

iRoute Planning System

Generando Rutas de Viaje en Redes de Transporte Público:
Un Enfoque Aplicado y Abierto

Romeo Sánchez



Posgrado en Ingeniería de Sistemas

Descripción del Problema

- * Generar el mejor plan de viaje, de acuerdo a las preferencias del usuario, entre un punto de origen y un destino en una red de transporte público.

Transit directions to Seaworld

Suggested routes

- | | | |
|----|--|---------------|
| 1. |  +  30 +  9 +  | 1 hour 2 mins |
| | 5:09am - 6:11am | |
| 2. |  +  9 +  | 37 mins |
| | 5:43am - 6:19am | |
| 3. |  +  9 +  | 38 mins |
| | 6:13am - 6:50am | |



Motivación

Social

Más del 75% de la población en la Zona Metropolitana del Valle de México usa transporte público (minibuses, metro, metrobús, tren ligero, combis, etc)¹

Las ciudades en desarrollo están experimentando una creciente demanda por servicios de transporte.²

1. Programa Integral de Transporte y Vialidad (2001-2006). SETRAVI. Encuesta Origen-Destino, 2007
2. A Tale of Renewed Cities. A policy guide on how to transform cities by improving energy efficiency in urban transport transport systems. International Energy Agency, 2013.

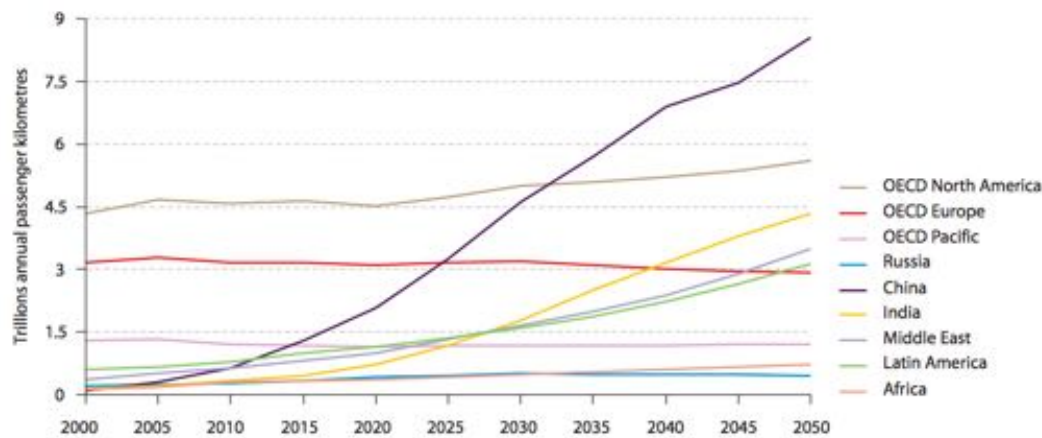
Motivación

Sustentabilidad

El 18% de las emisiones del CO₂ en México son generadas por automóviles. Le podría costar al País hasta el 6% del PIB si no se toman medidas adecuadas.³

El 95% del consumo de gasolina en México se destina al autotransporte.⁴

Figure 1 Expected urban private motorised travel (in passenger kilometres)



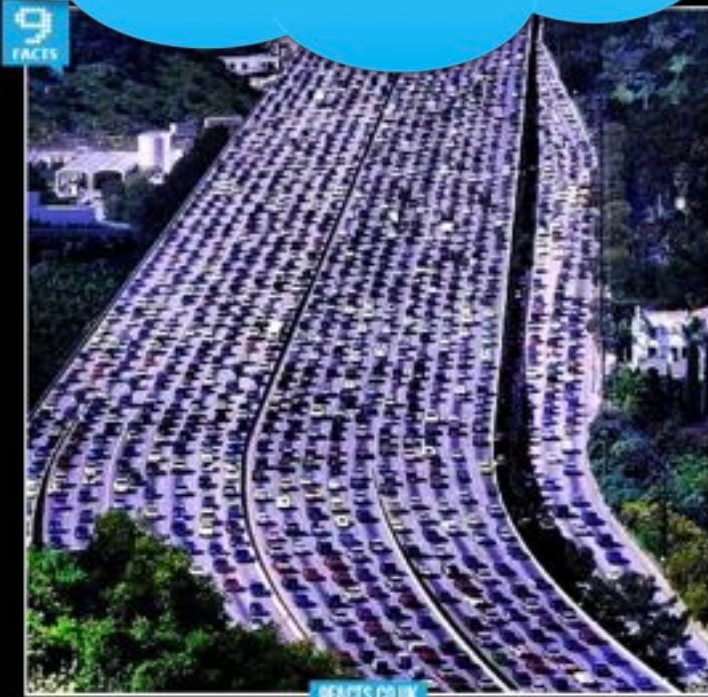
“21st century travel efficiency will require shifts in how we perceive, design, operate and manage the world’s transport systems”.²

3. Galindo Luis Miguel. La economía del cambio climático en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009
4. Galindo M., y H. Catalán. Estimación de los costos asociados a la instrumentación de medidas de control sobre mejora de eficiencia de combustible en autos nuevos y uso de biocombustible en el sector transporte en México. Instituto Nacional de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.

