

SOLUCIONES ESPACIALES A PROBLEMAS SOCIALES URBANOS

APLICACIONES DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA A LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN MUNICIPAL

Santiago Linares
(coordinador)



Autores: Gustavo Buzai | Adela Tisnés | Juan Pablo Celemín | Natasha Picone
Inés Rosso | María Lorena La Macchia | Mauro Ortmann

Prólogo de Antonio Moreno Jiménez

SOLUCIONES ESPACIALES A PROBLEMAS SOCIALES URBANOS

APLICACIONES DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
A LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN MUNICIPAL

SOLUCIONES ESPACIALES A PROBLEMAS SOCIALES URBANOS

APLICACIONES DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
A LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN MUNICIPAL

Santiago Linares
(coordinador)

Adela Tisnés

Gustavo Buzai

Inés Rosso

Juan Pablo Celemín

María Lorena La Macchia

Mauro Ortmann

Natasha Picone

Santiago Linares

Prólogo: Antonio Moreno Jiménez

Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos: aplicaciones de tecnologías de la información geográfica a la planificación y gestión municipal / Adela Tisnés ... [et al.]; coordinación general de Santiago Linares; prólogo de Antonio Moreno Jiménez. - 1a ed. - Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2016.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-658-392-7

1. Municipalidad . 2. Relaciones Estado y Sociedad. 3. Geografía Cultural. I. Tisnés, Adela II. Linares, Santiago , coord. III. Moreno Jiménez, Antonio, prolog.

CDD 307.76

Este libro fue sometido a evaluación externa por la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Diseño de tapa, diseño interior y maquetación

María Cecilia Aimaretti

ISBN 978-950-658-392-7

ÍNDICE

PREFACIO	7
PRÓLOGO <i>Antonio Moreno Jiménez</i>	9
GEOGRAFÍA APLICADA	
CAPÍTULO 1. Geografía aplicada a la solución de problemáticas sociales <i>Gustavo D. Buzai</i>	17
APLICACIONES A SERVICIOS SOCIALES	
CAPÍTULO 2. Asignación territorial de recursos en políticas sociales <i>Santiago Linares</i>	33
CAPÍTULO 3. Determinación de recorridos óptimos en servicios sociales de transporte <i>Santiago Linares y Mauro Ortmann</i>	45
APLICACIONES A LA SALUD	
CAPÍTULO 4. Distribución espacial de la morbilidad según causas <i>Adela Tisnés</i>	55
CAPÍTULO 5. Análisis de determinantes ambientales y socioeconómicos <i>Adela Tisnés</i>	69
APLICACIONES A LA EDUCACIÓN	
CAPÍTULO 6. Utilización de modelos de localización-asignación para instalaciones educativas <i>Santiago Linares y Mauro Ortmann</i>	83
CAPÍTULO 7. Accesibilidad a escuelas públicas aplicando modelos de interacción espacial <i>Juan Pablo Celemín</i>	97
APLICACIONES CATASTRALES	
Capítulo 8. Actualización y análisis de la valuación fiscal del suelo urbano <i>María Lorena La Macchia</i>	109
Capítulo 9. Diagnóstico y regularización del uso de suelo comercial <i>María Lorena La Macchia</i>	117

APLICACIONES A OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS

Capítulo 10. Evaluación del consumo y suministro de agua corriente	129
<i>Inés Rosso</i>	
Capítulo 11. Optimización del programa de gestión integral de residuos sólidos urbanos	139
<i>Inés Rosso</i>	

APLICACIONES A LA GESTIÓN AMBIENTAL

Capítulo 12. Teledetección para mejorar la regulación térmica al interior de las ciudades	151
<i>Natasha Picone</i>	
Capítulo 13. Detección de áreas urbanas con peligro de inundaciones	161
<i>Natasha Picone</i>	
Consideraciones finales	171
<i>Santiago Linares</i>	
AUTORES	175

DETERMINACIÓN DE RECORRIDOS ÓPTIMOS EN SERVICIOS SOCIALES DE TRANSPORTE

— Santiago Linares y Mauro Ortman —

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se perfilan como una herramienta de avanzada en la tarea de la planificación y gestión urbana. Entre sus posibilidades, nos ofrecen la capacidad del modelado espacial de las redes de transporte, las cuales constituyen una de las principales áreas de aplicación orientadas a diagnosticar la conectividad entre los diferentes puntos de la ciudad, las áreas de cobertura de servicios, los costos de desplazamiento y la accesibilidad a determinados puntos de importancia, como centros de oferta de empleo, educación, recreación, etcétera.

