Reducing Gas Emissions in Smart Cities by Using the Red Swarm Architecture

Daniel H. Stolfi
dhstolfi@lcc.uma.es

Enrique Alba
eat@lcc.uma.es

Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación
Universidad de Málaga

Multiconferencia CAEPIA 2013

Septiembre de 2013

Contenidos

1 Introducción

2 Propuesta

3 Experimentos

4 Conclusiones

Contenidos

1 Introducción

2 Propuesta

3 Experimentos

4 Conclusiones

Contenidos

1 Introducción

2 Propuesta

3 Experimentos

4 Conclusiones

Contenidos

1 Introducción

2 Propuesta

3 Experimentos

4 Conclusiones

Introducción

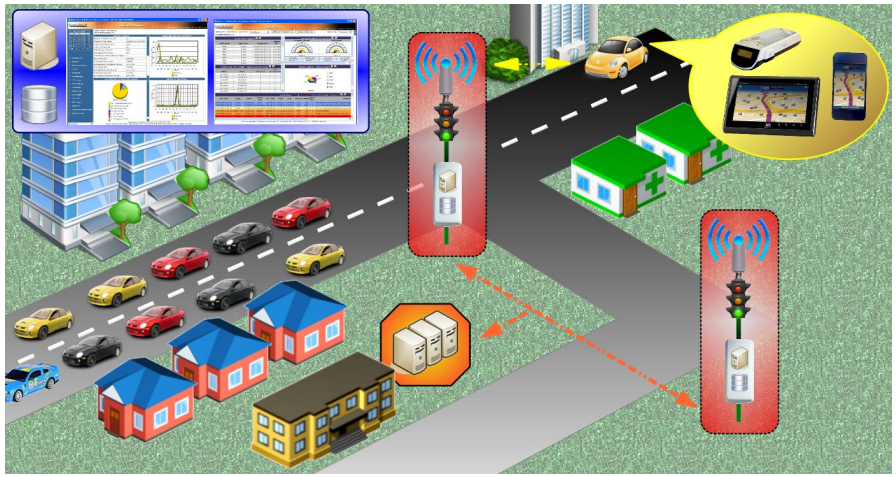
La mayoría de las personas viven o están pensando en mudarse a las grandes ciudades

- Hay un mayor número de vehículos en las calles
- Aumenta el número de atascos
- Se emiten toneladas de gases de efecto invernadero
- Disminuye la calidad de vida de los ciudadanos

Introducción

La mayoría de las personas viven o están pensando en mudarse a las grandes ciudades

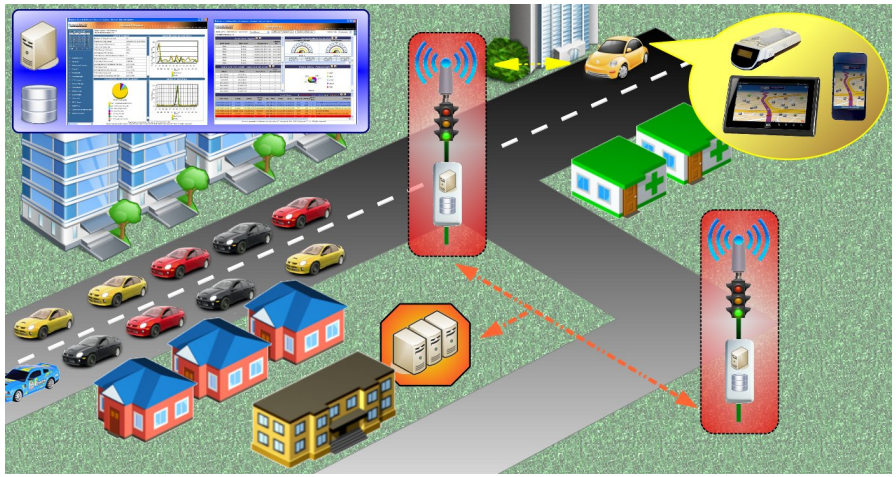
- Hay un mayor número de vehículos en las calles
- Aumenta el número de atascos
- Se emiten toneladas de gases de efecto invernadero
- Disminuye la calidad de vida de los ciudadanos



Introducción

La mayoría de las personas viven o están pensando en mudarse a las grandes ciudades

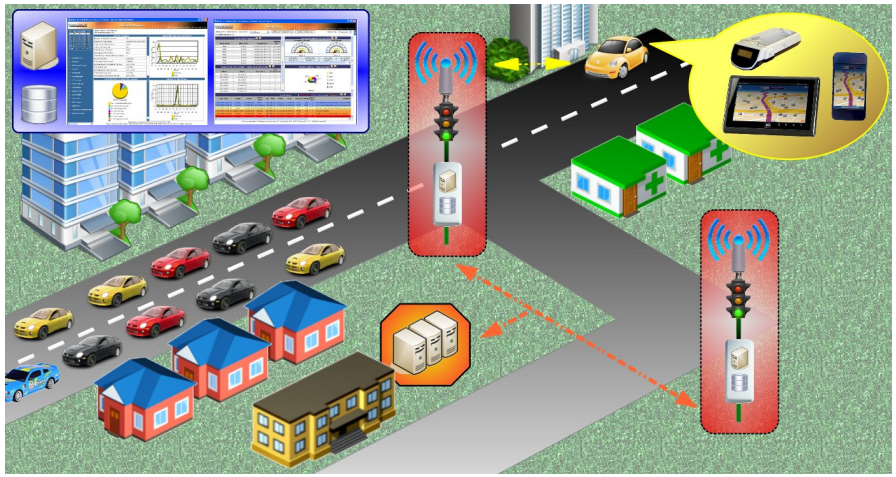
- Hay un mayor número de vehículos en las calles
- Aumenta el número de atascos
- Se emiten toneladas de gases de efecto invernadero
- Disminuye la calidad de vida de los ciudadanos



Introducción

La mayoría de las personas viven o están pensando en mudarse a las grandes ciudades

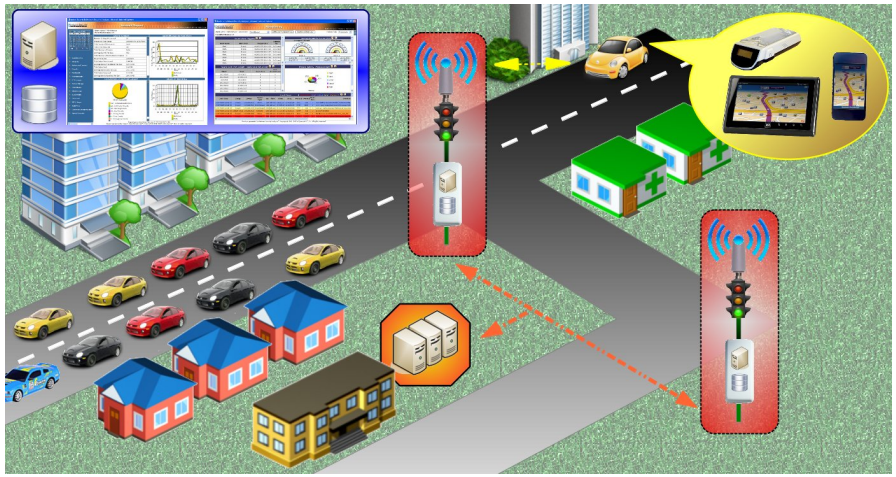
- Hay un mayor número de vehículos en las calles
- Aumenta el número de atascos
- Se emiten toneladas de gases de efecto invernadero
- Disminuye la calidad de vida de los ciudadanos



Introducción

La mayoría de las personas viven o están pensando en mudarse a las grandes ciudades

- Hay un mayor número de vehículos en las calles
- Aumenta el número de atascos
- Se emiten toneladas de gases de efecto invernadero
- Disminuye la calidad de vida de los ciudadanos



Red Swarm

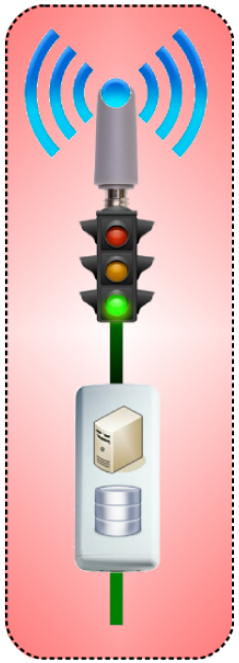
Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - Instalados en los semáforos
  - Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)

Red Swarm

Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

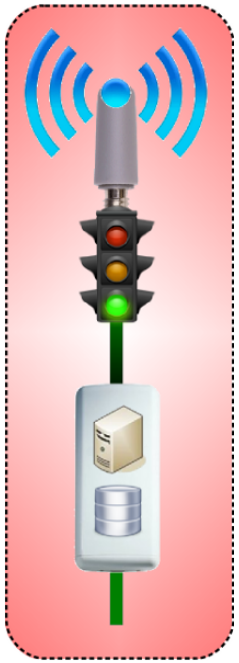
- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - Instalados en los semáforos
  - Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)



Red Swarm

Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - **Instalados en los semáforos**
  - **Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi**
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)



Red Swarm

Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

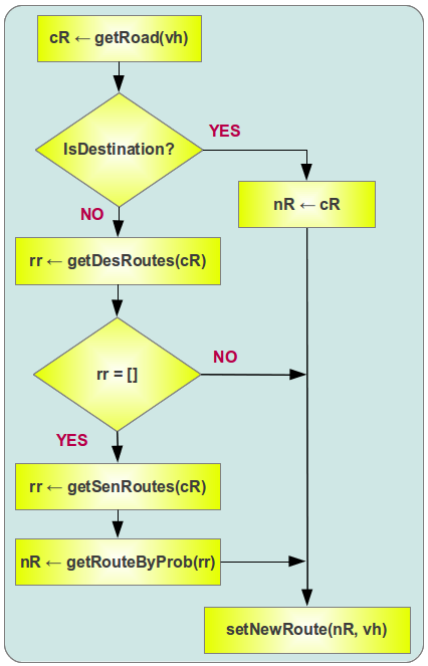
- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - **Instalados en los semáforos**
  - **Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi**
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)

Algoritmo Evolutivo

Red Swarm

Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - **Instalados en los semáforos**
  - **Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi**
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)
  - Instaladas en los vehículos
  - También pueden utilizarse *smartphones* o *tablets*



Red Swarm

Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - **Instalados en los semáforos**
  - **Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi**
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)
  - Instaladas en los vehículos
  - También pueden utilizarse *smartphones* o *tablets*

Red Swarm

Nuestro propuesta, Red Swarm está formada por:

- Los *spots* distribuidos por la ciudad
  - **Instalados en los semáforos**
  - **Se comunican con los vehículos vía Wi-Fi**
- Nuestro Algoritmo Evolutivo
- Nuestro Algoritmo de Cambio de Ruta
- Las unidades de abordo (OBU)
  - **Instaladas en los vehículos**
  - **También pueden utilizarse *smartphones* o *tablets***

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

- Información personalizada a cada vehículo
  - Online
  - Distribuida
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

- Información personalizada a cada vehículo
  - Online
  - Distribuida
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

- Información personalizada a cada vehículo
  - **Online**
  - **Distribuida**
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

- Información personalizada a cada vehículo
  - **Online**
  - **Distribuida**
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

- Información personalizada a cada vehículo
  - **Online**
  - **Distribuida**
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

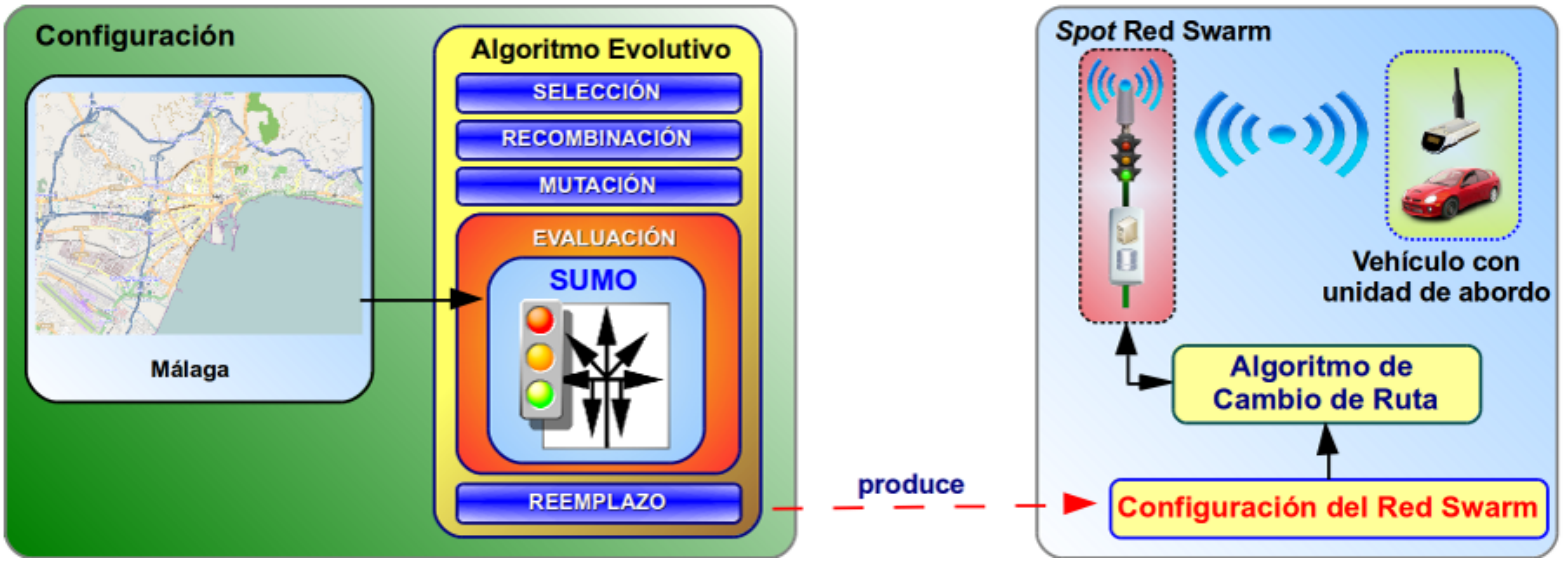
- Información personalizada a cada vehículo
  - **Online**
  - **Distribuida**
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Red Swarm

Red Swarm proporciona:

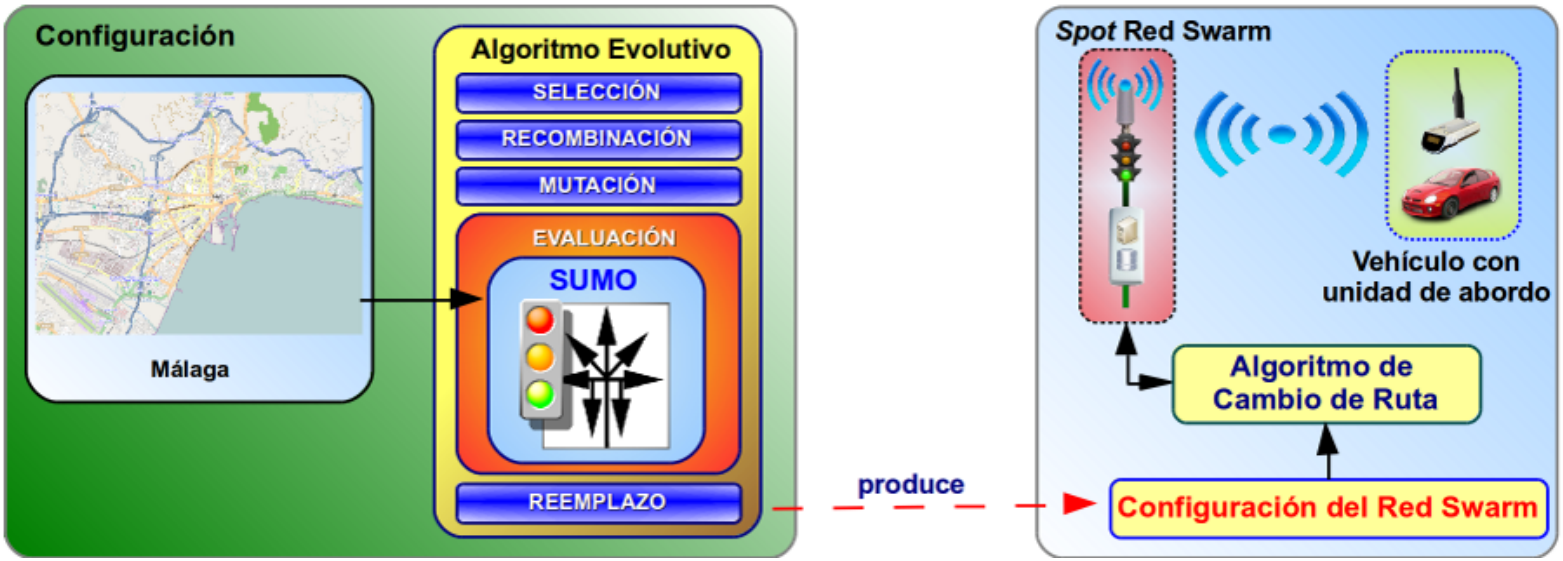
- Información personalizada a cada vehículo
  - **Online**
  - **Distribuida**
- Disminución de la formación de atascos
- Reducción de las emisiones de gases
- Monitorización del estado de la ciudad (tráfico, emisiones, etc)
- Posibles extensiones a flotas de vehículos municipales