Motivación

Economía y Salud

Las congestiones de tráfico urbanas amenazan la habilidad de sostener un crecimiento económico en las ciudades a largo plazo.²



The world's longest traffic jam (China)

slowed down thousands of vehicles for more than 100 kilometres (60 miles) and lasted for 11 days!

Congestiones de tráfico cuestan billones de dólares en tiempo perdido, efectos adversos en calidad ambiental, salud y seguridad en ciudades.²

Se espera que para el año 2050 el 70% de la población viva en áreas urbanas, usando más de 3 billones de vehículos para movilizarse por carreteras.²

Motivación

Científica

El cómputo de rutas óptimas de viaje de punto-a-punto (point-to-point) en redes de transporte ha tenido un desarrollo vertiginoso, y constituye una de las áreas de aplicación más importante para algoritmos. ^{5, 6, y muchos más!!!}

Se necesitan herramientas tecnológicas que permitan a los usuarios traversar eficientemente redes de transportes público.

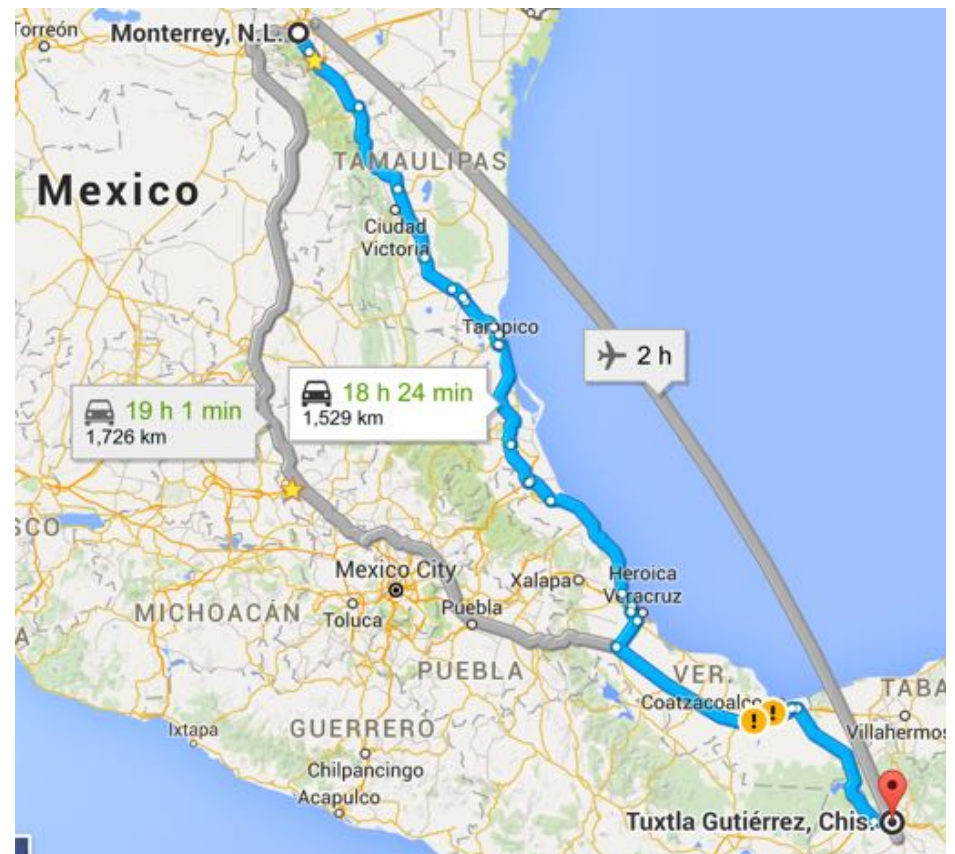


5. Bauer Reinhard, Delling Daniel, Sanders Peter, Schieferdecker Dennis, Schultes Dominik, Wagner Dorothea. Combining hierarchical and goal-directed speed-up techniques for Dijkstra's algorithm. J. Exp. Algorithmics. 2010.

6. Bast Hannah, Delling Daniel, Goldberg V. Andrew, Müller-Hanneman, Pajor Thomas, Sanders Peter, Wagner Dorothea, Werneck F. Renato. Route Planning in Transportation Networks. Microsoft Research Technical Report, 2014.

