

## Gestión del agua urbana mediante Análisis Espacial en los SIG

Yoany Sánchez Cruz

Empresa Aguas de La Habana. Dirección Técnica. Subdirección de Sistemas de Planeación.

Departamento GIS. Habana.

e-mail: [yoany@ahabana.co.cu](mailto:yoany@ahabana.co.cu)

Magaly Amorós Núñez

Empresa Aguas de La Habana. Dirección Técnica. Subdirección de Sistemas de Planeación.

Departamento GIS. Habana.

e-mail: [mamoros@ahabana.co.cu](mailto:mamoros@ahabana.co.cu)

### RESUMEN

El uso de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) ha sido ampliamente difundido para la gestión del agua urbana. Un paso de desarrollo en este campo ha sido utilizar información SIG no solo para mapear y realizar consultas, sino para analizar tendencias y tomar decisiones mediante las aplicaciones que brindan los análisis espaciales. El Análisis Espacial en los SIG comprende un conjunto de procedimientos utilizados para abordar el estudio de la estructura y de las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición y de las características de las entidades geográficas de las variables involucradas. En este trabajo se propone su implementación para el planeamiento y toma de decisiones dentro de una empresa de acueducto ejemplificándose la propuesta mediante casos prácticos con datos reales.

**Palabras clave:** análisis espacial, gestión de acueductos, sistemas de información geográfica.

## Urban water management by means of spatial analysis in GIS

### ABSTRACT

The use of GIS (Geographic Information Systems) has been widely used for urban waters management. One step in the development of this field has been to use GIS information not just for mapping and consulting, but also to analyze trends and make decisions by means of the applications provided by spatial analysis. Spatial analysis in GIS comprises a group of procedures used to carry out the study of the territorial structures and relations based on the knowledge about the position and features of the geographic entities resulting from the variables involved. This paper proposes its implementation for the processes of planning and decision making within a water supply company, which is illustrated by practical cases with real data.

**Keywords:** spatial analysis, water supply management, Geographic Information Systems (GIS).

## **INTRODUCCIÓN**

La idea de que los SIG ofrecen solamente la posibilidad de realizar consultas se ha generalizado por parte del personal especializado en materia de acueducto a tal punto, que apenas se utiliza. Muchas son las potencialidades que un SIG puede brindar en cuanto a análisis espacial y que, hoy en día, no son aprovechadas por empresas gestoras de agua.

Las causas fundamentales de la poca explotación del sistema, en este sentido, están esencialmente en el desconocimiento de las potencialidades y en la resistencia, en muchas ocasiones, al cambio en el modo de pensar y de resolver un determinado problema. Lo cierto es que cada herramienta de análisis que se incorpore para tomar una decisión siempre será conveniente, y al final el resultado será mucho más completo.

Esta investigación se realiza con el fin de insertar las funciones de análisis espacial mediante SIG en la tarea del manejo integral de los recursos hídricos. Por consiguiente, da un recorrido general por las potencialidades, y particulariza en algunas posibilidades concretas mediante ejemplos aplicados a la actividad de acueducto.

## **ANÁLISIS ESPACIAL EN LOS SIG**

El Análisis Espacial es una rama de la investigación cuyo desarrollo es relativamente reciente. Se apoya en los métodos estadísticos y los modelos matemáticos, aunque también utiliza los mapas y la simulación, integrando también los resultados de encuestas sobre los comportamientos en el espacio y sus representaciones. Es empleado por muchas otras disciplinas además de la geografía: economía espacial (o ciencia regional), historia, agronomía, arqueología, ciencias del medio ambiente, etc. Puede ser la más sofisticada y conveniente de las aplicaciones de los SIG, pero no es en modo alguno la más significativa comercialmente (Longely et al. 2001).

Este tipo de análisis comprende un conjunto de procedimientos utilizados para abordar el estudio de la estructura y las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición y las características de las entidades geográficas de las variables involucradas. En efecto, las aplicaciones más usuales tienden a responder a necesidades más sencillas de búsqueda y de inventarios (Goodchild y Haining 2005).

El desafío ha estado en dejar de considerar los mapas como el producto final de un programa de investigación. El análisis de datos espaciales viene proporcionado por un sistema de servicios, ya sean locales o remotos y gratuitos o pagados. Los datos pueden ser igualmente locales, o pueden provenir de algún servidor remoto. La localización adquiere así diversos significados: el tema sujeto al análisis, el almacenaje de los datos, o el servicio de análisis. (Goodchild y Haining 2005).

Las operaciones de Análisis Espacial son cada vez más efectivas a la hora de tomar decisiones en cualquiera de las ramas del desarrollo (figura 1).

Una atención particular merece la definición de la escala geográfica considerada. Las teorías de la auto-organización han subrayado el interés por observar las interacciones que se producen en un nivel de organización de los sistemas para comprender la dinámica de ellos en un nivel de clasificación superior.



