

Algoritmos Evolutivos aplicados a la sincronización de semáforos en el Corredor Garzón

Efrain Arreche, Alvaro Acuña, Sergio Nesmachnow
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República



Índice

1. Introducción: motivación, contexto y objetivos
2. Marco Teórico: Corredor Garzón y Algoritmos Evolutivos
3. Metodología:
 - Modelado y desarrollo de instancias realistas
 - Formulación del problema
 - Arquitectura de la solución
4. Implementación de la solución
5. Análisis Experimental
6. Conclusiones y trabajo futuro



1



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

INTRODUCCIÓN



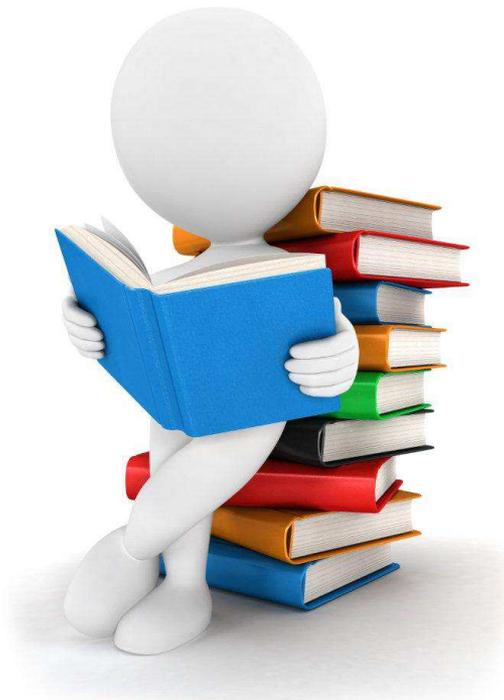
- El aumento de la *congestión vehicular* afecta la calidad de vida de las personas, por las demoras en los viajes y la contaminación generada
- El *Corredor Garzón* se destaca por su *complejidad*, dada su extensión, cantidad de semáforos, cruces y el carril exclusivo para ómnibus
- Las autoridades han reconocido que *no se cumplió el objetivo* que era mejorar los tiempos de circulación en la zona
- Se propone desarrollar un algoritmo que mejore los tiempos de circulación al *sincronizar semáforos del Corredor Garzón*



Objetivos

- Relevar *trabajos relacionados* para conocer otras soluciones y herramientas
- Implementar *Algoritmos Evolutivos (AE)* para resolver el problema en la zona del corredor Garzón, optimizando la velocidad media de ómnibus y otros vehículos
- Crear *instancias realistas* del problema: mapa y datos precisos sobre configuración de semáforos y tráfico obtenidas in situ
- Aplicar técnicas de *computación de alto desempeño* para acelerar los tiempos de ejecución del AE

2



MARCO TEÓRICO

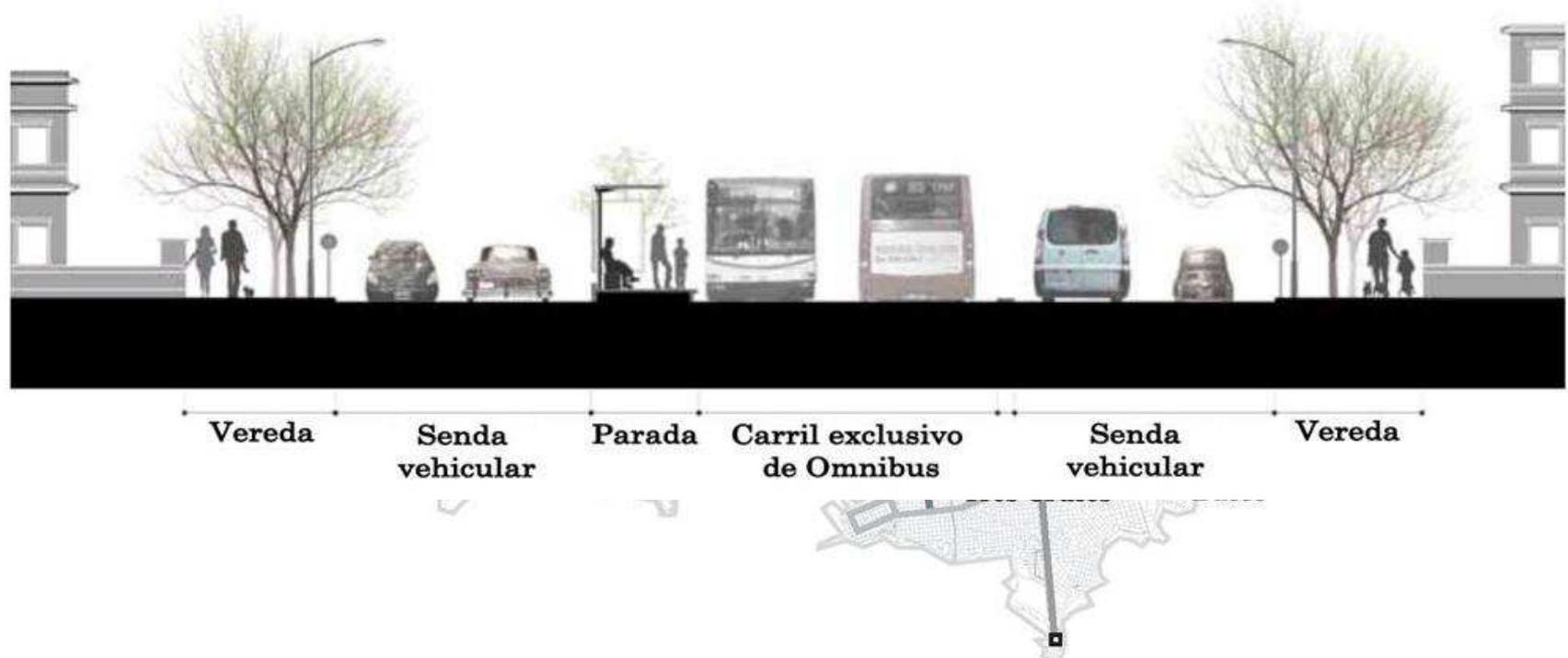
Corredores urbanos de tráfico

- Se caracterizan por la separación física entre el carril de circulación del ómnibus con el resto de los vehículos
- **BRT** (Bus Rapid Transit) es una solución innovadora, con las ventajas del *metro* pero con un menor costo. Se crea el estándar internacional BRT para calificar los sistemas existentes



