



ENTREGABLE R7

“VENTAJAS SOBRE LOS COMPETIDORES”



6 de Julio, 2015



Movilidad Inteligente: Wifi, Rutas y Contaminación
Proyecto I+D+i Ene-Oct, 2015. Nº GG13003IDII. OTRI-UMA # 8.06/5.47.4356.

Contenidos

1.	Introducción.....	1
1.1	Partes y contenidos del entregable.....	1
1.2	Relaciones con los otros hitos del proyecto.....	1
1.3	Acrónimos y abreviaturas	2
2.	Breve descripción de nuestras aplicaciones.....	3
3.	Ventajas generales sobre competidores.....	3
3.1	Visión holística del tráfico urbano	3
3.2	Soluciones evolutivas y adaptativas	4
3.3	Tráfico más fluido y más ecológico.....	5
3.4	Adopción de la iniciativa de datos abiertos	5
3.5	Sensibilidad al estado del tráfico de la ciudad	5
3.6	Costes de implementación/implantación reducidos	7
3.7	Buenos indicadores de calidad de nuestras soluciones.....	7
4.	Ventajas de HITUL sobre los competidores.....	7
4.1	Cálculo del plan de semaforización más ecológico.....	7
4.2	Mapas especializados con datos reales de la ciudad	8
4.3	Micro-análisis o simulaciones	8
4.4	Mejor soporte a la toma de decisiones	9
4.5	Ámbito metropolitano o de gran ciudad	9
5.	Ventajas de CTPATH sobre los competidores.....	10
5.1	Cálculo de la ruta más rápida, y la más ecológica también.....	10
5.2	Rutas personalizadas para cada usuario.....	10
5.3	Predicción de tiempos de viaje y volumen de contaminación	11
5.4	Gamificación	11
6.	Comparativa entre los competidores	12
7.	Conclusiones.....	14
	Referencias.....	15

1. Introducción

En este documento se describen las principales fortalezas de nuestras dos aplicaciones (HITUL y CTPATH), con respecto a las soluciones existentes en la literatura científica y el mercado internacional analizadas en el entregable R6. La idea es evaluar las técnicas inteligentes utilizadas en el núcleo de las aplicaciones, los servicios finales ofrecidos, la usabilidad de las interfaces de usuario diseñadas, etc., en comparación con otros servicios ya existentes en la actualidad.

Aquí se analizarán las limitaciones existentes en las aplicaciones/servicios ofertados por los competidores frente a las características mejoradas de nuestras aplicaciones destinadas a paliar las deficiencias detectadas. Por ello, este documento ofrece las principales razones para invertir un gran esfuerzo en todo este proyecto.

1.1 Partes y contenidos del entregable

Este documento se compone de seis partes (además de la presente introducción):

- **Breve descripción de nuestras soluciones:** en esta sección se describen las dos aplicaciones desarrolladas HITUL y CTPATH.
- **Ventajas generales sobre competidores:** aquí se exponen las fortalezas generales del proyecto así como una comparación con sus competidores.
- **Ventajas de HITUL sobre los competidores:** en este apartado se particularizan las ventajas del sistema HITUL frente a otros sistemas similares del estado del arte.
- **Ventajas de CTPATH sobre los competidores:** este apartado es similar al anterior, se exponen las fortalezas de CTPATH frente a las publicaciones y herramientas comerciales que abordan la problemática de la planificación de rutas.
- **Comparativa entre los competidores:** en esta sección se sintetiza la información incluida en este entregable mostrando una comparativa entre los sistemas de los competidores y los desarrollados en este proyecto.
- **Conclusiones:** finalmente se presentará unas conclusiones de la información detallada en este documento.

1.2 Relaciones con los otros hitos del proyecto

Este informe se relaciona con otros entregables del proyecto, tal y como se muestra en la tabla 1. Este entregable se relaciona con R1, R2 y R6, ya que se introducirán los principales beneficios del diseño de nuestra propuesta y los principales productos que pueden ser encontrados en el estado del arte. Además, también se relaciona con R8 y R9 debido a la necesidad de comparar tanto el hardware como el software necesario en este proyecto con el de los competidores. Finalmente, todo este análisis influirá en ambos prototipos de HITUL (S1 y S2) y CTPATH (S3 y S4).

Tabla 1. Entregables relacionados

R1. Diseño técnico del sistema: CTPATH	X	R7. Ventajas sobre los competidores	-
R2. Diseño técnico del sistema: HITUL	X	S3. Prototipo #1 CTPATH	X
R3. Guía de entregables	-	R8. Análisis del hardware necesario	X
R4. Gestión y tareas para CTPATH	-	R9. Análisis del software necesario	X
R5. Gestión y tareas para HITUL	-	S2. Prototipo #2 HITUL	X
S1. Prototipo #1 HITUL	X	S4. Prototipo #2 CTPATH	X
R6. Competidores y estado del arte	X	R10. Informe final	-

1.3 Acrónimos y abreviaturas

Aquí, se muestra (en la tabla 2) los principales acrónimos y abreviaturas utilizados en este documento para facilitar la lectura de este informe.