Antecedentes

- * Problema general: encontrar la mejor ruta en una red de transporte
- * Idea básica:
 - * Un grafo $G=(V,E)$ para modelar la red
 - * El peso de las aristas son tiempos de recorridos (o cualquier otro factor importante)
 - * Problema clásico del camino más corto (Dijkstra)
- * Limitaciones:
 - * Las Redes de transporte público tienen propiedades adicionales no presentes en el problema general.
 - * Las redes pueden ser demasiado grandes por la cantidad de información.
 - * ¿Cómo codificamos preferencias de usuarios?



Antecedentes

Algoritmos para el Problema General

- * Algoritmos Clásicos:

- * Dijkstra
- * Búsqueda bidireccional.
- * Bellman-Ford
- * Floyd-Warshall



Shortest Paths,
Redes Estáticas,
única métrica

- * Técnicas orientadas a objetivos:

- * Búsqueda A* - Evita escanear vértices que no estén en la dirección del objetivo.
- * ALT (A*, landmarks, and triangle inequality) – usa landmarks para calcular distancias al objetivo
- * Contenedores Geométricos – requiere calcular todos los pares de rutas mínimas.
- * Arc Flags – Los mejores tiempos de consulta pero los peores de preprocesamiento
- * PCD (Precomputed Cluster Distances) – Computa particiones de K clusters, y calcula sus distancias.
- * CPD (Compressed Path Databases) – Almacena la información de todos los pares de rutas mínimas.

- * Técnicas basadas en separadores

- * Separadores de Vértices – remueve nodos no importantes y considera shortcuts para preservar distancias entre los nodos no removidos.
- * Separadores de Arcos

Antecedentes

Algoritmos para el Problema General

- * Técnicas Jerárquicas:
 - * Contraction Hierarchies – ordena nodos por su importancia
 - * Highway Node Routing
 - * Reach – Elimina el espacio de búsqueda basado en un cutoff
- * Técnicas Bounded-Hop
 - * Algoritmos de etiquetado
 - * Transit node routing – usa tablas de distancias en un subconjunto de vértices
 - * Pruned Highway Labeling

Redes de Transporte Público

Propiedades



Redes de Transporte Público

- Planificación dependiente del espacio y tiempo

Planifico con respecto a mi hora de llegada ó salida?



12	Grand	MacArthur BART to 11th St. & Jefferson St.	6:03a	7:03p	20	30	—	7:05a	7:05p	30
		11th St. & Jefferson St. to MacArthur BART	6:00a	7:40p	20-30	30	—	6:49a	6:49p	30
13	Lakeshore	Oakland Army Base to 14th St. & Broadway	5:19a	10:08p	20-30	30	—	—	—	—
		via Oakland Military Institute	12:18p	5:18p	20-60	120	—	—	—	—
		14th St. & Broadway to Walrus Ave. & Lakeshore Ave.	5:42a	7:01p	20-30	30	—	—	—	—
		Walrus Ave. & Lakeshore Ave. to 14th St. & Broadway	5:35a	7:04p	20-30	30	—	—	—	—
		14th St. & Broadway to Oakland Army Base	5:28a	10:13p	20-30	30	30	—	—	—
		via Oakland Military Institute	6:43a	7:13a	30	—	—	—	—	—
14	14th St. & Broadway to Middle Harbor Park via Oakland Army Base		—	—	—	—	10:00a	5:00p	60	60
			—	—	—	—	10:25a	12:25p	60	60
15	Middle Harbor Park to 14th St. & Broadway via Oakland Army Base		—	—	—	—	10:29a	5:19p	60	60
			—	—	—	—	1:25p	5:25p	60	60
16	East 18th St.	MacArthur BART to 35th Ave. & Brookdale Ave.	5:55a	7:25p	15	30	—	6:50a	6:50p	30
		35th Ave. & Brookdale Ave. to MacArthur BART	5:10a	7:10p	15	30	—	7:13a	6:43p	30
15 M. L. King Jr.										
15	Moraga Ave. & Medau Pl. to Berkeley BART		5:26a	9:28p	15	15	30	6:41a	9:21p	20-40
	Berkeley BART to El Cerrito Plaza BART		6:15a	10:12p	30	30	30	7:30a	10:10p	40
15	El Cerrito Plaza BART to Berkeley BART		5:49a	9:19p	30	30	30	6:00a	10:00p	20-40
	Berkeley BART to Moraga Ave. & Medau Pl.		5:52a	9:36p	15	15	30	8:17a	10:17p	20

Múltiples timetables, diferentes frecuencias durante el día



El tiempo del servicio puede afectar los planes de viaje

Time-dependent shortest path problem!
Dijkstra puede funcionar siempre y cuando salidas más retrasadas no lleguen más temprano al destino.

