



Investigaciones Geográficas (Mx)  
ISSN: 0188-4611  
edito@igg.unam.mx  
Instituto de Geografía  
México

Lozano, Angélica; Santos, Clemencia; Briceño, Sonia; Antún, Juan Pablo  
Uso innovador de las facilidades de un SIG para determinar zonas y tiempos de recorrido en la  
distribución metropolitana de mercancías  
Investigaciones Geográficas (Mx), núm. Es5, octubre, 1996, pp. 79-91  
Instituto de Geografía  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56909910>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

## USO INNOVADOR DE LAS FACILIDADES DE UN SIG PARA DETERMINAR ZONAS Y TIEMPOS DE RECORRIDO EN LA DISTRIBUCIÓN METROPOLITANA DE MERCANCÍAS\*

Angélica Lozano\*\*  
Clemencia Santos\*\*  
Sonia Briceño\*\*  
Juan Pablo Antún\*\*

### Resumen

Se exploran y utilizan de manera innovadora facilidades de un sistema de información geográfica (SIG) (ILWIS) para la determinación de zonas de distribución y/o recolección de mercancías en áreas metropolitanas, así como de las distancias recorridas para rutas de transporte. Se empleó un algoritmo de programación heurística que requiere poca información de entrada y que considera: *a)* la vialidad por categorías definidas de acuerdo con su velocidad: rápidas y/o principales, secundarias, etc., además de la malla primaria; *b)* los conceptos de recorrido en línea desde la fuente de distribución y/o recolección hasta la zona y viceversa y de recorrido local en banda, dentro de la zona. El SIG permite obtener y visualizar, principalmente: *a)* Los contornos de isotiempo de recorrido desde la fuente hacia la región en estudio. Estos contornos se generan dando preferencia a las vialidades más rápidas. *b)* Un mapa de tiempos de recorrido, haciendo una analogía del modelo digital de elevación del terreno, sobre el despliegue de un corte de una imagen panorámica SPOT particularmente útil si se trata de un área de crecimiento informal para la que con frecuencia no existen mapas disponibles. *c)* Las direcciones que dentro de la región deben tener las zonas de distribución y/o recolección. Se utilizó un programa complementario que permite las dimensiones de cada una de las zonas de distribución y/o recolección, y la longitud de recorrido esperada de todos los vehículos en todas las zonas. Finalmente, un programa general enlaza la información que proporciona el SIG y los resultados obtenidos con el programa complementario. El programa general permite determinar el sistema de zonas de distribución y/o recolección para múltiples clientes, con localización exacta conocida o no en el momento de recibir órdenes de entrega; de manera rápida, conforme a tiempo de operaciones; adecuada (en términos matemáticos sub-óptima, y en operacionales, adecuada) y eficiente (reducción de tiempos y costos de recorrido, satisfacción del nivel de servicio a clientes).

### Abstract

A geographic information system (ILWIS) is used to determine zones in physical distribution of goods in metropolitan areas. Traveling distances for the transportation routes are also determined. A new heuristic algorithm is presented; the algorithm requires a minimum of input information and considers: *a)* the roads for categories defined according to their speed (rapid or principal, secondary, etc.), as well as the primary reticulation of streets, *b)* rectilinear traveling from/to the origin to/from

\* Recibido: 17 de mayo 1996.

\*\* Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales, Coordinación de Ingeniería de Sistemas, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

the destiny zone and of traveling local in band within the zone. The SIG allows to get and view, mainly: *a)* Contours lines for traveling isotimes from the origin to a given zone. These contours are generated based on the fastest roads. *b)* A map of traveling times from an analogy of the digital model of terrain elevation, upon of a SPOT panchromatic image. This is particularly useful for an urban zone with non-planned development and explosive growth, for which quite often there is a lack of available maps. *c)* Orientations for the zones of physical distribution of goods. A complementary program is supplemented to yield the areas of the physical distribution of goods zones and the expected traveling distances of the vehicles on every zones. A general software links the output from the GIS and the complementary software; it allows to determine the system of zones of physical distribution for multiple clients, with exact or not well-known localization in the moment of receiving orders of delivery, fast, according to time of operations, adequate (second best in mathematical terms, and adequate, in operational terms) and efficient (reduction of times and costs of traveling, satisfaction of the service to clients).