**Figura 1. Análisis Espacial en los SIG**

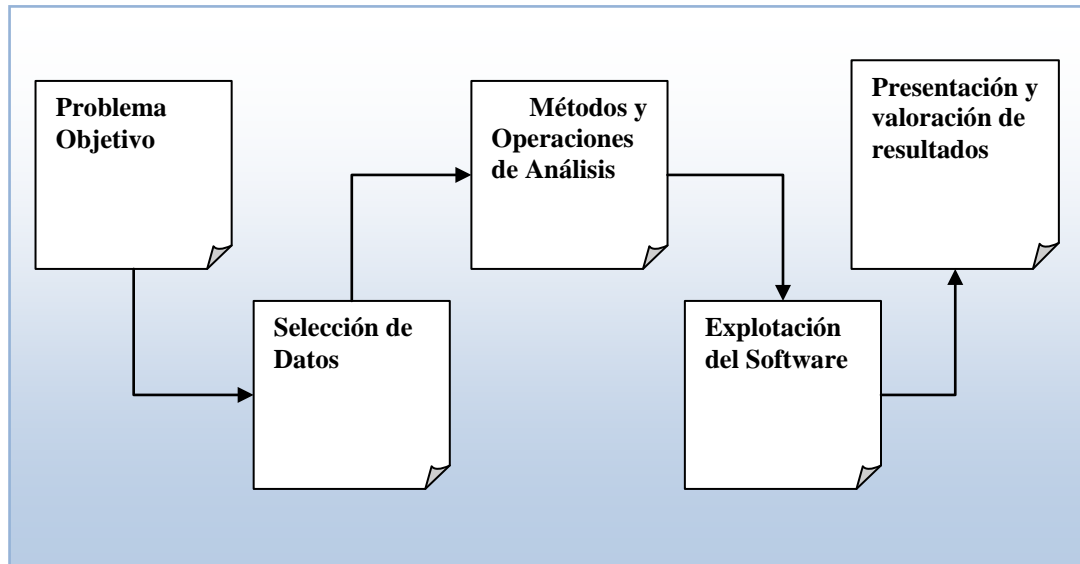
### **POTENCIALIDADES PARA EMPRESAS DE ACUEDUCTO**

Es muy importante para una empresa de acueducto brindar un servicio con calidad mediante el abasto eficiente. La inmediatez con la que se requiere tomar una medida, en muchas ocasiones, omite el paso del análisis por medio de las nuevas tecnologías y la solución aparece, generalmente, asociada a la experiencia acumulada en el tema y al análisis de un equipo de expertos. Entonces, la experiencia operativa pasa a ser lo más importante.

Se propone, por tanto, el uso de las herramientas de análisis espacial brindadas por los SIG en la tarea de gestión del agua urbana para la toma de múltiples decisiones técnicas. Una vez que se dominen los términos teóricos del análisis, solo basta con tener un problema perfectamente delimitado para que en pocos minutos se obtenga un resultado que ayude a encontrar una mejor solución. Seguir el proceso presentado en la figura 2 puede servir de ayuda.

Se deben de tener especificaciones claras a las preguntas e hipótesis que se van a investigar. Los datos deben ser seleccionados: su forma de representación y escala son muy importantes. En función de los objetivos y datos disponibles, es posible que existan varias alternativas metodológicas, por lo que debe decidirse cuál es la más acertada para enfrentar el problema en cuestión. Los modelos de aplicación y las funciones de análisis varían en cada software, por lo que es necesario conocer los conceptos y las transformaciones que se aplican a los datos en el software utilizado. Los resultados se pueden presentar en forma de mapas, tablas, gráficos u otros documentos cuya utilidad debe ser valorada por los especialistas, así como discutida por un grupo técnico de trabajo antes de tomar cualquier decisión.

Varios son los criterios para clasificar las funciones en los SIG, especialmente las de análisis espacial, que son definidas por Longely et al. (2001) como interrogaciones, medidas de objetos y elementos, transformaciones, sumarios y optimización.



**Figura 2. Procedimiento de análisis espacial en los SIG**

Mediante las interrogaciones se pueden utilizar criterios temáticos o espaciales, así como combinar ambos, pero las preguntas deben ser simples y bien definidas. Una serie de dudas encuentran su respuesta mediante estas interrogaciones:

¿Qué redes de acueducto existen en una localización en específico? ¿Cuántas válvulas en estado de operación se encuentran dentro de un Sector Hidráulico, cuántas a una distancia X de un tramo importante? ¿Cuál es la red de acueducto y la de saneamiento más cercana a un nuevo desarrollo urbano?

Las medidas producen valores numéricos que describen algunas propiedades esenciales de los objetos, por ejemplo, su longitud, área, forma, pendiente, orientación, o la distancia entre dos o más entidades.

Las transformaciones incluyen un conjunto de métodos simples de análisis espacial que transforman las entidades originales mediante comparaciones o combinaciones por razón de principios y reglas geométricas, aritméticas o lógicas, y a través de operadores de conversión de datos vectoriales a ráster y viceversa. En este grupo se incluye la creación de áreas de influencia (buffer), las operaciones de conversión de punto a polígono, la superposición de polígonos y la interpolación espacial.

Los sumarios son funciones que resumen los datos en unos cuantos indicadores. Los más usados son los de estadísticas descriptivas (media aritmética, mediana, moda, desviación típica, varianza, etc.) y sus equivalentes espaciales, como el centro de gravedad y la desviación típica de distancias.

En cuanto a la optimización, ella agrupa diversas técnicas normativas cuya finalidad es la de seleccionar localizaciones que cumplen determinados criterios. Son muy utilizados en los estudios de mercado. Se incluyen aquí los análisis de redes y rutas óptimas entre dos o más localizaciones en una red.