Arquitectura Red Swarm



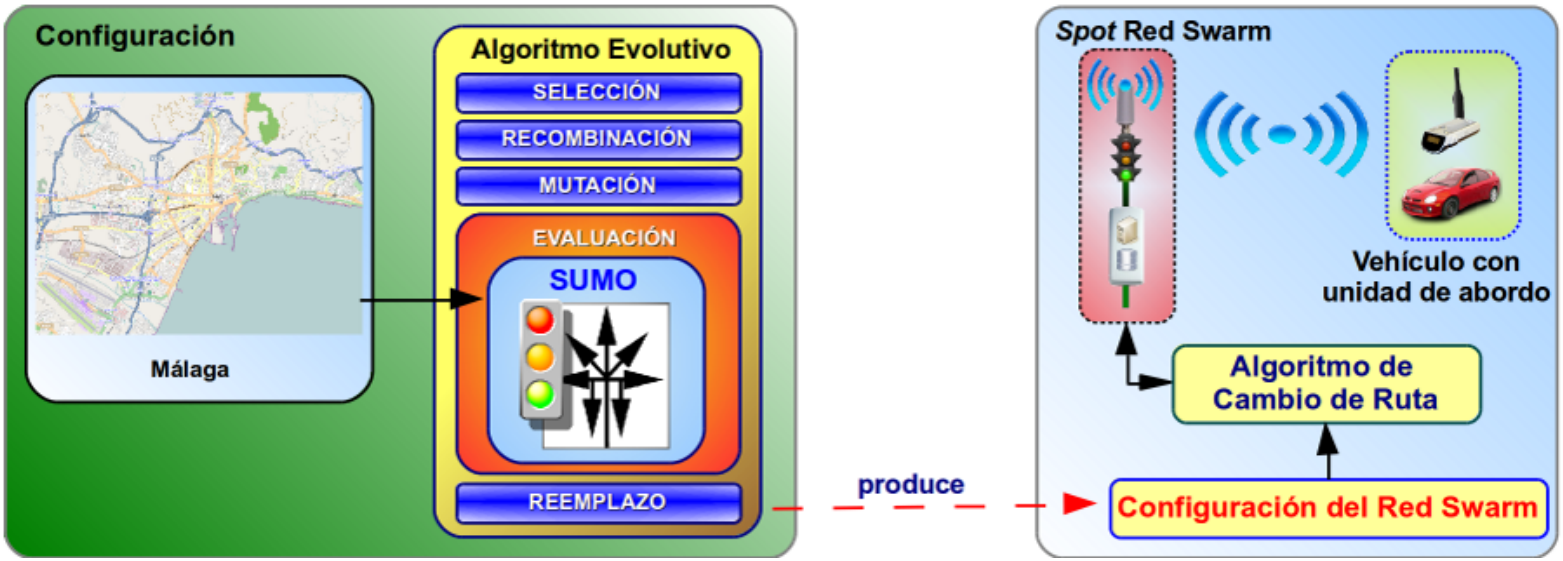
- **Configuración**:
  Cálculo *offline* de la configuración para los *spots* Red Swarm
- **Despliegue**:
  Los *spots* interactúan con los vehículos sugiriendo nuevas rutas (*online*)

Arquitectura Red Swarm



- **Configuración**:
  Cálculo *offline* de la configuración para los *spots* Red Swarm
- **Despliegue**:
  Los *spots* interactúan con los vehículos sugiriendo nuevas rutas (*online*)

Arquitectura Red Swarm



- **Configuración**:
  Cálculo *offline* de la configuración para los *spots* Red Swarm
- **Despliegue**:
  Los *spots* interactúan con los vehículos sugiriendo nuevas rutas (*online*)

SENSORES

- Representan dentro de la simulación a las calles que conducen a una intersección controlada por un *spot* de Red Swarm
- Cuando un vehículo es detectado por un sensor se dispara el algoritmo de cambio de ruta
- En una ciudad real los sensores representarían los enlaces de radio

SENSORES

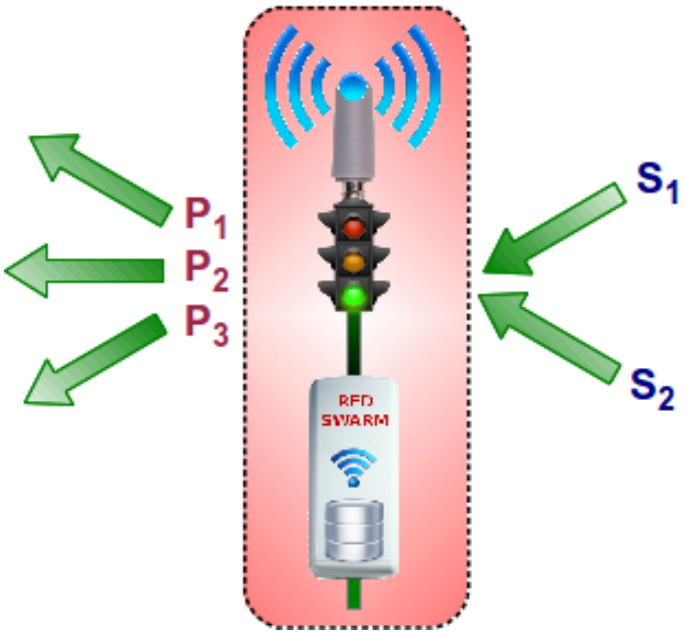
- Representan dentro de la simulación a las calles que conducen a una intersección controlada por un *spot* de Red Swarm
- Cuando un vehículo es detectado por un sensor se dispara el algoritmo de cambio de ruta
- En una ciudad real los sensores representarían los enlaces de radio

SENSORES

- Representan dentro de la simulación a las calles que conducen a una intersección controlada por un *spot* de Red Swarm
- Cuando un vehículo es detectado por un sensor se dispara el algoritmo de cambio de ruta
- En una ciudad real los sensores representarían los enlaces de radio

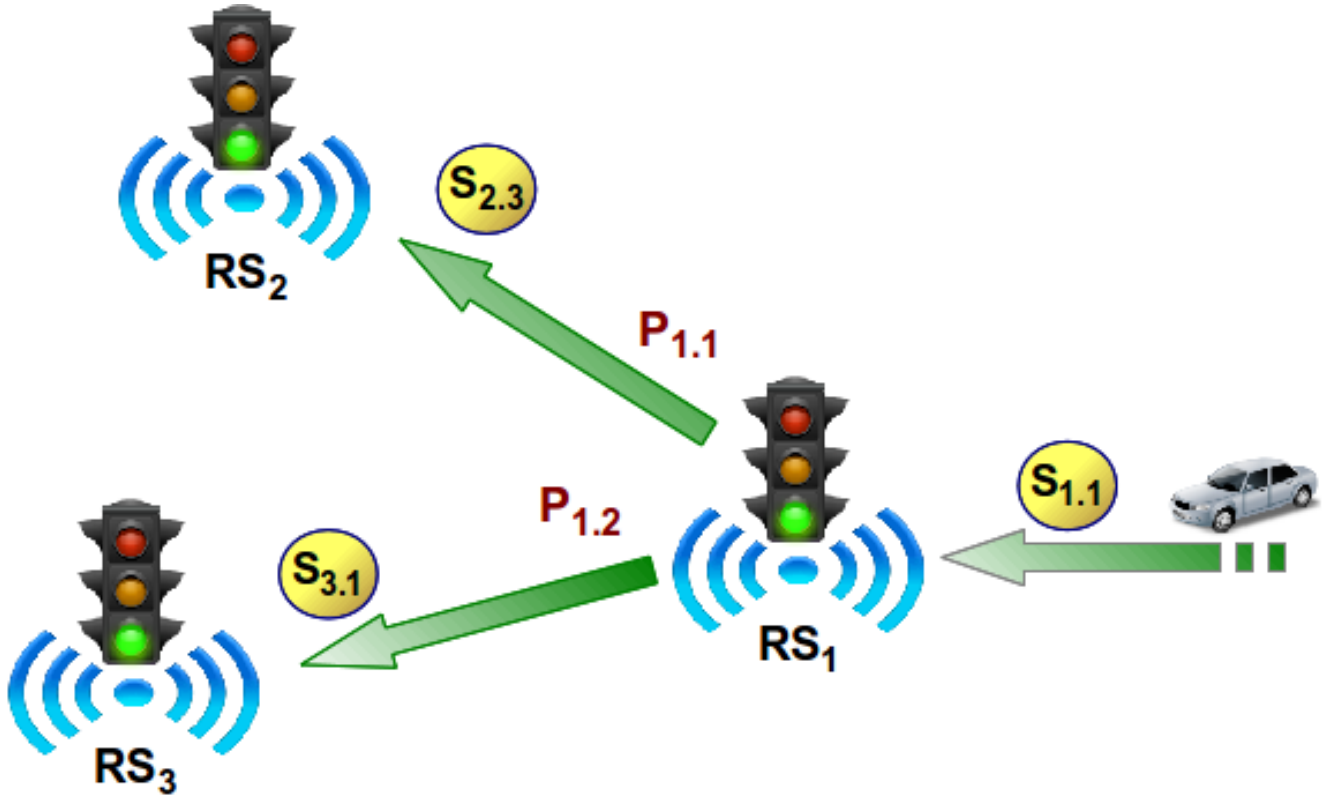
SPOTS RED SWARM Y CAMBIO DE RUTA

Los *spots* se encuentran situados en intersecciones controladas por semáforos, constan de calles de entrada (con sensores) y posibles calles de salida



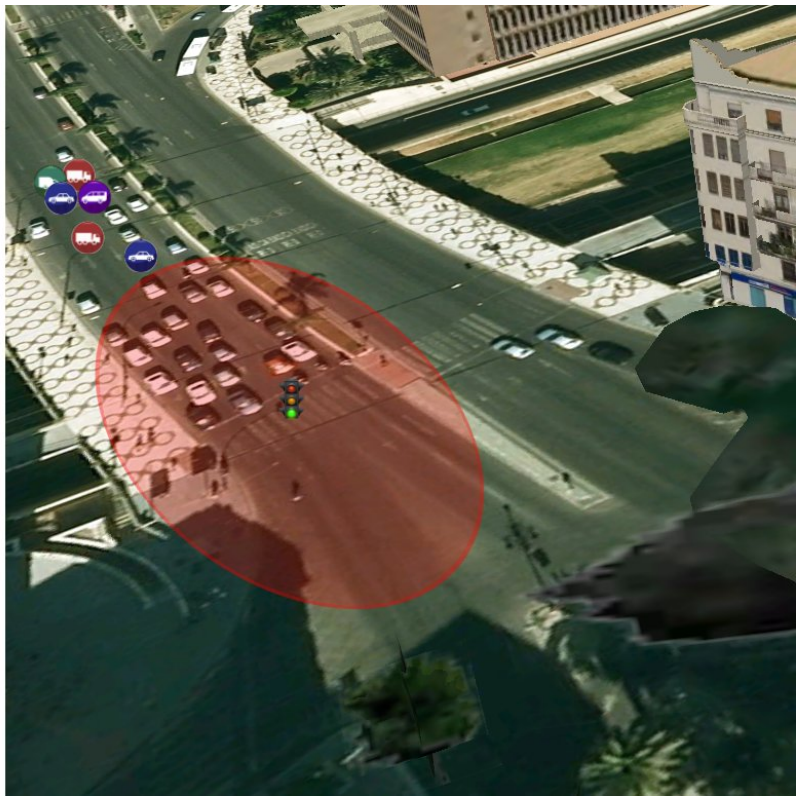
SPOTS RED SWARM Y CAMBIO DE RUTA

Cuando un vehículo se aproxima a un *spot*, éste le sugiere el siguiente punto de paso (otro *spot*) basado en una probabilidad



EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

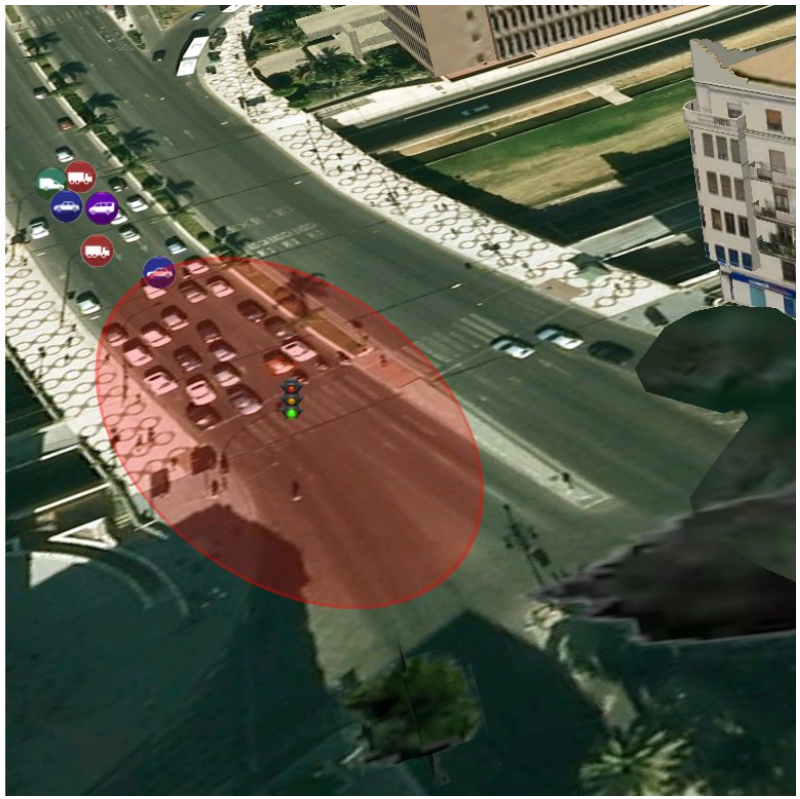
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

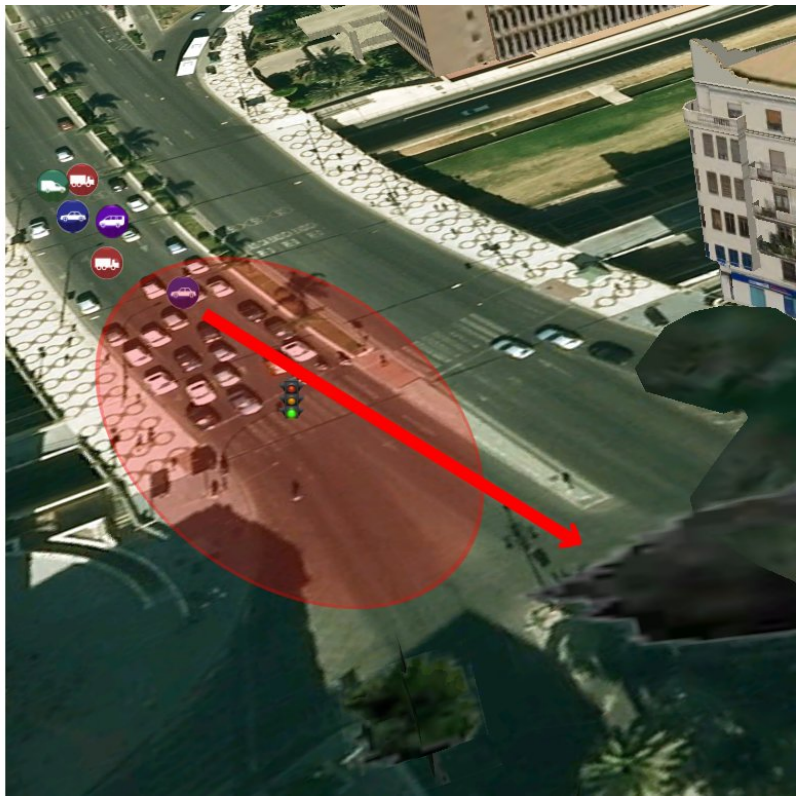
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