## 1. Introducción

El problema de distribución/recolección de mercancías en grandes áreas metropolitanas se caracteriza por las siguientes condiciones:

- 1) Existe un gran número de puntos dispersos geográficamente por recorrer.
- 2) Los puntos de recorrido varían en función de la demanda (cada vez que se requiere planificar la distribución, en el caso general se encuentra que los puntos han cambiado).
- 3) Los recorridos se realizan a intervalos muy cortos de tiempo.
- 4) Existe muy poco tiempo para decidir cómo será el recorrido.
- 5) No existe certeza de que la red vial mantenga sus características con el tiempo, lo que dificulta la actualización de una base de datos.
- 6) Es afectada por sucesos externos como inundaciones, manifestaciones, accidentes, etcétera.

Este trabajo consiste en combinar innovadoramente dos herramientas muy poderosas: los sistemas de información geográfica (SIG) y la investigación de operaciones. Se utiliza la Programación Heurística, en lo que respecta a la investigación de operaciones, y los SIG de tipo raster.

Se optó por la programación heurística porque proporciona un medio simple para discriminar entre elecciones buenas y malas, además de permitir reducir el número de evaluaciones y obtener soluciones dentro de restricciones razonables de tiempo. Por otra parte, se utiliza ILWIS, un SIG de fácil accesibilidad, que maneja información espacial en formato "raster", requerido por el método de programación heurística. Además, se eligió el uso de VisualBasic para diseñar la presentación, la captura de datos no espaciales, los procedimientos matemáticos y el enlace con ILWIS, por ser una herramienta de programación que facilita la creación de ventanas que hacen amigable al sistema, además de permitir la conexión con otras aplicaciones.

## 2. Antecedentes

Para resolver problemas de distribución de mercancías se han utilizado, tradicionalmente, los SIG de tipo vectorial, que manejan módulos de redes, junto con algoritmos de Programación Matemática para la selección de la mejor ruta en una red (Ahuja, *et al.*, 1993). En el mercado existen varios sistemas de cómputo que intentan resolver este problema, los cuales son muy variados en sofisticación y costo: existen desde aquellos que sólo sugieren la ruta óptima entre uno o más puntos, hasta otros que optimizan el uso de la flota de vehículos, involucrando todo tipo de restricciones. Independientemente del grado de sofisticación, la mayoría exige generar una amplia y compleja base de datos, que contiene información detallada sobre la región de distribución, así como sobre las vialidades y puntos de distribución. Esta base de datos es el elemento indispensable para estimar los tiempos y las distancias de recorrido por lo que debe ser actualizada constantemente.

Últimamente se ha comenzado a desarrollar software de otro tipo, con las mismas ventajas que el anterior, pero que no requiere de una gran base de datos. Estos sistemas proporcionan la zonificación de la región y el tiempo o distancia mínimos esperados de recorrido total, sin necesidad de conocer la posición exacta de los puntos de distribución.

Estos sistemas están aún en etapa de desarrollo o de prueba; por ejemplo PLANI-ZONE (diseñado por el Centre de Recherche sur les Transports de la Universidad de Montreal, Canadá) es una herramienta interactiva-gráfica de planificación de zonas de distribución física de mercancías en un medio urbano; no diseña rutas, sólo zonas de distribución, con base en códigos postales (Langevin y Saint-Mleuz, 1991).

No existen aún sistemas similares para distribución y recolección conjuntas. El sistema que aquí se presenta es un prototipo que incluye, hasta ahora, dos de los nueve casos en los que se ha clasificado el problema general (Lozano, 1993). Estos casos se refieren a las siguientes situaciones: *a)* cuando el vehículo inicia el recorrido con mucha carga y regresa con carga muy pequeña (mucha distribución con poca recolección), y *b)* cuando el vehículo inicia el recorrido con poca carga y regresa lleno (poca distribución con mucha recolección).