Tanto en el formato ráster como en el vectorial existen métodos para llevar a cabo Análisis Espaciales. El formato recomendado para administrar una empresa de acueducto es el vectorial, entre otras causas por la tipología de su representación y la buena salida gráfica. En él, los elementos son representados como gráficos vectoriales y no pierden definición si se amplía la escala de visualización. Mediante el ráster también se recomienda, aunque no representar, sí

analizar cuestiones tales como modelado de terrenos y análisis de densidades, por tan solo citar dos ejemplos.

### **Cálculo de distancias y proximidad**

Un operador de gran importancia en el tratamiento de los datos espaciales es la distancia entre dos puntos o lugares. De una forma u otra, este concepto aparece en multitud de tareas y procedimientos analíticos. El concepto de distancia se puede establecer simplemente como la separación entre dos lugares del espacio o entre dos puntos de un mapa (Bosque 2000).

Poder encontrar la menor distancia de transportación entre un punto y otro, mediante el conocimiento de los datos sobre el estado de las vías, el sentido de circulación, los semáforos y el estado del tránsito, contribuye, por ejemplo, a ahorrar tiempo y combustible a la hora de ejecutar una obra en determinado lugar. De la misma forma, si se tiene en cuenta que muchas conductoras y redes importantes se encuentran en vías de transporte significativas (calles y avenidas), se puede prever la afectación a la circulación y, de ser necesario, establecer planes de desvíos junto con las autoridades encargadas del asunto en función de la magnitud de los trabajos de forma tal que se afecte lo menos posible la circulación de vehículos.

### **Cálculo de magnitudes geométricas**

Muy relacionadas con la función distancia están las funciones del análisis que permiten medir las magnitudes geométricas de los objetos espaciales, es decir, su longitud, superficie, volumen, etc. En cuanto a la información que comúnmente se maneja en una empresa de acueducto, mediante esta forma de análisis se pueden obtener, por ejemplo, en función del área de una determinada zona, y utilizando otras herramientas y técnicas de análisis, zonas desabastecidas o abastecidas, zonas inundables producto de falta de cobertura de alcantarillado, volúmenes de almacenamiento en un embalse, longitudes de tramos de tubería de abastecimiento, de saneamiento y otras.

### **Conversión de una figura geométrica a otra**

En la descripción vectorial de la información geográfica, los objetos espaciales tienen una existencia explícita y claramente definida. En esta situación es conveniente, en muchas ocasiones, tener la capacidad para cambiar el tipo geométrico de un objeto geográfico. En conjunto, existen seis posibilidades de cambio de tipo, agrupadas en tres variantes fundamentales.

#### **a) De puntos a polígonos y líneas**

Esta técnica consiste en obtener una línea o un polígono a partir de puntos conocidos y no suele ser muy precisa, pues un solo punto no puede determinar la geometría de una línea o un polígono; sin embargo, en algunos casos, puede ser útil tener la posibilidad de realizar este cambio.

Con relación a la gestión de redes de acueducto, sería interesante pensar en la posibilidad de delimitar un sector hidráulico a partir de las coordenadas absolutas de las válvulas límite previamente geo-referenciadas en el SIG.

Una segunda opción de esta variante de conversión geométrica es a partir de un conjunto de puntos que se utilizan para establecer los denominados polígonos de Thiessen, cada uno de los cuales delimita, a su alrededor, la parte del espacio que está más cerca de él que de cualquier otro

entorno. De esta forma cada punto quedará asociado/convertido en polígono, y sus valores temáticos se referirán a toda la extensión ocupada.

b) De líneas a puntos y polígonos

Aquí se tiene, por un lado, una simplificación de la información (paso de línea a punto) y, por otro, un proceso similar al caso anterior, pues una línea no puede determinar con precisión la geometría de un polígono.

En el caso de línea a punto, generalmente se escoge el punto medio de la línea, aunque no siempre es totalmente exacto o está situado encima de la línea. Por su parte, la conversión de una línea a polígono es más sencilla y se puede realizar mediante la unión, con una línea recta, de los dos puntos extremos de la curva, siempre con la concepción de que ahora se cuenta con un polígono en lugar de una línea, lo cual otorga las características de área, perímetro, etc.

En este caso es válido analizar la posibilidad de convertir la línea de tubería en puntos equidistantes que coincidan con la distancia entre acometidas. Así, estas últimas quedarían ubicadas exactamente sobre la red de acueducto, lo que traería beneficios a la hora de realizar aquellos análisis donde intervengan ambos elementos. Se debe señalar en este aspecto el tener sumo cuidado con las esquinas, debido a que pueden resultar complejas a la hora de determinar el lugar exacto por donde la vivienda tiene la acometida. Es muy importante, por lo tanto, apoyarse en las informaciones recogidas durante el trabajo de campo mediante el catastro.

c) De polígonos a puntos (cálculo del centroide) y líneas

Se trata de sustituir un polígono por su punto más representativo o centroide. El paso de un polígono a una línea se realiza, simplemente, cuando se considera el perímetro del polígono y se le asignan las características temáticas que estaban ligadas al objeto poligonal.

Estas conversiones, de tipo geométrico, son muy habituales para llevar a cabo tareas diversas, por ejemplo, para encontrar los centroides de líneas y polígonos, y colocar automáticamente las etiquetas identificativas de estos objetos en un mapa.