Tabla 2. Acrónimos con sus descripciones.

Acrónimo	Descripción
ACO	Optimización de Colonia de hormigas (Ants Colony Optimization)
CCT	Centro de Control de Tráfico
CTPATH	CiTy Path
HITUL	Holistic Intelligence Traffic Urban Lights
RFID	Identificación de Radiofrecuencia (Radio Frequency Identification)
SUMO	Simulador de Movilidad Urbana (Simulator of Urban Mobility)
TL	Semáforo (Traffic Light)
TLJ	Intersección semafórica (Traffic Light Junction)
TLP	Plan de semáforos (Traffic Light Plan)
VANET	Red Ad-Hoc Vehicular (Vehicular Ad-Hoc Vehicular)

2. Breve descripción de nuestras aplicaciones

Nuestro proyecto genera dos aplicaciones, cada una de ellas enfocada en solucionar un problema de movilidad, pero manteniendo la visión global de todo el proyecto.

Por un lado, HITUL está pensado como una herramienta de **apoyo para la toma de decisiones** respecto a la planificación de la red de semáforos de la ciudad, la forma más eficaz de lidiar con la congestión y los atascos de tráfico. Esta aplicación está preparada para usar potentes recursos de **computación** (por ejemplo, clústeres, servidores, etc.) y diseñada con técnicas de **optimización robustas** y **simulaciones realistas** (como metaheurísticas mono- y multi-objetivo, SUMO [BB+11], etc.) para apoyar a los gestores de control de tráfico.

Por otro lado, CTPATH es un planificador de rutas **inteligente y holístico** para entornos urbanos. Su **inteligencia** viene dada por el tipo de tecnología y algoritmos computacionales usados (inspirados en la naturaleza, entre otros) y es **holístico** porque analiza todo el contexto del viaje dinámicamente, no únicamente al usuario ni únicamente a la ciudad, como otros competidores. Por tanto, su objetivo es proporcionar rutas a los conductores de vehículos en ciudad (el prototipo funciona con mapas y datos de la **ciudad de Málaga** en concreto).

3. Ventajas generales sobre competidores

En esta sección se exponen las características generales que distinguen nuestras soluciones de otras aproximaciones existentes en el mercado.

3.1 Visión holística del tráfico urbano

El problema del tráfico en nuestras ciudades está determinado por diversos factores como pueden ser los usuarios de la red vial, el medio ambiente, o la infraestructura de la ciudad, entre otros. Sin embargo, debido al alto grado de interdependencia que hay entre estos factores toda solución que los aborde de forma independiente es una solución parcial al problema del tráfico urbano. Una de las características que nos diferencia como proyecto, y supone una mejora significativa sobre la mayoría de los competidores, es el **enfoque “holístico”** de nuestras soluciones. Nosotros entendemos la gestión del tráfico de una forma **integral**, teniendo en cuenta todo el contexto asociado al flujo de vehículos en la ciudad. Por ello, analizamos las intensidades históricas del tráfico y las complementamos con valores medidos en tiempo real por nuestros sensores, **minimizamos las distancias** recorridas así como el **impacto medioambiental** del uso del vehículo, a la vez que también reducimos los **tiempos de espera** de los usuarios en los semáforos haciendo posible las llamadas “olas verdes”.

Nuestra **visión holística** nos da ventaja sobre otros desarrollos existentes para la gestión del tráfico urbano. Las aproximaciones más tradicionales realizan el cálculo de rutas para flotas de vehículos públicos o particulares que distribuyen mercancía o transportan personal, por ejemplo [R+07]. Sin embargo, estas soluciones se limitan a la eficiencia de los viajes de la flota (utilizando el menor número de vehículos y minimizar la distancia recorrida/gasto de combustibles) sin considerar el resto de los factores de la ciudad. Otras soluciones más orientadas al usuario común, como la proporcionada por GOOGLE MAPS

[GM15], permite calcular rutas usando información recopilada de forma anónima sobre la velocidad y posición de dispositivos que cuenten con **GPS** (mediante su sistema operativo Android) y que en ese momento se encuentren en movimiento. Nosotros vamos más allá, utilizamos redes de **comunicación ad-hoc** con la infraestructura (V2I), para identificar el flujo de tráfico en **tiempo real**. De esta forma nuestras soluciones no dependen únicamente de que la función del GPS esté habilitada y de que el dispositivo móvil tenga capacidad de emitir datos, sino que se aprovechan otras alternativas como Bluetooth o Wi-Fi.