## 3. Metodología

La metodología consta principalmente de dos componentes: uno que se fundamenta en la programación heurística, rama de la investigación de operaciones, y otro que se apoya en el uso de los sistemas de información geográfica, de tipo raster. El método de programación heurística utilizado es el método DRM (Lozano y Antún, 1994) que consiste en cinco pasos principales:

1. Verificación del cumplimiento de los siguientes supuestos:

- a) Existencia de una flota de vehículos idénticos, cada uno con capacidad de  $C$  artículos.
- b) Puntos de distribución/recolección distribuidos aleatoriamente sobre la región, con

densidad  $\delta$ . c) Red vial muy cerrada, comparada con  $\delta^{-1/2}$ . d) Existencia de vías rápidas, pero separadas lo suficiente en comparación con las dimensiones de una sola zona de distribución. e) Costo de la distribución/recolección en función del recorrido de cada vehículo.

2. Estimación de las distancias (longitud) recorridas por los vehículos en la región.

Se minimiza la suma de los recorridos de los vehículos: en línea (desde la fuente de distribución y/o recolección hasta la zona y viceversa) y local (dentro de la zona). Las dimensiones de la zona (largo  $L^*$  y ancho  $2w^*$ ), se obtienen minimizando la distancia recorrida esperada entre dos puntos consecutivos, usando la métrica de Manhattan. Para los casos tratados (mucha distribución y poca recolección, y viceversa) se obtiene el recorrido total esperado mínimo usando una distribución hipergeométrica (Lozano y Antún, 1994).

3. Trazado de los contornos de isotime de recorrido.

Los contornos de isotime de recorrido se trazan con el fin de mostrar los efectos de las vías rápidas y la dirección de recorrido local preferida para llegar a cualquier punto. Los contornos se utilizan posteriormente para determinar la orientación de las zonas de distribución.

4. Zonificación.

Consiste en dividir la región en zonas, cada una atendida por un solo vehículo. Las zonas deben ser de forma aproximadamente rectangular, de largo  $L^*$  y ancho  $2w^*$ . La orientación de las zonas estará comprendida entre el ángulo ortogonal a los contornos de isotime y el ángulo del eje más próximo de la red interna de vías.

5. Determinación de rutas.

La determinación de las rutas consiste en establecer el orden de recorrido de los puntos dentro de cada zona. Los puntos deben ser visitados en orden longitudinal en una banda de ancho  $w^*$  (Daganzo, 1984).

La realización de los pasos 2, 3 y 4 del método se llevaron a cabo enlazando dos programas: uno diseñado en VisualBasic y otro en el SIG ILWIS. En VisualBasic se programó el algoritmo matemático para estimar las distancias de recorrido (paso 2 del método), además de la conexión o interrelación entre éste e ILWIS. Esta conexión se realiza utilizando pequeñas bases de datos en DBASE. En ILWIS se programó el paso 3 y la mayor parte del 4, empleando principalmente modelación espacial en forma "raster". Se utilizaron funciones de ILWIS que fueron diseñadas con otro objetivo, cambiando las variables tradicionales para ubicación de un punto: longitud, latitud y altitud, por longitud, altitud y tiempo; haciendo una interpretación distinta de los resultados, por ejemplo se genera un mapa de tiempo usando las funciones para la obtención de un modelo digital de terreno, o se crea un mapa de velocidades promedio, utilizando el proceso para obtener un mapa de pendientes, aunque cambiando algunas operaciones. Apoyándose en la imagen pancromática de SPOT

procesada y filtrada para la visualización de la red interna se determinaron los límites de las zonas de distribución/recolección. Una vez zonificada la región en estudio es fácil diseñar las rutas de distribución/recolección (paso 5), pero este paso no se incluye en el sistema dado que no es objeto de este estudio.

