

---

## **TECNOLOGIA SIG APLICADA A SISTEMAS DE TRANSPORTE**

**Fernando Bravo F.**

(Ing.Civil U.de Chile, Magister P.U.C),

**Jorge Cerdá T.**

(Ing. Civil en Geografía, USACH)

CIS Asociados Consultores en Transporte Ltda.

Austria 2066 Providencia. Stgo. Chile.

Fono Fax 2051034-2051033-2051029

### **RESUMEN**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen hoy en día poderosas herramientas para el análisis espacial usando relaciones topológicas inherentes a los datos, además de facilitar la representación visual esquemática de la información, tanto a nivel de despliegue gráfico en pantalla como a nivel de impresos de rápida ejecución.

En este trabajo se presenta en primer lugar una breve descripción de lo que se entiende hoy por tecnologías SIG. Posteriormente se entrega la caracterización de los principales SIG existentes en el mercado, con sus ventajas y desventajas al aplicarlos al análisis de sistemas de transporte, considerando los estándares de información que se manejan actualmente en los modelos de transporte más utilizados en Chile.

El trabajo contiene una aplicación realizada con el SIG TRANSCAD, en el campo de las redes viales y de transporte público, apoyando el tratamiento de redes tanto en las etapas de construcción y codificación como de análisis de las redes cargadas.

La aplicación contiene la implementación de módulos de interfase entre TRANSCAD y el software de diseño gráfico AUTOCAD. Contiene además, una interfase gráfica con el software HARVARD GRAPHICS. Todo esto, permite aumentar la potencialidad conocida del SIG como herramienta gráfica agregándole mayores elementos de diseño.

El trabajo culmina con una serie de recomendaciones técnicas y metodológicas, que aportan experiencia y permiten continuar con la aplicación de tecnologías SIG a los sistemas de transporte.

## 1. INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

### 1.1. Generalidades

Conceptualmente un Sistema de Información Geográfico es un conjunto de procedimientos que permiten analizar, procesar, interrelacionar y mapear cualquier conjunto de características que cumplan con la condición de ser variables referenciables o georeferenciables (referenciada a la tierra), es decir que sean elementos geográficos. Los elementos geográficos comúnmente representados por los SIG son puntos, líneas y áreas.

La filosofía de un SIG es el tener una base de datos representada espacialmente en un plano, por lo que conceptualmente consta de una base gráfica y una base de datos tradicional, las cuales están interrelacionadas por medio de identificadores.

Actualmente la mayoría de los SIG están implementados en plataformas informáticas, debido a la gran potencialidad de análisis, velocidad de respuesta, capacidad de procesamiento y almacenamiento de información de los equipos y programas computacionales.

Es importante entender que el SIG nos es un "fin", sino un "medio". Es común pensar que el sistema soluciona todo por si sólo, lo que no es correcto. El SIG es sólo una herramienta de análisis y optimización de procesos, por lo tanto la potencialidad del sistema depende de los diseños de los procesos o algoritmos que deben solucionar los problemas. Es así que las fortalezas de un SIG residen, por una parte en las características y potencialidades que este tenga, pero principalmente en las capacidades de los operadores o expertos que lo utilicen.

Actualmente los SIG están siendo aplicados en distintas áreas y ciencias, pero en la mayoría de los casos los software se encuentran subutilizados por efecto del desconocimiento de los mismos, falta de hardware necesario, falta de objetivos claros de su aplicación, falta de desarrollo teórico de procesos a estructurar, etc. Por esto es que la elección y posterior implementación de un SIG en cualquier campo de aplicación requiere de un estudio previo que determine lo que se desea obtener u optimizar, para luego determinar que sistema es el que mejor satisface dichas necesidades.

A menudo se piensa que un SIG es un solo programa, pero por lo general está formado por varios componentes. La estructura de un SIG está lejos de ser rígida o preestablecida, ya que dependiendo de la aplicación que se quiera realizar es la estructura o procedimiento a utilizar. En la figura 1 se muestra un esquema de los distintos módulos que normalmente componen un SIG.

### 1.2. Caracterización y diferenciación de los principales SIG existentes en el mercado

Uno de los elementos que determina en gran parte la diferenciación de los sistemas que actualmente se ofrecen en el mercado, es la forma de representar la componente espacial de la información.



La espacialidad de la información se maneja principalmente de dos modos: el formato "Raster" y el "Vectorial". Los sistemas Raster trabajan en forma matricial, en donde cada celda o pixel de la matriz determina una unidad de información. Las características de dicho pixel la determina su posición (fila, columna) y el valor del atributo de la celda (z). En este formato la nitidez o precisión de una imagen depende del tamaño del pixel, esto es lo que se denomina resolución.