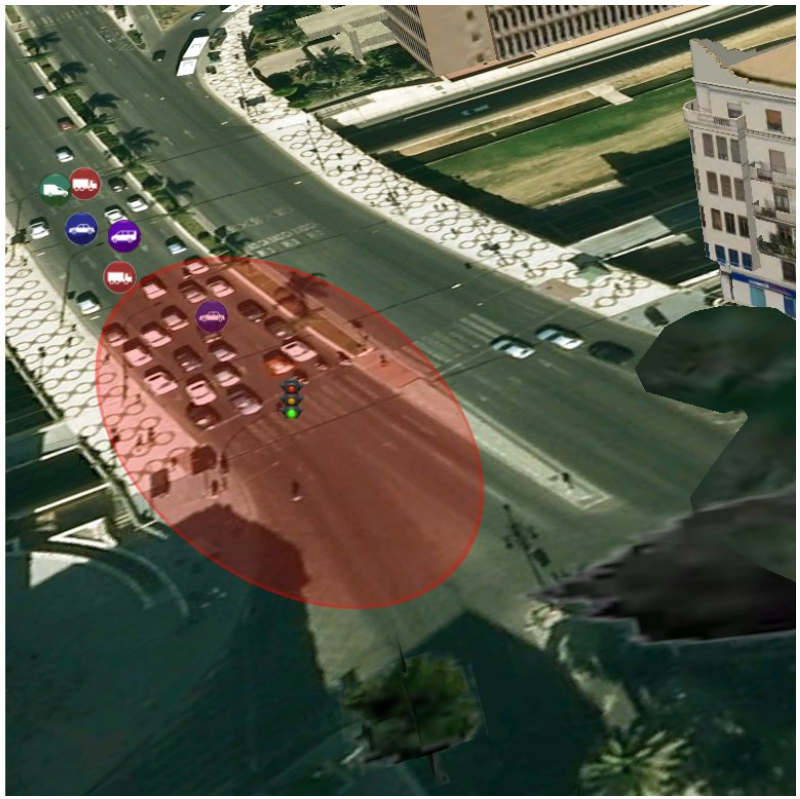
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

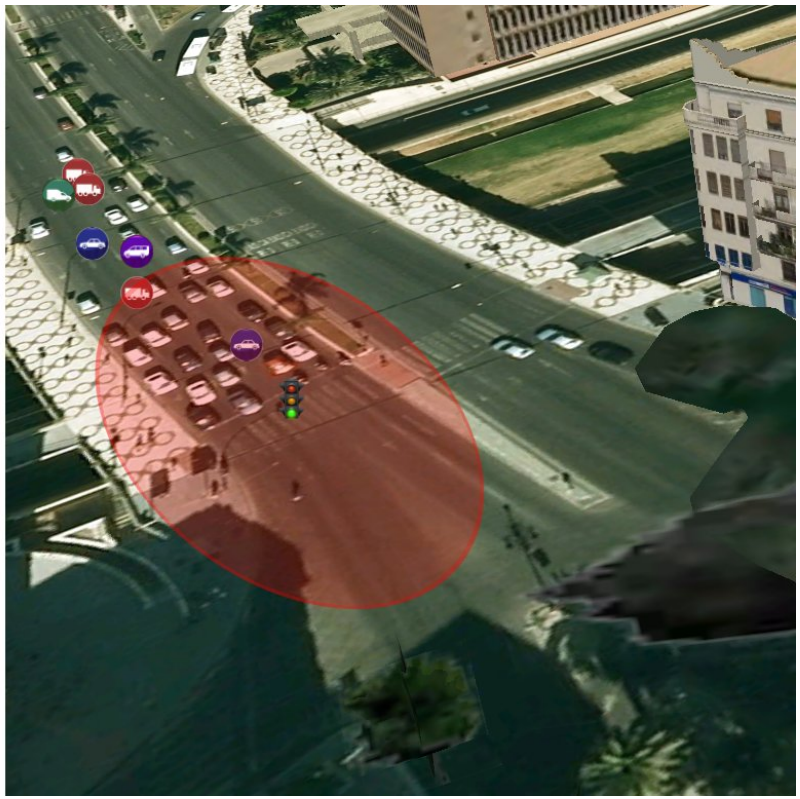
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

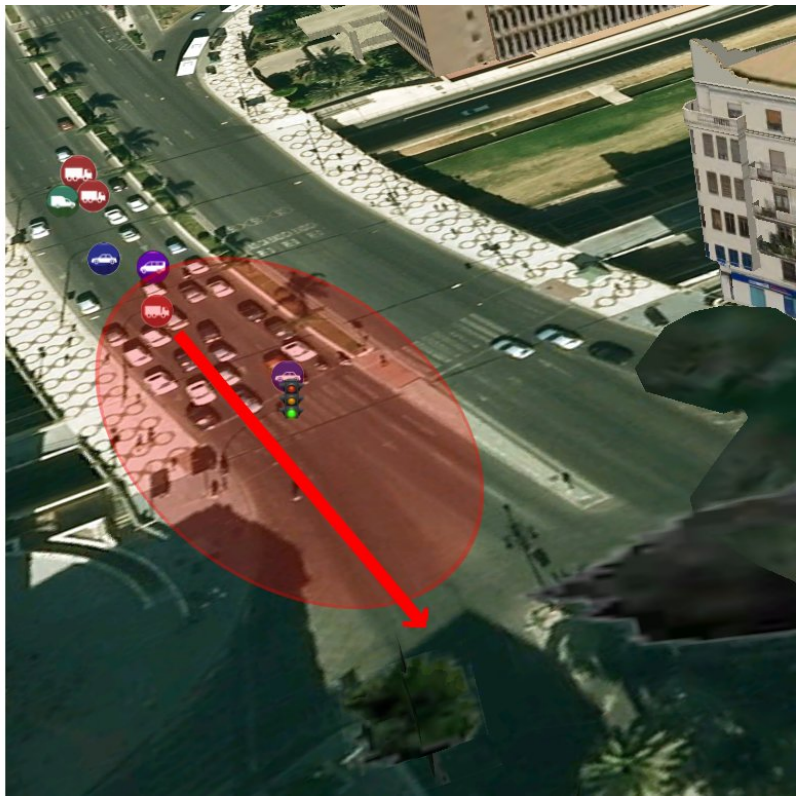
Solución de los Expertos



Red Swarm

Ejemplo de cambio de ruta

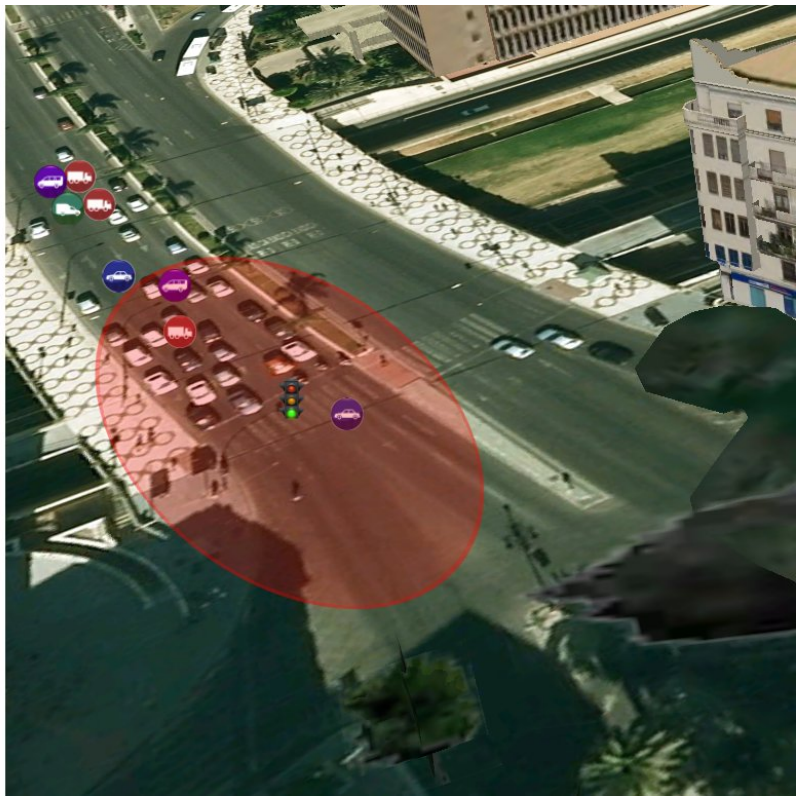
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

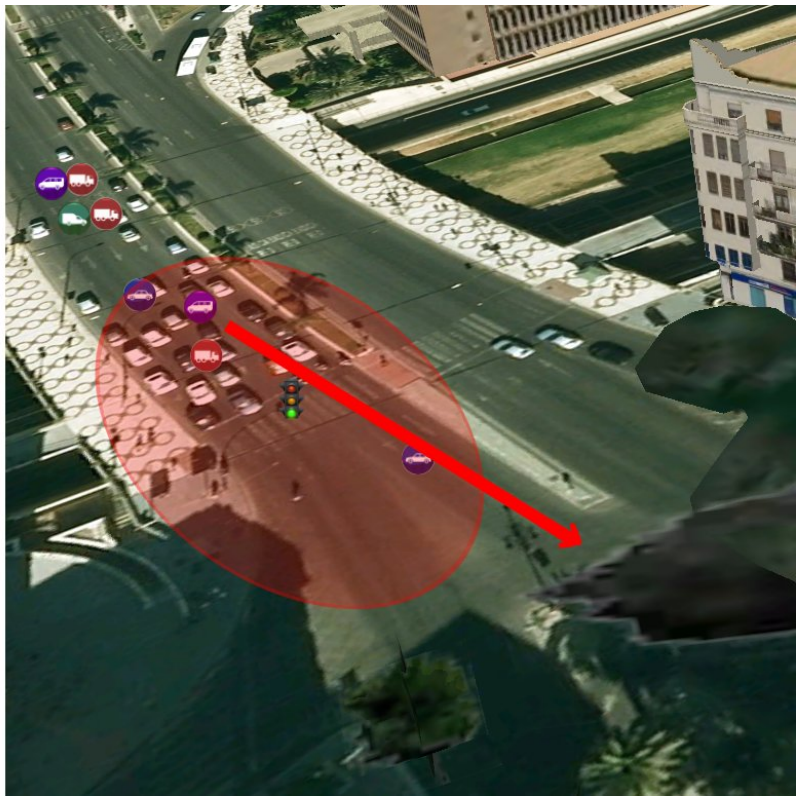
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

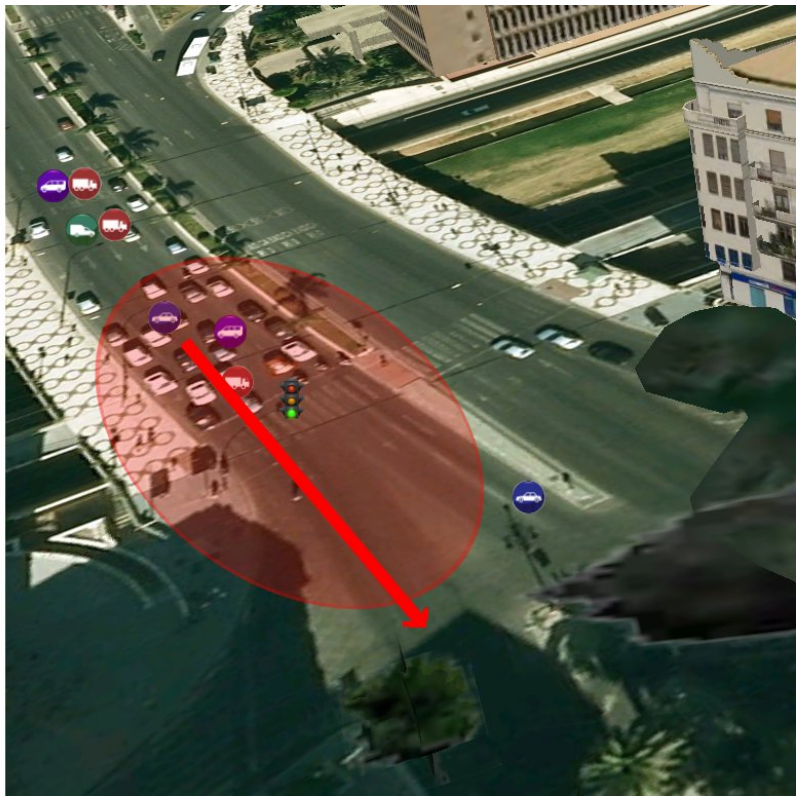
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

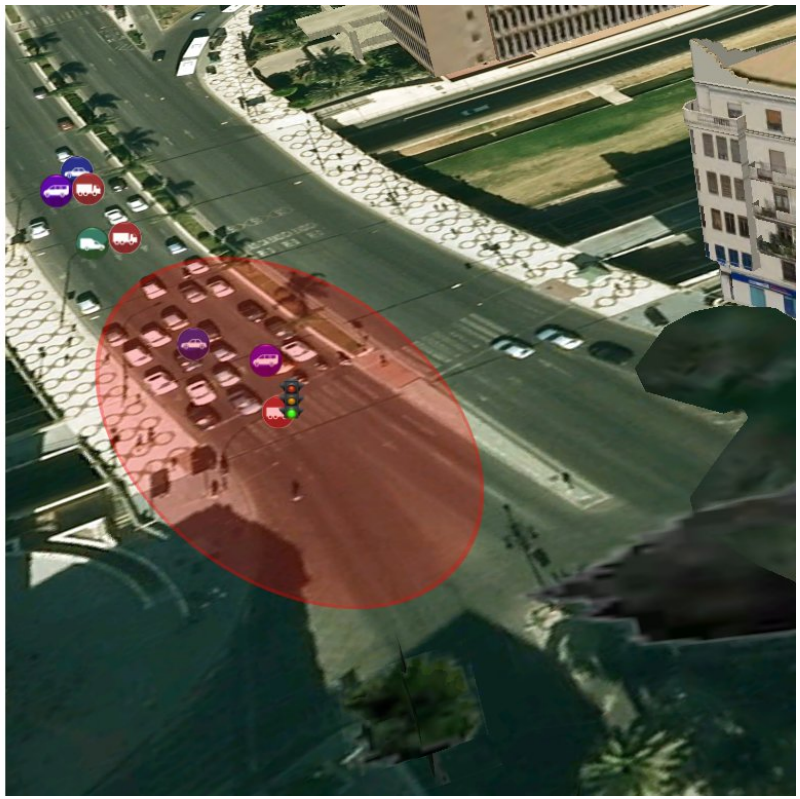
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

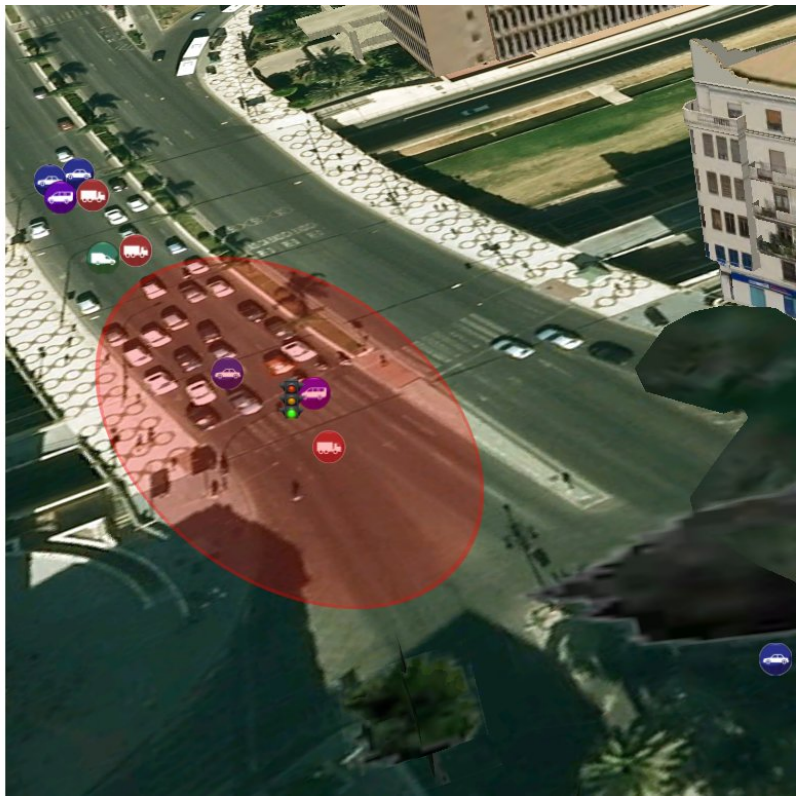
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

Solución de los Expertos



Red Swarm

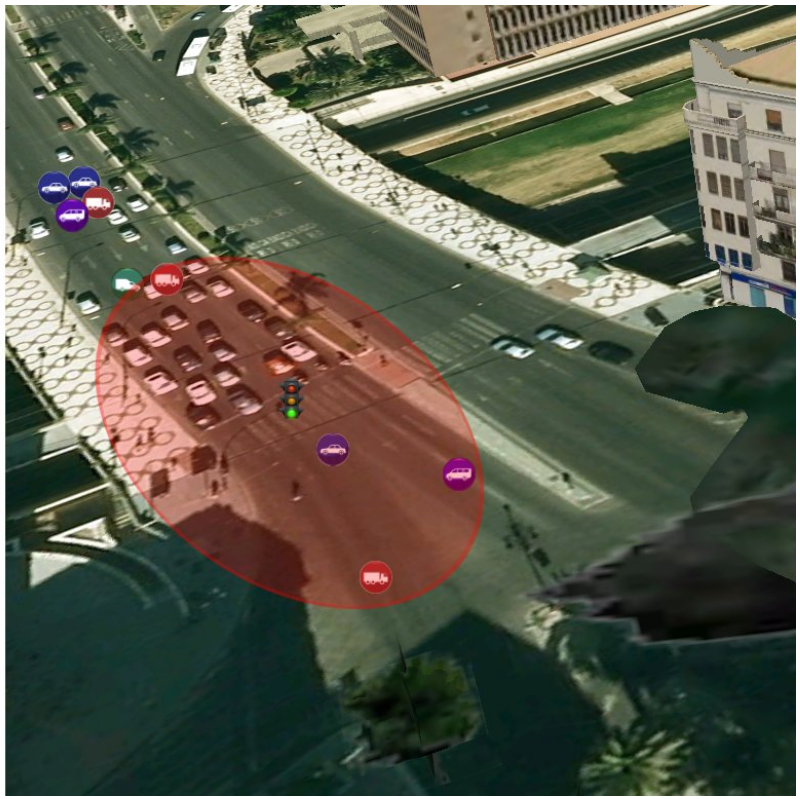
EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