3.2 Soluciones evolutivas y adaptativas

Nuestras soluciones están basadas en técnicas "**bio-inspiradas**", que toman como referencia el comportamiento de seres vivos para resolver problemas de alto costo computacional. Por ejemplo, estudiamos los movimientos eficientes y coordinados de las hormigas, la cooperación y auto-organización de las bandadas de aves o el principio de selección natural. Aprendemos de estos comportamientos para crear herramientas que los **simulan** en un computador, a fin de encontrar la ruta más apropiada de un origen a un destino, o la configuración **óptima** para los semáforos de un área metropolitana. La complejidad actual de estos problemas, dado el crecimiento constante de las ciudades y el consecuente aumento la información que se maneja hace imposible aplicar técnicas exactas, por lo que las técnicas evolutivas y bio-inspiradas son un método de solución de mucho interés para la gestión del tráfico urbano.

En general estas técnicas consisten en procesos iterativos sobre una población de soluciones candidatas, que van mejorando continuamente durante la ejecución del algoritmo. Tal característica lo hace superior a otras soluciones tales como las basadas en **sistemas expertos** [W+08], puesto que no requiere largos períodos de entrenamiento por parte del ser humano. Otras soluciones existentes (ej. SPROUT [OS07], SCATS [SCT07] o eDAPTIVA [CRS94]) basan su funcionamiento en **algoritmos predictivos** clásicos. Una desventaja de esos métodos es que no siempre está clara la interrelación entre las variables. Además, no arrojan resultados favorables a medida que se alejan de los valores de entrenamiento. Por otra parte, la propuesta de INSYNC [REI07], donde se emplea una **máquina de estados** para la toma de decisiones de los tiempos de los semáforos, aumenta la velocidad a la hora de realizar una actualización pero a costa de fijar todo su comportamiento en el momento de instalarlo, lo que implica configuraciones complejas para cambios en el entorno. Otros acercamientos, como ACS-LITE [ACS07], realizan una adaptación de los tiempos de cada semáforo, según la cantidad de vehículos que circulan por esa carretera. Esta última solución carece de una visión integral holística de la ciudad como la que proponemos en nuestro proyecto.

Actualmente existen algunos resultados de investigación, aunque no en todos los casos llevados al desarrollo de productos finales, que usan técnicas bio-inspiradas como método de solución. Por ejemplo, en [LYK15] se presenta una estrategia de planificación adaptativa no-miope de rutas en entornos inciertos congestionados basada en **ACO**. Los autores se basan en intentos aleatorios de exploración antes de que el sistema se vuelva eficiente. Para ello, usan una distribución aleatoria gaussiana dinámica que al tiempo introduce un riesgo de que el sistema no se estabilice y que el esfuerzo de exploración y explotación se desequilibre. Nuestro grupo tiene marcada experiencia demostrada en el uso de estas técnicas por un número considerable de **publicaciones** y por el desarrollo concreto de sistemas de tráfico como Red Swarm [SA13].

3.3 Tráfico más fluido y más ecológico

Las emisiones de CO₂, y demás gases contaminantes, son una de las principales problemáticas que afectan las ciudades hoy en día. Por este motivo, en nuestro proyecto se ha dedicado un esfuerzo considerable a implementar soluciones que tengan en cuenta el **cuidado del medio ambiente** como objetivo principal. Cada sistema presenta sus propias alternativas para reducir la huella de contaminación que dejan los vehículos en el medio ambiente. En las secciones 4.1 y 5.1 se describen con mayor nivel de detalle las ventajas que ofrecen HITUL y CTPATH, respectivamente, para **reducir las emisiones** de gases contaminantes.

3.4 Adopción de la iniciativa de datos abiertos

Nuestros sistemas usan y contribuyen a la iniciativa de **datos abiertos** (Open Data) promovida por el gobierno local, en correspondencia con los permisos concedidos. Para ello, se emplean herramientas de automatización que transforman los datos generados durante el proceso de ejecución en **información significativa** para la gestión del tráfico en la ciudad. Esta información está disponible en **formatos estándares**, de modo que otros grupos de investigación o desarrollos del área puedan utilizarla para generar nuevas soluciones que eviten la congestión del tráfico.

En el caso de HITUL, se comparten los planes semafóricos óptimos descubiertos con nuestras técnicas de optimización. Además, se proporciona un **sitio web** donde se publican las configuraciones de los semáforos propuestas, donde el usuario experto puede proveer planes bases alternativos y compararlos con estas soluciones. Por su parte, el sistema CTPATH ofrece **servicios** de sugerencia de rutas a los conductores usando mapas y datos de la ciudad de Málaga. Concretamente, se utiliza información histórica proporcionada por el área de movilidad del ayuntamiento, así como datos recolectados mediante sensores ubicados en las calles y de los usuarios de la propia aplicación. La información recogida se analiza para hacer estimaciones del estado del tráfico y del perfil de conducción del usuario, y se publica como datos abiertos.