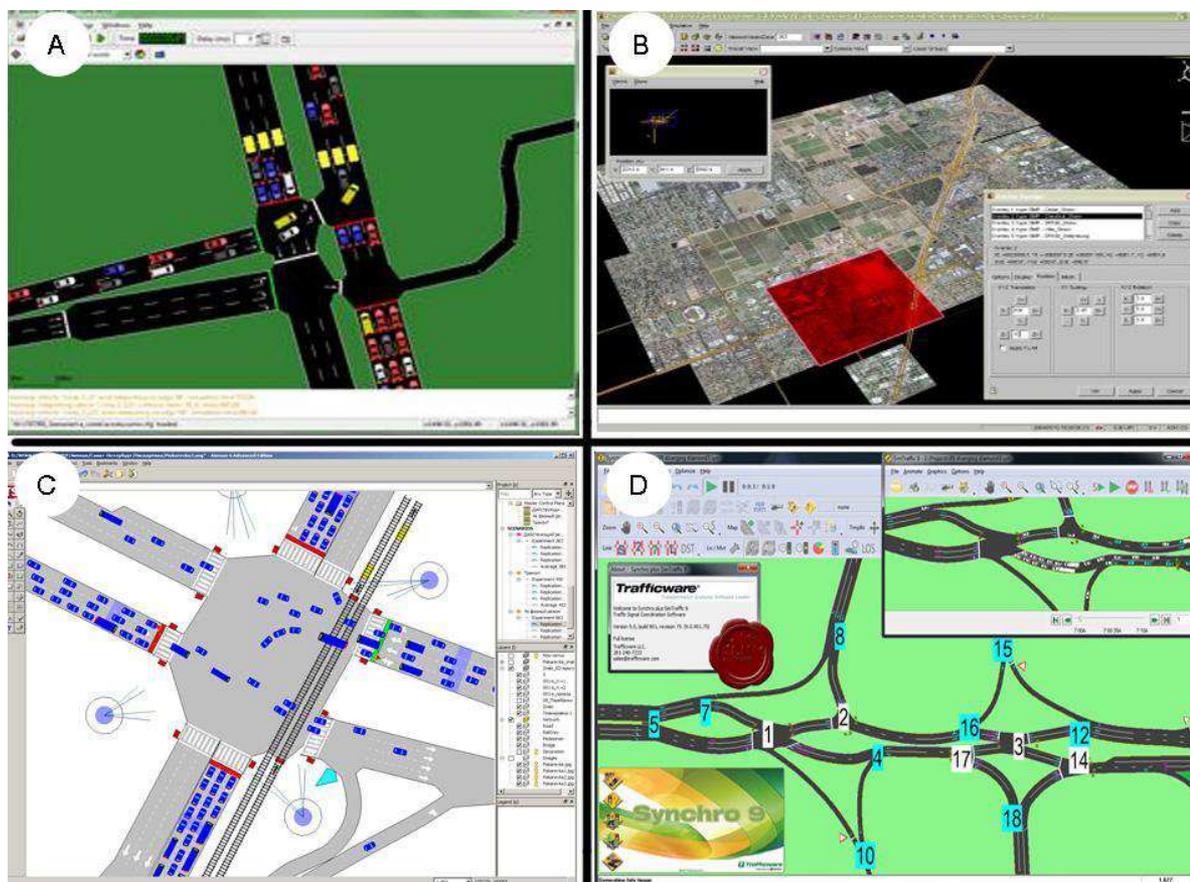
Corredor Garzón

- Extensión de 6.5km, 24 cruces semaforizados, intersección con importantes calles (Bulevar Batlle y Ordoñez, Millán)
- Cumple con la definición básica de BRT



Simulación de tráfico

- Simulador de tráfico: software que simula el movimiento del flujo vehicular sobre una red terrestre, marítima o aérea



Sincronización de semáforos

- Los métodos para optimizar el tráfico tienen como objetivo *mejorar el flujo* de vehículos en una red vial. Se clasifican en dos categorías:
 - Modificaciones en la infraestructura
 - Métodos para influir en el comportamiento de los conductores (configuración de semáforos, señalizaciones)
- La sincronización de semáforos es un *problema NP-difícil*. En instancias realistas se utilizan heurísticas o metaheurísticas

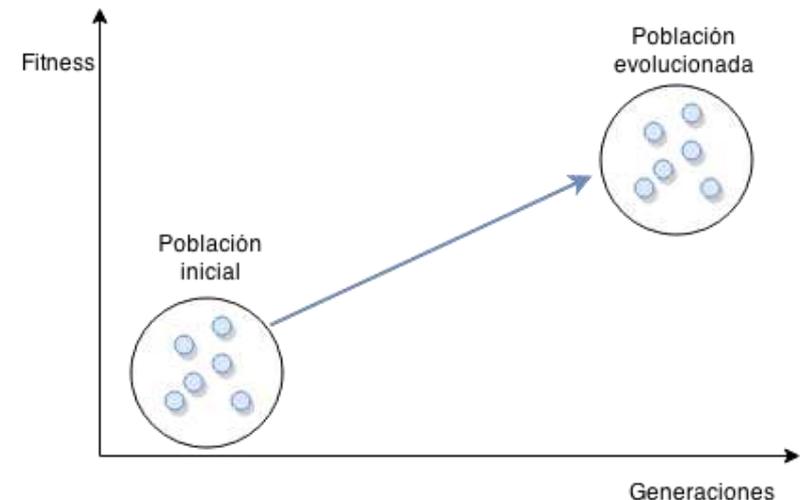


Algoritmos Evolutivos

- Técnicas metaheurísticas para *resolver problemas complejos* (optimización y búsqueda) que se inspiran en la evolución natural

Algoritmo 1 Esquema de un Algoritmo Evolutivo

```
1: inicializar( $P(0)$ )
2:  $t \leftarrow 0$  {contador de generación}
3: mientras no criterio de parada hacer
4:   evaluar( $P(t)$ )
5:   padres  $\leftarrow$  selección( $P(t)$ )
6:   hijos  $\leftarrow$  operadores evolutivos(padres)
7:   newpop  $\leftarrow$  reemplazo(hijos,  $P(t)$ )
8:    $t++$ 
9:    $P(t) \leftarrow$  newpop
10: fin mientras
11: retornar mejor individuo hallado
```



- *Algoritmo Genético (AG)*: popular y versátil, es utilizado en este proyecto
- *MOEA* (MultiObjective Evolutionary Algorithm) resuelven problemas de optimización multiobjetivo, donde no existe una única solución

Trabajos relacionados

- Montana et al. (1996): AE híbrido (programación genética + AG)
 - Variante del problema, modificando en tiempo real la configuración de los semáforos según el flujo de tráfico (utilizando sensores)
- Roupail et al. (2000): AE simple
 - Escenario pequeño en la ciudad de Chicago (USA)
 - Reducción en las demoras de un 44%
- Sánchez et al. (2008): AE paralelo
 - Escenario real y complejo en Santa Cruz de Tenerife (España)
 - Mejora 9 soluciones proporcionadas por la Alcaldía

Existen diversas propuestas para resolver el problema de sincronización de semáforos utilizando AEs

En Uruguay no existen antecedentes relacionados con la optimización de tráfico utilizando AEs