Solución de los Expertos

Red Swarm

Ejemplo de cambio de ruta

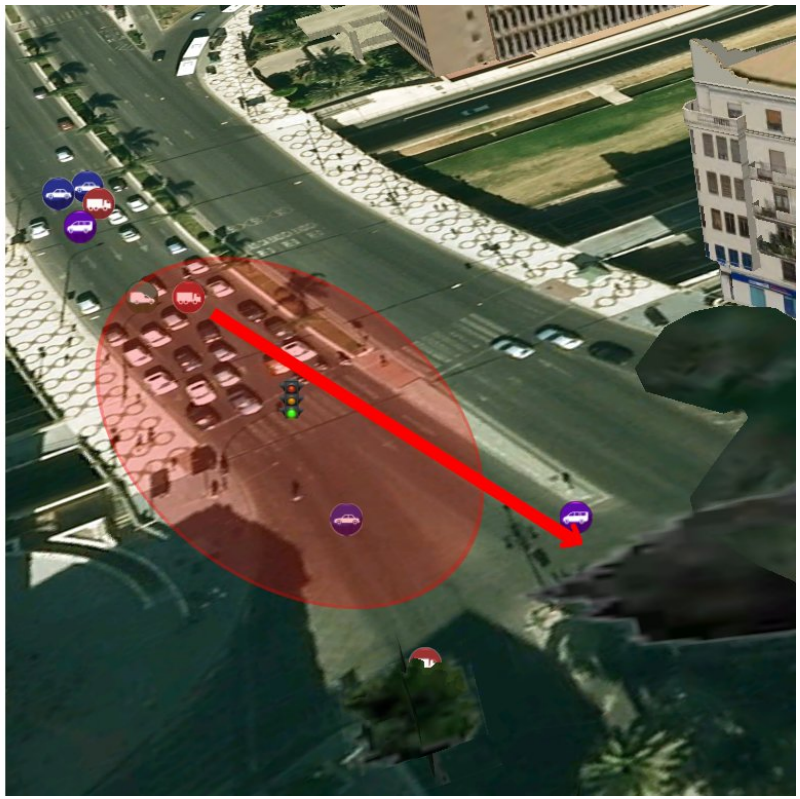
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

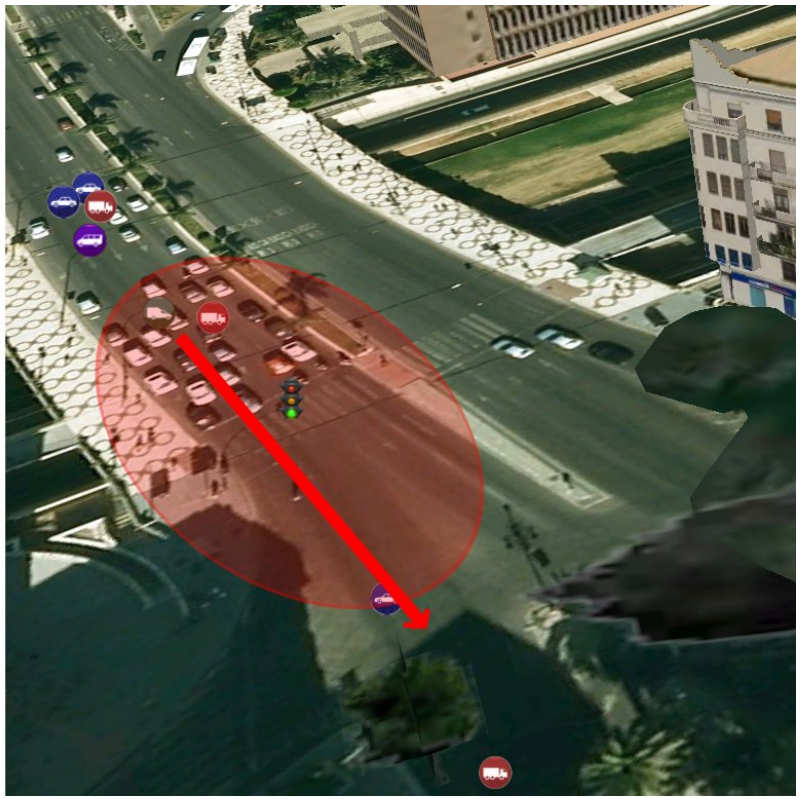
Solución de los Expertos



Red Swarm

Ejemplo de cambio de ruta

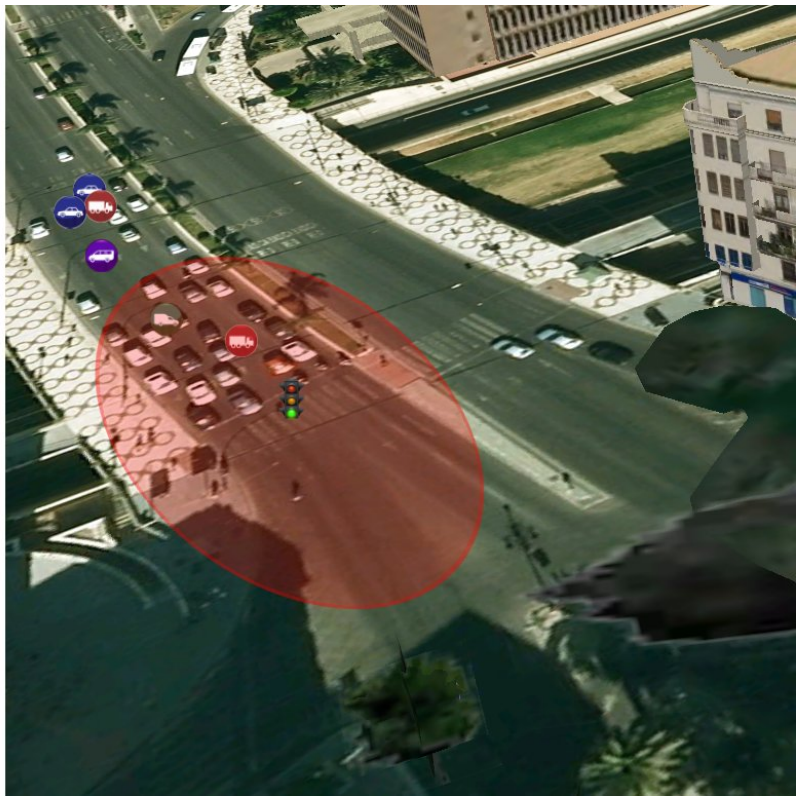
Solución de los Expertos



Red Swarm

EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

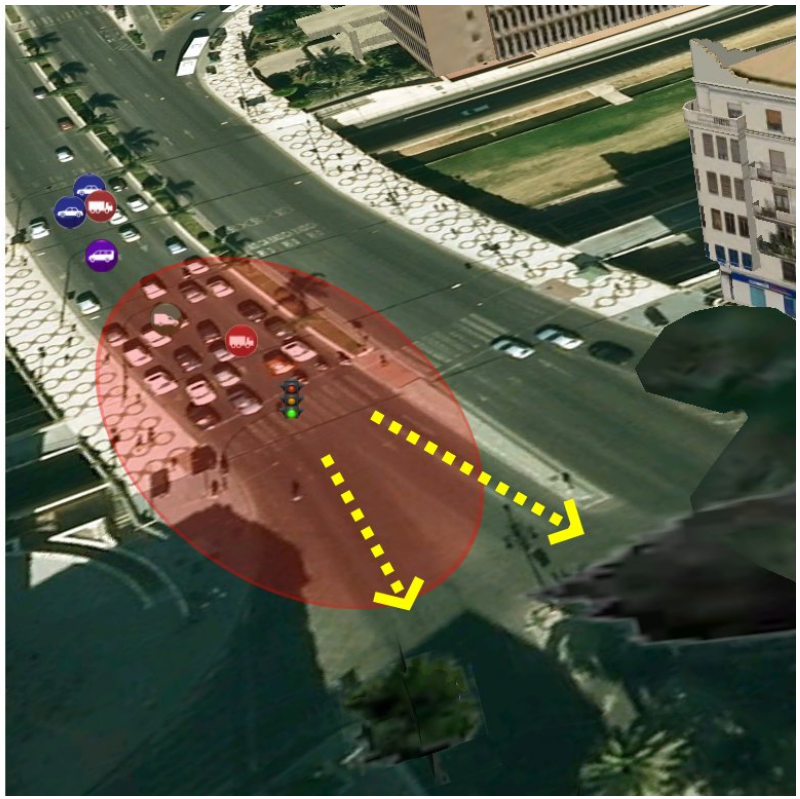
Solución de los Expertos



Red Swarm

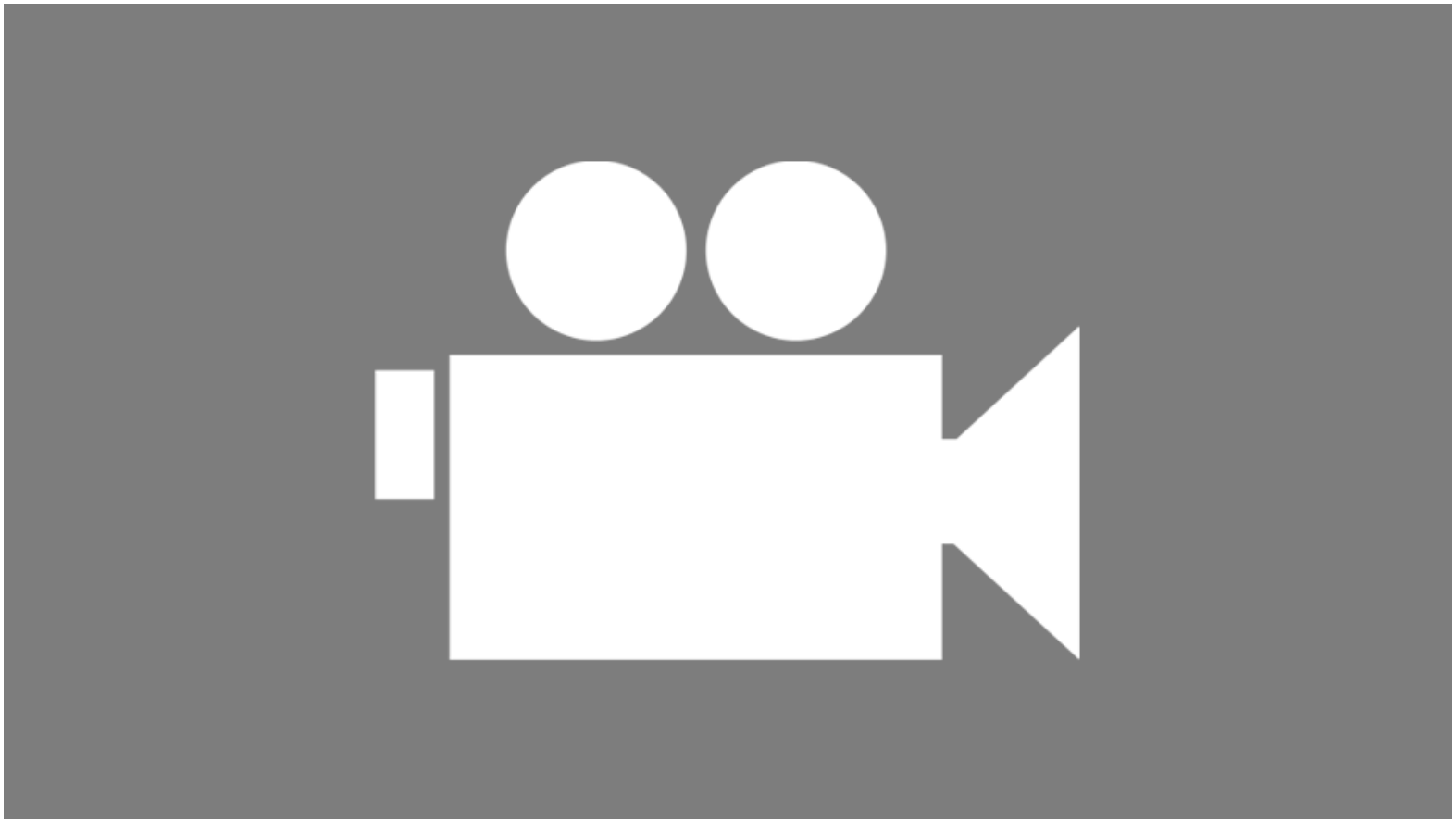
EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA

Solución de los Expertos



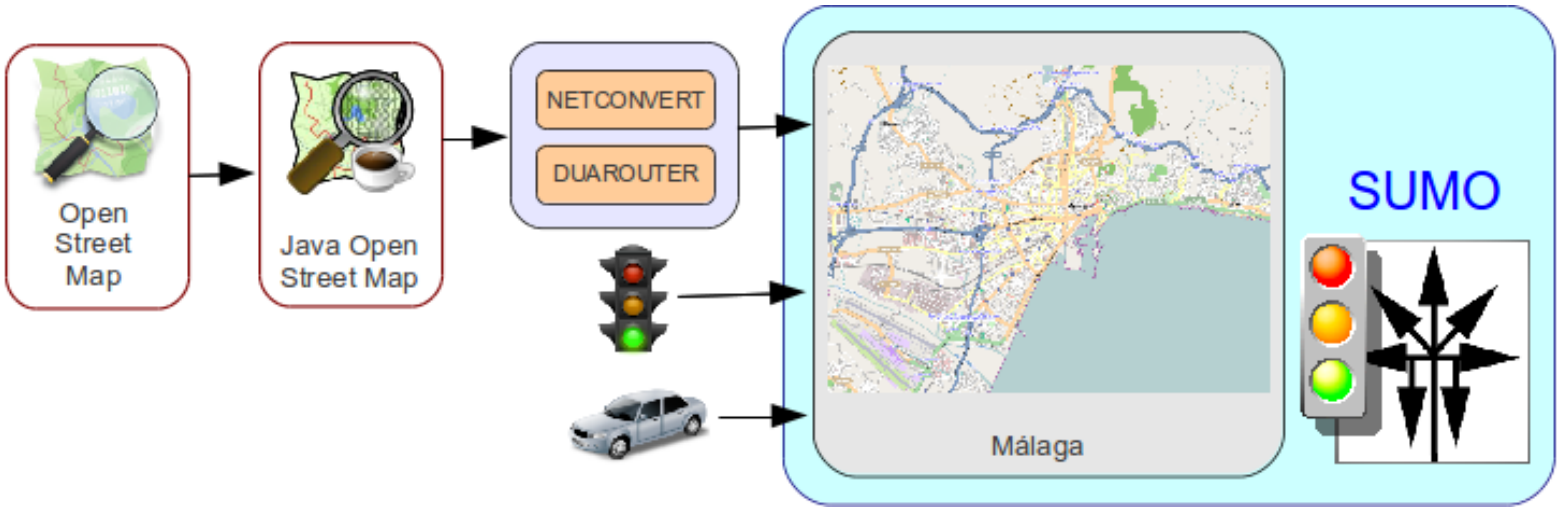
Red Swarm

VÍDEO: EJEMPLO DE CAMBIO DE RUTA (SUMO)