La estrategia de publicar abiertamente información relacionada con el tráfico no es compartida por los competidores en general, por lo que constituye una de las principales ventajas de nuestros servicios a los ciudadanos.

3.5 Sensibilidad al estado del tráfico de la ciudad

Cada ciudad tiene sus características especiales del tráfico, dada la infraestructura de sus carreteras, la disposición de los semáforos, los patrones de flujo de vehículos, el perfil de los conductores, entre otros factores. Una de las características distintivas de nuestras soluciones es la **sensibilidad al estado real del tráfico** urbano. En la actualidad existe una variedad considerable de dispositivos para recolectar información sobre el estado del tráfico (aforadores). Entre las tecnologías más usadas encontramos **campos y lazos de inducción electromagnética** [REI07], **radares de microondas** ([REI07], [CRS94]), **sensores infrarrojos** ([REI07], [OS07]), **sensores de presión al paso de ruedas** ([REI07], [SCT07], [CRS94]), **vehículos sonda** ([AKA+11], [AKM+11], [JJ+09], [ZL+13], [SET05] y [ISM03]), **cámaras de video** ([SET05], [TLY+12], [CRS94]), y los dispositivos **sniffers** basados en Bluetooth o Wi-Fi ([CG+14], [KWM+12]), entre otros. Ellos nos permiten medir el número de

vehículos transitando (intensidad), la velocidad de circulación, el tipo de vehículo (ligero o pesado) o la ocupación de la vía.

Sin embargo, cada tecnología tiene sus limitaciones, que pueden ser dificultades de mantenimiento o calibración, alto coste de instalación, sensibilidad a las condiciones de visibilidad de la vía (niebla, noche...), la velocidad de circulación (no detectan los vehículos a baja velocidad), o la exactitud en la medición. No obstante, el uso de *sniffers* es una tecnología muy atractiva para nuestras soluciones, puesto que podemos implementarlos nosotros mismos gracias al uso de tecnologías y dispositivos de **bajo costo**, para integrarlos fácilmente con las aplicaciones móviles que desarrollamos. Concretamente disponemos de dispositivos con antena Bluetooth y/o Wi-Fi de alto alcance, que es capaz de **detectar** las direcciones MAC (identificador único de cada dispositivo) de los equipos alojados en los vehículos, o los móviles de sus ocupantes. Su principal limitación es que requiere umbrales para distinguir entre velocidades de vehículos y de peatones, para lo cual proponemos soluciones particulares.

Nosotros proponemos un enfoque integrador que aprovecha la infraestructura de **sensores** creada en la ciudad y complementa los **datos del tráfico** con la implantación de *sniffers* de implementación propia. Esto es posible gracias a la estrategia de consumo de **datos abiertos** ya disponibles, gracias a la información provista por el ayuntamiento y el centro de control de tráfico de Málaga. Concretamente, las aplicaciones de movilidad que desarrollamos basan su funcionamiento en cuatro fuentes de información fundamentales:

- **Datos públicos:** Mapas de Málaga compartidos por OpenStreetMap [HW08, OSM10], datos abiertos publicados en la web del Ayuntamiento de Málaga [Mal15a] (ej. la localización de cada semáforo en la ciudad), intensidades del tráfico en puntos estratégicos cedidos por el área de movilidad del Centro de Control de Tráfico de Málaga [TCC15] y distritos del callejero de Málaga [Mal15b].
- **Datos del Centro de Control de Tráfico:** Información procedente de los gestores de tráfico de Málaga. Por ejemplo, un plan de semaforización definido por expertos, estrategias y estándares para la asignación de tiempos, puntos negros, etc. Se trata de un conjunto de información privilegiada con la que cuenta nuestro proyecto para analizar y utilizar en la creación de soluciones eficientes al problema del tráfico urbano.
- **Datos de movilidad y libre colaboración (crowd-sourcing):** La aplicación móvil CTPATH incluye una componente de recolección y análisis de datos de movilidad: posición, velocidad, aceleración, etc., usando sensores propios de los teléfonos inteligentes. El análisis centralizado de esta información permite crear perfiles de conducción, determinar las condiciones del tráfico y predecir el tiempo de viaje.
- **Datos de intensidad vehicular en tiempo real.** La detección de datos se basa en dispositivos *sniffers* (Arduino/Raspberry Pi), dotados de conectividad Bluetooth y/o Wi-Fi situados en distintos puntos de la ciudad. Esta información se utiliza para completar y corregir los datos históricos obtenidos de sitios web de datos abiertos y conseguir un escenario más realista.

Tales fuentes de información se combinan para construir una representación **realista** y **precisa** de la ciudad, para así ofrecer servicios eficientes y **personalizados** a los conductores. Esta característica es notable comparada con otras soluciones similares para la

gestión del tráfico, que normalmente están basadas a lo sumo en una única tecnología de detección. Al tiempo esta variedad de fuentes de información nos ayuda a conseguir la visión holística en nuestras propuestas.