En el campo de la planificación y gestión territorial, las aplicaciones de SIG a la logística y el transporte se pueden clasificar en tres grupos: el operacional, el táctico y el estratégico (Longley et al. 2013:65). En el modo operacional, los usos comunes que se destacan son para monitorear el movimiento de vehículos de transporte colectivo, a fin de mejorar la performance y ofrecer mejor información a los usuarios del sistema y, para definición diaria de rutas y horarios de vehículos de distribución y servicio, aumentando la eficiencia y reduciendo los costos.

Dentro de la categoría de los usos tácticos, los SIG se emplean para proyectar y evaluar rutas y horarios del sistema de transporte público de pasajeros, transporte escolar, recolección de residuos y distribución de correspondencia. También para monitorear e inventariar la condición del pavimento en rutas y calles, vías de ferrocarril, señalización de tráfico y para analizar accidentes de tránsito.

Para fines estratégicos se incluirían las aplicaciones focalizadas en la planificación y localización de nuevas rutas y oleoductos e infraestructura asociada; como también para seleccionar lugares de acopio y almacenamiento, puntos de transferencia intermodal y polos aéreos.

La presente aplicación se encuadra dentro del grupo de los usos tácticos, como una demanda del gobierno municipal de optimizar el recorrido de una flota de colectivos destinada a recoger a los niños inscriptos en la colonia de vacaciones de la ciudad de Tandil durante los meses de enero y febrero, actividad que es regularmente planificada por la Dirección de Deportes del Municipio de Tandil y que incluye a unos 900 niños de la ciudad.

Lo que se debe resolver entonces se enmarca dentro del grupo de Problemas

de Enrutamiento de Vehículos (o *VRP* por sus siglas en inglés), los cuales requieren la generación de rutas óptimas para una flota de vehículos que sirven a un propósito que involucra la recogida y despacho tanto de personas, bienes o servicios desde múltiples puntos, con el fin de cubrir las demandas que el servicio requiera. Este tipo de problema se basa en una optimización combinatoria integral de factores para minimizar el coste total de operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el tiempo de espera, maximizar el servicio al cliente, minimizar la utilización de vehículos, equilibrar la utilización de los recursos, etcétera.

Para ejecutar las herramientas de asignación de rutas para una flota de vehículos, en primer lugar, se deben definir las órdenes, aquellos sitios que deben visitar las rutas. Estas órdenes pueden representar tanto una entrega o una recogida de personas, bienes o servicios, o algún tipo de servicio o inspección que requiera la visita de múltiples puntos de ejecución para múltiples servicios. En segundo lugar, se deben definir los depósitos, es decir, ubicaciones desde donde parten los vehículos y arriban luego de la jornada laboral, los cuales no necesariamente deben coincidir.

METODOLOGÍA

Para obtener una solución al problema planteado, se ha implementado el módulo de análisis de redes de ArcGIS 10, el cual dispone, entre otros procedimientos metodológicos (área de servicios, localización de equipamiento más cercano, matriz de origen destino), el de determinación de rutas óptimas entre dos puntos o varios puntos de oferta y demanda.

La primera etapa de este análisis requirió de la modelización del espacio geográfico a través de su organización en redes, conectando población demandante y sistemas de transporte, y otorgándole capacidad de flujo. Estas redes van a signar la manera en que se vincula la sociedad con los diferentes puntos de destino al actuar como nexos de la actividad humana. En la presente aplicación se realizó la digitalización de una capa que contenía segmentos a modo de representación de los ejes viales de la ciudad de Tandil, a la cual, en su tabla, le fue adjuntada información relativa a los atributos del nombre de la vía, paridad según el sentido de digitalización, largo del segmento en metros, el tipo de vía y el sentido de avance (Figura 1).