Los sistemas Vectoriales definen para cada punto espacial un vector de n dimensiones, en donde las dos primeras coordenadas se refieren al sistema cartesiano (x,y) que se este utilizando. Las restantes componentes del vector representan los distintos atributos del mismo. De esta forma las situaciones espaciales de los distintos elementos están determinadas por funciones matemáticas (ecuaciones de rectas, vecindades, etc.).

Un análisis crítico de los diferentes formatos, detectando ventajas y desventajas se presenta en la siguiente tabla de comparación.

Formato	Ventajas	Desventajas
<b>RASTER</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estructura de datos simple</li> <li>- eficiente en análisis de superposición de áreas</li> <li>- representa bien variabilidad espacial</li> <li>- manipulación eficiente de imágenes digitales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estructura poco compacta</li> <li>- difícil representar relaciones topológicas</li> <li>- salidas gráficas con mala delineación</li> </ul>
<b>VECTORIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estructura de datos compacta</li> <li>- eficiente representación y análisis de relaciones topológicas</li> <li>- salidas gráficas con buena definición de trazos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estructura de datos compleja</li> <li>- difícil análisis de superposición de áreas</li> <li>- regular representación de variabilidad espacial</li> <li>- difícil análisis de imágenes digitales</li> </ul>

**Tabla 1.- Ventajas y desventajas de los formatos Raster y Vectorial**

Los distintos sistemas se han especializado en aplicaciones para los cuales sus formatos son compatibles o presentan ventajas comparativas. Es así que, por ejemplo, un fuerte usuario de sistemas raster es el procesamiento de imágenes satelitales con múltiples aplicaciones en el campo forestal, marítimo, ambiental y militar entre otros. Algunos de los mejores exponentes de este tipo son IDRISI y ERDAS, que trabajan con imágenes del tipo Spot o Landsat multiespectrales o en falso color.

Como se presentó, los sistemas vectoriales son apropiados para modelamiento de sistemas, controles terrestres, análisis de redes, etc. Uno de los software más poderosos de este tipo es ARC-INFO con todos sus módulos (Network, Arc-Plot, Arc-Edit, Arc-Tables, Overlay, Data Conversion).



## 2. ESTANDARES DE INFORMACION EN INGENIERIA DE TRANSPORTE

La información utilizada en Ingeniería de Transporte, dado el carácter de sistema que caracteriza a la disciplina, tiene variadas connotaciones. Para efectos de clasificarla y caracterizar sus estándares en este trabajo se ha dividido en 3 grandes tipos:

### A.- Información de naturaleza catastral

Esta información proviene generalmente de grandes entidades como ministerios y reparticiones públicas, destacándose:

- Censos de Población y Vivienda
- Roles y caracterización de Propiedades de Impuestos Internos
- Encuestas Origen-Destino de viajes
- Catastros de Transporte Público
- Encuestas de Ingreso

La referenciación geográfica de los elementos anteriores es propia de cada uno de ellos. Su compatibilización por lo general pasa por elementos externos propios de la aplicación que se esté realizando, no existiendo ninguna compatibilización geográfica formal.

Su utilización fundamental es como elemento de consulta y como fuente para la obtención de variables explicativas de modelos de demanda por transporte.

### B.- Información de Terreno

Esta información está generalmente asociada a estudios y proyectos, utilizándose para alimentar los modelos y como información básica para el diseño de ingeniería de proyectos.

La información fundamentalmente se presenta: la de oferta a nivel de puntos geográficos (nodos) y enlaces entre ellos (arcos), formando una malla conexa (red vial de transporte); y a nivel de demanda por un conjunto cerrado y acotado de unidades geográficas (denominadas zonas) que interactúan espacialmente a través de matrices orígenes-destinos de viajes de vehículos y personas.

Destacan entre la información más importante:

#### A nivel de demanda por servicios de transporte

- Flujos Observados de tipo de vehículos y personas a nivel de arcos viales y/o líneas de transporte público
- Encuestas Origen-Destino de Viajes a nivel de hogares, identificados geográficamente, y también a nivel de puntos de las redes viales.

#### A nivel de Oferta por Transporte

Catastros físicos y Operativos de redes viales donde se levanta información relativa a:



- nodos (por ejemplo semáforos y Señales, programaciones de semáforos, colas de vehículos existentes, etc. por intersecciones)
- arcos y vías (por ejemplo pistas físicas y útiles, anchos de calzadas y medianas, presencia de estacionamientos en las distintas calles, tiempos de viajes existentes)
- servicios de transporte público y de carga

Especial atención merecen estos servicios, representados por líneas (secuencia de arcos viales) que dan servicio entre zonas geográficas, a determinadas frecuencias y tarifas.

Tanto la información de demanda como oferta, se requiere desagregada por época de año, períodos del día y segmentos de usuarios de transporte, caracterizados estos socioeconómicamente por lo general de acuerdo a sus niveles de ingresos y tasas de motorización.