3.6 Costes de implementación/implantación reducidos

Nuestras aplicaciones hacen uso de herramientas libres y de **código abierto**, con lo cual se evitan los costos en licencias software. La plataforma de comunicación que desarrollamos está basada en tecnologías modernas y de bajo coste, como Smartphones, Raspberry Pi, Arduino, 3G o Wi-Fi. Para la **recogida de datos** se usan dos tipos de elementos en nuestra arquitectura: teléfonos móviles inteligentes de conductores con una aplicación de recogida de datos transparente al usuario, y un elemento fijo (Raspberry Pi o micro controlador) en las cajas de registro de los semáforos con sensor Wi-Fi o Bluetooth.

La instalación de sensores Bluetooth o Wi-Fi en las carreteras produce un **coste menor** que la instalación de cámaras de video y la adquisición adicional de software especializado para el análisis de las imágenes captadas. La instalación de detectores de lazo, o bucles de inducción magnética, significa una obra ingenieril que requiere una mayor inversión por lo que nuestras propuestas son también atractivas económicamente.

3.7 Buenos indicadores de calidad de nuestras soluciones

Los sistemas informáticos que proponemos se pueden utilizar desde la web. Sus interfaces son robustas pero a la vez simples, permitiendo acceder fácilmente a sus funcionalidades o servicios. También son **accesibles** y fáciles de usar desde **dispositivos móviles** (iOS, Android), ya sea mediante una interfaz nativa en el caso de CTPATH, o accediendo desde el explorador a una **aplicación web** optimizada para estos dispositivos como lo es en HITUL. Ambas aplicaciones permiten navegar por un conjunto de opciones de configuración que ofrecen amplia **flexibilidad** para generar rutas personalizadas (la más rápida, la más ecológica, etc.), o planes semafóricos óptimos. En el caso de HITUL se permite además exportar los planes propuestos en formatos estándares lo que facilita la **interoperabilidad** entre diferentes aplicaciones. CTPATH por su parte adapta su funcionamiento al perfil de los usuarios de la aplicación.

4. Ventajas de HITUL sobre los competidores

La aplicación de HITUL ofrece una serie de ventajas concretas que la diferencian de otras herramientas similares. Además, particulariza algunas de las virtudes generales del proyecto descritas en la sección anterior.

4.1 Cálculo del plan de semaforización más ecológico

El uso masivo del vehículo tiene un impacto negativo en nuestras ciudades debido a las emisiones de gases contaminantes (CO₂, NO_x, CO...) al medio ambiente. Si bien algunos sólo ven las funciones de seguridad y el control vial (ej. [SP+15]), muchos trabajos convienen en que al **reducir el número de paradas** o el tiempo de espera de los vehículos en los semáforos se consigue disminuir las emisiones de gases contaminantes ([GD+10], [AKM+11], SPROUT [OS07], SOLUCIONES DE TRÁFICO DE SIEMENS [STS07], etc.). Por ejemplo, en [BR+14] el sistema sugiere a los usuarios velocidades óptimas de conducción cuando se

acercan a un semáforo, a razón de prevenir las detenciones innecesarias en los cruces inmediatos. Sin embargo, reducir el número de paradas o el tiempo de espera de los vehículos no deja de ser una solución parcial al problema de las emisiones contaminantes, puesto que no hace uso de información específica de contaminación, y tiene un carácter local (centrado en los cruces).

La herramienta HITUL ofrece una **solución integral** al problema de la planificación de semáforos en Málaga. A diferencia de otras soluciones, la **reducción de gases contaminantes es un objetivo explícito** de nuestro modelo matemático, así como reducir el número de paradas y el tiempo de espera. Para satisfacer estos objetivos (algunos opuestos entre sí) se emplean **técnicas de optimización multi-objetivo** donde los objetivos son igual de importantes y se busca de un equilibrio entre ellos. Además, HITUL no persigue configuraciones óptimas a nivel de cada semáforo, sino que descubre planes coordinados para todos los semáforos de un **área metropolitana** (gran extensión comparada con los competidores). Para ello cuenta con información de los volúmenes de emisiones por áreas, caminos o calles, calculada a partir de las intensidades de tráfico en distintos puntos de la ciudad.

4.2 Mapas especializados con datos reales de la ciudad

La construcción de mapas especializados con información del tráfico vehicular es otra de los puntos favorables de este proyecto. Las soluciones actuales para el control inteligente del tráfico se limitan a ofrecer al usuario el estado de los viales (por ejemplo, [W+08] y [GD+10]), siendo el operador del CCT quien establece manualmente la configuración de los semáforos en función de la intensidad de tráfico en cada caso.