### **Análisis Espacial en mapas individuales de puntos, líneas y polígonos**

a) Análisis Espacial en mapas de puntos

El estudio de los mapas de puntos se puede referir a dos hechos diferentes contenidos en un mapa: la localización de los hechos representados, y el hecho temático propiamente dicho con sus características intrínsecas.

Entre los análisis más comunes que se pueden realizar en un mapa de puntos están los relacionados con medidas de centralidad y dispersión, entiéndase análisis del vecino más próximo, medidas de dispersión en un área (test de Ji cuadrado y Kolmogorov-Smirnov), autocorrelación espacial, variograma y variografía, y relación entre mapas de puntos (modelo de autorregresión espacial).

Si se tiene en cuenta la información en forma de puntos en una empresa de acueducto y alcantarillado (válvulas, acometidas, hidrantes, registros de alcantarilla, medidores de caudal, focos contaminantes, pozos de abasto, etc.), pudiera pensarse entonces, en la posibilidad que se tiene de realizar análisis estadísticos y tomar decisiones en función de los resultados.

Por ejemplo:

¿Dónde hay más tendencias a la contaminación de las fuentes de abasto, a qué se debe?

¿Cuál o cuáles son las áreas más vulnerables ante incendios y cuál es su relación con la disponibilidad de hidrantes?

¿Cuál es la tendencia, en función de los años de explotación, por ejemplo, de los medidores de caudal teniendo en cuenta su rendimiento? ¿Está relacionada con el nivel de trabajo al que están sometidos en un área en específico, o acaso con las propiedades físico-químicas y organolépticas del agua de la fuente de abasto?

Muchas más pudieran ser las preguntas, pero siempre se debe tener en cuenta el método estadístico a emplear, o sea, los requerimientos, los errores permisibles, las cantidades y el estado de las muestras, etc.

#### b) Análisis en mapas de líneas

En la realidad geográfica se pueden encontrar numerosos objetos espaciales de tipo lineal que pueden agruparse en líneas aisladas sin uniones entre ellas: árboles (segmentos lineales que tienen intersecciones pero no llegan a formar ciclos como es el caso de la red hidrográfica) y circuitos o redes donde las líneas están cerradas formando nudos (calles de la ciudad, redes hidráulicas, de teléfono y eléctricas).

El análisis de redes permite plantear y resolver un amplio conjunto de problemas prácticos como la determinación de rutas óptimas para vehículos que deben moverse en una red de carreteras, la localización de servicios e instalaciones de modo óptimo en cuanto a costos de recorrido para su empleo por los usuarios, la delimitación de distritos y áreas de influencia, la asignación de caminos de distribución de un producto a los almacenes existentes, etc. (Lupien et al. 1987).

Los análisis lineales, en cuanto a la red de acueducto y saneamiento, son limitados debido al carácter de las interconexiones entre sus nodos. En este aspecto, los SIG son desplazados por los potentes modeladores matemáticos, aunque existen investigaciones, en este campo, de softwares que agrupan diseño-modelación matemática-SIG.

Pudiera, sin embargo, pensarse en concentrar simulaciones de averías para sectorizar tramos y evitar pérdidas de agua y afectaciones a los usuarios ante una rotura repentina de la red. Tal efecto sería posible si se tiene la información de cada una de las válvulas asociadas al tramo de abastecimiento debidamente trazado (sin errores topológicos), para poder perfilar así una estrategia que permita disminuir al mínimo, la afectación a los usuarios y concentrar el problema en la menor área posible mediante la manipulación de válvulas claves ante el repentino incidente.

#### c) Análisis en mapas de polígonos

El análisis de un mapa que contenga polígonos entraña una serie de conceptos, por ejemplo, la forma individual de cada uno de ellos, el grado de contigüidad y de interconexión del conjunto existente, el nivel de autocorrelación espacial de las variables medidas en ellos, y la superposición de dos o más entidades.

La superposición de polígonos pudiera resultar interesante si se quieren obtener resultados integradores tales como las zonas de inundación sumadas a la cobertura de alcantarillado, lo cual resultaría en una evaluación de la funcionalidad del sistema de drenaje ante situaciones de intensas lluvias, y nos permitiría replantear su diseño o planear nuevas obras. El criterio de los especialistas es siempre fundamental, pues un resultado de análisis mal interpretado, o con falta de elementos, pudiera ser fatal en una decisión. Por ello, es necesario que un equipo de trabajo evalúe el resultado de cualquier análisis.

### **Generación de áreas de influencia**

Las áreas de influencia son eficaces para encontrar la relación espacial entre dos elementos equidistantes, así como las acciones de unos sobre otros. Pudiera decirse que es un complemento efectivo para determinar áreas comunes de interacción y, por tanto, tener elementos para tomar una decisión, pues resulta en la agrupación de conceptos y áreas de interacción. ¿Cuántas veces en la actividad de acueducto nos hemos preguntado hasta dónde influye, y qué afectaciones conllevaría, un escape de cloro-gas en una planta potabilizadora, o cuál es el área de contaminación inducida por la disposición final de residuales, aunque hayan sido tratados previamente? Muchas preguntas como estas, que pueden ser sugeridas por especialistas, encuentran solución mediante el manejo de herramientas en los SIG para determinar áreas de influencia.