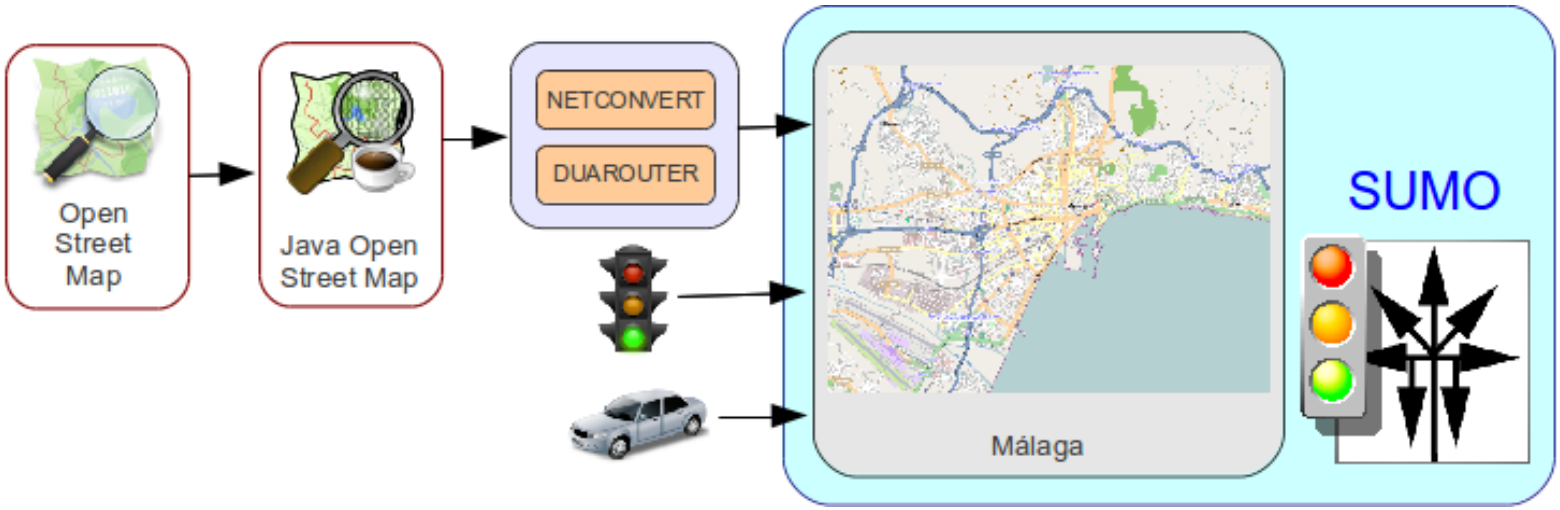
Construcción del escenario: Metodología

- Trabajamos con mapas **reales** importados desde OpenStreetMap
- Añadimos 10 *spots* Red Swarm en intersecciones con semáforos
- Importamos el mapa en SUMO
- Definimos los flujos de tráfico (solución de los expertos)
- Este proceso puede adaptarse a cualquier ciudad moderna del mundo



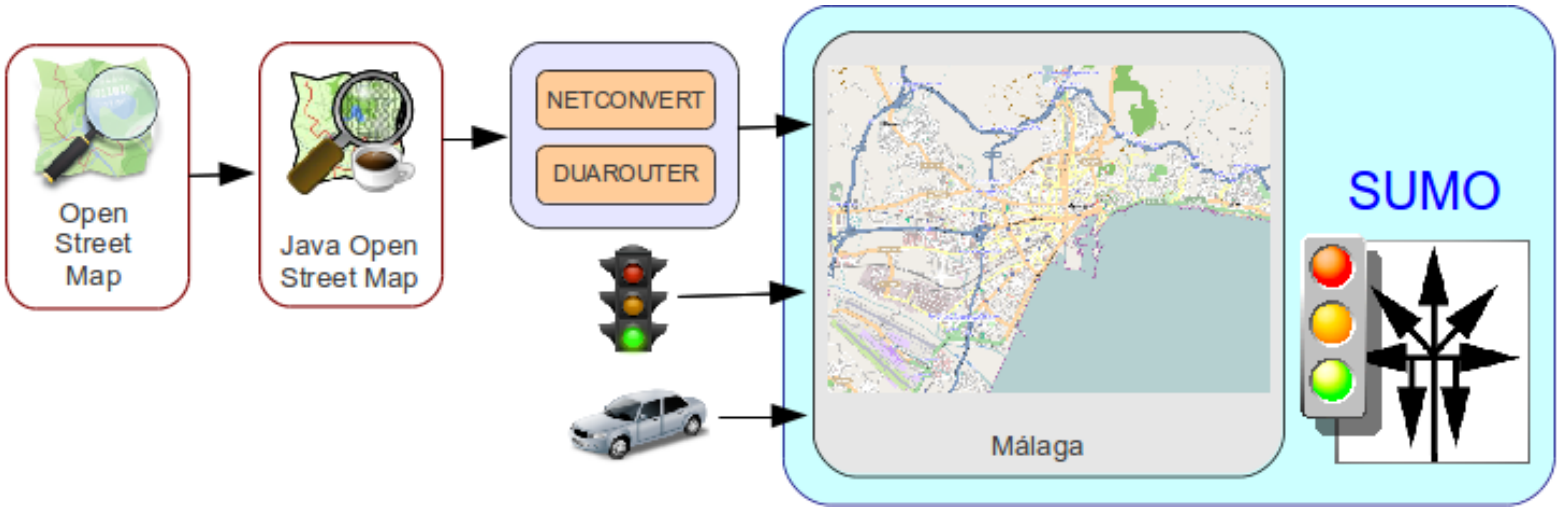
Construcción del escenario: Metodología

- Trabajamos con mapas **reales** importados desde OpenStreetMap
- Añadimos 10 *spots* Red Swarm en intersecciones con semáforos
- Importamos el mapa en SUMO
- Definimos los flujos de tráfico (solución de los expertos)
- Este proceso puede adaptarse a cualquier ciudad moderna del mundo



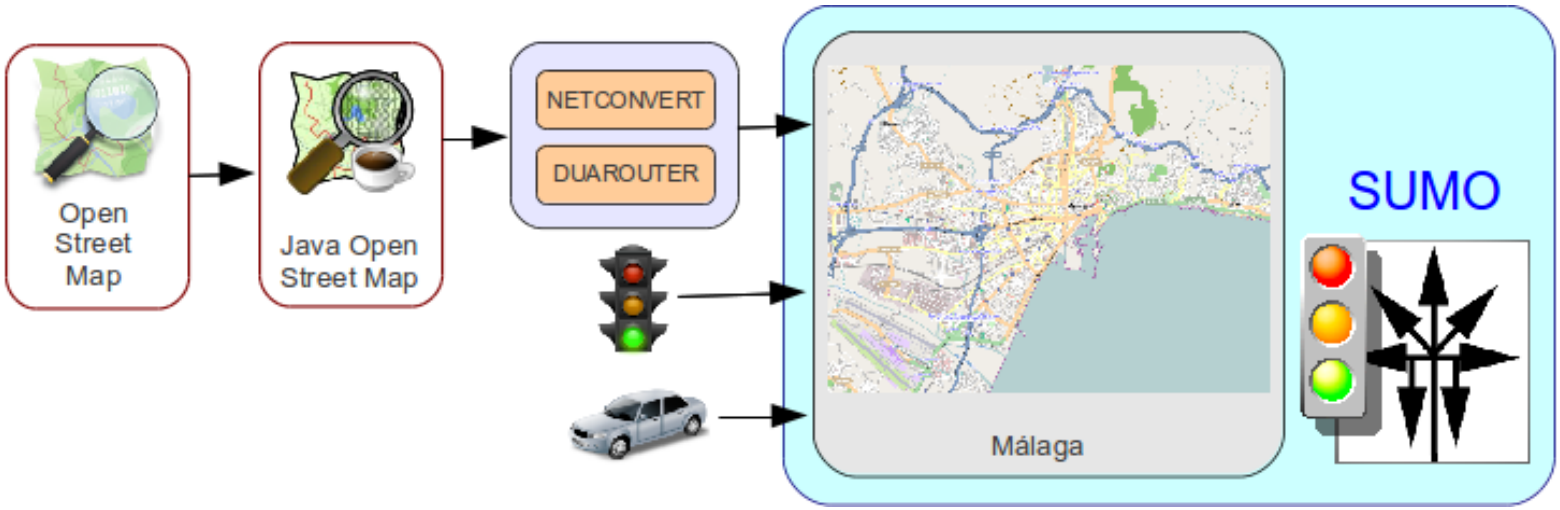
Construcción del escenario: Metodología

- Trabajamos con mapas **reales** importados desde OpenStreetMap
- Añadimos 10 *spots* Red Swarm en intersecciones con semáforos
- Importamos el mapa en SUMO
- Definimos los flujos de tráfico (solución de los expertos)
- Este proceso puede adaptarse a cualquier ciudad moderna del mundo



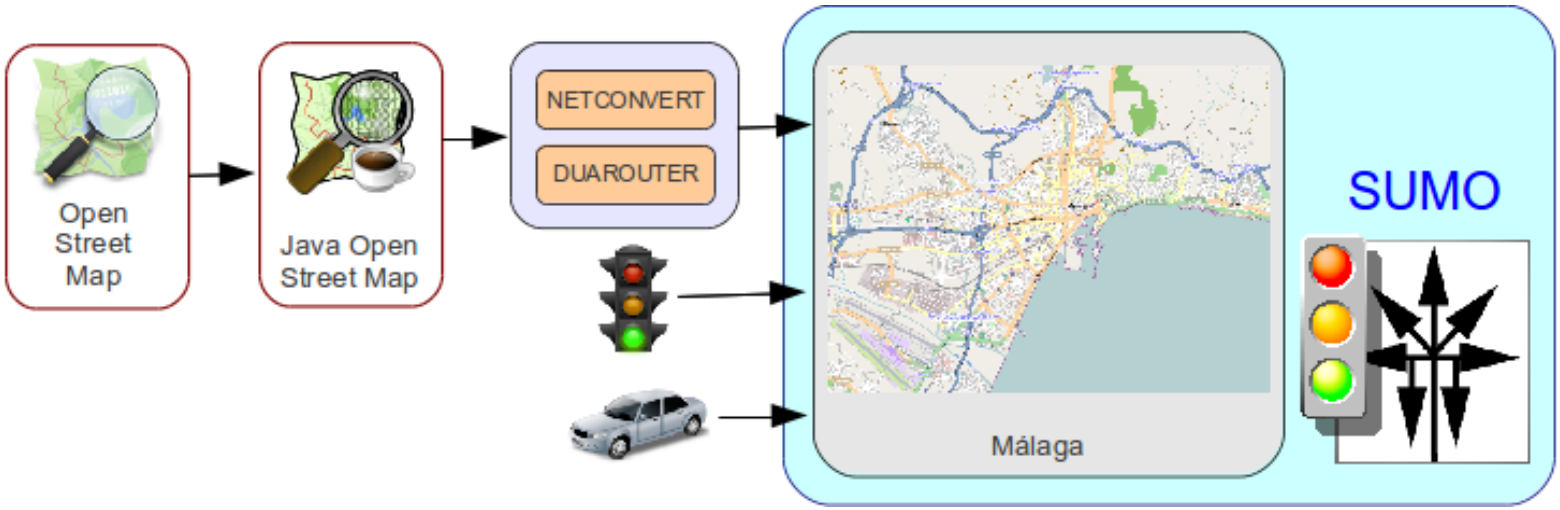
Construcción del escenario: Metodología

- Trabajamos con mapas **reales** importados desde OpenStreetMap
- Añadimos 10 *spots* Red Swarm en intersecciones con semáforos
- Importamos el mapa en SUMO
- Definimos los flujos de tráfico (solución de los expertos)
- Este proceso puede adaptarse a cualquier ciudad moderna del mundo



Construcción del escenario: Metodología

- Trabajamos con mapas **reales** importados desde OpenStreetMap
- Añadimos 10 *spots* Red Swarm en intersecciones con semáforos
- Importamos el mapa en SUMO
- Definimos los flujos de tráfico (solución de los expertos)
- Este proceso puede adaptarse a cualquier ciudad moderna del mundo



Escenario de trabajo: Málaga

Málaga (trazado urbano real)

- 261 semáforos
- 10 *spots* Red Swarm
- 800 vehículos
- 4 tipos de vehículos

Escenario de trabajo: Málaga

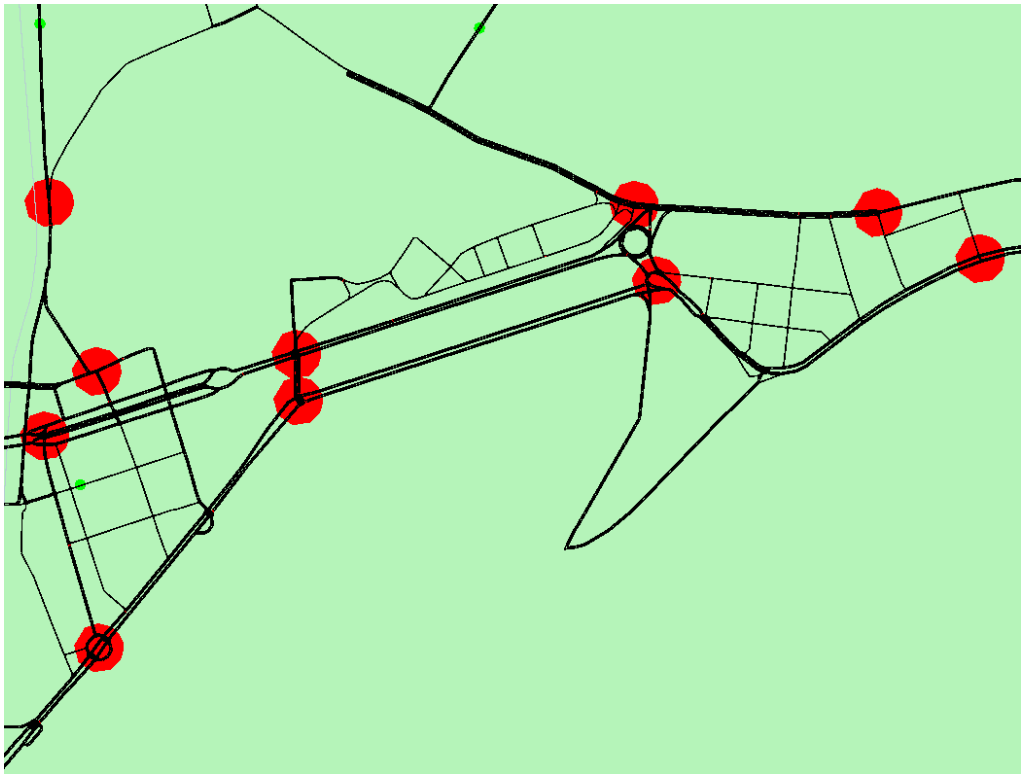
Málaga (trazado urbano real)

- 261 semáforos
- 10 *spots* Red Swarm
- 800 vehículos
- 4 tipos de vehículos

Escenario de trabajo: Málaga

Málaga (trazado urbano real)

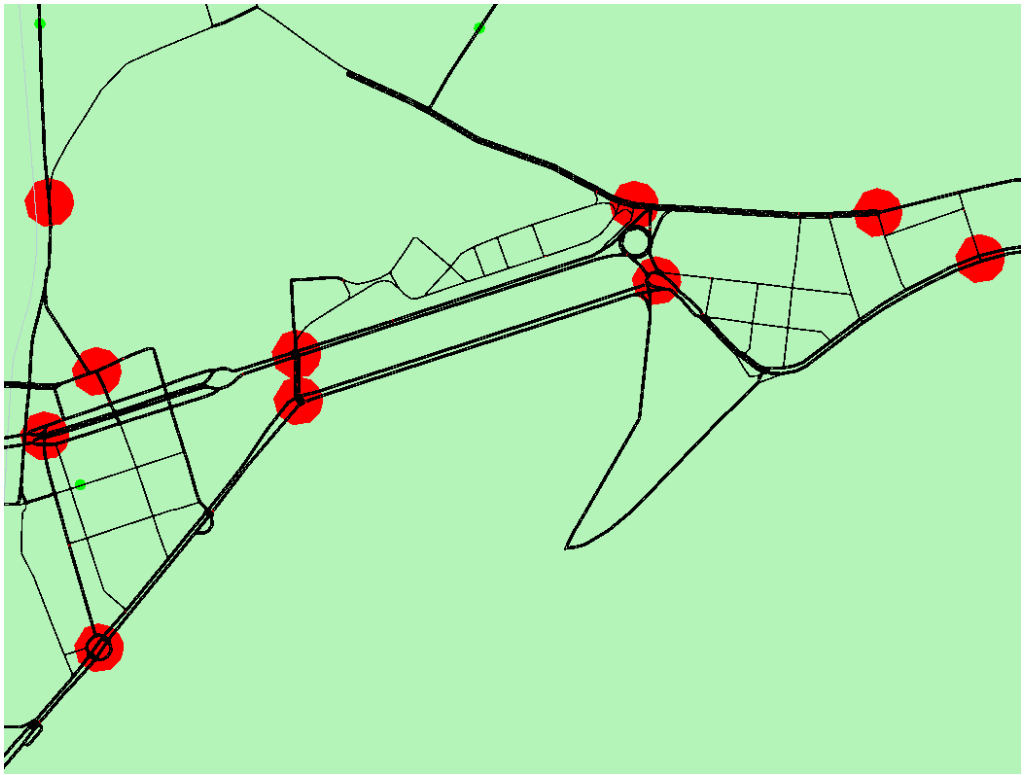
- 261 semáforos
- 10 *spots* Red Swarm
- 800 vehículos
- 4 tipos de vehículos



Escenario de trabajo: Málaga

Málaga (trazado urbano real)