La información de demanda se requiere a su vez caracterizada de acuerdo a la motivación que da origen a los viajes: Trabajo, Estudio y Otros propósitos.

#### Información de Estudios Básicos de Ingeniería

Esta información es básica en las labores de diseño vial en ingeniería de transporte. Por lo general se presenta a nivel de bases planimétricas que obedecen a vuelos aerofotogramétricos recientes con sus correspondientes restituciones digitalizadas.

Dentro de la información resultante se incluye:

- Topografías de Planta
- Monografías de Servicios (Agua, eléctricos, teléfonos etc.)
- Monografías de Señales y Pavimentos
- Estudios de Mecánica de Suelos, etc.

La referenciación geográfica, de la cartografía resultante, es propia de la base digitalizada que le da origen. Lo actual en estudios de transporte es la presentación de esta información utilizando herramientas de diseño como AUTOCAD, mas que Sistemas Geográficos.

#### **C.- Información Resultante de las Modelaciones y Simulaciones**

En este tercer grupo se incluye el conjunto de información que proviene de los modelos de transporte. Si clasificamos la información en 5 grandes entidades, esta son :

- 1º **Zonas geográficas** (por ejemplo viajes que se generan y atraen por zona por tipo de usuarios, para determinados propósitos del viaje y a determinadas horas del día)
- 2º **Interacción espacial entre zonas** (a través de matrices de viajes y de niveles de servicio, llámese a estos tiempos y costos de viajes entre zonas)
- 3º **Nodos** (por ejemplo flujos por tipos de vehículos y movimientos de ellos en las intersecciones, niveles de servicio representados por colas, demoras, etc.)



- 4º **Arcos** (aquí aparecen los flujos de vehículos y de personas, y los tiempos de viajes como expresión de los niveles de servicio como lo mas relevante)
- 5º **Líneas o Rutas** (información de pasajeros de transporte público que suben y bajan a través de los distintos arcos que las componen, perfiles de flujos a través de los arcos que sirve, etc.)

En general cada modelo posee sus propios lenguajes y ambientes para su ejecución, entregando su información en formatos compactados de difícil acceso o formatos planos que obedecen a los objetivos propios de cada modelo.

En síntesis, toda la información que maneja el sistema de transporte se refieren a tres elementos espaciales tipo que son nodos, arcos y zonas, existiendo otros elementos que son agrupaciones o interacciones entre estos. Por otro lado, y como ya se había mencionado, los elementos geográficos que manejan los SIG son puntos, líneas y áreas. Luego considerando los elementos de análisis de ambos sistemas se puede establecer una compatibilidad total.

### 3. INTEGRACION OPERACIONAL DE LOS SISTEMAS

#### 3.1. Funciones de los SIG

La integración operacional de los SIG al análisis del sistema de transporte pasa por la determinación de una factibilidad o complementariedad operativa y de traspaso de información.

La vinculación del SIG con el sistema puede ser de diversas formas, por lo que es necesario predefinir las posibles funciones del sistema. La aplicación al estudio del sistema se puede clasificar en distintos niveles, los cuales dependen del grado de profundidad del análisis. Así se pueden definir tres niveles, ellos son:

\* El SIG como un sistema de “*información*” geográfica; en este nivel el sistema se implementa para mostrar espacialmente la información, con posibilidad de consultar valores, crear cartas temáticas, visualizar distribuciones, etc. En síntesis se puede decir que a este nivel sólo se cargan y se muestran las bases de datos.

\* El SIG como un sistema de “*análisis*” geográfico; una vez ya cargada la base de datos, es posible analizarla y procesarla con el fin de obtener respuestas a algunas metodologías para diferentes interrogantes. A este nivel se utilizan los módulos o lenguajes de consultas (SQL), obteniéndose elementos que cumplen, o no cumplen, con múltiples restricciones. También se utilizan los módulos estadísticos calculando distribuciones, regresiones simples, análisis de conglomerados, se reprocesan datos, se reclasifica, se agrega, se superponen capas, se intersectan coberturas, etc. Todos estos análisis o consultas se obtienen en variados formatos (imágenes, archivos, bases, reportes, planos, etc.).



Las metodologías y criterios de análisis que se aplican a este nivel surge de la interacción con los expertos en las temáticas analizadas, es decir, los procedimientos los deciden los expertos y el operador del SIG los lleva a cabo. Esto potencia las utilidades del SIG.

\* El SIG como un sistema de "*análisis interactivo*"; este nivel comprende al nivel de análisis pero en una situación interactiva, en el sentido que los resultados del análisis pasan a programas internos o externos más complejos, que forman parte de procesos exógenos. En este caso el SIG pasa a ser un módulo o programa más de modelos externos, siendo los nexos interfaces de estandarización de formatos de entradas/salidas.