Sin embargo, planear con dependencia en el tiempo con funciones objetivo generales es un problema NP-Duro.⁷

7. Gernot Veit Batz, y Peter Sanders. Time-dependent route planning with generalized objective functions. Proceedings of the 20th Annual European Symposium on Algorithms. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2012

Redes de Transporte Público

- Métricas preferidas por los usuarios

- Múltiples funciones objetivo
- Algunas pueden estar en competencia!!!
- Minimizo ó maximizo?
- Pareto Sets son costosos
- Optimizar combinaciones lineales



Menor costo.



Minimizar transferencias.



Ruta mas corta o el menor tiempo de viaje.



Comodidad.



Combinación de tipo de transporte (multimodal).



Evitar caminar demasiado.



Accesabilidad

¿Se te ocurre alguna otra?



Evitar autopistas, ó ciertas rutas



Reducir tiempo de espera en paradas.



Eco-amigable, seguro

Redes de Transporte Público

- Redes Dinámicas y Restringidas



Rutas Cerradas,
rutas predefinidas,



Congestionamientos,
movimiento restringido
en la red



Bus Bunching,
Tipos de servicios por
segmentos



Fallas en medio de
transporte

Alternativas Existentes para Redes de Transporte Público

- * Expansión y dependencia del tiempo:⁸
 - * Construye un grafo de espacio-tiempo (grafo de eventos). El modelo crea un vértice por cada evento en las tablas de tiempo, y usa arcos para conectar los eventos subsecuentes con el flujo del tiempo.
 - * Los grafos resultantes son demasiado grandes!!!
 - * Considera las dependencias de tiempo como funciones de tiempo en los arcos.
 - * Cómo generalizamos las preferencias de usuarios?
- * RAPTOR:⁹ Calcula pareto sets multi-criterio y multi-modal.
 - * Pareto sets tienden a crecer rápidamente dado el número de criterios.

8. Evangelina Pyrga, Frank Schulz, Dorothea Wagner, and Christos Zaroliagis. Efficient models for timetable information in public transportation systems. ACM Journal of Experimental Algorithms, 2008

9. Daniel Delling, Thomas Pajor, and Renato F. Werneck. Round-based public transit routing. In Proceedings of the 14th Meeting on Algorithm Engineering and Experiments (Alenex), SIAM, 2012.

iRoute Planning System

Nuestro enfoque:

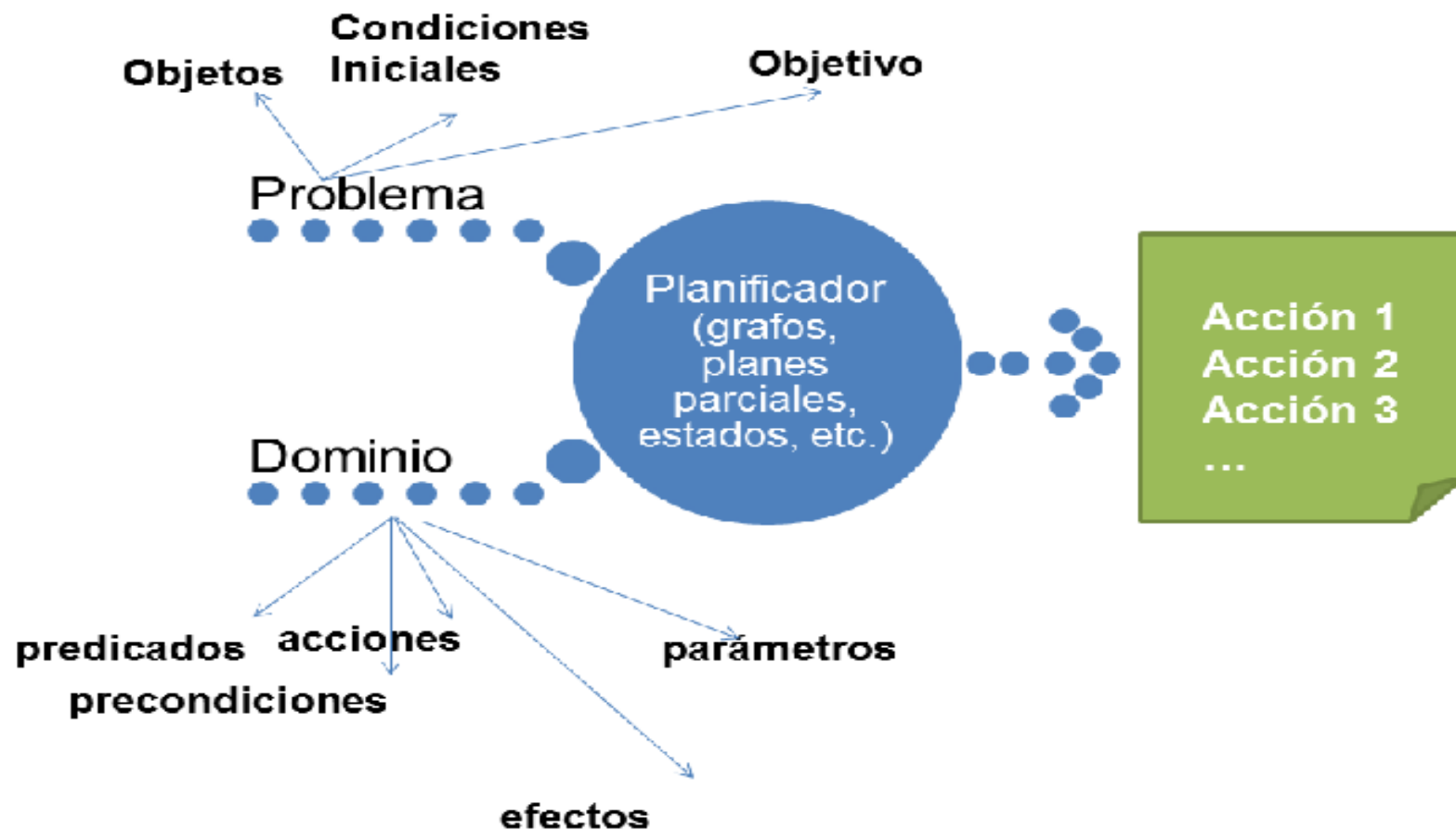
Considera el diseño de un sistema abierto basado en modelos de planificación de inteligencia artificial, y que use algoritmos de propósito general para generar planes de viaje en redes de transporte público.