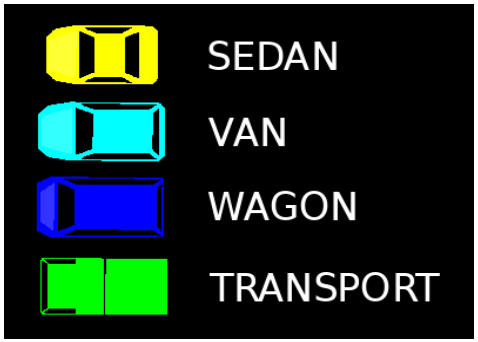
- 261 semáforos
- 10 *spots* Red Swarm
- 800 vehículos
- 4 tipos de vehículos

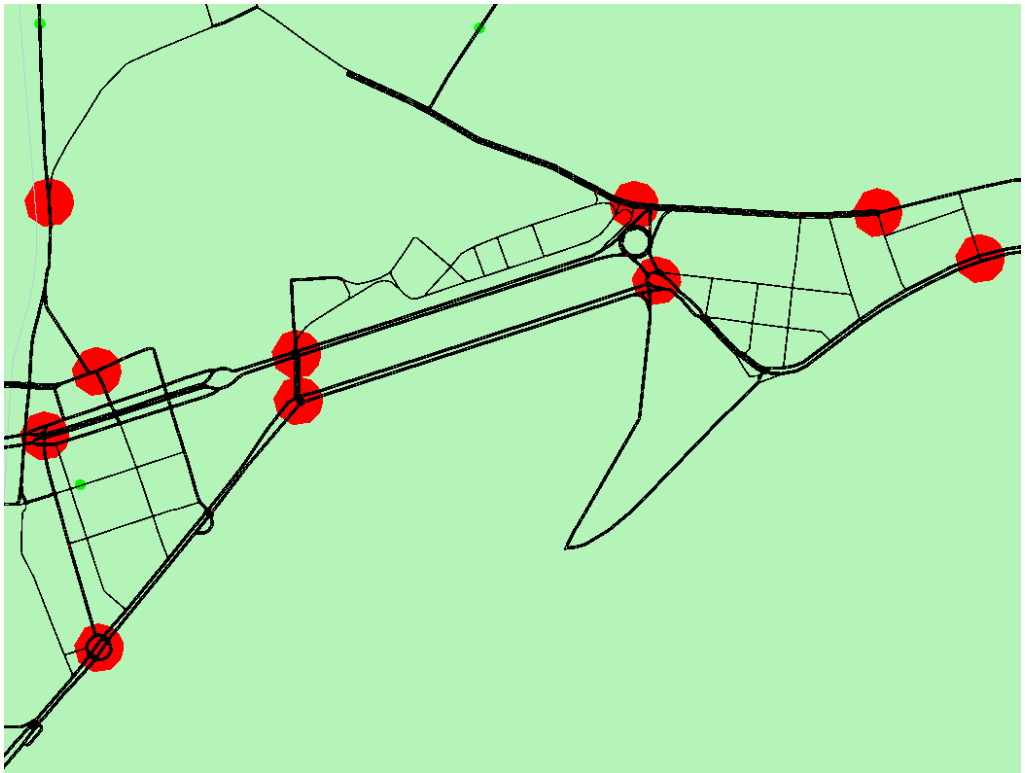


Escenario de trabajo: Málaga

Málaga (trazado urbano real)

- 261 semáforos
- 10 *spots* Red Swarm
- 800 vehículos
- 4 tipos de vehículos





ESCENARIO DE TRABAJO: MÁLAGA

Málaga (trazado urbano real)

Nuestro objetivo es reducir las emisiones de gases mediante el aumento de la fluidez del tráfico rodado y la supresión de atascos

Algoritmo Evolutivo

- (10+2)-EA
- Cálculo de fitness utilizando el simulador de tráfico SUMO
- El cambio de ruta que realizan los *spots* se encuentra implementado por la API TraCI
- El resultado del algoritmo evolutivo es la configuración para todos los *spots* Red Swarm ubicados en la ciudad

Algoritmo Evolutivo

Algoritmo Evolutivo

- (10+2)-EA
- Cálculo de fitness utilizando el simulador de tráfico SUMO
- El cambio de ruta que realizan los *spots* se encuentra implementado por la API TraCI
- El resultado del algoritmo evolutivo es la configuración para todos los *spots* Red Swarm ubicados en la ciudad

Algoritmo Evolutivo

Algoritmo Evolutivo

- (10+2)-EA
- Cálculo de fitness utilizando el simulador de tráfico SUMO
- El cambio de ruta que realizan los *spots* se encuentra implementado por la API TraCI
- El resultado del algoritmo evolutivo es la configuración para todos los *spots* Red Swarm ubicados en la ciudad

Algoritmo Evolutivo

Algoritmo Evolutivo

- (10+2)-EA
- Cálculo de fitness utilizando el simulador de tráfico SUMO
- El cambio de ruta que realizan los *spots* se encuentra implementado por la API TraCI
- El resultado del algoritmo evolutivo es la configuración para todos los *spots* Red Swarm ubicados en la ciudad

Algoritmo Evolutivo

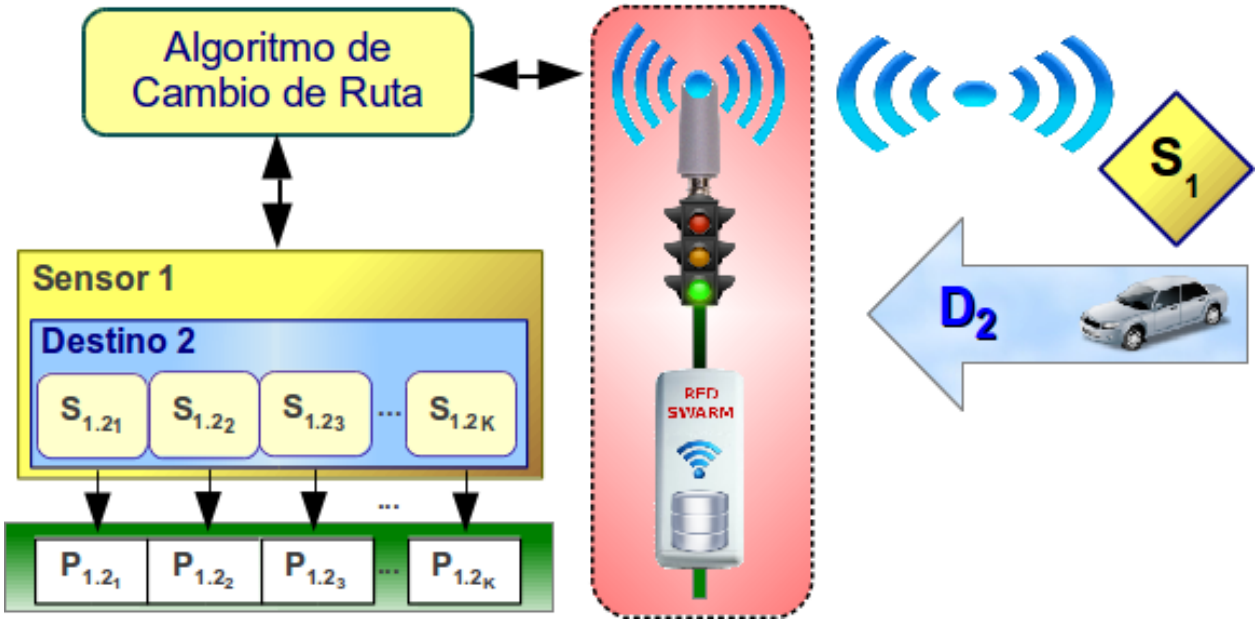
Algoritmo Evolutivo

- (10+2)-EA
- Cálculo de fitness utilizando el simulador de tráfico SUMO
- El cambio de ruta que realizan los *spots* se encuentra implementado por la API TraCI
- El resultado del algoritmo evolutivo es la configuración para todos los *spots* Red Swarm ubicados en la ciudad

Algoritmo Evolutivo

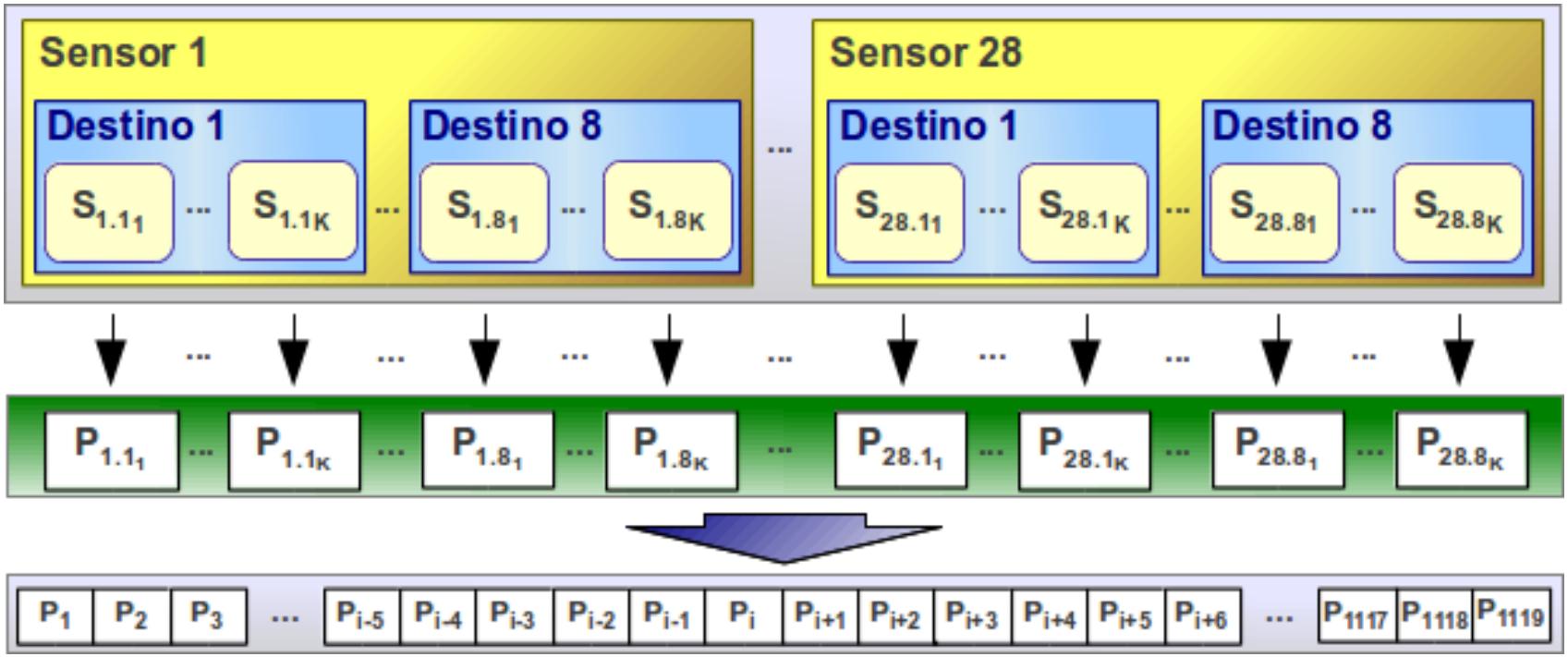
ALGORITMO EVOLUTIVO: REPRESENTACIÓN

Si un vehículo que se dirige hacia el **Destino 2** es detectado por el **Sensor 1** se le sugerirá como punto de paso en su ruta, uno de los posibles sensores alcanzables desde el **Sensor 1**, el cual se seleccionará según los valores de probabilidad almacenados en el vector solución



Algoritmo Evolutivo: Representación

Al tener 28 sensores en nuestro escenario y 8 destinos diferentes el vector de probabilidades está compuesto de 1119 *floats* lo que nos da una idea de la complejidad de este problema.



Algoritmo Evolutivo: Función de Fitness

Función de fitness

$$F = \omega_1(N - n_{trips}) + \omega_2 \frac{\sum CO_{trip}}{N}$$

- N: Número total de vehículos (800)
- n_{trips}: Número de vehículos que finalizan su itinerario
- CO_{trip}: Total CO emitido por el vehículo durante su desplazamiento
- ω_1 y ω_2: Pesos relativos de cada término

Nuestro objetivo es minimizar el valor de la función de fitness

Algoritmo Evolutivo: Función de Fitness

Función de fitness

$$F = \omega_1 (N - n_{trips}) + \omega_2 \frac{\sum CO_{trip}}{N}$$

- N: Número total de vehículos (800)
- n_{trips}: Número de vehículos que finalizan su itinerario
- CO_{trip}: Total CO emitido por el vehículo durante su desplazamiento
- ω_1 y ω_2: Pesos relativos de cada término

Nuestro objetivo es minimizar el valor de la función de fitness

Algoritmo Evolutivo: Función de Fitness

Función de fitness

$$F = \omega_1(N - n_{trips}) + \omega_2 \frac{\sum CO_{trip}}{N}$$

- N: Número total de vehículos (800)
- n_{trips}: Número de vehículos que finalizan su itinerario
- CO_{trip}: Total CO emitido por el vehículo durante su desplazamiento
- ω_1 y ω_2: Pesos relativos de cada término

Nuestro objetivo es minimizar el valor de la función de fitness

Algoritmo Evolutivo: Recombinación

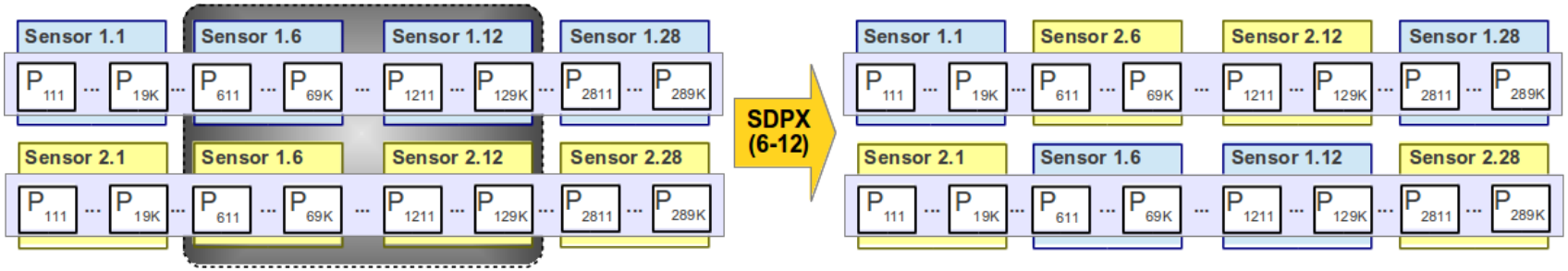
Operador de Recombinación: SDPX

- Hemos utilizado el operador de cruce de dos puntos estándar
- Los descendientes se obtienen intercambiando entre los padres los bloques de configuración de los sensores en los puntos de cruce

Algoritmo Evolutivo: Recombinación

Operador de Recombinación: SDPX

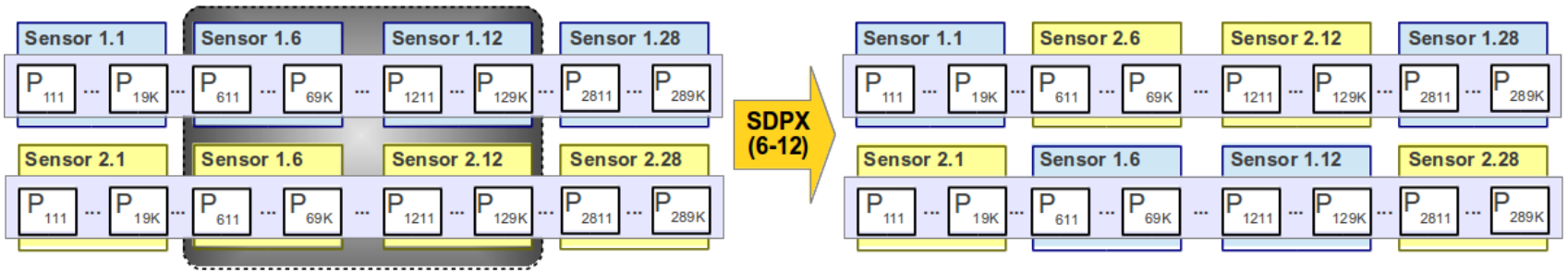
- Hemos utilizado el operador de cruce de dos puntos estándar
- Los descendientes se obtienen intercambiando entre los padres los bloques de configuración de los sensores en los puntos de cruce



Algoritmo Evolutivo: Recombinación

Operador de Recombinación: SDPX

- Hemos utilizado el operador de cruce de dos puntos estándar
- Los descendientes se obtienen intercambiando entre los padres los bloques de configuración de los sensores en los puntos de cruce



Algoritmo Evolutivo: Mutación

Dos Operadores de Mutación:

1. *ADOS*: Todos los bloques destino de un sensor (exploración)
2. *ODOS*: Un bloque destino de un sensor (explotación)