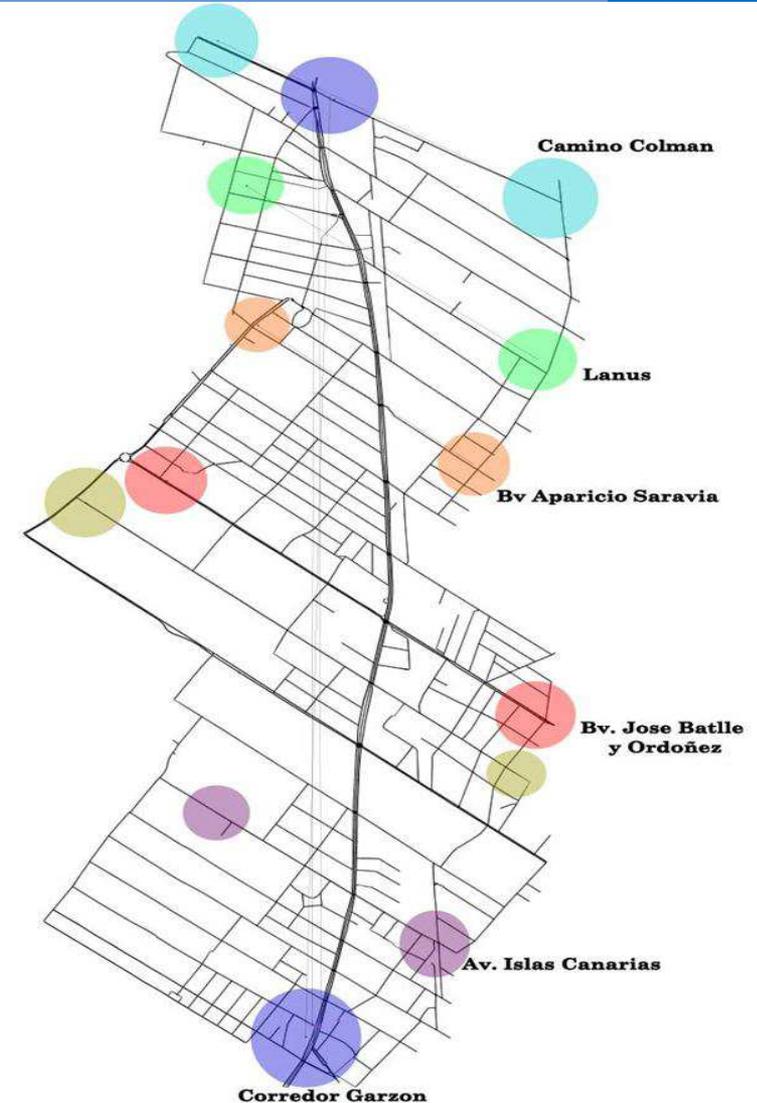
UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

3



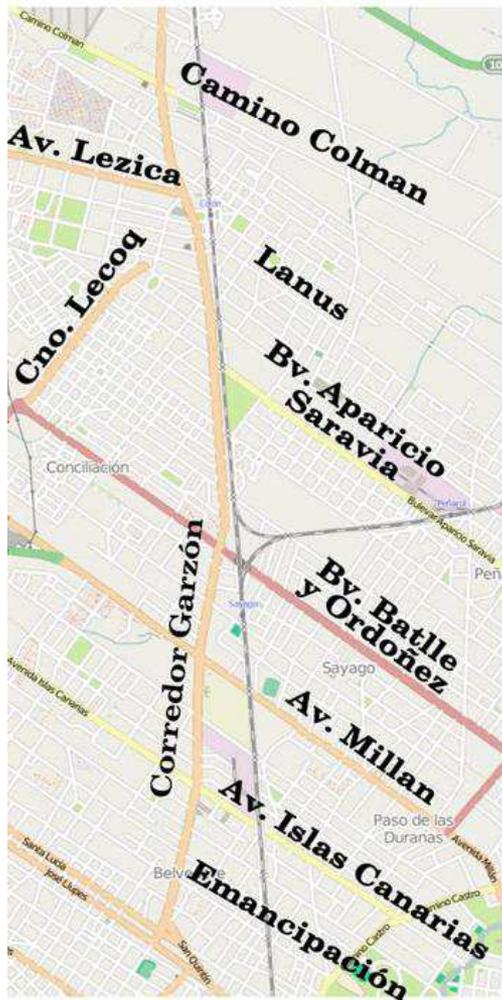
METODOLOGÍA

1. Diseño de un mapa de la zona
2. Recolección de datos in situ
3. Desarrollo de instancias realistas
4. Simulaciones de tráfico