### 3.2. Integración operacional con el sistema de transporte

Definidos los niveles de aplicación de un SIG en el estudio de un sistema, estamos en condiciones de proponer una integración operacional general con el proceso de análisis de sistemas de transporte. La siguiente es una proposición que surge de las experiencias adquiridas en los proyectos en donde se ha implementado esta tecnología.

- *Definiciones zonales*; en esta etapa se agrupan unidades territoriales en función de algunas características relevantes. Los criterios utilizados actualmente son homogeneidad en características socioeconómicas de la población y accesibilidades a las redes. Como se ve todos los datos son características zonales, y si bien las homogeneidades de características son criterios ya aceptados, la homogeneidad espacial no se trata en forma sistemática, por lo que se propone una aplicación del tipo analítico interactivo, ya que el SIG permite el tratamiento de la homogeneidad espacial a través de las coordenadas geográficas, en técnicas como análisis de conglomerado, métrica, etc. Los datos que alimentan al sistema son características demográficas, socioeconómicas, accesibilidades y viajes, todo a nivel de unidad de información. El sistema entrega clasificación o agrupaciones de zonas.

- *Análisis de la etapa de Atracción/Generación de viajes*; se propone una aplicación del tipo sistema de información en el cual se despliegue los datos zonales considerados, y el cual reciba las salidas del modelo mostrando orígenes y destinos totales por zonas (figura 2).

- *Análisis de la etapa de Distribución de viajes*; se propone una aplicación del tipo sistema de información en el cual se utilicen los módulos de despliegue de matrices origen/destino (figura 3).

- *Análisis de la etapa de Asignación de viajes*; se propone una aplicación del tipo analítico interactivo en donde por una parte se almacenen y se generen las características físico-operacionales de la red, se ejecuten los distintos modelos, y se recoja las salidas de los mismos participando en los proceso iterativos de evaluación de opciones.

Es en esta última aplicación en donde más se ha avanzado, afinando los procesos e implementando en la práctica rutinas y procedimientos de integración.



### **3.3. Aplicación práctica del SIG al campo de las redes de transporte**

#### Metodología de análisis de redes

El análisis de una red de modelación en transporte pasa por varias etapas, que se pueden ordenar como: Construcción, Calibración y Predicción.

##### a) Etapa de Construcción

En esta etapa se dan las definición topológicas de la red, a través de un conjunto de nodos y arcos representativos, donde se concentran los flujos vehiculares de transporte público y/o privado.

Simultáneamente, se define la demanda de usuarios a la cual esta dirigida la red (modos simples o combinados, privados o de transporte público, etc.) representada a través de matrices de viajes entre zonas.

También se proporciona la conectividad de la red, a través de la provisión de una accesibilidad adecuada de las zonas geográficas que demandan viajes en la red.

Finalmente se caracteriza la red a través de las líneas de transporte público que la sirven, vehículos de transporte de carga y las especificaciones de las funciones de oferta de los arcos.

##### b) Etapa de Calibración

En esta etapa se trata de determinar los parámetros de las especificaciones de las funciones de oferta o costo definidas por arco, que nos permiten replicar las situaciones de flujos, tiempos de viajes y niveles de servicio observados.

Para esto se plantean problemas de optimización, cuya solución se hace generalmente usando software de ingeniería de transporte especializado para redes.

##### c) Etapa de Predicción

Una vez calibrada la red esta es utilizada en fase predictiva incorporando nuevas opciones (nuevos arcos, mejoramientos de los existentes, nuevos servicios de transporte público, etc.), generando lo que se conoce como redes de proyectos.

Estas nos permite estimar los beneficios de las opciones a través de los flujos y niveles de servicio que adquieren. En esta etapa es necesario considerar un escenario de crecimiento para la demanda de viajes que se asigna a la red de proyecto.

#### Aplicación de SIG al campo de la construcción y predicción en el análisis de redes modelación

En esta etapa se presenta una aplicación de SIG a la etapa de construcción de una red vial, utilizando para ello el software *TRANSCAD*. Fundamentalmente la aplicación apunta a optimizar estos procesos, que por lo general ha sido una labor bastante lenta y engorrosa dentro de la modelación en



transporte, acrecentándose los problemas cuando se requieren por efectos de modelación la construcción conjunta de redes privadas y de transporte público.

Esto fundamentalmente por la precisión que se debe dar tanto en la definiciones topológicas, en la caracterización misma de las redes y las compatibilidades de información que deben existir entre redes de modos simples y modos combinados.

En esta estructura metodológica, se propone una implementación analítica interactiva del SIG, el cual entra a participar en las etapas de construcción de la red y predicción de efectos de nuevas opciones.