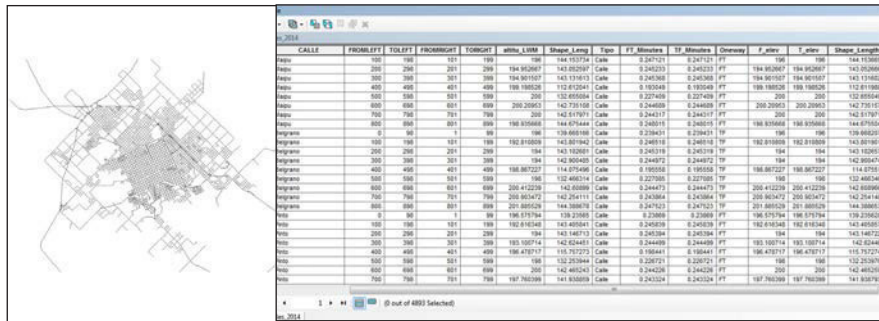
Posteriormente, para resolver este problema de enrutamiento de vehículos, identificamos como órdenes a los inscriptos a la colonia de vacaciones, y como depósitos a los diferentes puntos de la ciudad desde donde parten los vehículos. Por último, fue necesario definir las propiedades de las rutas utilizadas como insumos para la resolución del problema.

En esta aplicación, se tomó la decisión de agrupar las órdenes (inscriptos)

Determinación de recorridos óptimos en servicios sociales de transporte

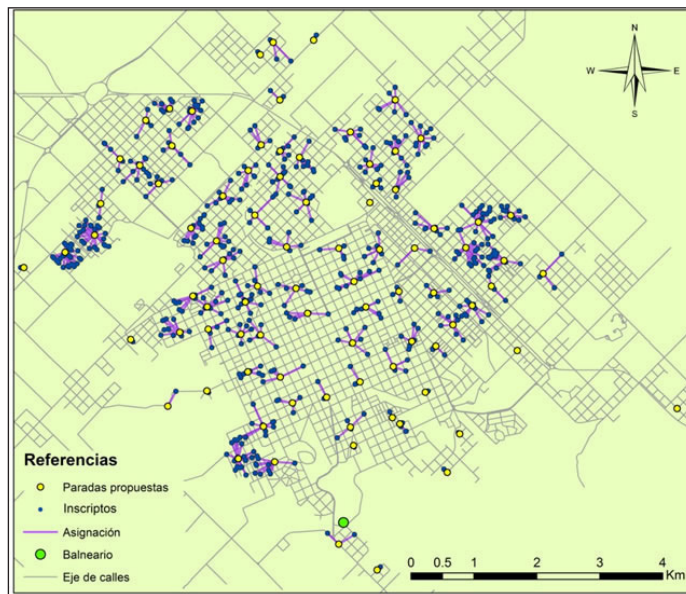
en un conjunto de paradas donde cada uno de los vehículos recogerá a los inscriptos (Mapa 1). Para tal fin se utilizó un método de localización asignación¹ entre los inscriptos y los nodos de la red de calles, de tal manera que cada parada reuniera inscriptos que no tuvieran que recorrer más de 500 metros hasta cada punto de reunión.

Figura 1. Edición y configuración de la red de transporte



Fuente: elaboración personal

Mapa 1. Inscriptos y paradas propuestas



Fuente: elaboración personal

1 Para mayor precisión sobre el mecanismo de funcionamiento de estos métodos de localización-asignación, puede consultarse la aplicación desarrollada en el Capítulo 6 de este libro.

La Tabla 1 muestra el resultado de ejecutar dicho procedimiento de optimización, obteniendo un total de 87 paradas, pudiendo conocer la cantidad de alumnos asignados a cada una de las paradas, las cuales actúan como centros de captación del servicio. Dicha cantidad será cargada como un atributo de demanda para el parámetro de tamaño de recogida, de la misma manera que se asignará un tiempo que especifique cuánto tiempo demorará la visita a esa parada, para luego sumarla al tiempo de recorrido de la ruta.