Con HITUL no solo proponemos TLP óptimos sino que facilitamos su rápida comprensión. Con este propósito construimos un mapa especializado donde están localizados todos los semáforos de la ciudad de Málaga y se puede acceder a la configuración propuesta para cada semáforo. También de forma visual, se pueden comparar distintos TLP, mediante un cambio gradual en el color de la representación de cada semáforo. Como resultado, los controladores del tráfico en la ciudad podrán tomar decisiones rápidas en base a qué semáforos varía más o menos su configuración inicial de acuerdo con el plan óptimo propuesto por nuestra aplicación. Esto es una característica distintiva de nuestra herramienta, que permite a los expertos aprender nuevas políticas para la configuración de los semáforos procedentes de una solución generada por ordenador, pero que es fácilmente comprensible para un ser humano; a diferencia de un conjunto de símbolos, números o datos sin significado intuitivo.

4.3 Micro-análisis o simulaciones

Una cuestión muy importante a la hora de crear un TLP es cómo evaluar la calidad de dicho plan. Este es un factor clave para diseñar las técnicas apropiadas de generación de TLP óptimos, ya que los métodos de optimización utilizan este valor para guiar la búsqueda. Desgraciadamente, no existe una fórmula cerrada para calcular la calidad de un TLP concreto, debido a que la modelización de los flujos de tráfico en una ciudad es una tarea muy **compleja** y costosa, desde el punto de vista computacional. Por ello, la utilización de simuladores se vuelve una necesidad en este tipo de sistemas. Los **simuladores** permiten obtener una representación más **completa** del comportamiento real del tráfico urbano. Esta representación se usa para validar y optimizar distintos TLP antes de modificar la infraestructura de la ciudad.

En el motor de optimización de HITUL se usa la plataforma de código abierto **SUMO** (Simulation of Urban MObility) [BB+11] con este propósito.

El uso de la simulación como técnica para validar soluciones al tráfico urbano es muy popular entre la comunidad científica, ya que evita la problemática de obtener datos reales de tráfico ([W+08], [GD+10], [AKM+11], [KWM+12], [BR+14] y [SP+15]). Sin embargo, el sector que abarcan dichas simulaciones es muy reducido, una intersección o un pequeño conjunto de las mismas. Nosotros simulamos la ciudad completamente obteniendo estimaciones más próximas al tráfico real. Además, nos basamos en mapas mejorados de Málaga con información proporcionada por el CCT de Málaga.

4.4 Mejor soporte a la toma de decisiones

El soporte actual para el procesamiento y análisis tanto de la información base como de las variantes de TLP es limitado. Las plataformas para la gestión inteligente del tráfico, tales como la PLATAFORMA HERMES (INDRA) [ISM03], suelen ofrecer el estado del tráfico actual y permitir ejecutar acciones para **recomendar rutas alternativas** al usuario (por ejemplo, mediante paneles o plataformas móviles) en las zonas de mayor congestión. Este procedimiento limita la toma de decisiones y no tiene en cuenta las consecuencias o efectos de las mismas en dicho entorno.

Nuestra herramienta HITUL, a diferencia del resto de las herramientas de este tipo, no solo analiza los datos brutos del tráfico sino también la información que se genera en la búsqueda del **plan óptimo**. De esta forma, puede detectar semáforos críticos, caracterizar las soluciones para mejorar la propia optimización, o descubrir posibles correlaciones entre los parámetros involucrados. Todas estas funcionalidades facilitan la labor de los operadores de tráfico y aumentan su eficacia.

4.5 Ámbito metropolitano o de gran ciudad

Los tiempos asignados a los semáforos de una intersección o cruce afectan indiscutiblemente a las intersecciones vecinas, y se propagan por casi toda la ciudad. Sin embargo, los TLP han tenido tradicionalmente un **carácter local** centrándose en los semáforos dispuestos en un mismo cruce (por ejemplo. [BR+14] y [SP+15]). Por el grado de dependencia entre cruces, estas soluciones son muy limitadas como estrategias para el control del tráfico, puesto que carecen de una visión global de la ciudad. Esto se debe a la dificultad de calcular TLP a gran escala, unido a la falta de información sobre dichas interrelaciones o dependencia entre cruces. Con el aumento de las capacidades de cómputo, algunas herramientas comerciales, tales como la PLATAFORMA HERMES de INDRA, SMARTMOBILITY™ TRAFFIC de SCHNEIDER ELECTRIC [SET05], o las soluciones de SIEMENS, empiezan a tener en cuenta un número mayor de cruces a la hora de aplicar sus propuestas.