### **Reclasificación y superposición de mapas**

Las operaciones analíticas de reclasificación y superposición de mapas resultan ser de las más empleadas en el formato ráster para el desarrollo de análisis SIG. Cualquier operación de reclasificación significa crear un nuevo mapa en el cual se hayan modificado los valores de la variable contenida en el mapa fuente, en función de alguna operación que se base, exclusivamente, en esos valores iniciales. Bajo ese concepto existen esencialmente dos tipos de reclasificación, una en función de los valores de los atributos temáticos y la otra a partir de las características espaciales de cada pixel, lo cual genera un nuevo mapa mediante una operación de reclasificación.

Aunque anteriormente se había comentado que la representación sobre el modelo ráster resulta muy compleja en la actividad de acueducto por la escala de precisión que requiere, sí es conveniente representar algunos fenómenos, sobre todo de tendencias, mediante este formato.

La superposición y el álgebra de mapas que se logra píxel a píxel enfoca, hacia una región en específico, problemas tan importantes en la actividad como la gestión de la presión, la rehabilitación de redes en función de algunos factores determinantes (edad de la tubería, rendimiento, pérdidas por fugas, etc.), el seguimiento en el tiempo de fenómenos hidráulicos tales como tendencias de contaminación, factores climatológicos que inciden en la actividad (intensas lluvias o sequías prolongadas), tendencias de consumo en función del estado de la red, así como las características del usuario y otras.

### **Análisis sobre la vecindad**

La vecindad del “píxel” se define de acuerdo con una distancia o una relación respecto a un “píxel” central. Estos aspectos pueden constituir complementos de la función anterior (reclasificación y superposición), por lo que su utilidad está marcada por los mismos aspectos. Constituyen por tanto, un paso superior en el análisis y pueden ser utilizados, o no, en función de las necesidades del especialista.

### **Análisis sobre Modelos Digitales de Elevación (MDE)**

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es una representación simplificada de una variable que espacialmente tiene una variación continua, lo cual forma una superficie ondulada en tres dimensiones, dos de ellas se refieren a los ejes del espacio ortogonal plano (X, Y) y la tercera mide la altura (Z) de la variable temática representada en cada punto del espacio (Cebraín y Mark 1986).



De un Modelo Digital del Terreno (MDT) se derivan una serie de mapas de gran importancia para el análisis de variables hidrológicas, de planeamiento y paisajísticas: mapas altimétricos, modelos de inclinación de la pendiente, modelo de sombreado del relieve, perfiles topográficos, modelos de invisibilidad entre puntos y mapas de cuencas de drenaje.

Los mapas obtenidos mediante el modelado del terreno son claves para prevenir inundaciones y realizar planeamientos de futuras infraestructuras de evacuación. Se debe prestar especial atención a la confección de los MDT en áreas urbanas, pues un buen levantamiento topográfico es la clave del éxito en este sentido.

De forma general, los MDE pueden ser utilizados para representar y analizar variables que pueden resultar importantes para la actividad técnica del acueducto.

## **APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESPACIAL EN LA GESTIÓN DEL AGUA URBANA**

Se exponen ejemplos prácticos de cómo utilizar los análisis espaciales en la gestión del agua urbana a través de datos aportados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas de La Habana a través de su Base de Datos SIG.

### **Cálculo del área de influencia**

El principal nudo de distribución de agua a la ciudad de la Habana se encuentra en el corazón del municipio Cerro. En este importante nudo el agua recibe tratamiento con cloro-gas según las normas internacionales de calidad del agua.

Las medidas de protección que se tienen en cuenta en esta zona son extremas para que un escape de cloro-gas no produzca afectaciones al entorno. Es de vital importancia entonces enmarcar el área afectada por un posible escape.

Para que esto quede recogido en el SIG, y así poder trazar planes de evacuación, se analizan las instituciones que pudieran verse afectadas por el accidente. Aunque el área afectada depende, entre otras cosas, de factores meteorológicos (velocidad y dirección del viento), se toma un primer radio de 100 m y un segundo radio de 200 m desde el punto de origen, de modo que queden enmarcadas, dentro de las circunferencias, las posibles afectaciones (figura 3). Es de vital importancia identificar, en las edificaciones afectadas, las escuelas e instituciones de salud que pudieran verse perjudicadas para darle mayor prioridad en los planes de evacuación.

El Área de Protección Física y de Defensa mediante este mapa puede tomar medidas para la evacuación del personal, así como incluir la participación de los posibles afectados dentro de los ejercicios que se efectúen para prevenir desastres.

### **Análisis de densidad**

La ciudad de la Habana cuenta con redes de acueducto de más de 100 años de explotación, sobre todo en los municipios del centro, donde, a pesar de las tareas de rehabilitación, aún quedan muchas acciones por tomar. En las figuras 4 y 5 se presentan mapas de densidades donde se muestran las áreas con afectaciones permanentes de agua en el Municipio Habana Vieja, y las que por la prolongada sequía sufren de falta de agua. En ambos casos es necesario aclarar que la falta de agua es por bajas presiones y no por desabastecimiento total. La intención es analizar las zonas más críticas para realizar trabajos urgentes de rehabilitación y tomar medidas para mejorar el abasto, ya sea por medio de programas de operación, sectorización o ambos.



