- Se establecieron las bases para poner en manos de las instancias gubernamentales y políticas del Municipio Plaza de la Revolución un SIG de apoyo a la Gestión Ambiental, lo cual se corrobora por las posibilidades de análisis del mismo a partir de toda la base de datos generada que permitirá aumentar la confiabilidad y rapidez en la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ P., R. ET AL (2001): Subsistema de Información Geográfica de Medio Ambiente, Isla de la Juventud. Informe Final del Resultado Científico Técnico. Instituto de Geografía Tropical. Inédito. 36p.
2. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN. (1992): Teledetección y medio ambiente. IV Reunión Científica (resumen) en MAPPING No3. Editorial CARTOSIG. pp. 24-33.
3. BARREDO CANO, J.I. (1990): Sistemas de Información Geográfica: conceptos, estructuras y aplicaciones en la captación, proceso y análisis de datos sobre ambiente y recursos naturales. CEPAL. Santiago de Chile. 51 p.
4. _____.(1996): Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Editorial RA-MA. Madrid. 264 p.
5. BOSQUE S., J.(1992): Sistemas de Información Geográfica. Editorial Rialp Madrid 451 p.
6. _____. (1994): Sistemas de Información Geográfica: prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. Editorial RA-MA. Madrid. 478 p.
7. _____. (1995): Organización territorial de la población de la Comunidad Autónoma de Madrid. Informe. Comunidad de Madrid, Consejería Económica. Madrid. 125 p.
8. BUCEK, A. (1983): Problemática de la investigación geográfica del medio ambiente en Estudia Geográfica 86. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Checoslovaquia. 180 p.
9. CEBRIAN, J.A. (1988): Sistemas de Información Geográfica, en J. Bosque et al. Aplicaciones de la Informática a la Geografía y a las Ciencias Sociales. Madrid. Paginación varia.
10. CITMA. (1999): Estrategia Ambiental Nacional. CIEN. La Habana. 54p.
11. DÍAZ C., L.R. (1992): Sistemas de Información Geográfica en Colección: textos y apuntes. Vol. 40. UAEM. Toluca. 381 p.
12. DONNA, J. (1987): Hacia una aproximación integrada en el diseño de Bases de Datos Geográficas. I Conferencia Latinoamericana sobre informática en Geografía. EUNED. San José. pp 428- 450.
13. DOUROJEANNI, A. (1996): Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable en Desarrollo Sostenible y Recursos Naturales. Lecturas Seleccionadas. Tomo 5. IICA. San José. pp 113-148.
14. ESRI. (1994): El uso de los sistemas de información geográfica: aplicación con ARC/INFO. Editorial ESRI-España Geosistemas. Madrid. 187 p.
15. FERNANDEZ, R. (2000): Gestión Ambiental de Ciudades. Teoría crítica y aportes metodológicos. PNUMA. 335 p.
16. GONZÁLEZ G., J. ET AL (2001): Diseño e implementación de una aplicación SIG para la diferenciación socioambiental en la ciudad de Nueva Gerona. Informe Final del Resultado Científico Técnico. Instituto de Geografía Tropical. Inédito. 51 p.
17. GUEVARA, A. (1993): Esquema metodológico para el diseño e implementación de un SIG. Servicios de Información Geográfica y Transferencia de Tecnología- GTT. Bogotá. Sin paginar.
18. GUINET P., JORDI. (1992): Introducción conceptual a los sistemas de información geográfica (SIG). Editorial Estudio Gráfico. Madrid. 136 p.
19. GUTIÉRREZ P., JAVIER & GOULD, M. (1994): SIG: sistemas de información geográfica en Espacios y Sociedades No2. Editorial Síntesis. Madrid. 251 p.
20. HUXHOLD, W. & LEVINSOHN, A. (1995): Managing Geographic Information Systems Projects. Oxford University Press. New York. 247 p.

21. INSTITUTO DE GEOGRAFÍA (1989): Plaza de la Revolución. Alcance Geográfico de un Territorio. Inédito. La Habana. Sin paginar.
22. INSTITUTO DE PLANIFICACION FISICA. (1997): Cuarto Seminario Iberoamericano de Planeamiento y Gestión Urbana. Conferencias y resúmenes de ponencias. La Habana. Sin paginar.
23. ISCH L., EDGAR.(1997): Gestión ambiental urbana. Guía metodológica. ICAM, Quito.200p.
24. KAPLUN, P. (1993): Geografía viva, una propuesta de acción comunitaria en el campo ambiental de la geografía cultural. En Población y Dinámica Espacial Urbana y Rural. T-5. IV Encuentro de Geógrafos de América Latina. ULA y Colegio de Geógrafos de Venezuela, Mérida pp. 501-506.
25. NOVUA A., O. (1999): El análisis ambiental mediante un Sistema de Información Geográfica. Edición electrónica. Memorias de la Convención “Trópico 99”. Instituto de Geografía Tropical, La Habana. 40 p.
26. OLIVEROS B., ARNOLDO. (1999): Los SIG en el estudio de la estructura espacial de los asentamientos poblacionales. Tesis de Maestría. Inédito. Universidad de La Habana. 87 p.
27. PALET R., MARLÉN (2000): Transformación del Espacio Local. Caso de estudio del Consejo Popular Vedado-Malecón. Inédito. Instituto de Geografía Tropical. La Habana. Paginación variada.
28. PEUQUET, D. (1990): Introductory readings in Geographic Information System. Edit. Taylor and Francis. London-New York- Philadelphia. 319 p.
29. PIEDRA C., A. M. (2001): La participación social y los problemas socioambientales de la comunidad. Tesina de Diplomado. Inédito. La Habana. 44 p.
30. PIÑA P., BENJAMÍN. (1994). Evolución en la captura y el tratamiento de la información geográfica con fines cartográficos. Editorial ING. Madrid. 47 p.
31. REY, G. (1994): La planificación estratégica urbana. En Carta de La Habana. Boletín del Grupo de Desarrollo Integral de la Capital, año 2, No. 4, La Habana. Sin paginar.
32. RHIND, D.J. (1989). GIS. Trends. ARC News, ESRI. Red Lands, California. 28 p.
33. RODRIGUEZ, J. (1993): Instrumentos metodológicos para la planificación local. La Geografía al servicio del ordenamiento territorial. En Cambios Espaciales y Ordenamiento Territorial. T-4 IV Encuentro de Geógrafos de América Latina. ULA y Colegio de Geógrafos de Venezuela, Mérida, pp. 281 - 287.
34. SANTOS, M. (1989): La problemática urbana en América Latina. II Encuentro de Geógrafos de América Latina. Universidad de la República, Montevideo, pp. 33-43.
35. SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA. (1993): Sensores remotos y SIG para el medio ambiente (resúmenes). Cartagena. 174 p.
36. UAEM, FACULTAD DE GEOGRAFÍA. (1996): I Foro sobre aplicaciones de los sistemas de información geográfica. UAEM. Toluca. 191 p.
37. UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, DEPARTAMENTO GEOGRAFÍA (1996): VII Curso: sistemas de información geográfica, teledetección y cartografía. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. Paginación varia.