HITUL surge con la idea de proponer **soluciones integrales** al tráfico de toda un área metropolitana y entorno a una gran ciudad como puede ser Málaga, en lugar de planes independientes por cada intersección. Esta capacidad se basa en el diseño e implementación de técnicas **bio-inspiradas**, capaces de enfrentar problemas de gran tamaño como es la planificación de la red semaforica de una ciudad, algo imposible con las técnicas tradicionales. Además, HITUL combina la flexibilidad de poder seleccionar las zonas o distritos, en este caso de la ciudad de Málaga, donde se quiere **optimizar** los TLP, brindando mayor soporte para la aplicación de políticas generales del tráfico.

5. Ventajas de CTPATH sobre los competidores

En el mercado existen multitud de aplicaciones pensadas para el enrutamiento de vehículos. Además, múltiples artículos de la literatura científica han abordado esta problemática desde distintos puntos de vista. Todo esto ha provocado que la diferenciación en estos sistemas sea una tarea crucial para asegurar su utilidad y supervivencia. En esta sección se van a describir las principales fortalezas que ofrece CTPATH, así como una comparativa con sus principales competidores.

5.1 Cálculo de la ruta más rápida, y la más ecológica también

Considerar el efecto negativo del vehículo sobre el medio ambiente es una necesidad de la ciudad del futuro. Tradicionalmente la determinación de la ruta entre dos puntos se hace de acuerdo al tiempo de viaje, un cálculo basado en la distancia (seleccionar la ruta más corta del origen al destino), y en ocasiones se emplea información real o histórica de la intensidad del tráfico (previniendo posibles atascos o detenciones durante el recorrido). Con CTPATH queremos ser siempre “verdes” y nunca olvidamos el criterio ecológico, sin comprometer la flexibilidad de la aplicación. Para ello, usamos técnicas computacionales multi-objetivo y modelos multicriterio. De esta forma se obtienen soluciones más responsables de cara al tráfico global de la ciudad.

La mayoría de las herramientas para la planificación de rutas existentes en el mercado basan su propuesta de ruta en la distancia más corta desde el origen al destino como se observa en [CHF+10], [R+07] y [NG+09]. Otros sistemas como TOMTOM NAVIGATOR [TT03], MICHELIN ITINERARIOS [MI03] y WAZE [W13] son más versátiles y ofrecen otro tipo de opciones para realizar la planificación: reducción de atascos, menor consumo, etc. iGO NAVIGATION [IGO06] es de las pocas aplicaciones que permite explícitamente seleccionar la ruta más ecológica, entre otros objetivos. Pero hasta donde conocemos, dichos sistemas realizan el cálculo centrado en la opción seleccionada por el usuario, y no de forma combinada e integral. El uso de técnicas multi-objetivo nos proporciona una visión holística del tráfico en la ciudad que nos distingue de los competidores.

5.2 Rutas personalizadas para cada usuario

Cada usuario tiene una manera única de conducir por la vía. Una de las características que distingue a CTPATH por encima de otras aplicaciones es la capacidad de aprender y adaptarse a cada usuario. La mayoría de las aplicaciones de planificación de rutas en el mercado están enfocadas a flotas de vehículos de servicio público y privado, más que a vehículos particulares (ej. [JJ+09], [AKA+11] y [CHF+10]). En estos casos, la personalización del servicio se limita a las características de la flota de vehículos y la distribución prevista. Sin embargo, una aplicación que sí tiene mucha relación con nuestra estrategia es iGO NAVIGATION [IGO06], la cual tiene en cuenta el tipo de vehículo y los trayectos a la hora de realizar la planificación dando así rutas más específicas. Esta aplicación procesa información actual del tráfico y permite recalcularse automáticamente la ruta durante el trayecto, ya sean por retenciones, congestiones, etc.

Nuestra aplicación está basada en dispositivos móviles de uso cotidiano: Smartphone o Tablet. El usuario sólo necesitará descargar una aplicación que lleva todas las funcionalidades que permite la aplicación CTPATH. Una de esas funcionalidades consiste en crear perfiles de conducción a partir de la información recogida de cada conductor durante el

uso de la aplicación. Por ejemplo, se toman datos de valores de aceleración/desaceleración durante los trayectos registrados, lo cual unido a otros datos del tráfico en la ciudad, tales como las detenciones esperadas en cada trayecto, permite predecir el tiempo de viaje. De esta forma se ofrece un **servicio personalizado** para mayor satisfacción del usuario final.

5.3 Predicción de tiempos de viaje y volumen de contaminación

Nuestra visión holística de las soluciones al problema del tráfico en la ciudad se expresa en CTPATH mediante la estimación de los datos de contaminación a partir de la **información recogida** de cada conductor durante el uso de la aplicación. Para cada usuario de la aplicación, se crea un perfil de conducción que caracteriza su comportamiento en la vía. Luego, de acuerdo al tipo de coche, el trayecto que sigue y el **perfil del conductor** aprendido, se puede **estimar el volumen de contaminación** producida y el **tiempo de viaje**. De igual forma, la **unión de la información de todos los trayectos** solicitados es usada por el motor de búsqueda para mejorar las sugerencias futuras.