Modifican las probabilidades en los bloques de configuración

ALGORITMO EVOLUTIVO: MUTACIÓN

Dos Operadores de Mutación:

1. *ADOS*: Todos los bloques destino de un sensor (exploración)
2. *ODOS*: Un bloque destino de un sensor (explotación)

Modifican las probabilidades en los bloques de configuración

Algoritmo Evolutivo: Mutación

Dos Operadores de Mutación:

1. *ADOS*: Todos los bloques destino de un sensor (exploración)

2. *ODOS*: Un bloque destino de un sensor (explotación)

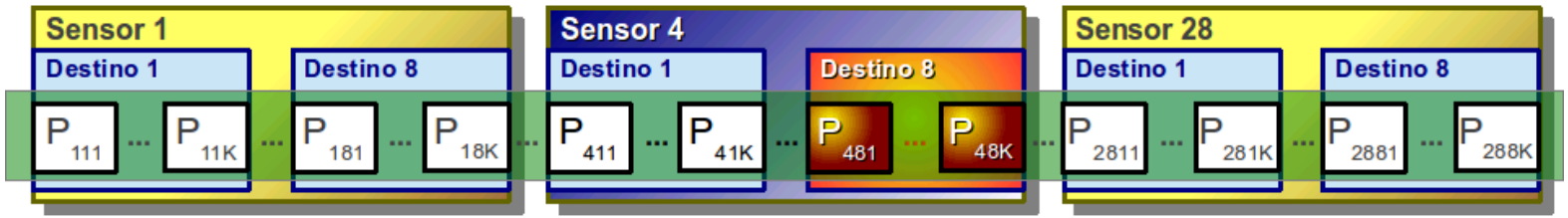
Modifican las probabilidades en los bloques de configuración

Algoritmo Evolutivo: Mutación

Dos Operadores de Mutación:

1. *ADOS*: Todos los bloques destino de un sensor (exploración)

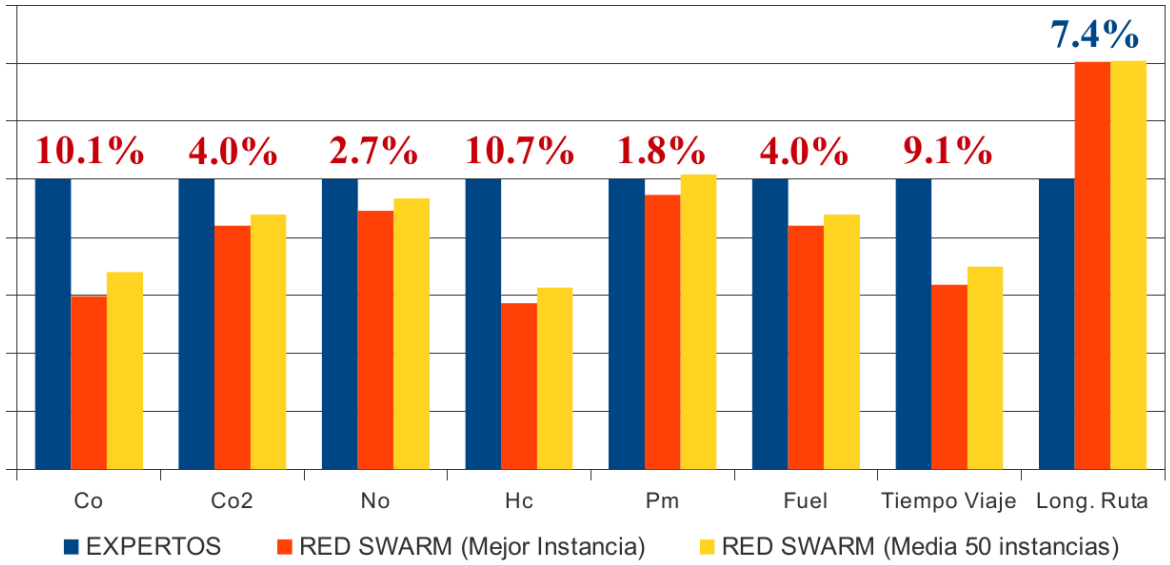
2. *ODOS*: Un bloque destino de un sensor (explotación)



Modifican las probabilidades en los bloques de configuración

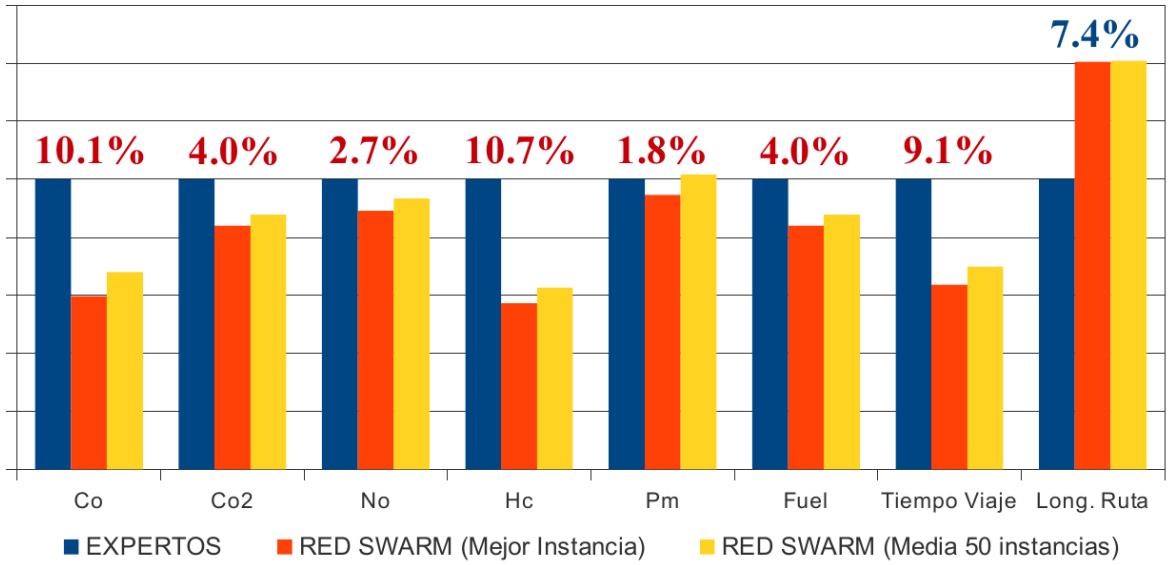
RESULTADOS

- Utilizando **Red Swarm**, los vehículos han reducido no sólo las emisiones de *CO*, si no también las de CO_2, *NOx*, *Hc*, *Pm*
- Además ha disminuido el tiempo medio de viaje y el consumo de carburante con un mínimo aumento de las distancias recorridas
- Por lo tanto en esta zona se emitirán 145 Kg. menos de CO_2 al año
- Y se ahorrarán 96000 € anuales en combustible



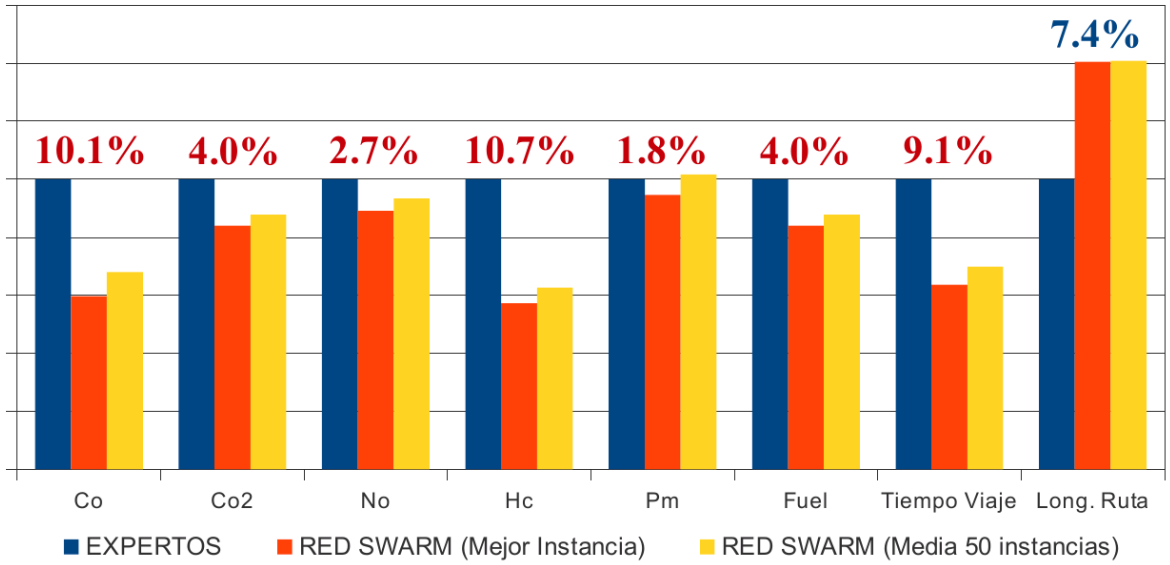
RESULTADOS

- Utilizando **Red Swarm**, los vehículos han reducido no sólo las emisiones de *CO*, si no también las de CO_2, *NOx*, *Hc*, *Pm*
- Además ha disminuido el tiempo medio de viaje y el consumo de carburante con un mínimo aumento de las distancias recorridas
- Por lo tanto en esta zona se emitirán 145 Kg. menos de CO_2 al año
- Y se ahorrarán 96000 € anuales en combustible



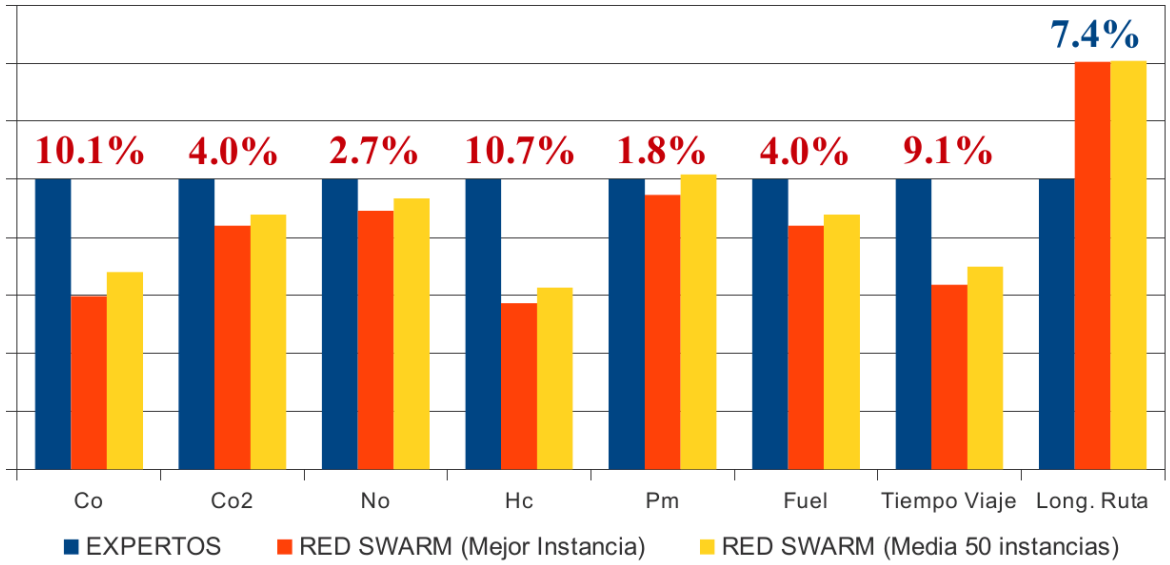
RESULTADOS

- Utilizando **Red Swarm**, los vehículos han reducido no sólo las emisiones de *CO*, si no también las de CO_2, *NOx*, *Hc*, *Pm*
- Además ha disminuido el tiempo medio de viaje y el consumo de carburante con un mínimo aumento de las distancias recorridas
- Por lo tanto en esta zona se emitirán 145 Kg. menos de CO_2 al año
- Y se ahorrarán 96000 € anuales en combustible



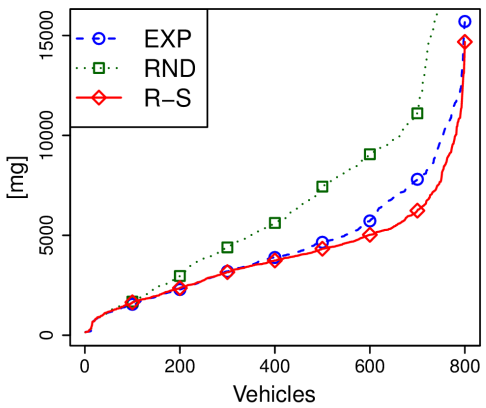
RESULTADOS

- Utilizando **Red Swarm**, los vehículos han reducido no sólo las emisiones de *CO*, si no también las de CO_2, *NOx*, *Hc*, *Pm*
- Además ha disminuido el tiempo medio de viaje y el consumo de carburante con un mínimo aumento de las distancias recorridas
- Por lo tanto en esta zona se emitirán 145 Kg. menos de CO_2 al año
- Y se ahorrarán 96000 € anuales en combustible