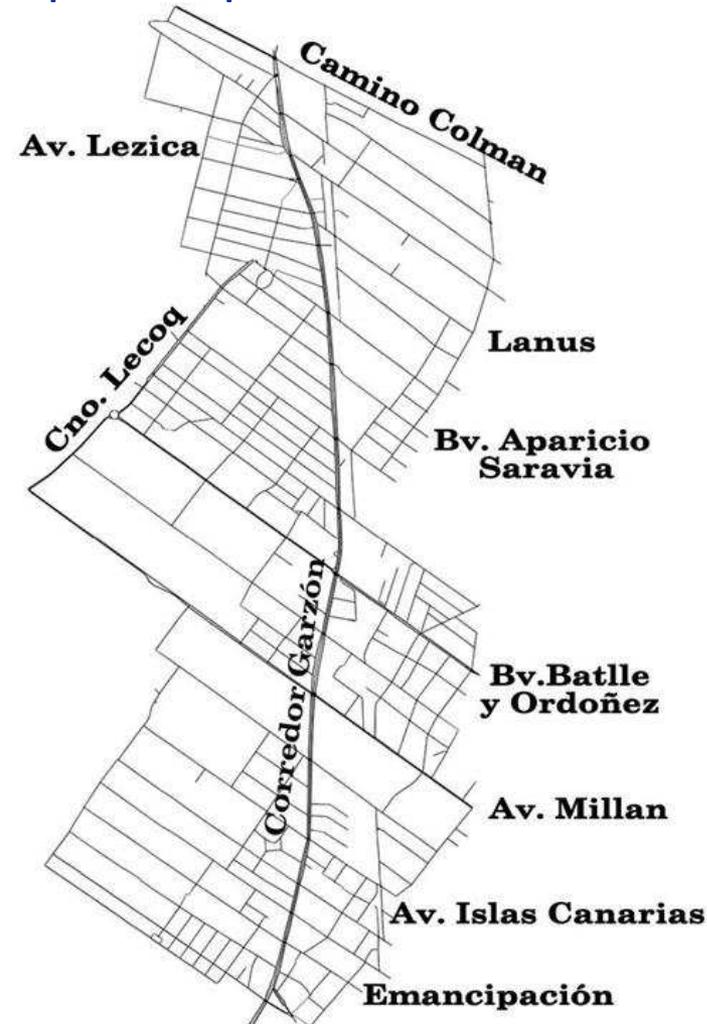


Diseño de mapa de la zona de estudio

mapa original



mapa compatible con SUMO





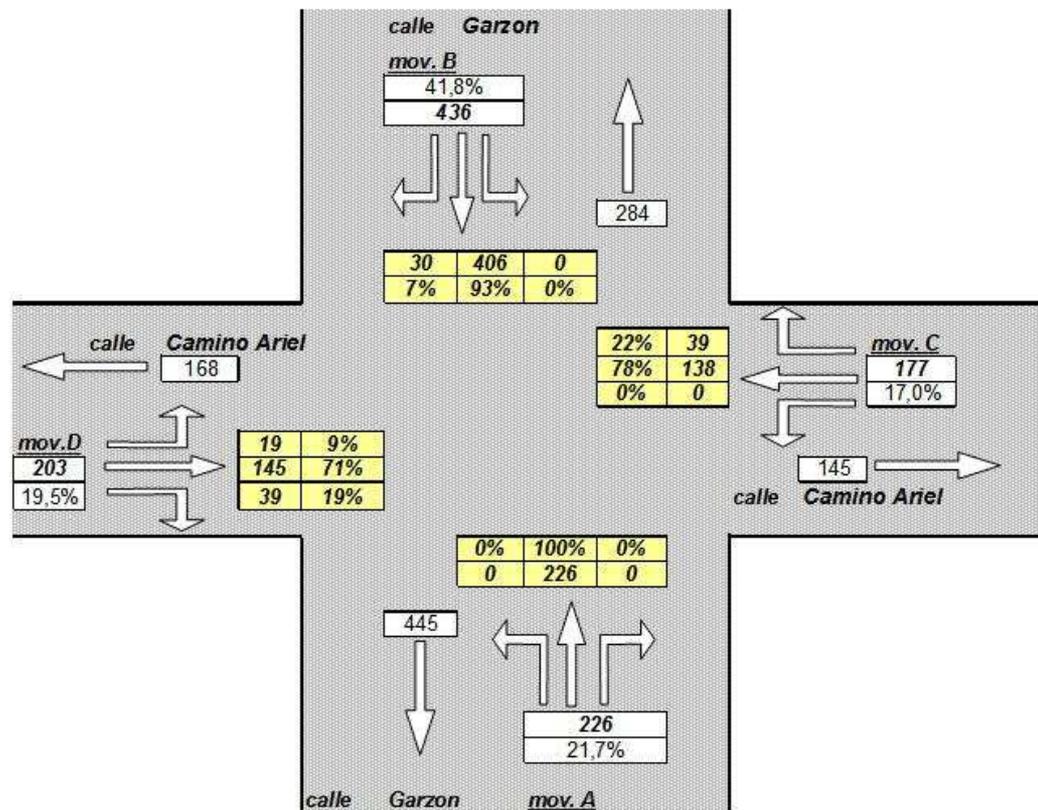
Metodología

Relevamiento de datos

- Análisis de *datos de GPS* de la IMM para obtener la velocidad media de los ómnibus y ajustar el modelo
- Frecuencia de ómnibus obtenidas de datos públicos de la IMM

- *Relevamiento in situ*

- Tráfico vehicular en varios cruces
- Tiempos de semáforos
- Densidad de pasajeros en las paradas



El desarrollo de instancias realistas se basa en tres puntos



Recorridos de
ómnibus
(G, 409, 2, D5, 148)

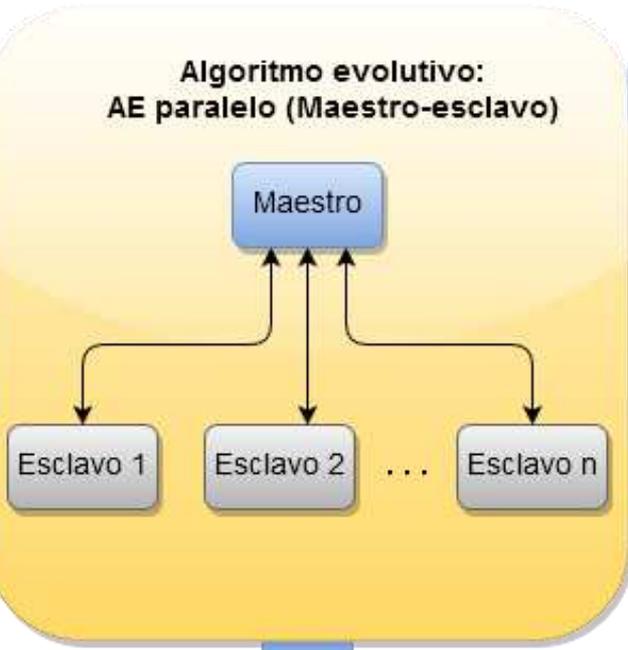


Configuración de
semáforos
(realidad)

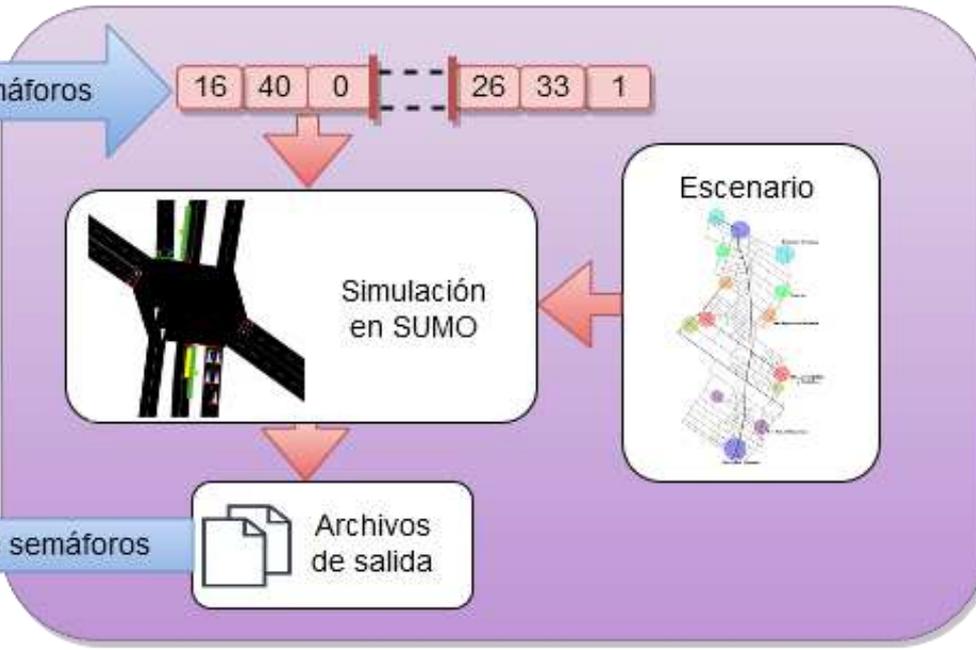


Tráfico vehicular
(entre áreas)