En la aplicación, la definición de la red y las bases de datos con las características físico-operacionales se implementan en el SIG. Esto tiene la ventaja de poder incorporar información por pantalla, además de tener la posibilidad de validar las bases a través de análisis de continuidad o singularidades. Así las bases pobladas en el SIG pasan a través de programas de interfase a generar los archivos de entrada de los modelos de asignación. Por otra parte las salidas de los modelos pasan a poblar las bases del SIG, para generar imágenes resultados o analizar variabilidades. La implementación de nuevas opciones (nuevos arcos de proyectos, mejoramientos de arcos existentes, etc.) se desarrolla completamente en el sistema, adicionando o modificando las variables de los elementos correspondientes.

#### El sistema TRANSCAD

TRANSCAD (Transportation GIS Software) de Caliper Corporation, es un sistema diseñado para plataforma DOS, y es parte de un sistema de información mayor llamado GISPLUS. Utiliza módulos especialmente diseñados para análisis de sistemas de transporte y redes (trabaja en formato vectorial). Los componentes típicos del SIG se pueden caracterizar para este sistema de la siguiente manera :

Entradas; respecto a las bases gráficas, admite variados formatos como DXF, PCX y otros provenientes de software gráficos. Los formatos utilizados en nuestras aplicaciones han sido DXF provenientes de AUTOCAD. TRANSCAD admite variados formatos de bases de datos como, por ejemplo, DBF, ASCII delimitado por comas o espacios, WKS, etc.

Herramientas de análisis; entre los módulos de análisis que presenta TRANSCAD se pueden mencionar, entre otros, despliegue de matrices origen/destino, despliegue de flujos por arco, categorización de variables zonales, cálculo de rutas mínimas, definición de redes y subredes, análisis estadísticos básicos, etc. El software también tiene algunas características de multimedia, en el sentido que permite desplegar fotos en pantalla de elementos de análisis (intersecciones, vías, semáforos, etc.).

Salidas; las salidas del sistema son similares a las entradas. Se pueden obtener bases gráficas en formatos de traspaso (DXF, PCX) y en planos. Las bases de datos también son exportables en formatos tradicionales.



Conexión con otros SIG; TRANSCAD tiene varios módulos de conexión con formatos de otros SIG. Con el sistema que tiene más módulos de interfase es con ARC-INFO, en sus variados formatos (formato arc-info, ungen).

#### Preparación de redes SATURN y MOZARTP

TRANSCAD se ha aplicado en la preparación de redes SATURN y MOZARTP. En el caso SATURN se aplica para preparación de redes Buffer para casos estratégicos e Inner (redes detalladas). Para la interacción de los Software se desarrollaron programas especiales de estandarización de formatos, tanto para la entrada como para la salida de los modelos. Estos programas se presentan a continuación, pero previamente se describe la etapa de implementación y poblamiento de las bases y coberturas en TRANSCAD.

En una primera etapa se trabajó con bases gráficas de AUTOCAD de la red vial de Santiago. Esta red se traspaso a TRANSCAD, donde se tuvo que recodificar y reconstruir producto de problemas en la digitalización original. A esta cobertura se le definieron los campos de información a utilizar, diseñándose una estructura multiuso que respondiera a las necesidades de diversos elementos a analizar.

Una vez recogido el catastro de terreno y estandarizado a los arcos analizados, se pobló la cobertura red vial con características como nodo origen, nodo destino, largo, ancho, número de pistas, capacidad, categoría, tiempos de viaje, velocidades a flujo libre y a capacidad, parámetro de curvas flujo-demora de redes buffer, número de semáforos, ceda el paso, discos pare, etc. Se definió un campo para discriminar el tipo de arco, pudiendo ser arco vial, de acceso, de transbordo o de metro.

A la base de nodos se les definió el código del estudio, el tipo de nodo (interno, externo o frontera - según nomenclatura SATURN), la tenencia y tipo de señalización.

De la misma base gráfica de la red vial se traspasó una cobertura con la zonificación del estudio, la cual se estructuró en formato TRANSCAD y se pobló con información demográfica, socioeconómica, de superficies por uso de suelo y de viajes originados y generados según la EOD 91.

Elegido el grafo definitivo, se codificaron las líneas de transporte público en una cobertura especial mediante un proceso interactivo, en el que en la pantalla se va dibujando el recorrido de la línea y automáticamente se registra el nodo origen, el nodo destino, el número de la línea, la frecuencia, la tarifa, la trayectoria (si es ida o regreso) y la secuencia del arco en la trayectoria. Este proceso disminuyó significativamente los tiempos y la exactitud en realización de esta tarea (figura 4).

Sobre la cobertura de zonificación se localizaron los centroides desde los cuales se conectaron los arcos de acceso tanto para el transporte privado como público.