Tabla 1. Inscriptos y paradas propuestas

Name	FacilityTy	Weight	Capacity	DemandCoun	DemandWeig	SourcecID	SourceOID	PosAlong	SideOfEdge	CurbAppro	Status	Total_Leng	TotalWeigh
Location 96	3	1	60	57	57	1	3093	1	2	0	0	11242.954258	11242.954258
Location 105	3	1	60	4	4	1	3062	1	2	0	0	1000.632718	1000.632718
Location 156	3	1	60	11	11	1	2968	0	2	0	0	1998.448832	1998.448832
Location 177	3	1	60	2	2	1	2891	1	2	0	0	101.11463	101.11463
Location 209	3	1	60	26	26	1	2954	0	2	0	0	4429.267659	4429.267659
Location 224	3	1	60	5	5	1	3422	0	2	0	0	807.752523	807.752523
Location 271	3	1	60	6	6	1	2949	1	2	0	0	1022.397202	1022.397202
Location 305	3	1	60	2	2	1	1153	1	2	0	0	290.255211	290.255211
Location 311	3	1	60	11	11	1	3324	1	2	0	0	2040.267588	2040.267588
Location 320	3	1	60	8	8	1	3262	0	2	0	0	1634.630485	1634.630485
Location 347	3	1	60	15	15	1	2312	0	2	0	0	2868.644296	2868.644296
Location 389	3	1	60	13	13	1	2361	0	2	0	0	3282.373484	3282.373484
Location 437	3	1	60	2	2	1	1153	0	2	0	0	36.367744	36.367744
Location 439	3	1	60	20	20	1	2352	0	2	0	0	5587.39023	5587.39023
Location 441	3	1	60	10	10	1	2388	1	2	0	0	1068.14049	1068.14049
Location 481	3	1	60	14	14	1	2503	0	2	0	0	3388.152054	3388.152054
Location 501	3	1	60	15	15	1	2464	0	2	0	0	3368.722048	3368.722048
Location 554	3	1	60	15	15	1	2542	0	2	0	0	3195.958917	3195.958917
Location 580	3	1	60	11	11	1	2200	1	2	0	0	1487.633126	1487.633126
Location 609	3	1	60	19	19	1	2187	0	2	0	0	3395.566633	3395.566633
Location 624	3	1	60	11	11	1	1149	1	2	0	0	1494.132066	1494.132066
Location 628	3	1	60	10	10	1	2565	1	2	0	0	1657.301025	1657.301025
Location 670	3	1	60	8	8	1	2774	0	2	0	0	1768.60708	1768.60708
Location 689	3	1	60	8	8	1	2172	0	2	0	0	1709.095011	1709.095011
Location 704	3	1	60	2	2	1	4418	1	2	0	0	58.298367	58.298367

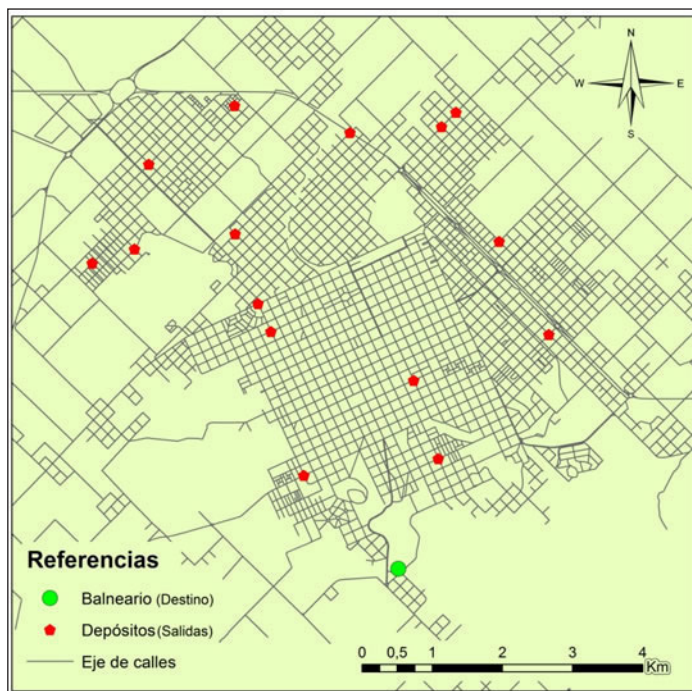
Fuente: elaboración personal

Los depósitos requeridos para este procedimiento estarán determinados por 15 puntos de salida de los vehículos disponibles, y por el espacio físico donde funciona la colonia de vacaciones como destino (Mapa 2).