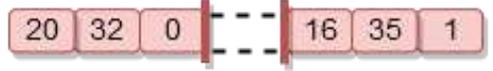
Algoritmo de optimización



Evaluación de la solución



Mejor configuración de semáforos



Malva

SUMO

4



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

IMPLEMENTACIÓN

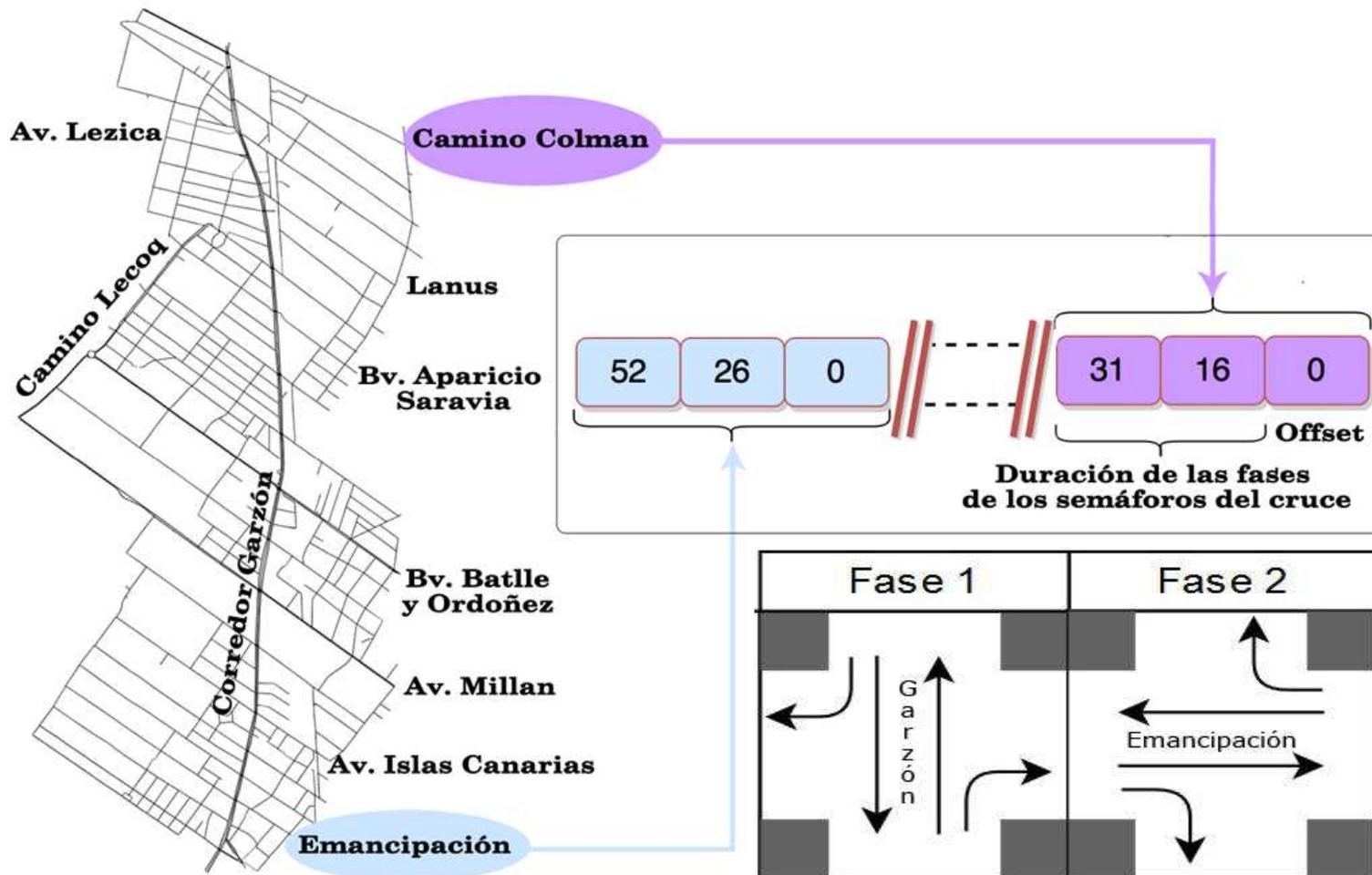
Entorno de desarrollo (*framework*) y AG utilizado

- Dada la complejidad del problema, se utiliza un entorno de desarrollo (*framework*) para obtener una *implementación robusta*
- *Malva*: *framework* que provee esqueletos de métodos de optimización que pueden ser utilizados y extendidos de manera fácil y eficiente
- En este trabajo se utiliza un *AG tradicional* implementado en Malva que fue modificado para soportar la *ejecución en paralelo*
- El objetivo del AG es *encontrar una configuración eficiente de los semáforos*, que maximice la velocidad promedio del transporte colectivo y de otros vehículos

Implementación

Representación de soluciones

- Cada individuo (configuración de semáforos) se representa como un vector de números naturales (duración de las fases y offset de los semáforos)



Inicialización y función de fitness

- *Inicialización de la población*: se usa como referencia la configuración de semáforos real, recolectada en el relevamiento in situ, variando aleatoriamente los valores en un rango predefinido
- *Función de evaluación (fitness)*
 - Optimización multiobjetivo usando combinación lineal de la velocidad promedio de ómnibus (vpb) y velocidad promedio de otros vehículos (vpv)

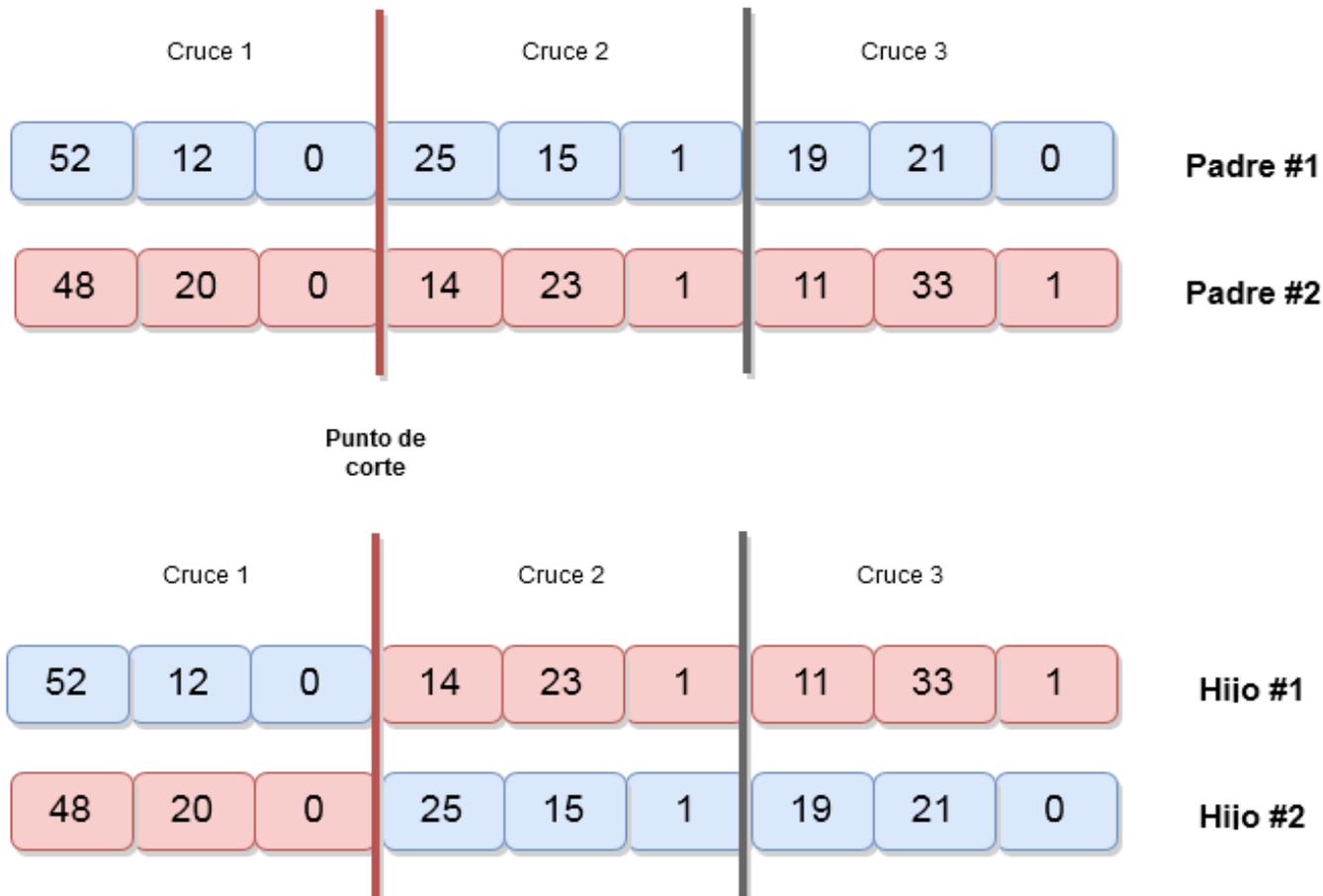
$$f = w_1.vpb + w_2.vpv$$

- w_1 y w_2 son pesos que pueden ser utilizados para dar prioridad a un tipo de vehículo sobre otro, en un principio se establecen equilibrados (50%, 50%)