¿Qué es AI Planning?

- * Planificación es la parte razonada de la actuación. Es un proceso abstracto y deliberado, que organiza acciones basado en los efectos esperados con el fin de satisfacer un conjunto de objetivos.
- * Planificación Automatizada es un área de IA que estudia este proceso de deliberación computacionalmente.

■ La Planificación sintetiza **que** acciones tomar para satisfacer ciertos objetivos

Marco General de Planificación



¿Porqué Planificación?

- * La síntesis de acciones se relaciona a los pasos que se tienen que tomar para viajar de un punto de origen a un destino en una red de transporte.
- * Las técnicas de representación del conocimiento de IA permite modelar muchas propiedades de redes de transporte.
- * Existen muchos algoritmos de planificación que pudieran utilizarse para resolver el problema. ¿Podrán extenderse a problemas en redes de transporte público?
- * Es un área no explorada por investigaciones actuales. Lo que permite oportunidades de colaboración para enriquecer las metodologías de solución.

Enfoque Aplicado y Abierto

Google Transit Feeds

Arquitectura de iRoute

Red de Transporte Público
Google Transit Feeds



Interfaz de Generación
De modelos IA

Modelo₁

Modelo₂

Modelo_n

Proceso de
Consolidación
de Información

Interfaz de Síntesis
De Soluciones

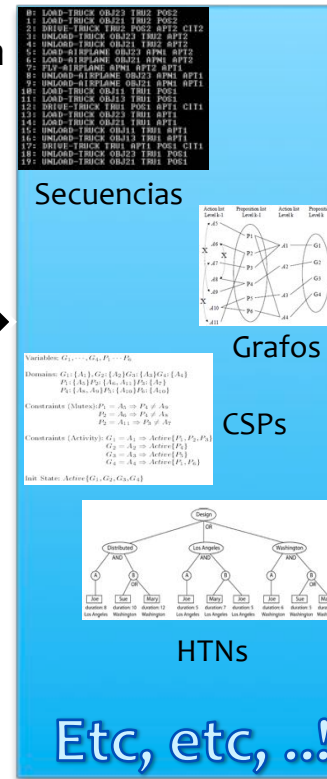
Solución₁

Interfaz de
Interacción



Usuario en el Ciclo

Proceso de
Presentación de
Soluciones



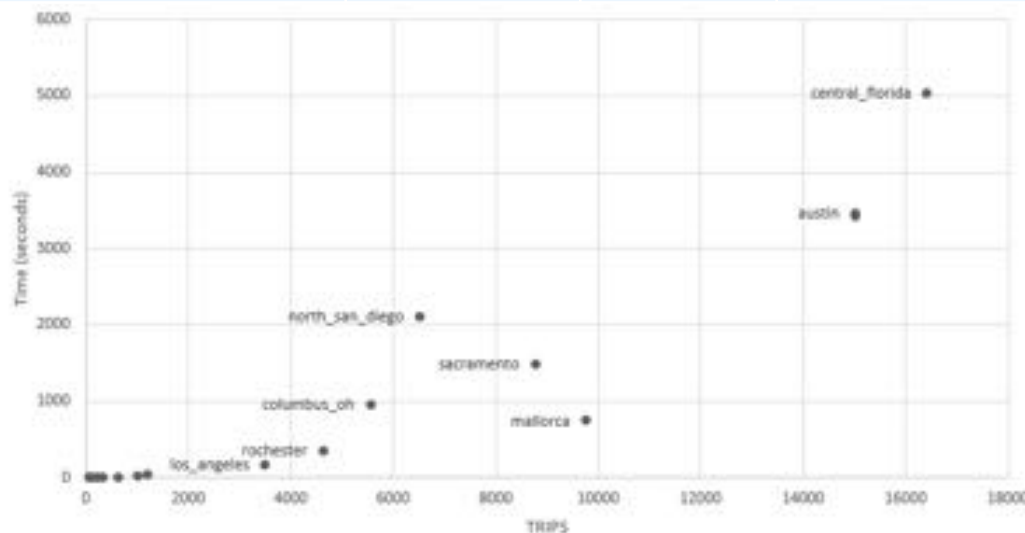
Interfaz de Algoritmos

Consolidación de Información

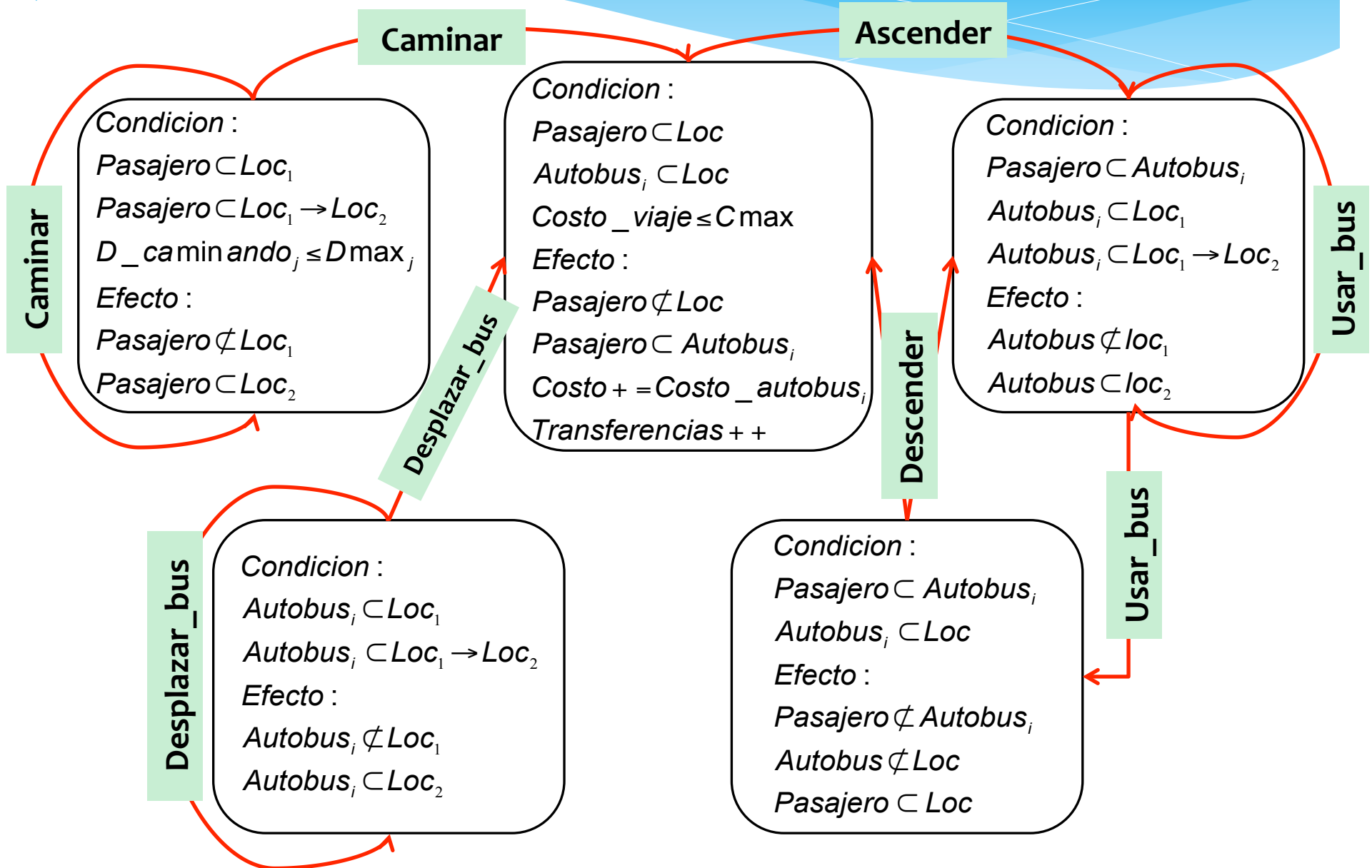
Nombre del GTFS	Memoria (GTFS)	Memoria (PDDL)	Tiempo de Procesamiento
central_florida	24 MB	3.42 MB	1 h y 24 m
columbus_oh	16.9 MB	1.69 MB	15 m y 57 s
sacramento	12.8 MB	1.54 MB	24 m y 44 s
rochester	7.24 MB	3.89 MB	6 m
austin	25.7 MB	1.45 MB	57 m y 43 s
chicago	25.7 MB	1.45 MB	56 m y 56 s
north_san_diego	11.9 MB	993 KB	35 m y 13 s
tulsa	2.7 MB	994 KB	28 s