#### 4. Resultados

El sistema propuesto requiere pocos datos de entrada y genera información útil para la toma de decisiones en el proceso de distribución/recolección. Los datos de entrada (**figura 1**) son:

DISTRIBUCIÓN Y RECOLECCIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS URBANAS		
DATOS DE ENTRADA		
DISTRIBUCIÓN		
No. de puntos	640	
Tamaño de la unidad de carga (m <sup>3</sup> )	.17	
Cantidad de paquetes que caben en el vehículo	20	
RECOLECCIÓN		
No. de Puntos	96	
Tamaño de la unidad de carga (m <sup>3</sup> )	.03	
Cantidad de paquetes que caben en el vehículo	5	
RESULTADOS		
Longitud de la zona	2,041.24	mts.
Ancho de la banda	306.19	mts.
Número de vehículos	32	
DISTANCIA RECORRIDADA ESPERADA		
Por punto	1.59	kms.
Por zona (vehículo)	36.63	kms.
Total de la región	1,172.24	kms.
Calcular		
Pasar al módulo de obtención de las zonas de distribución recomendadas		
<input type="button" value="SI"/>		<input type="button" value="NO"/>

**Figura 1.** Ventana para caputra de datos y obtención de dimensiones de la banda y de las distancias esperadas recorridas.

Mapa de la región de distribución/recolección con sus principales vialidades clasificadas por tipo, en el que se debe indicar la ubicación de la fuente o depósito de mercancías y de los lugares no transitables, es decir, amplias zonas donde está prohibida la circulación vehicular (**figuras 2 y 3**). Este mapa se genera a partir del procesamiento de una imagen SPOT, que permite además la visualización de la red interna de vías para la generación de las zonas a ser atendidas por cada vehículo (**figura 11**). El procesamiento de la imagen se realizó con objeto de exemplificar los pasos a seguir en el caso que no se cuente con cartografía actualizada y confiable del área en estudio y que ésta presente un desarrollo urbano informal, situación frecuente en las ciudades de crecimiento explosivo de América

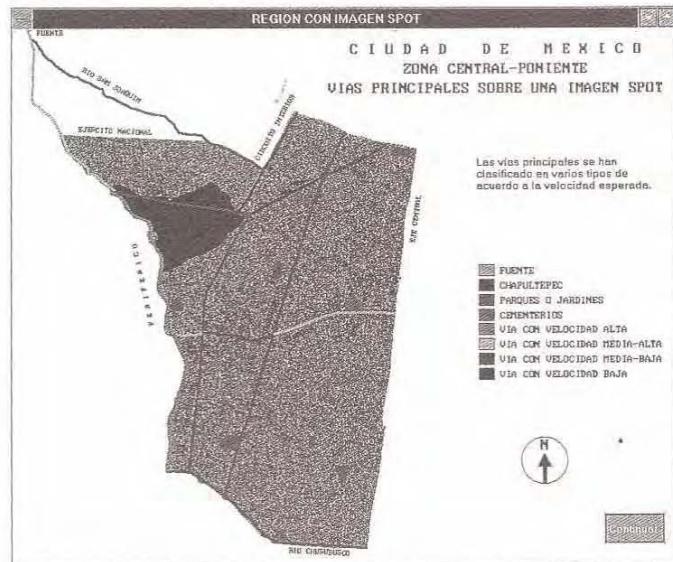


Figura 2. Vista de la región con fondo de una imagen SPOT pancromática, en Visual-Basic.

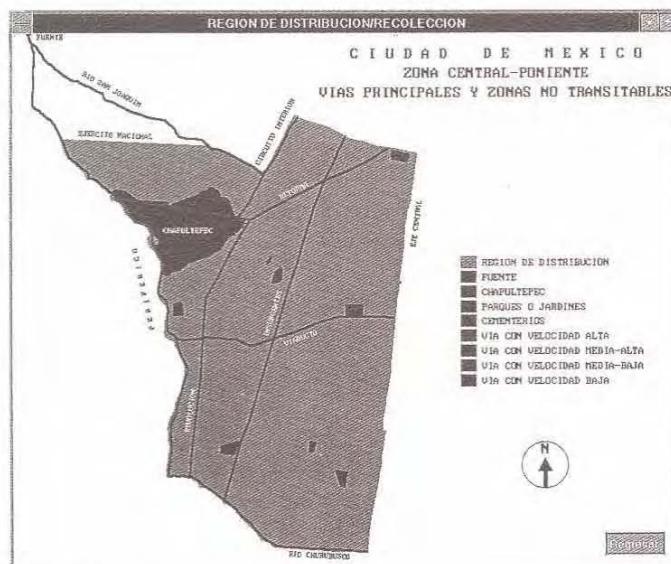


Figura 3. Vista del mapa de la región de distribución, con Visual Basic.