Implementación

Operador de cruzamiento

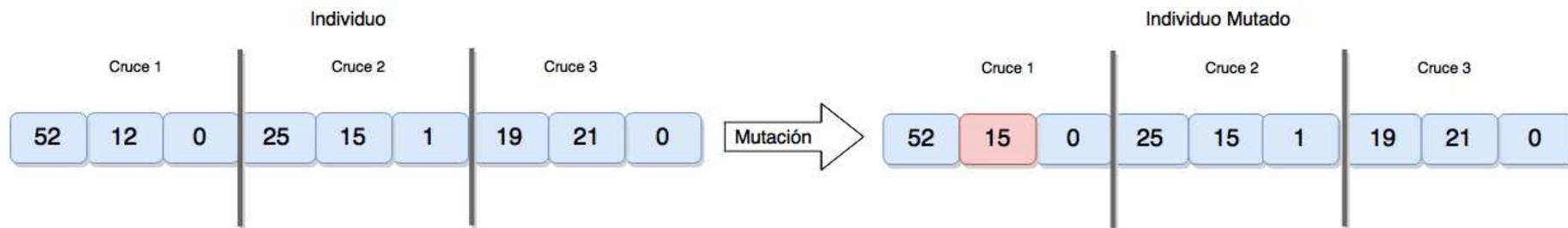
- El objetivo es preservar las mejores características de los padres
- Cruzamiento de un punto:



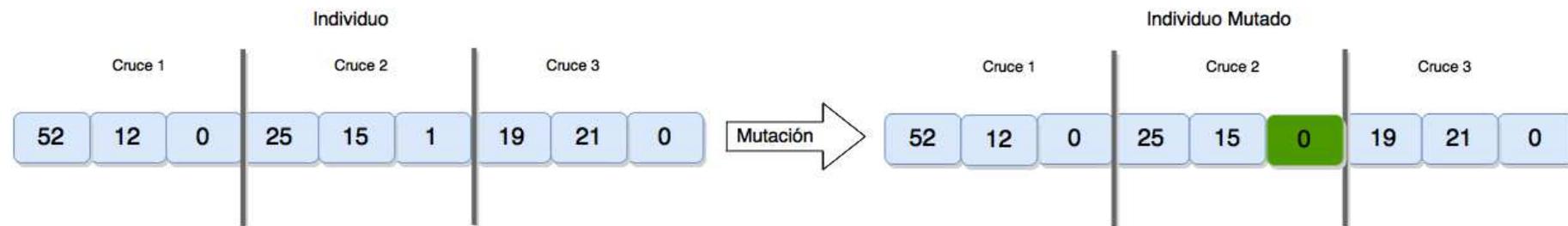
Implementación

Operador de mutación

- El objetivo es aportar diversidad en la población
- Dos tipos de mutación, aplicadas probabilísticamente:
 - *Duración de fase*: se modifica la duración de una fase sumando o restando un valor aleatorio de segundos (en un rango)



- *Offset*: se modifica un offset, asignando un valor aleatorio entre los posibles



5



ANÁLISIS EXPERIMENTAL

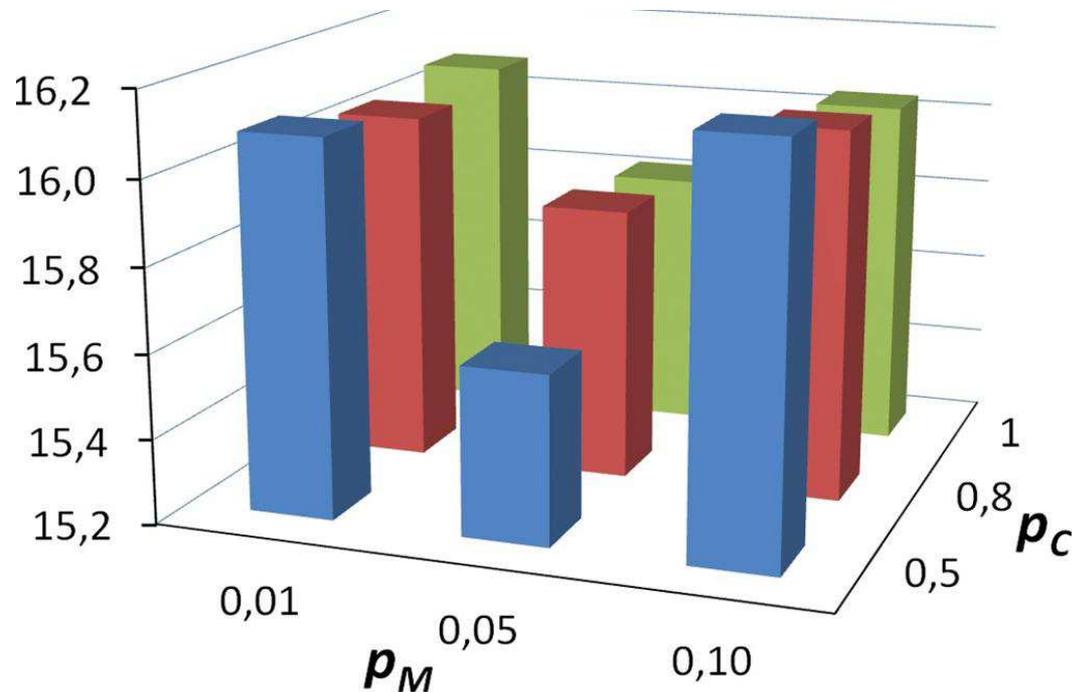
Metodología

- **Metodología:** ejecuciones independientes por carácter estocástico de AE; aplicación de tests estadísticos para analizar las distribuciones de resultados y determinar si las mejoras son significativas
- **Plataforma de ejecución:** Cluster FING (www.fing.edu.uy/cluster): AMD Opteron 6272, 2.1GHz, 64 núcleos, 48GB RAM, CentOS Linux 6.5



Ajuste paramétrico

- Determinar el mejor valor de los parámetros del AE con el objetivo de obtener una mejor calidad de resultados
- Entre 10 y 81 ejecuciones del AE al ajustar cada parámetro



- Tiempo de simulación: **4000 steps**
- Criterio de parada: **500 generaciones**
- Tamaño de la población: **32**
- Probabilidad de cruzamiento: **0.5**
- Probabilidad de mutación: **0.01**

Descripción de los escenarios

Base: Representa la situación actual del Corredor Garzón en términos de tráfico, red vial y configuración de semáforos