Google Transit Feeds

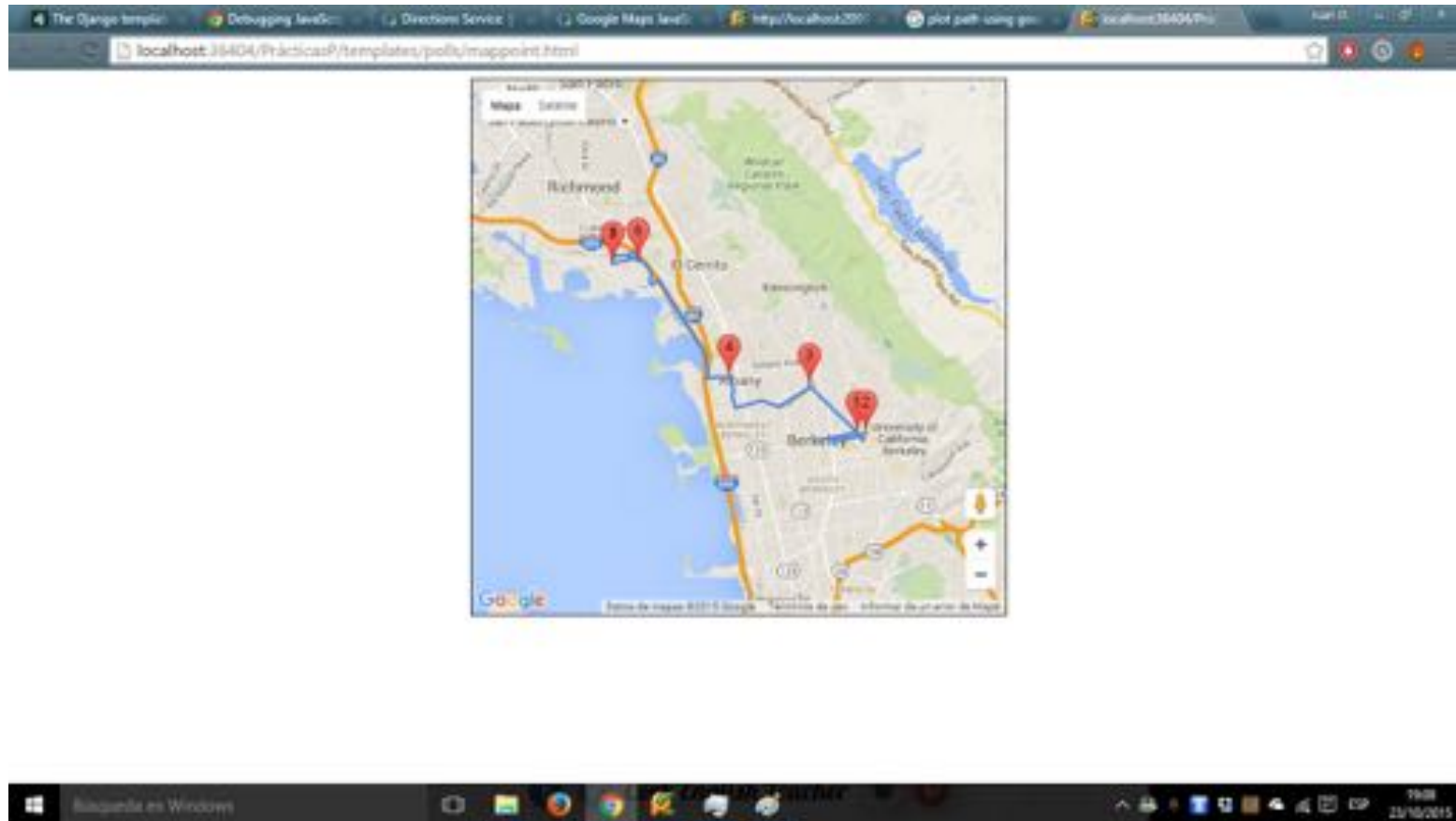
Size	City	Location	Trips	Bus line
Small	Us Berkeley	35	104	4
	Indian reservation	72	48	7
	Berkshire Mass	74	91	13
	Madrid	247	96	15
	Monroe County	284	217	6
Medium	Denver_2	710	643	29
	Barrie	758	1212	18
	Denver	710	643	29
	Los angeles	828	3497	18
	Mallorca	938	9754	105
Big	Tulsa	1755	1004	26
	North san diego	1982	6512	43
	Chicago	2683	15013	82
	austin	2683	15013	82
	Rochester	2770	4627	180
	Sacramento	3103	8764	73