Latina y el mundo en desarrollo. (En la ciudad de México, para la zona informal de Chalco, véase Santos y Antún, 1991.) Por supuesto, este procesamiento no se requiere si se cuenta con un mapa vial actualizado y detallado del área en estudio, el cual debe ser digitizado.

Velocidad esperada por cada tipo de vía. Se tendrá un valor por cada tipo de vía, en el ejemplo mostrado se tienen 5 velocidades esperadas, ya que son cinco tipos de vías (**figura 4**). La información de la velocidad esperada se obtiene, usualmente, de los noticieros de radio especializados, que en la ciudad de México la proporcionan cada media hora.

Número de puntos, tamaño de la unidad de carga y capacidad de los vehículos, tanto para la distribución como para la recolección.

La información que genera el sistema se puede clasificar en:

1) Cuantitativa (**figura 1**):

a) Número de vehículos necesarios para la distribución/recolección. b) Distancia recorrida esperada: por punto de distribución/recolección, por vehículo o zona y en toda la región.

2) Espacial:

a) Mapa de accesibilidad a cualquier punto desde la fuente o depósito. b) Mapa de contornos de isotiempo de recorrido desde la fuente (**figura 5**). c) Mapa de tiempo de recorrido desde la fuente, tanto en presentación plana como en tridimensional (opcional) (**figuras 6, 7 y 8**) d) Mapa de velocidad promedio en la región (**figura 9**). e) Mapa de orientaciones ortogonales a las líneas de contornos (**figura 10**). f) Mapa de zonas de distribución/recolección (en proceso de automatización) (**figuras 11 y 12**).

## 5. Conclusiones

El sistema cuenta con los siguientes atributos: Es sencillo, requiere poca información de entrada, y permite diseñar las zonas y estimar los costos aun antes de conocer las posiciones exactas de los puntos. Asimismo, proporciona los resultados de manera rápida y eficiente. La rapidez varía en función del hardware que se utilice y de las dimensiones de la región en estudio, pero en promedio se ejecuta en  $2.67 \times 10^3$  seg/pixel en una PC 486 de 33 MHz. La eficiencia económica se refiere a la reducción de costos en personal y equipo asignado al diseño de zonas de distribución. También permite la conexión automática de los resultados obtenidos en VisualBasic con el procesamiento de la información raster (imágenes de satélite y mapas) y de los datos vector (zonas de distribución/recolección y recorridos) en ILWIS, lo cual representa una doble ventaja; y genera una solución sub-óptima, pero por lo general suficientemente buena (Daganzo, 1984).

Este tipo de solución es muy valiosa para la toma de decisiones cuando el tiempo para encontrar una solución es un factor esencial. Es más conveniente encontrar en poco tiempo

una buena solución (porque la flota de vehículos está esperando), que utilizar más tiempo en encontrar una solución óptima. No se conocen las posiciones exactas de los puntos de distribución/recolección en el momento de decidir, porque varían en el tiempo (los pedidos provienen de diferentes lugares todos los días). Si se trata de distribución en un área urbana de crecimiento informal acelerado que no cuenta con un mapa base, situación típica en las áreas metropolitanas de América Latina, y se dispone de una imagen pancromática SPOT, el método permite utilizarla. Por tanto, el sistema permite tomar decisiones buenas y rápidas, en un mundo cambiante y en condiciones típicas de ciudades de crecimiento explosivo, características del mundo en desarrollo.

**ZONIFICACIÓN DE LA REGION**

 Ver mapa de la región de distribución

**DATOS DE ENTRADA**

VELOCIDAD PROMEDIO EN LOS DISTINTOS TIPOS DE VIAS (KM/HR)			
Alta	90	Baja	40
Media - Alta	70	Muy Baja	20
Media - Baja	50		

Son correctos los datos?  SI  NO

 Instrucciones para obtener el mapa de tiempo

**Figura 4.** Ventana para visualizar el mapa de la región, proporcionar velocidades en las vías principales y pasar al programa en ILWIS.