Figura 3. Infraestructura afectada por un posible escape de cloro gas

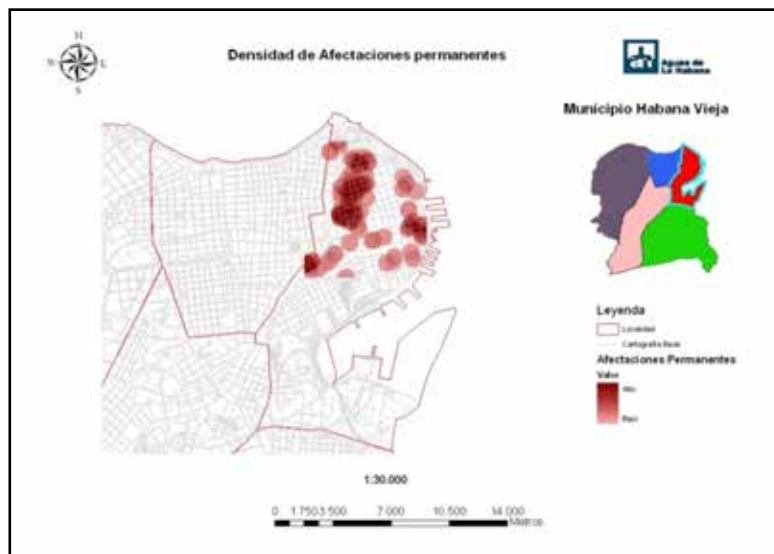
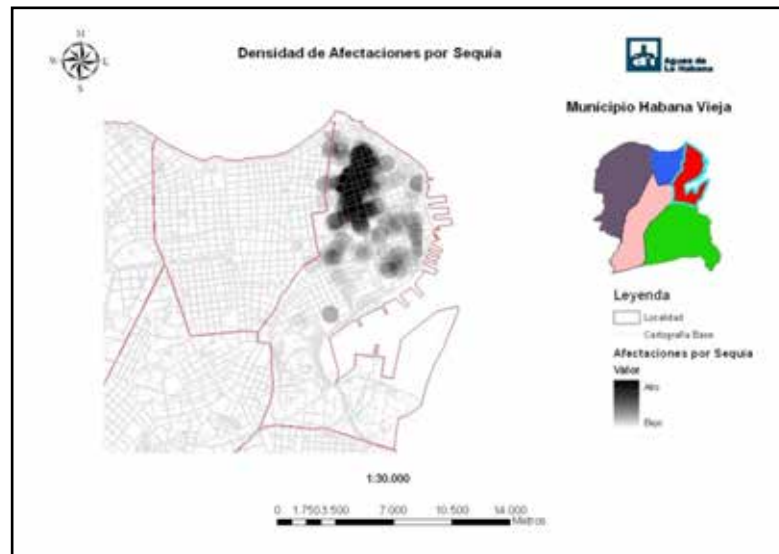


Figura 4. Afectaciones permanentes Habana Vieja

### Análisis de superposición y reclasificación de mapas

La superposición nos brinda la posibilidad de relacionar más de un fenómeno y poder definir, entre otras cosas, áreas en común y tendencias. En este caso se superponen los resultados de las figura 4 y figura 5 se logra encontrar áreas en común en cuanto a afectaciones por los fenómenos de falta de agua permanente y falta de agua por sequía (por bajas presiones), para luego reclasificarlas según tres niveles de importancia (figura 6) y poder tomar medidas urgentes con la gestión de las redes y la operación del sistema.

La selección por localización de las tuberías, válvulas y demás elementos de la red, es el paso final antes de comenzar a ejecutar acciones que pueden ir desde la comprobación del estado de cada una de las válvulas existentes hasta la sustitución de las redes, la gestión de las presiones, y la modelación matemática, todo en función de las alternativas planteadas por los especialistas y de las zonas de mayor dificultad.



**Figura 5. Afectaciones por sequía Habana Vieja**

### **Análisis de distancias y rutas óptimas**

Las rutas óptimas pueden ser objeto de análisis, sobre todo si se tiene en cuenta que el abasto de agua por pipas conlleva a un sustancial gasto de combustible. En este caso el objetivo es transportar, mediante carros cisternas, un volumen de agua (medido en m<sup>3</sup>) desde la estación central de Palatino hasta la intersección de Paseo y Ave. Independencia. Para ello se debe encontrar la ruta óptima con vista a ahorrar combustible.

El puesto de mando establece, en un inicio, que no hay restricciones en la circulación vial, pero pasadas unas horas de haberse enviado los primeros carros, informa que hay restricciones en algunas calles que hacen que se demore la circulación. Se da la solución para ambos casos en la figura 7, que muestra la obtención de las rutas óptimas por concepto de distancias.