Definidos los elementos que se incluirán en este problema de recorrido óptimo, es necesario ajustar una serie de parámetros para la obtención de rutas. En primer lugar, es necesario indicar que se desea crear una ruta por cada vehículo de la flota que participa en el problema, configurar los parámetros de nombres de rutas, lugares de partida de los vehículos, depósito de llegada (colonia de vacaciones como fin de la ruta) y capacidad de los vehículos (60 alumnos).

Finalmente, las propiedades del análisis tomarán minutos como atributo de tiempo, metros como unidades de distancia, y no estarán permitidos los giros en U, siendo el sentido de circulación determinante para el desplazamiento de los vehículos. La resolución del problema se obtiene una vez que las sumatorias de la distancia y el tiempo de los 15 recorridos alcanzan el menor valor posible.

Mapa 2. Puntos de origen y destino



Fuente: elaboración personal

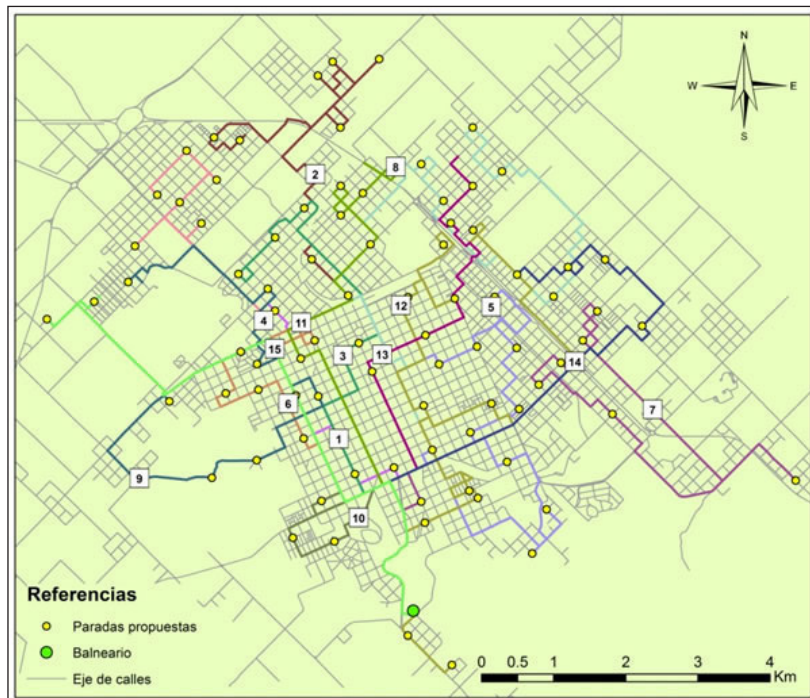
RESULTADOS

Como resultado de la ejecución del análisis, se obtiene el trazado de cada una de las rutas y la asignación de las 87 paradas a cada una de ellas. El analista busca el recorrido óptimo de cada vehículo desde cada salida hasta la colonia de vacaciones a través de la red de ejes de la ciudad, teniendo en cuenta cada uno de los parámetros cargados previamente. Las rutas generadas determinarán la secuencia en que serán visitadas cada una de las paradas, por cuál vehículo y el tiempo y la distancia aproximada de recorrido (Mapa 3). Del mismo modo, puede apreciarse como resultado del análisis, un listado de información relativa a la asignación de inscriptos para cada vehículo en el tiempo que debería pasar por cada localización, siendo operativo tanto para los beneficiarios del sistema de transporte, como para los responsables de la organización y los choferes, con el fin de obtener conocimiento acerca de cuántos inscriptos tiene que recoger y dónde.

Adicionalmente, una vez determinada la secuencia de visita para cada una de las paradas (órdenes), es posible generar las indicaciones de ruta (Figura 2),

para luego ser distribuidas entre los choferes de los vehículos. En las mismas figura el nombre de la ruta correspondiente, la localización de los puntos de partida y destino de la misma, el recorrido sugerido guiado a través de una secuencia de instrucciones que incluye los giros y el nombre de las calles, la distancia en metros por cada segmento de las indicaciones, el tiempo estimado de recorrido de esos segmentos y finalmente la posibilidad de visualizar con mayor detalle en un mapa cada una de las indicaciones.