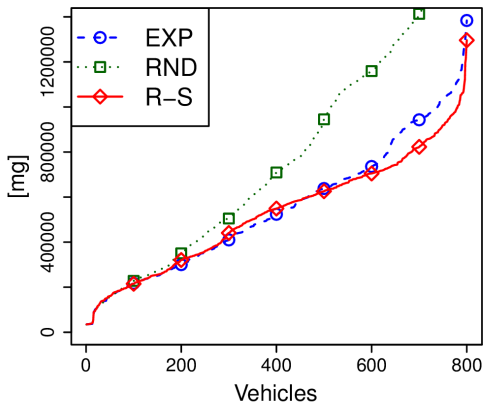


Resultados: Gráficas

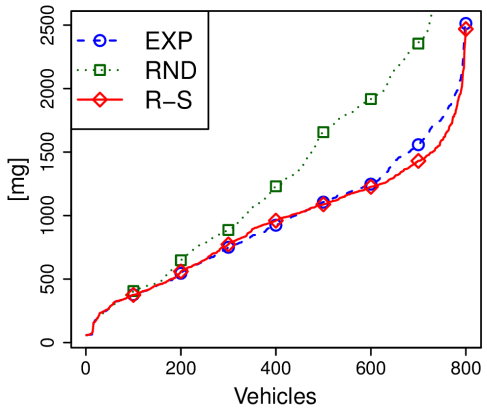
RESULTADOS: GRÁFICAS



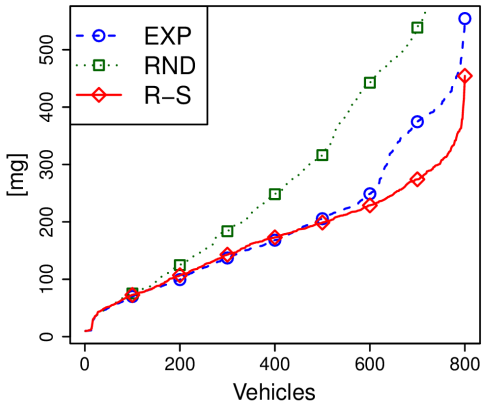
CO



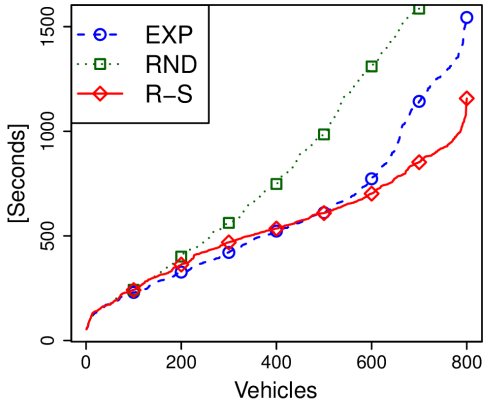
CO2



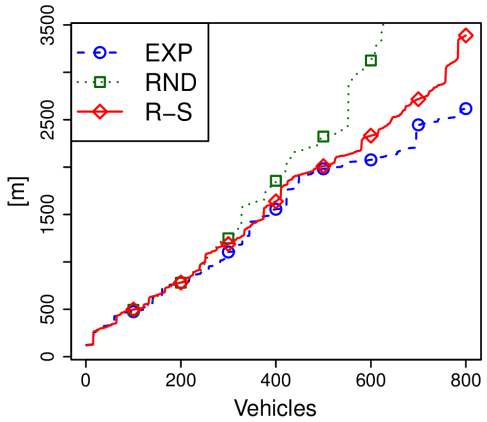
NOx



Hc



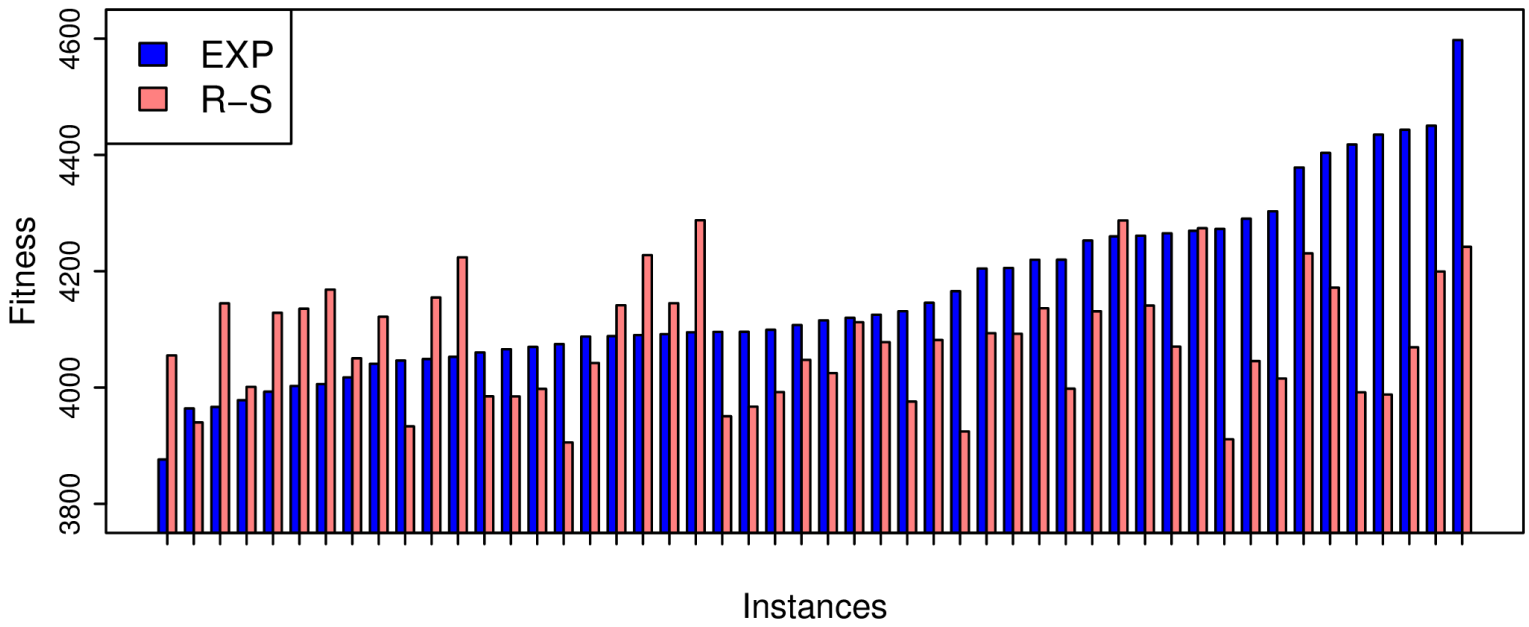
Tiempo de Viaje



Longitud de Ruta

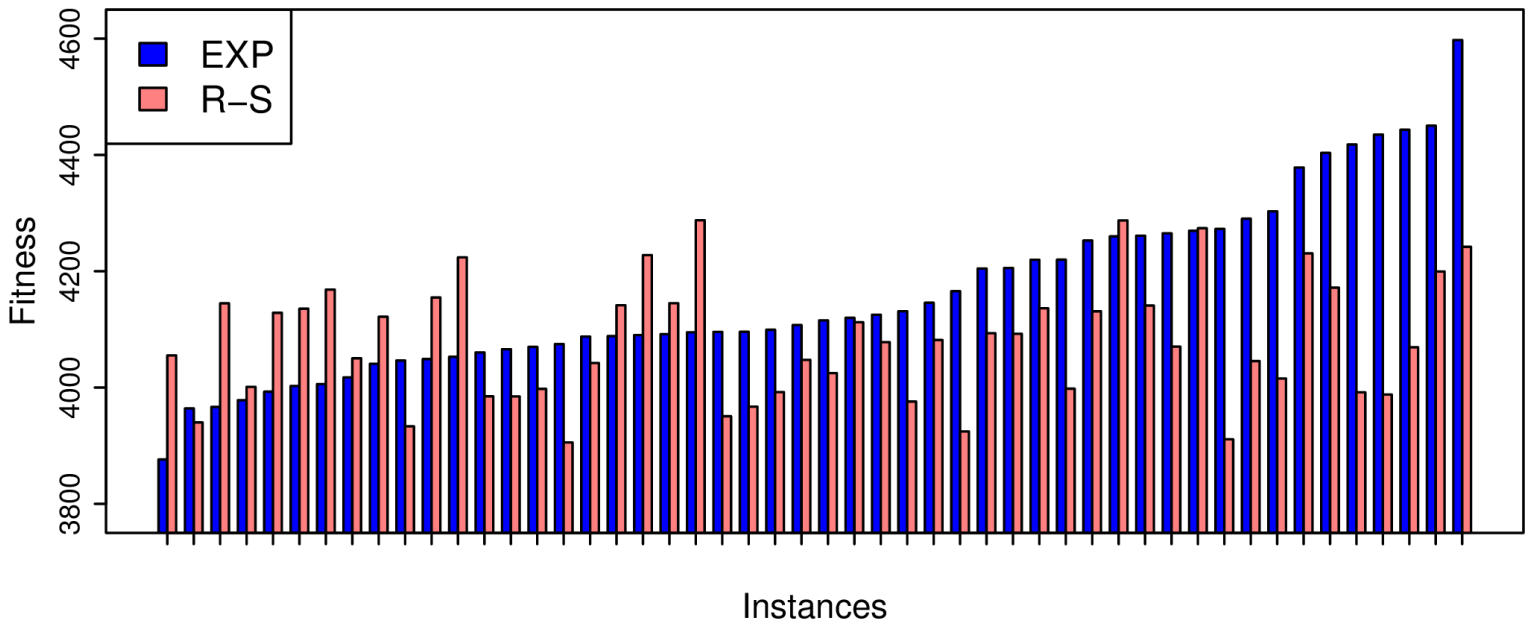
Resultados para 50 instancias

- Esta figura presenta los valores de fitness de la ejecución de **Red Swarm** en 50 instancias diferentes
- **Red Swarm** no sólo ha funcionado correctamente en todas ellas, si no que también ha obtenido mejores resultados en 34 de ellas (68 %)

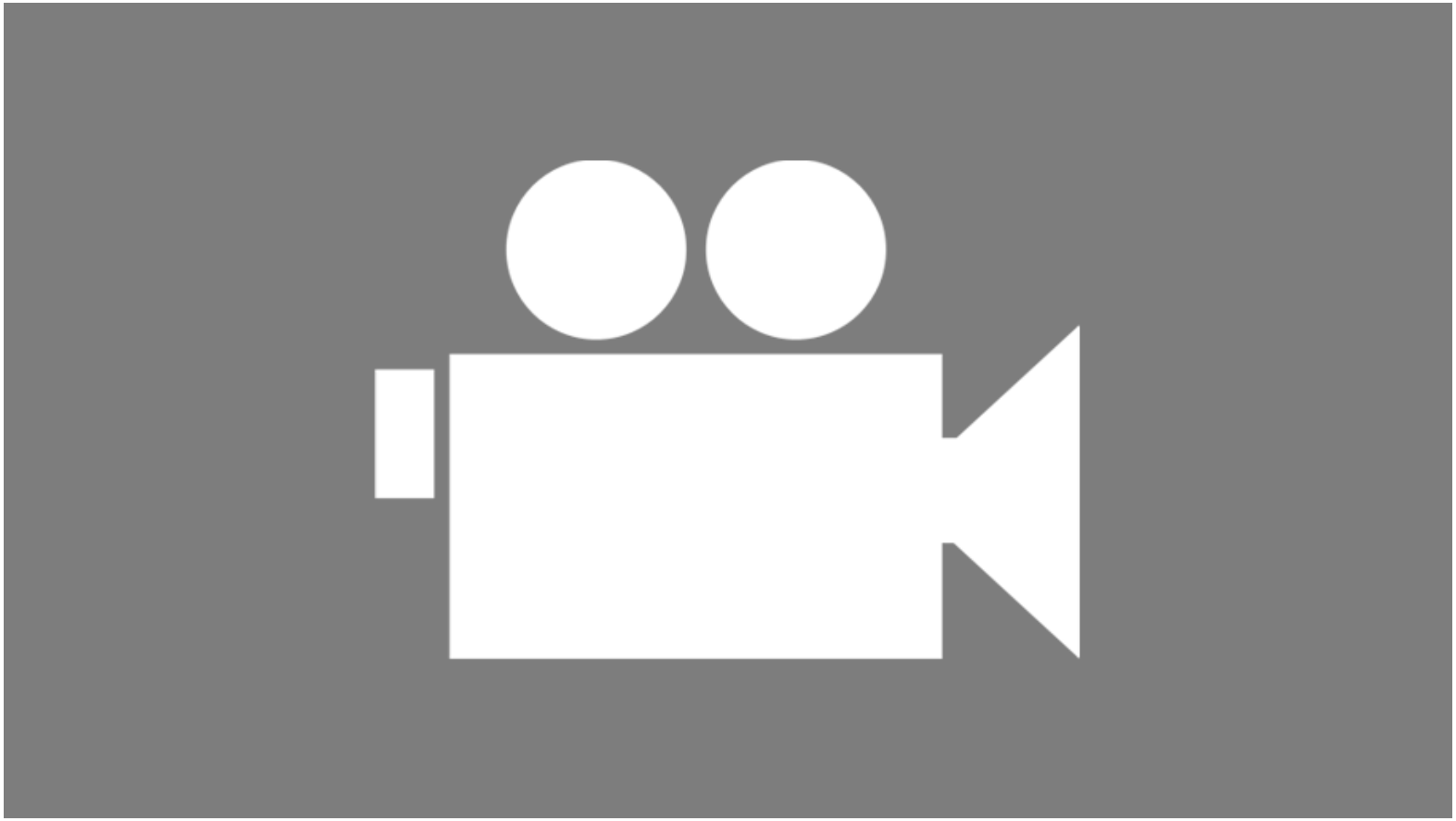


Resultados para 50 instancias

- Esta figura presenta los valores de fitness de la ejecución de **Red Swarm** en 50 instancias diferentes
- **Red Swarm** no sólo ha funcionado correctamente en todas ellas, si no que también ha obtenido mejores resultados en 34 de ellas (68 %)



VÍDEO: REDUCCIÓN DE LOS ATASCOS (SUMO)



Conclusiones y Trabajo Futuro

- En este trabajo hemos aplicado nuestra arquitectura **Red Swarm** al problema de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Los resultados presentan una reducción de hasta el 10.1 % en las emisiones de CO, 4.0 % en CO_2, etc.
- Además se mantiene la principal característica de **Red Swarm** que es la reducción de los tiempos de viaje (hasta 9.1 %)
- Como trabajo futuro nos planteamos:

Conclusiones y Trabajo Futuro

- En este trabajo hemos aplicado nuestra arquitectura **Red Swarm** al problema de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Los resultados presentan una reducción de hasta el 10.1 % en las emisiones de CO, 4.0 % en CO_2, etc.
- Además se mantiene la principal característica de **Red Swarm** que es la reducción de los tiempos de viaje (hasta 9.1 %)
- Como trabajo futuro nos planteamos:

Conclusiones y Trabajo Futuro

- En este trabajo hemos aplicado nuestra arquitectura **Red Swarm** al problema de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Los resultados presentan una reducción de hasta el 10.1 % en las emisiones de CO, 4.0 % en CO_2, etc.
- Además se mantiene la principal característica de **Red Swarm** que es la reducción de los tiempos de viaje (hasta 9.1 %)
- Como trabajo futuro nos planteamos:
  - La extensión del área analizada
  - El empleo de otras técnicas bioinspiradas en el proceso de optimización
  - Abordar la optimización multiobjetivo de nuestros escenarios

Conclusiones y Trabajo Futuro

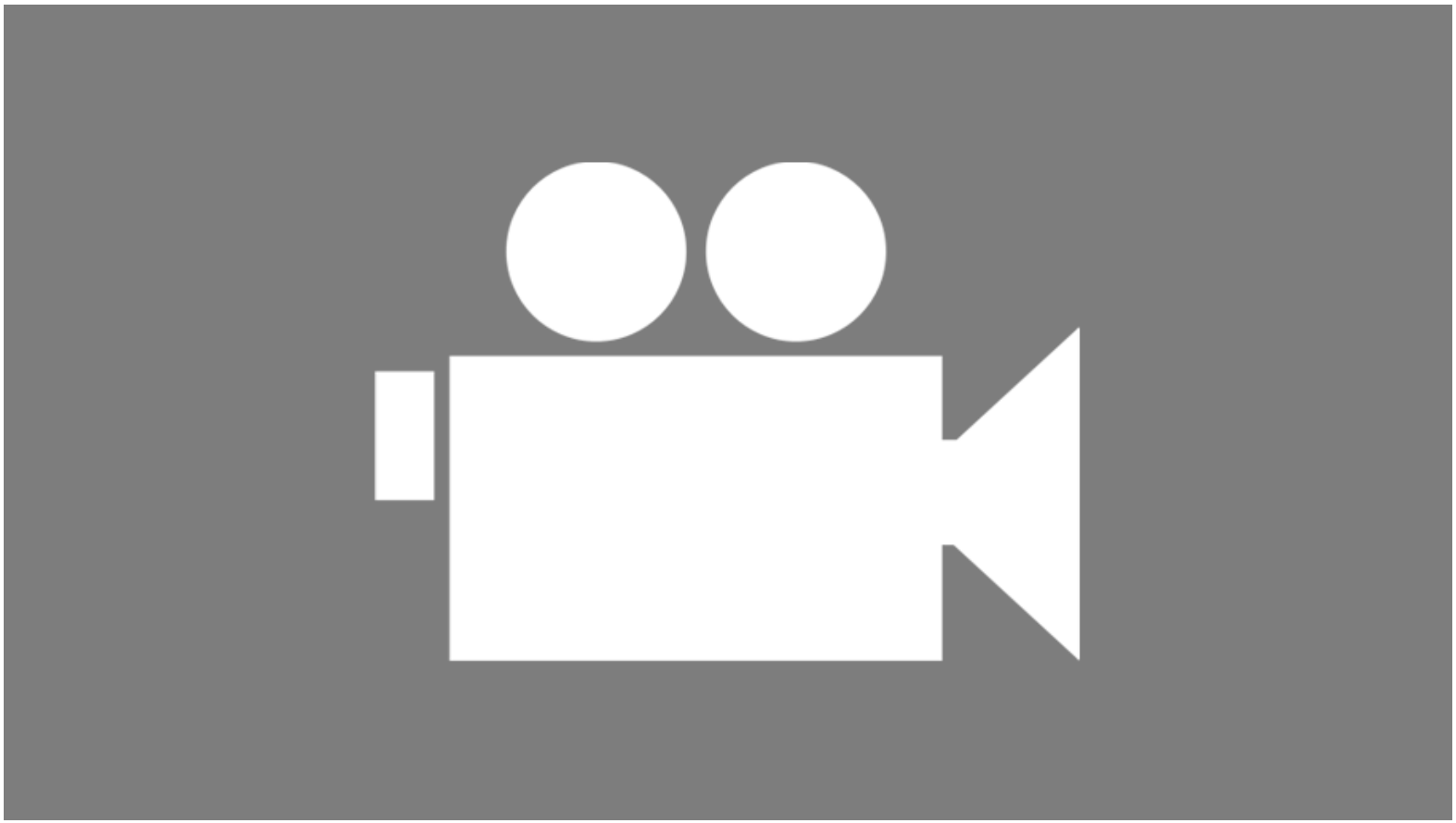
- En este trabajo hemos aplicado nuestra arquitectura **Red Swarm** al problema de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Los resultados presentan una reducción de hasta el 10.1 % en las emisiones de CO, 4.0 % en CO_2, etc.
- Además se mantiene la principal característica de **Red Swarm** que es la reducción de los tiempos de viaje (hasta 9.1 %)
- Como trabajo futuro nos planteamos:
  - La extensión del área analizada
  - El empleo de otras técnicas bioinspiradas en el proceso de optimización
  - Abordar la optimización multiobjetivo de nuestros escenarios

Conclusiones y Trabajo Futuro

- En este trabajo hemos aplicado nuestra arquitectura **Red Swarm** al problema de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Los resultados presentan una reducción de hasta el 10.1 % en las emisiones de CO, 4.0 % en CO_2, etc.
- Además se mantiene la principal característica de **Red Swarm** que es la reducción de los tiempos de viaje (hasta 9.1 %)
- Como trabajo futuro nos planteamos:
  - **La extensión del área analizada**
  - **El empleo de otras técnicas bioinspiradas en el proceso de optimización**
  - **Abordar la optimización multiobjetivo de nuestros escenarios**

http://neo.lcc.uma.es
http://danielstolfi.com/redswarm/
dhstolfi@lcc.uma.es

http://neo.lcc.uma.es
http://danielstolfi.com/redswarm/
dhstolfi@lcc.uma.es



http://neo.lcc.uma.es
http://danielstolfi.com/redswarm/
dhstolfi@lcc.uma.es

¿Preguntas?