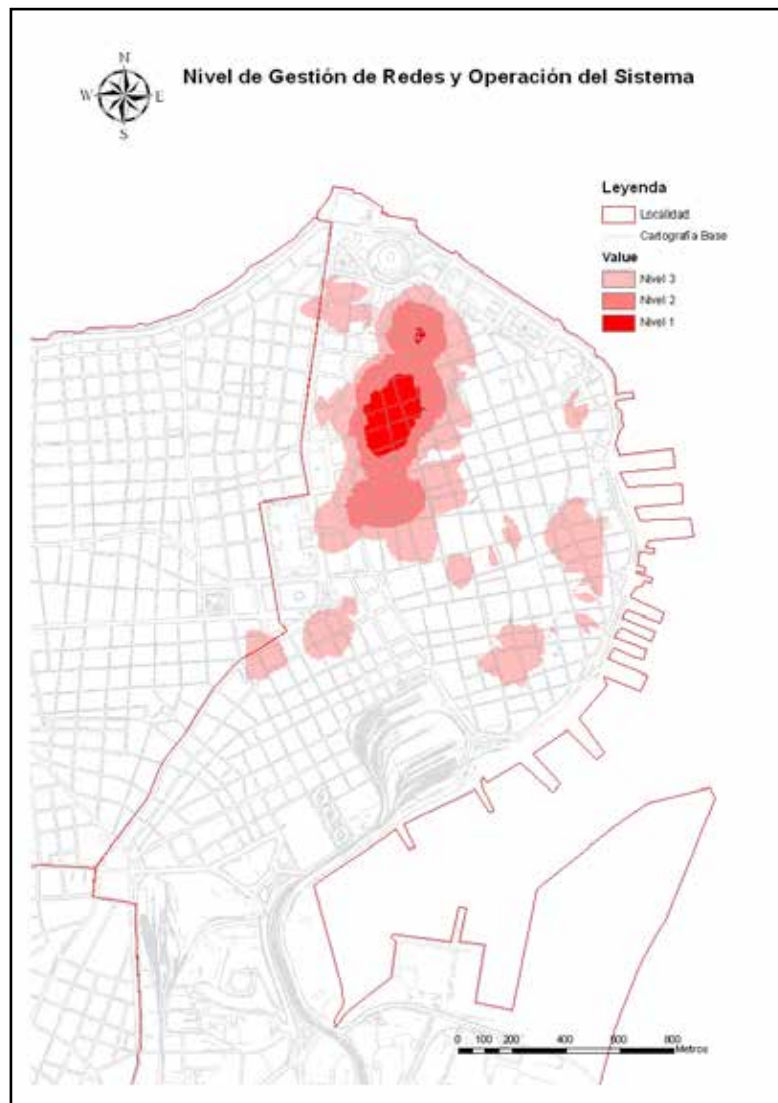
### **Gestión de Usuarios mediante relación espacial entre tablas.**

La experiencia de trabajo de la Empresa Aguas de La Habana ha llevado al perfeccionamiento de una metodología para el establecimiento de los estudios de sectorización (Francisco 2005). El uso de los SIG desde su concepción como ente geográfico hasta su conceptualización hidráulica brinda una gran importancia para su desarrollo.

El siguiente proceso se llevó a cabo para lograr el censo de los clientes y la programación de la comercialización de los servicios.

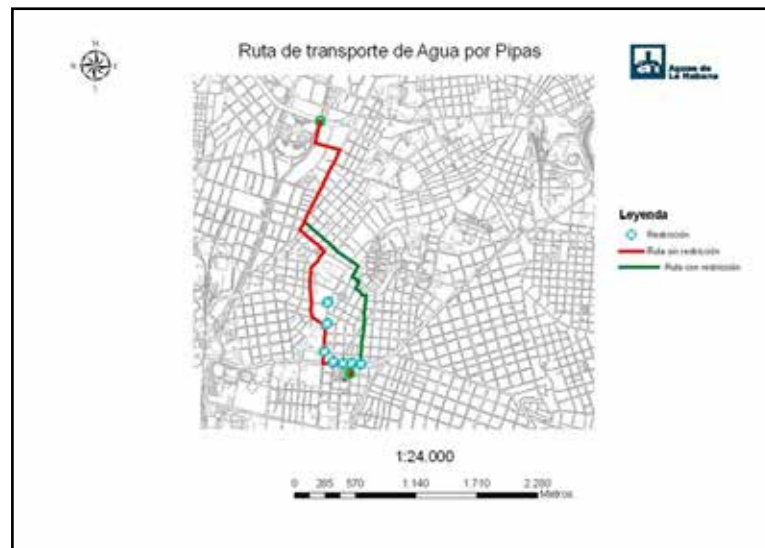
La captura de clientes localizados en el interior de un sector determinado se hace mediante la relación entre la BD Comercial y la información alfanumérica que contiene la capa lineal Tram\_ca.shp correspondiente a un Localizador por Callejero con información de los municipios

que gestiona la entidad (centro y oeste de la ciudad) y en la cual se le asigna un código numérico a cada calle (figura 8).