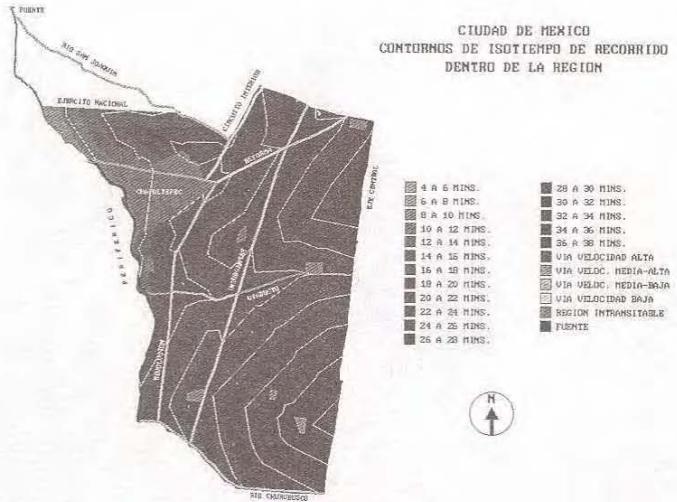


Figura 5. Mapa de isotime de recorrido desde la fuente, con contornos resaltados.

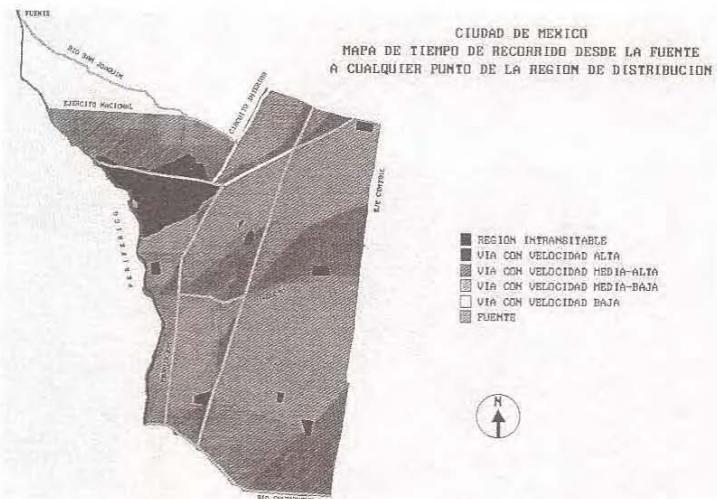
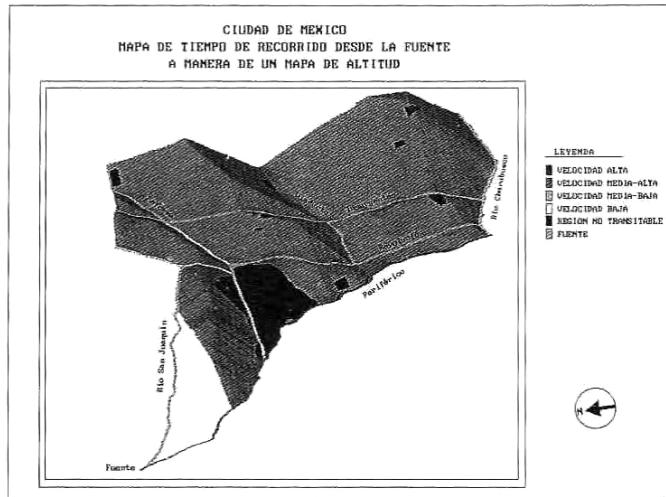
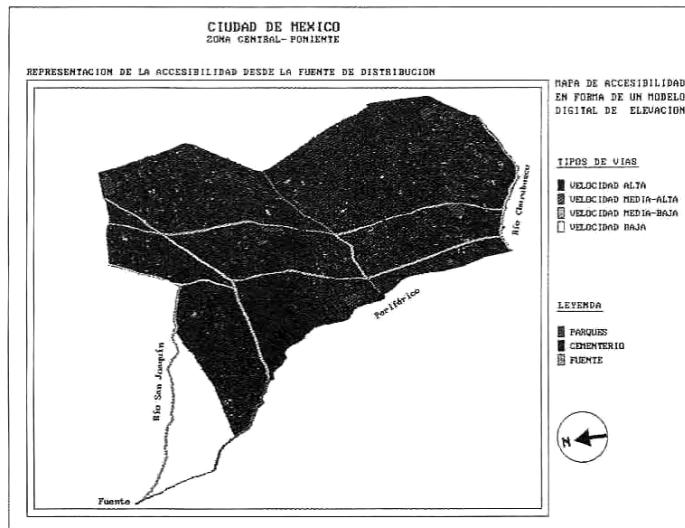