De las coberturas generadas se crearon 8 archivos en formato dbf, los cuales alimentan a un programa externo que genera la red SATURN y la red MOZARTP. Estos archivos contienen la siguiente información:



- Líneas de transporte público, que caracteriza a cada línea con su tarifa, intervalo, trayectoria, modo, número de línea y nodo inicio y final del recorrido.
- Nodos, donde se incluyen las coordenadas geográficas y el número del nodo.
- Recorridos de transporte público, donde se incluye el número de línea y la secuencia de arcos en el recorrido.
- Zonas, se caracteriza el código de la zona y las coordenadas del centroide.
- Accesos, caracteriza los accesos de las zonas a la red con todas sus variables de servicio.
- Arcos viales, caracteriza los arcos con las variables del catastro (velocidades, capacidades, tiempos, longitudes, etc.)
- Arcos de metro (redes independientes), caracteriza los arcos de metro con sus variables de servicio.
- Arcos de transbordo, caracteriza los arcos de caminata sobre la red.

El procesamiento que se les da a estos archivos depende de la red que se desee construir. Así, para generar la red SATURN los datos presentes en los archivos se formatean de modo de llenar las distintas tarjetas de la red, es por ejemplo que el archivo de arcos y accesos viales pasa a llenar la tarjeta 3, el archivo de nodos llena la tarjeta 5 y las líneas llenan la tarjeta 6. Para reformatear las líneas se procede a verificar las características y recorridos en una subrutina especial que arroja errores de secuencia o característica. Esta subrutina supone la consistencia con la información de arcos viales, es decir, que no exista un recorrido por un arco que no existe. Esto se asegura por el hecho que la codificación proviene del SIG.

La generación de las tarjetas de red interna (tarjetas 1 y 2) se hace a través de un programa externo denominado GRIS (Generación de Red Interna Saturn), el que también interactúa con el SIG en lo que se refiere al traspaso de coordenadas geográficas de los nodos. La consideración de estas coordenadas solucionó en gran parte el problema de asignación de orden a los nodos que acceden a un nodo de red interna. Con este proceso, en el cual se hace un análisis de posicionamiento, se automatiza el hasta ahora engorroso problema de asignación de orden. Son muy pocos los casos en que se debe manipular la asignación, y por lo general se deben a geometrías complejas de la red vial.

La generación de la red MOZARTP es más simple ya que el software requiere como input varios archivos, por lo que el formateo es más simple y la estructuración es uno a uno, es decir, el archivo TRANSCAD de arcos de accesos pasa a ser el archivo MOZARTP de arcos de accesos, etc.

#### Análisis de salidas de los modelos

Como se mencionó antes, las salidas de los modelos SATURN y MOZARTP son propias de cada uno, y por lo tanto complejas en su formato. Por este motivo fue necesario crear otro programa de lectura de las salidas, el que genera un archivo dbf con los resultados obtenidos. Este archivo se incorpora directamente a la cobertura de red vial implementada en TRANSCAD, con lo que se analizan y despliegan los resultados de los modelos (figura 5).

Todos los resultados son posibles de traspasar a archivos gráficos para su posterior impresión o ploteo. La generación de láminas a incluir en los informes se realiza a través del software HARVARD GRAPHICS por medio de la exportación de imágenes PCX. La generación de planos



con resultados se realiza a través de AUTOCAD mediante una exportación de imágenes en formato DXF sobre la base gráfica original.

#### 4. RECOMENDACIONES TECNICAS Y METODOLOGICAS

Este capítulo apunta a evitar algunos errores en la implementación de un SIG en general, y algunas específicamente sobre TRANSCAD.

- Uno de los factores que más consume tiempo en la implementación de un SIG es la estructuración de la base gráfica, por lo que cualquier elemento que facilite esto y que se pueda implementar desde un principio es de mucha ayuda. Las bases gráficas por lo general están mal dibujadas, ya que el uso de una base gráfica en un SIG demanda características específicas que pueden ahorrar mucho tiempo en la implementación del sistema. Por ejemplo, si se va a trabajar con arcos es necesario que estos se digitalicen como polilíneas en el caso de AUTOCAD, y no como líneas. El trabajo con polígonos es el que más trae problemas en el sentido que el polígono debe estar perfectamente cerrado y sin línea cruzada.
- Los elementos que une las bases de datos con las bases gráficas son los denominados identificadores. Estos elementos son los que mandan cuando se desea anexar otras bases de datos a las coberturas. Luego la generación de programas de codificación es vital para optimizar este proceso.
- El formato de registro de los arcos en TRANSCAD define un valor que da cuenta del sentido del arco (unidireccional o bidireccional). En el caso bidireccional no se puede manejar el mismo elemento gráfico con dos informaciones distintamente (por ejemplo flujos de arcos por sentido). Este es un problema para el despliegue de información en arcos bidireccionales. Las soluciones implementadas han sido desplegar la información en un sólo sentido y luego en el otro, o definir dos elementos gráficos superpuesto generando registros separados. El problema de esta última técnica es el riesgo por ejemplo si se quiere calcular rutas mínimas.
- La versión 2.0 de TRANSCAD trabaja con el sistema métrico inglés (millas) y con coordenadas geográficas (latitud, longitud). Cuando se importa una base gráfica, es necesario traspasar al sistema métrico y a coordenadas geográficas, lo que implica transformaciones internas, por lo que se alteran las características métricas de las bases gráficas. Lo que ayuda en cierta medida es que las proporciones y posiciones se mantienen, por lo que es posible utilizar la métrica del sistema con el correspondiente factor de corrección el cual se determina en mediciones sucesivas calculando un valor promedio.
- La metodología de análisis de redes considera la codificación de líneas de transporte público como parte de la definición de la red. Esta coincidencia trae muchas complicaciones por el hecho que al modificarse la red es necesario alterar las trayectorias de las líneas, cortando arcos múltiples. Se propone codificar líneas en el SIG una vez definida la topología final de la red.