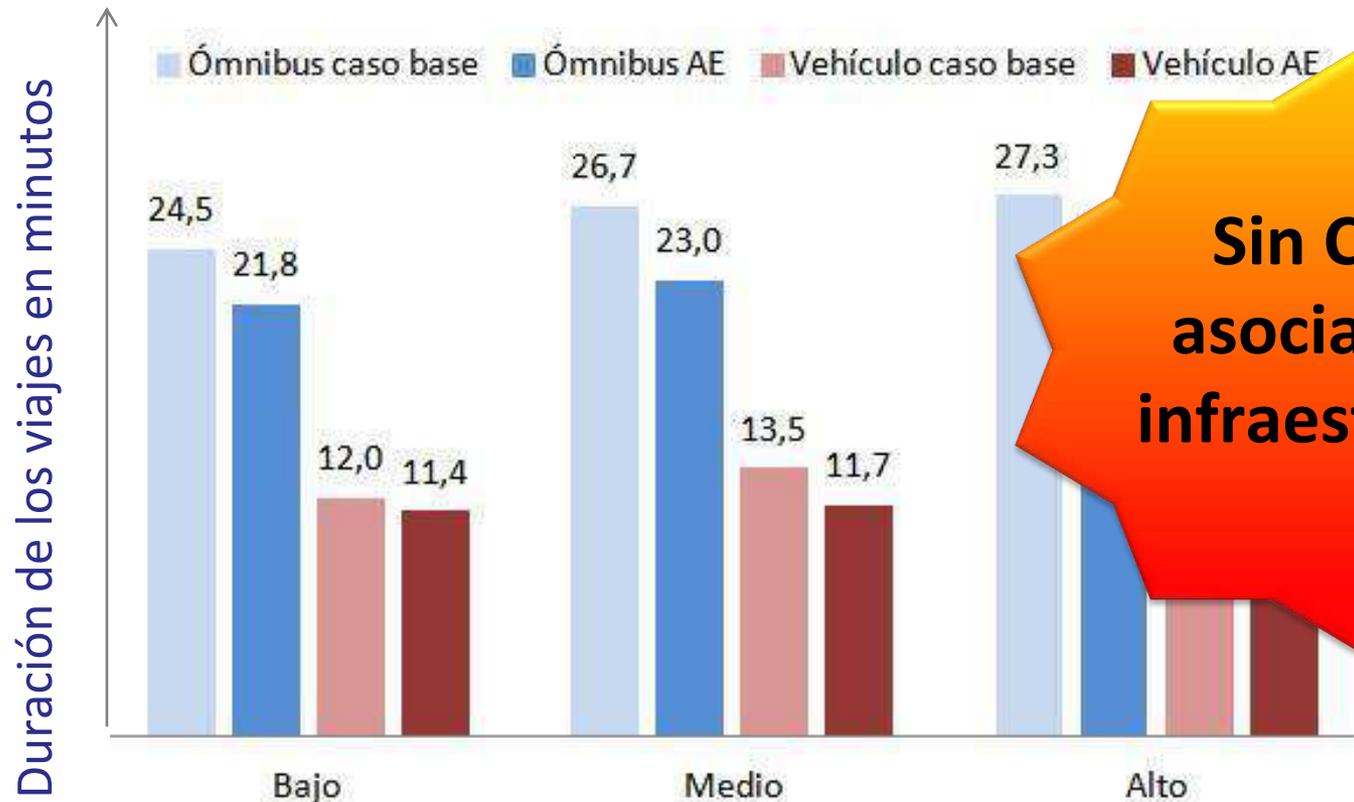
Alternativo: Se modifican aspectos que influyen negativamente en la circulación del tráfico

<i>modificación del escenario</i>	<i>v_{pb}(km/h)</i>	<i>v_{pv}(km/h)</i>
caso base	14.59	28.81
eliminar paradas	15.44	29.03
eliminar peatonales	16.02	29.32
paradas alternadas	19.17	28.88

Modificaciones y variación de velocidades de ómnibus (v_{pb}) y otros vehículos (v_{pv}) simulando el tráfico (sin aplicar el AE)

Resultados numéricos del AE (caso base)

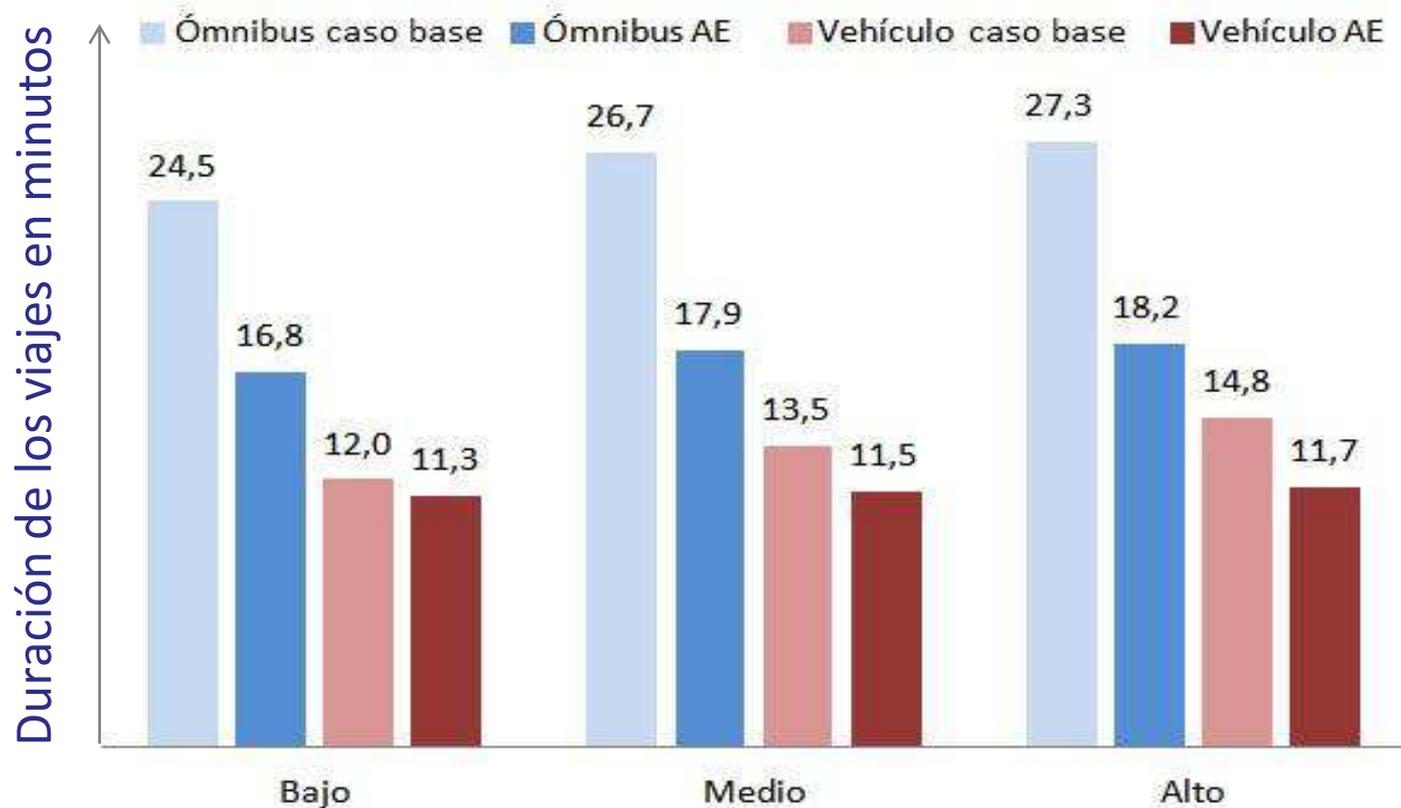
- 20 ejecuciones del AE por cada tipo de tráfico: bajo, medio y alto
- *Mejoras respecto a realidad actual*: hasta **15.3%** en velocidad promedio de ómnibus y **24.8 %** en velocidad promedio de otros vehículos
- Duraciones de los viajes recorriendo el Corredor Garzón (6.5km):