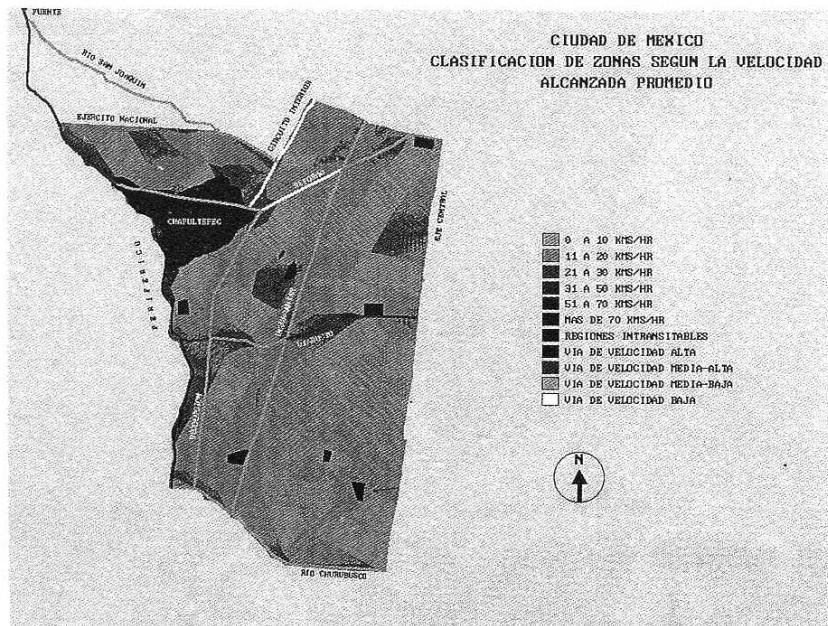
Figura 6. Mapa de tiempo de recorrido desde la fuente, a manera de un modelo digital de terreno



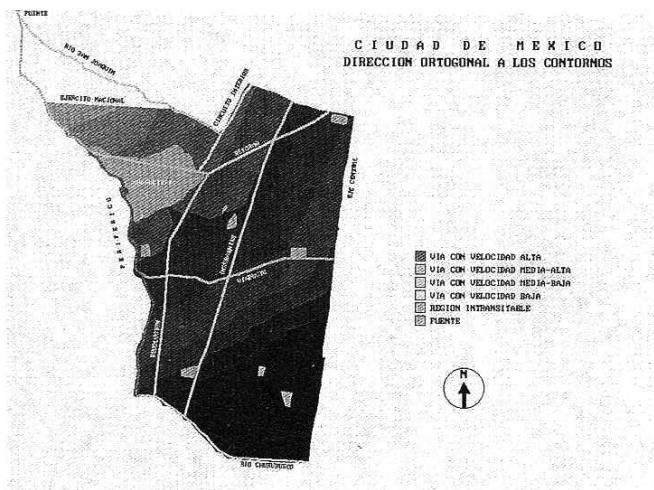
**Figura 7.** Mapa de tiempo de recorrido, a manera de un mapa de altitud, dando la impresión de tercera dimensión.



**Figura 8.** Mapa de tiempo de recorrido, teniendo como base una imagen SPOT pancromática



**Figura 9.** Mapa de velocidad promedio en la región.



**Figura 10.** Mapa de orientaciones ortogonales a los contornos de isotime de recorrido, recomendables para las zonas de distribución.