## 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- El desarrollo de este trabajo demuestra la factibilidad de implementación de las tecnologías SIG al análisis de sistemas de transporte. Los dos sistemas presentan formatos y estándares similares que permiten su integración operativa.
- Es importante recalcar que el SIG es una herramienta de apoyo y no un fin. La elección e implementación de un SIG debe ser un proceso sistemático de evaluación de alternativas y detección de ventajas y desventajas para los objetivos perseguidos.
- No se puede, sin haberlo manipulado o implementado, clasificar a un SIG mejor o peor que otro para el análisis de transporte. Esto depende del problema a resolver y de las características de los software. Una de las premisas que si se pueden aceptar como válidas es la ventaja del manejo vectorial versus el raster.
- El grado de participación que se le de al SIG en el análisis determina su situación de subutilización, por lo que la elección de un SIG y los montos a invertir deben considerar los niveles de aplicación que se desean.
- Es necesario ahondar en las aplicaciones a las distintas etapas del modelo tradicional, ya que aún existen campos susceptibles de ser analizados con la ayuda de los SIG. Actualmente se está desarrollando aplicaciones en las etapas de definiciones zonales implementando procedimientos estadísticos avanzados. También se están implementando técnicas de manejos de coberturas gráficas relacionales, es decir, que las alteraciones en una cobertura se actualicen automáticamente en todas las otras que tengan relación (por ejemplo cortar un arco en la red vial implica cortar recorridos de líneas). El tema del cálculo de los niveles de servicio de los accesos de las redes y zonas también se está tratando de solucionar vía SIG.
- El trabajo realizado es el resultado de la aplicación de la tecnología SIG a varios proyectos que actualmente se están desarrollando, ya que se han percibido los beneficios del manejo de la información en su dimensión geográfico-espacial.

Como consideración final es necesario recalcar que la aplicaciones y técnicas complementarias a los SIG están siendo cada vez más utilizadas en diferentes tipos de análisis. La presente es una aplicación específica a los sistemas de transporte, lo que no significa que no pueda ser complementada con procedimientos o técnicas de otro tipo de aplicaciones. Muchos son los sistemas que pueden ser manejados o analizados con los SIG, es el caso del sistema demográfico, el sistema de actividades económicas, el sistema de usos de suelo, los sistemas fisico-ambientales, etc. La complementariedad de los SIG con estos sistemas se funda en las metodologías de análisis y modelamiento de cada uno, ya que utilizan discretizaciones espaciales, estructuras de interacción, y otros procedimientos que son por definición inherentes a todo SIG. Luego es totalmente factible hablar de un futuro análisis del sistema de transporte complementado por un modelo de administración comunal o regional, y un modelo del sistema ambiental.



## REFERENCIAS

- Aronoff, Stanley (1991). **Geographic information system a management perspective**. Canadian cataloguing in publication data.
- Patillo, Carlos (1993). **Texto guía de estudios en percepción remota**. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- De Cea, Fernández et. al. (1987). **Planificación de transporte urbano. Apuntes de seminario para la comisión de transporte urbano**.
- Manual del usuario , **TRANSCAD versión 2.0-** (Cerda T, Jorge (1994). **Sistemas de Información Geográfica análisis y aplicaciones**. USACH
- Galilea, Sergio (1984). **Planificación y proyectos: un enfoque metodológico**. CIDU, PUC.