Mapa 3. Recorridos obtenidos y paradas asignadas



Fuente: elaboración personal

Figura 2. Indicaciones de rutas obtenidas según vehículo



Step	Instruction	Distance	Time	Map
Route: Ruta01 7776 m 12 min Map				
1:	Start at A Time Window: 8:00 - 12:00			Map
2:	Go northeast on Del Valle toward Alberdi	278.2 m	< 1 min	Map
3:	Turn left	60.8 m	< 1 min	Map
4:	Turn right on Defensa	43.8 m	< 1 min	Map
5:	Turn left on Almaguete	252.9 m	< 1 min	Map
6:	Arrive at Location 501 Time Window: 8:00 - 12:00			Map
7:	Depart Location 501			
8:	Continue northwest on Almaguete	144.5 m	< 1 min	Map
9:	Turn left on Chienno	142.3 m	< 1 min	Map
10:	Turn left on Lunghi	136.5 m	< 1 min	Map
11:	Turn right on Pizzurno	287.7 m	< 1 min	Map
12:	Turn left on F. Riato	145.4 m	< 1 min	Map
13:	Turn right on Pratt	78.8 m	< 1 min	Map
14:	Bear left on Juramento	140.4 m	< 1 min	Map
15:	Turn right on Cheverrier	204.5 m	< 1 min	Map
16:	Arrive at Location 439 Time Window: 8:00 - 12:00			Map
17:	Depart Location 439			
18:	Go on Ituzaingo			Map
19:	Turn left on Ituzaingo and immediately turn left on Gaucho Rivero	334.4 m	< 1 min	Map
20:	Turn right on Peron	578.8 m	< 1 min	Map
21:	Arrive at Location 580 Time Window: 8:00 - 12:00			Map
22:	Depart Location 580			
23:	Continue southeast on Peron	289.1 m	< 1 min	Map
24:	Continue on Rivadavia	300.1 m	< 1 min	Map
25:	Turn left on Sarmiento	281.2 m	< 1 min	Map
26:	Turn right on San Lorenzo	746.1 m	1 min	Map
27:	Arrive at Location 909 Time Window: 8:00 - 12:00			Map
28:	Depart Location 909			

Fuente: elaboración personal

REPLICABILIDAD

Es posible replicar esta solución a otros problemas de logística y transporte que surjan dentro de las actividades cotidianas que caracterizan al área de Desarrollo Social de las municipalidades mediante el encadenamiento secuencial de las etapas presentadas. Dentro de las potenciales aplicaciones podrían citarse: la optimización de los recorridos para transportar a los alumnos que residen en áreas rurales hasta sus correspondientes establecimientos educativos de concentración rural, la diagramación de los recorridos de transportes públicos asignados a trasladar población de los diferentes barrios de la ciudad hacia un punto donde se realiza algún evento festivo o conmemorativo comunitario o, la definición de los recorridos a adoptar por los vehículos que distribuyen recursos compensatorios en políticas sociales entre los diferentes beneficiarios de la ciudad, tales como, materiales de construcción, kit escolares, programas alimentarios, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de educación física Miguel De Lucía y Alberto Ferragine, integrantes de la Dirección de Deportes del Municipio de Tandil, quienes han suministrado los datos y hemos desarrollado conjuntamente el trabajo presentado.

BIBLIOGRAFÍA

- Cardozo, O.D., Bonfati, F. A. y Parras, A. M. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica y la Planificación del Transporte Público. Aplicaciones en la ciudad de Resistencia (Chaco-Argentina). *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006*. Universidad Nacional del Nordeste, <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/01-Sociales/2006-S-050.pdf>
- Dantzig, G. y Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*. 6(1):80-91.
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, Países Bajos, 59:345-358.
- Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J. y Rhind D. W. (2013). *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. Bookman, Porto Alegre, Brasil. (Tercera edición).
- Toth, P. y Vigo, D. (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*. Universidad de Bologna, Italia, 123:487-512.