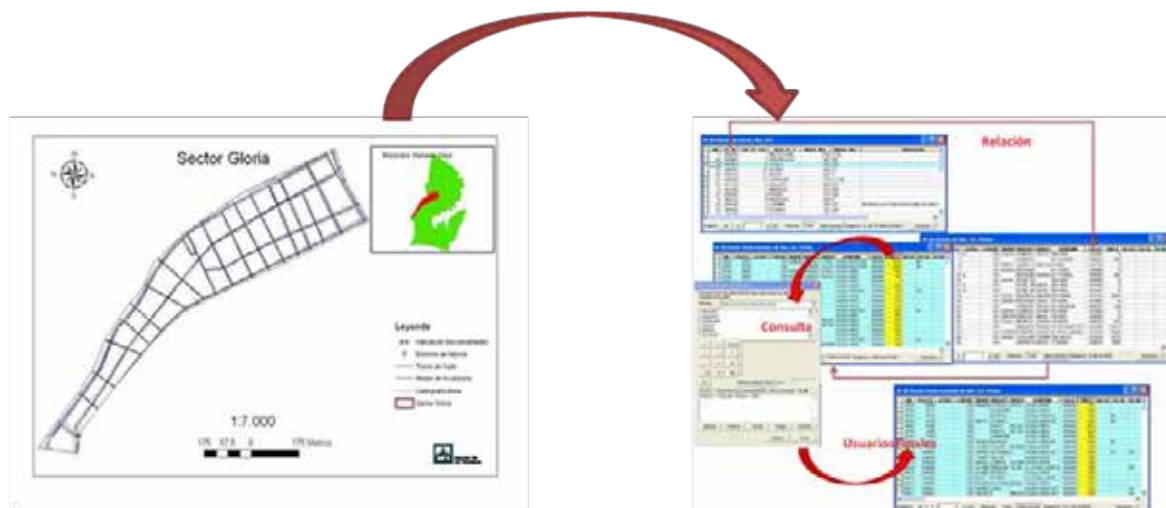


**Figura 6. Niveles de Gestión**

La BD Comercial (AS400) contiene toda la información de clientes que son gestionados por la empresa, e incluye datos personales y de consumo en caso de que ellos estén medrados. A cada registro corresponde un código o póliza. Muchos son los campos que contiene esta tabla, pero entre los más importantes para el trabajo a realizar están los que guardan la dirección, la póliza, el número postal y el código de la calle a la que pertenece. Una información fundamental para lograr la captura son los números postales, los cuales fueron extraídos de la capa lineal Num\_pol.shp.



**Figura 7. Rutas óptimas: Roja- cuando no hay restricción en la circulación, Verde- Ruta con calles con restricciones en la circulación (cruces).**



**Figura 8. Gestión de clientes mediante la relación entre tablas, Sector Gloria**

Son dos los conceptos más importantes en materia de trabajo con BD y manejo de información alfanumérica en un SIG que están implicados en este proceso: la relación entre tablas y el lenguaje de consultas SQL.

Mediante la relación entre tablas, y sobre la base de la información georeferenciada del SIG de Aguas de La Habana, se logró identificar a los clientes del Sector Gloria en La Habana Vieja. Mediante la información obtenida se pudo estimar la demanda de agua para la zona en cuestión la cual tributa a los balances preliminares de consumo y a la operación de la red (tabla 1). De esta forma se logra obtener la información de partida para la compatibilización entre la BD GIS y el AS400 de Comercial mediante la acometida física.

**Tabla 1. Parámetros de Demanda Sector Gloria**

Número de Acometidas	1286
Población del Sector (Hab)	15093
Densidad de Población (Hab/ha)	520
Demanda estimada a 470 lppd (L/s)	82,1
Total de Usuarios	5447 (96,4% Residencial)

## CONCLUSIONES

En la actividad de acueducto no existe experiencia en el uso de Análisis Espaciales, por lo que su implementación debe estar marcada por una profundización en cada una de las áreas donde debiera de ser utilizado para el mejor manejo de los recursos hídricos. Mediante las herramientas del Análisis Espacial, vinculadas a la gestión del agua urbana, se puede crear, preguntar, mapear y analizar píxeles sobre la base de datos del tipo ráster. La mezcla que se logra, ráster/vector, proporciona un análisis integrado de los fenómenos. El álgebra de mapas que se alcanza es de vital importancia para la interpretación de datos y de fenómenos georeferenciados. La posibilidad de consultar información a través de capas de datos múltiples es otra de las ventajas del Análisis Espacial, pues integra completamente datos ráster con fuentes de datos tradicionales del tipo vector.

## REFERENCIAS

- Bosque, J.** (2000). "Sistemas de Información Geográfica". Ediciones Rialp, S.A., Alcalá, 290-28027, Madrid.
- Cebraín de Miguel, J.A. y Mark, D.** (1986). "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos", Estudios geográficos, Núm. 184, Instituto de Economía Geografía y Demografía, Madrid, España. <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es>
- Francisco, Y.** (2000). "Aplicación de la Sectorización en la Gestión de Acueducto"; Tesis de Maestría en Manejo Integral del Agua, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.
- González, Y.** (2011). "Nudos-Red, una herramienta SIG para el diseño de redes de distribución de agua". X Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica y VI Seminario de Uso Integral del Agua. Auspiciado por: Unión Nac. Arquitectos e Ingenieros de la Constr. de Cuba (UNAICC), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Universidad Autónoma Chapingo y Ministerio de la Construcción de Cuba (MICONS). ISBN: 978-959-247-082. Cuba.
- Goodchild, M. F., Haining, R.P.** (2005). "SIG y análisis espacial de datos: perspectivas convergentes". En Investigaciones Regionales. Número 006. Asociación española de Ciencia Regional, Alcalá de Henares, España. pp. 175-201.
- Longely, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D.** (2001). "Geographic Information Systems and Science". John Wiley & Sons. Chichester. Capítulos 13 y 14.
- Lupien, A. E., Moreland, Dangermond, J.** (1987). "Network analysis in Geographic Information Systems". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 53, Núm. 10, pp. 1417-1421. American Society for Photogrammetric and Remote Sensing, USA.