**Sin Costos
asociados en
infraestructura**

Resultados numéricos del AE (caso alternativo)

- *Mejoras respecto a realidad actual:* hasta **49.9%** en velocidad promedio de ómnibus y **26.7%** en la velocidad promedio de otros vehículos
- Duraciones de los viajes:



Variaciones de la función de fitness

Prioridad para los ómnibus: para que las personas opten por el transporte colectivo. Mejora de hasta **2%** en la velocidad de los ómnibus (tráfico medio)

Prioridad otros vehículos: poco relevante en Garzón (ómnibus menos veloces que vehículos). En tráfico alto se afecta demasiado la velocidad de los ómnibus (-6.23%)

<i>instancia</i>	<i>pb (%)</i>	<i>v_{pb}(km/h)</i>	<i>v_{pv}(km/h)</i>	<i>fitness</i>	<i>var.</i>	<i>var.</i>
<i>tráfico</i>	<i>pv (%)</i>				<i>v_{pb} (%)</i>	<i>v_{pv} (%)</i>
<i>bajo</i>	50-50	17.92±0.18	34.30±0.40	14.50±0.14	-	-
	70-30	17.93±0.23	34.06±0.17	12.65±0.11	+0.07	-0.70
	30-70	17.55±0.23	34.71±0.21	16.42±0.10	-2.06	+1.18
<i>medio</i>	50-50	16.95±0.32	33.29±0.29	13.95±0.15	-	-
	70-30	17.29±0.27	33.08±0.14	12.24±0.12	+2.0	-0.62
	30-70	16.71±0.42	33.79±0.31	15.92±0.11	-1.41	+1.49
<i>alto</i>	50-50	16.51±0.60	32.90±0.25	13.72±0.17	-	-
	70-30	16.72±0.14	32.79±0.26	13.75±0.07	+1.24	-0.33
	30-70	15.48±0.42	33.20±0.25	15.49±0.16	-6.23	+0.92



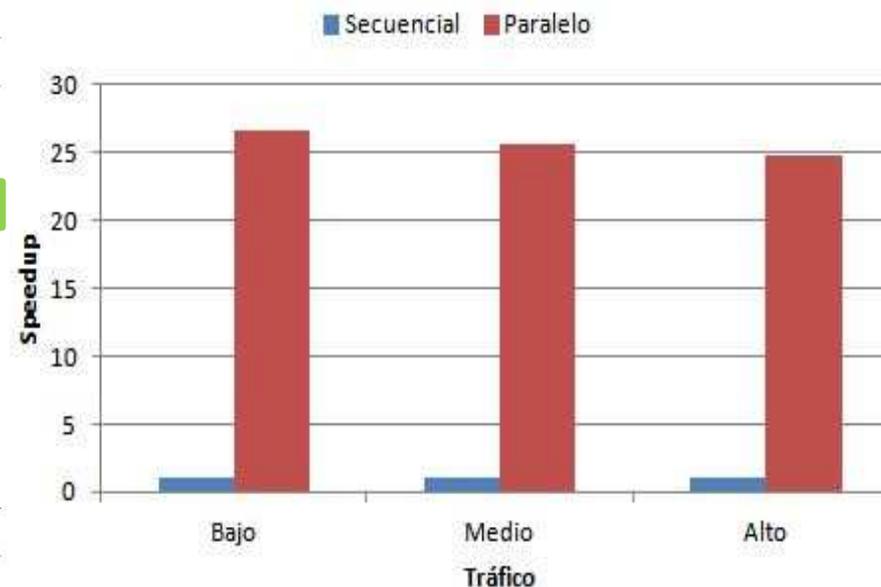
Análisis Experimental

Eficiencia computacional

Speedup: Evalúa la aceleración al usar paralelismo. Ratio entre el tiempo de ejecución del algoritmo secuencial y el paralelo usando N procesadores

$$S_N = \frac{T(S)}{T(P)_N}$$

#	tipo detráfico	serial (m)	paralelo (m)	speedup	eficiencia
1	bajo	1572	59	26.64	0.83
2	bajo	1571	59	26.62	0.83
3	bajo	1183	44	26.88	0.84
4	medio	3002	119	25.22	0.78
5	medio	2195	82	26.76	0.83
6	medio	3007	120	25.05	0.78
7	alto	2920	110	26.5	0.82
8	alto	4365	183	23.85	0.74
9	alto	4276	177	24.15	0.75
promedio				25.7±1.1	0.80±0.03



6



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

CONCLUSIONES



1. Se desarrolló un AE capaz de *resolver el problema de sincronización de semáforos* con alta eficacia numérica y desempeño computacional
2. Mejoras en la velocidad, al comparar con la realidad actual
 1. **15.3%** para los ómnibus y **24.8%** para otros vehículos
 2. **49.9%** para los ómnibus y **26.7%** para otros vehículos aplicando el AE sobre el escenario alternativo

SIN COSTOS ASOCIADOS A INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA

3. El buen speedup del AE permitió **reducir el tiempo de ejecución considerablemente**. Se realizaron más de 400 ejecuciones del AE: **paralelo (500 h o 21 días) vs secuencial (520 días o 1,5 años)**

1. Desarrollar o investigar herramientas para automatizar el diseño del mapa y la creación de instancias realistas
2. Evaluar el AE en otras zonas
3. Utilizar un enfoque multiobjetivo explícito
4. Extender el AE para considerar información en tiempo real



GRACIAS POR SU ATENCIÓN

- Publicaciones generadas en el proyecto:
 - A. Acuña, E. Arreche, S. Nesmachnow. *Planificación de tráfico y transporte colectivo en el Corredor Garzón utilizando un algoritmo evolutivo*. Congreso Internacional de Cómputo en Optimización y Software, Cuernavaca, México, 2015.
 - E. Arreche, S. Nesmachnow. *Algoritmos Evolutivos aplicados a la sincronización de semáforos en el Corredor Garzón*. Workshop Internacional “Planificación de Transporte y Ciudades Inteligentes”, Montevideo 2015.
 - S. Nesmachnow, E. Arreche, R. Massobrio, C. Mumford, C. Olivera, P. Vidal. *Traffic light optimization for Bus Rapid Transit using a parallel evolutionary algorithm: the case of Garzon Avenue in Montevideo, Uruguay*. XVIII Latin-Iberoamerican Conference on Operations Research. Santiago de Chile, 2016.



- Participación en Ingeniería deMuestra 2015
- Información del proyecto disponible en:

<http://www.fing.edu.uy/inco/grupos/cecal/hpc/AECG>



Gracias por su atención