Modelo de IA



Interfaz con el Usuario



- * Primera etapa: Presentación de soluciones al usuario, no interactiva.

Síntesis de Soluciones

		Average Time					
Size	City	Category 1		Category 2		Category 3	
		CPT	LPG-TD	CPT	LPG-TD	CPT	LPG-TD
Small	Us Berkeley	0.025	0.255	0.015	0.023	0.01	0.017
	Indian reservation	0.25	0.422	1.98	0.045	***	0.045
	Berkshire Mass	0.075	0.032	0.07	0.03	0.07	0.025
	Madrid	2.48	0.168	2.86	0.175	2.67	0.228
	Monroe County	0.19	0.07	2.645	0.06	0.79	0.102
Medium	Denver 2	***	0.863	***	0.322	***	0.375
	Barrie	12.14	0.405	133.55	2.813	15.16	0.808
	Denver	17.31	0.723	43.69	8.395	1.93	***
	Los angeles	12.59	0.943	18.83	1.227	16.65	0.7
	Mallorca	***	2.995	***	2.365	***	3.323
Big	Tulsa	***	4.49	***	3.17	***	5.642
	North san diego	***	12.398	***	5.998	***	46.795
	Chicago	370.23	7.958	333.95	9.217	443.71	8.647
	austin	304.25	7.04	326.11	8.94	1935	6.927
	Rochester	***	38.74	***	34.24	***	27.14
	Sacramento	861.24	8.602	886.94	14.983	952.97	17.658

- * Análisis Preliminar: Categorías en base a la distancia entre puntos origen y destino (33%, 66%, 99%)
- * La calidad de la solución de los algoritmos no es óptima, algunos algoritmos presentan un gap de menos del 5%, pero otros arriba del 70%.

Conclusiones y Oportunidades

- * Se han diseñado y desarrollado todos los módulos básicos del sistema propuesto.
- * El proceso de incorporación de nuevas propiedades en los modelos y nuevos algoritmos requiere un proceso de ingeniería, se busca la automatización.
- * Los modelos necesitan a escalar a redes de transporte más extensa. Se está trabajando actualmente en técnicas de preprocesamiento de grafos. Resultados preliminares se ven promisorios.
- * Se busca incorporar otro tipo de soluciones como modelos de programación matemática y métodos tradicionales de cómputo de rutas extendiendo las interfaces actuales
- * Soporte para completa interactividad en tiempo real con usuario, modificación de soluciones y reparación de planes de viaje.
- * Este trabajo constituye un primer estudio en el uso de modelos y algoritmos de planificación para el cómputo de rutas de viaje en transporte público. Trabajo futuro busca extender los algoritmos actuales para mejorar las soluciones reportadas.

Datos de Contacto

UANL

AP 34 – F, Cd. Universitaria

San Nicolás de los Garza, NL 66450

México

Tel. +52 (81) xxxx-xxxx

Tel. +52 (81) 8329-4000 x5945 (Assistant)

✉ romeo.sanchezng@uanl.edu.mx

www <http://yalma.fime.uanl.mx/~romeo/>

http://pisis.fime.uanl.mx/home/?page_id=1429

<http://pisis.fime.uanl.mx/home/>



Inicio Información General ▾ Programas Académicos ▾ Admisiones ▾ Investigación ▾ Vinculación Profesores Estudiantes
Eventos ▾ Contacto



Convocatoria abierta
para estudios de
Maestría y Doctorado
en PISIS, para iniciar
en Agosto 2016.



Convocatorias de Admisión para Estudios
de Maestría y Doctorado



Posgrado en Ingeniería de Sistemas

El Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas (PISIS) de la UANL es actualmente reconocido a nivel nacional e internacional por sus diversos logros en materia de formación de recursos humanos, investigación original de alta calidad y vinculación con el sector productivo. El PISIS ofrece estudios de Maestría en Ciencias y Doctorado en Ingeniería de Sistemas. Actualmente ambos programas educativos se encuentran certificados por el CONACYT como programas de excelencia dentro de su Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), lo cual implica que el estudiante puede aspirar al sistema de becas de posgrado del CONACYT para estudiantes de tiempo completo.