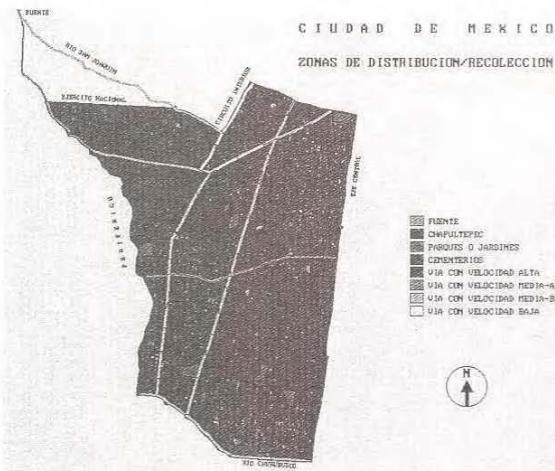


Figura 11. Mapa de zonas de distribución / recolección.

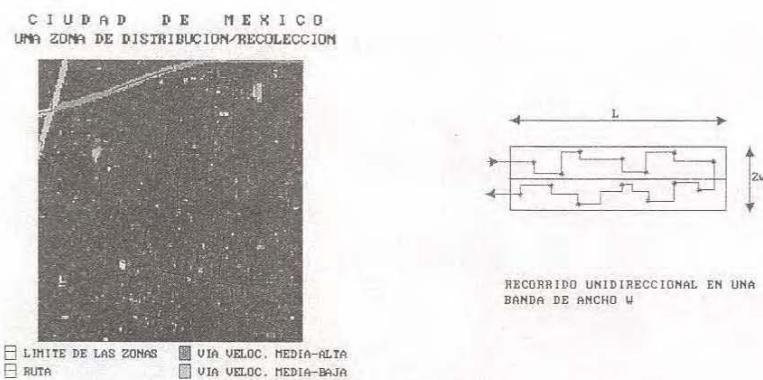


Figura 12. Zoom sobre una zona de distribución / recolección y recorrido en banda.

## 6. Agradecimientos

Este artículo se basó en la presentación, con el mismo nombre, realizada en la Sesión Poster del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, celebrado en Puerto Vallarta, Jalisco, México del 5 al 10 de noviembre de 1995, y en las recomendaciones, que se agradecen, de los árbitros anónimos.

Los resultados presentados se derivan de una investigación sobre “Planeación Estratégica en Logística de Distribución en Áreas Metropolitanas” (IN-501695) en el marco del PAPIIT/DGAPA de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Referencias

- Ahuja, R. K., T. L. Magnanti and J. R. Orlin (1993), *Networks Flows Theory: Algorithms and Applications*, Prentice Hall, Englewood Cliff, 846 pp.
- Antún, J. P. (1994), Logística: una visión sistemática, *Series del Instituto de Ingeniería*, D-38, UNAM, México, 258 pp.
- Daganzo, C (1984), “The length of tours in zones of different shapes”, *Transportation Research*, vol. 18B, núm. 2, pp. 135-145.
- Langevin, A. and Y. Saint-Mleuz (1991), *A decision support system for physical distribution planning*, Centre de Recherches sur les Transports, Université de Montréal, Publication No. 764, pp. 1-16.
- Lozano, A. (1993), Diseño de rutas de distribución y recolección en regiones de diferentes formas bajo restricciones de capacidad de los vehículos, tesis de Maestría en Ingeniería (Investigación de Operaciones), Departamento de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lozano, A. y J. P. Antún (1994), “Planeación estratégica de rutas de distribución y recolección de cargas en áreas metropolitanas, con restricciones de capacidad”, *Memorias del VII Congreso Latino-Ibero Americano de Investigación de Operaciones e Ingeniería de Sistemas*, CLAIO, Santiago de Chile.
- Santos, C. y J. P. Antún (1991), “Uso de imágenes de satélite en el análisis integrado del transporte informal y el crecimiento metropolitano”, *Memorias del V Simposio Latinoamericano de Percepción Remota SELPER*, Cuzco, Perú, 28 de octubre al 1 de noviembre, pp. 754-768.