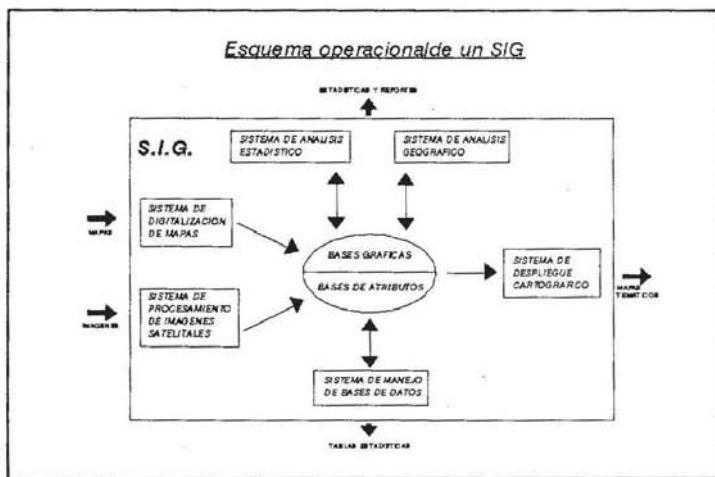
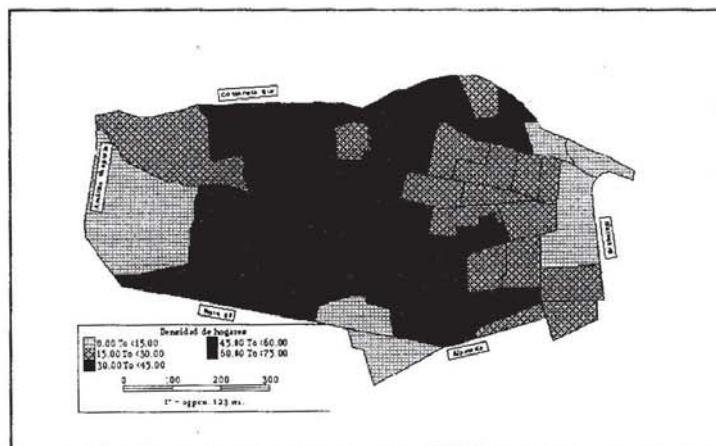
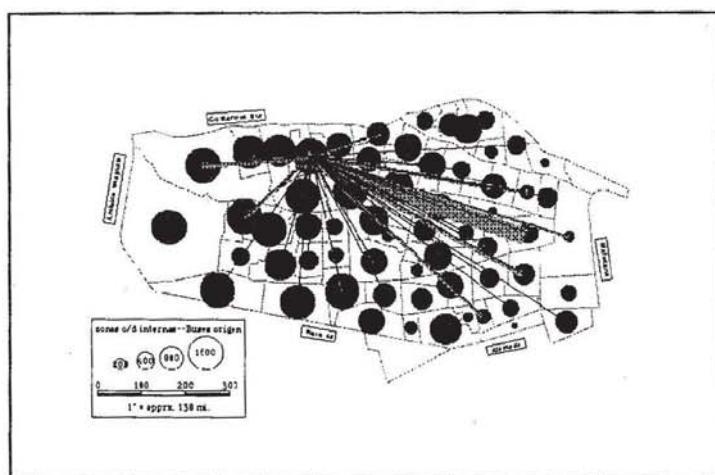
**FIGURA 1. Elementos constitutivos de un SIG.****FIGURA 2. Ejemplo de despliegue de información zonal.****FIGURA 3. Ejemplo de despliegue de Matrices origen/destino.**

FIGURA 4. Ejemplo de despliegue cobertura de líneas de transporte público.

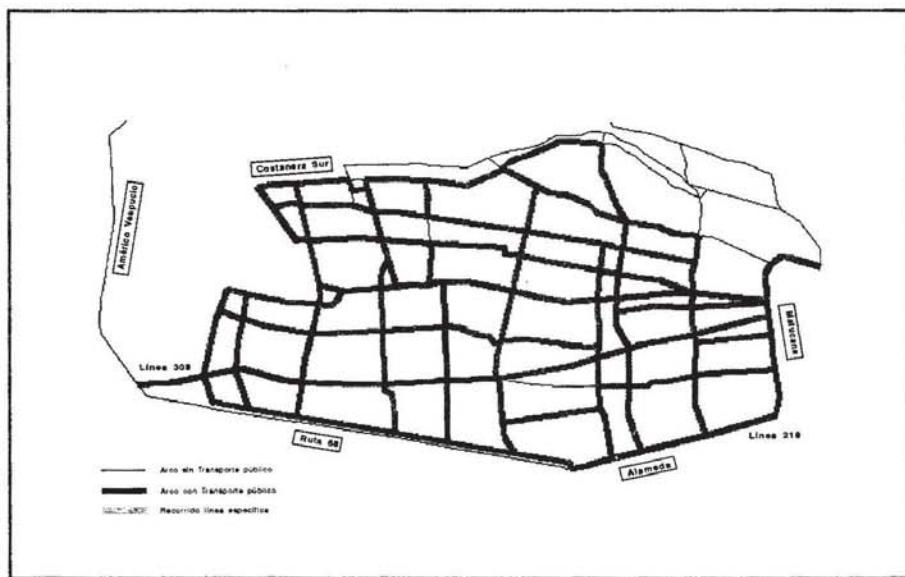


FIGURA 5. Ejemplo de despliegue de una red cargada.