Con esta característica también encontramos pocas herramientas en el mercado. La aplicación eTRAFFIC [DGT14] de la DGT y el servicio de GOOGLE MAPS [GM15], ofrecen predicciones del estado del tráfico en la ciudad, pero no tienen en cuenta la información específica para cada usuario.

5.4 Gamificación

CTPATH introduce conceptos de gamificación [DS+11, ZC11] o mecánica de juego en el marco de la aplicación. Concretamente, se muestra un ranking de los usuarios "más verdes" donde los que menos contaminación emiten por distancia recorrida obtienen más puntos. También se propone un ranking por el uso de la aplicación a fin de que quienes seleccionan la ruta más corta o de menor tiempo de viaje tienen mayores posibilidades de ganar. Con estas estrategias se persigue el objetivo de motivar y fidelizar al usuario con el uso de la aplicación, al tiempo que promueve la fluidez y eficiencia del tráfico urbano.

Pocas aplicaciones para la planificación de rutas utilizan este enfoque. WAZE es una herramienta que permite a los conductores compartir información sobre el estado del tráfico en tiempo real y emplea este mismo tipo de estrategia. Sin embargo, esta aplicación solo se permite seleccionar la ruta más corta, y no presta especial atención al efecto del medio ambiente como en nuestra aplicación, por lo que su ámbito es diferente a nuestra propuesta.

6. Comparativa entre los competidores

A continuación se muestran, a modo de resumen, dos tablas comparativas entre nuestras herramientas y las herramientas relacionadas en el mercado (los competidores). En ambas tablas se ha marcado con el símbolo **X** para indicar si las herramientas examinadas soportan la característica relacionada. La inexistencia de esta marca indica que no es soportada dicha ventaja o que no tenemos constancia de ella a partir de la documentación pública disponible. La Tabla 3 muestra las características de otras aplicaciones que influyen sobre la planificación de los semáforos de una ciudad, como método para enfrentar el problema del tráfico urbano.

Tabla 3. Ventajas de HITUL.

	Planes ecológicos	Micro-análisis o simulación	Bio-inspiradas	Multi-criterio	Sensible al tráfico	Mapas especializados	Visión Holística	Usa datos abiertos	Código abierto	Coste reducido
HITUL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[R+07]	X									
[SP+15]		X		X	X			X		
[GD+10]	X	X		X	X			X		
[AKM+11]	X	X		X						
SPROUT [OS07]	X			X			X			
SIEMENS [STS07]	X			X	X		X	X		
[BR+14]		X		X						
[W+08]		X						X		
[KWM+12]		X								
HERMES [ISM03]					X		X			
TELVENT [SET05]	X			X	X		X			

Los resultados en la Tabla 3 muestran que muchos sistemas tienen en cuenta varios objetivos a la vez (soportan multi-criterios), incluyendo el objetivo ecológico. Sin embargo, muchos de ellos sólo tienen en cuenta la reducción del tiempo de parada de los vehículos, con lo que además se consigue una reducción de las emisiones de CO₂. En HITUL la reducción de gases contaminantes es un objetivo explícito en el proceso de optimización. Por otro lado, se observa que el uso de simulaciones está muy extendido en la literatura, debido a sus ventajas en tiempo y costes. En nuestro caso, las simulaciones se hacen sobre mapas mejorados con datos reales de fuentes abiertas o provistas por el propio gobierno de Málaga, lo cual permite obtener soluciones personalizadas para el tráfico en la ciudad de Málaga.

R7. Ventajas sobre los competidores

La Tabla 4 compara las herramientas para de sugerencia de rutas óptimas. Tal y como se puede apreciar, la mayoría de estas soluciones son sensibles al tráfico, ya que emplean algún dato real o estimado del tráfico en la ciudad en sus soluciones. Al haber diversas herramientas, también existen diversos criterios para el cálculo de rutas. Aplicaciones como TOMTOM NAVIGATOR, MICHELIN ITINERARIOS y WAZE ofrecen diversas rutas, pero ninguna teniendo como objetivo la reducción de gases contaminantes. Un aspecto diferenciador de CTPATH, con respecto a la mayoría de las herramientas, es la gamificación en modo de rankings, que ofrece junto con WAZE.

Tabla 4. Ventajas de CTPATH.

	Rutas Ecológicas	Perfil del Conductor	Estimación Predicción	Sensible al Tráfico	Visión Holística	Gamificación	Multi-criterio	Actualizaciones gratuitas	Ofrece navegación	Crowdsourcing
CTPATH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
[CHF+10]		X					X			
[GD+10]				X						
[W+08]				X						
[AKA+11]		X		X	X				X	
[KMG+11]				X						
[TLI+12]				X						
[KWM+12]				X						
[ZL+13]				X						
[CG+14]				X						
[R+07]					X				X	
[NG+09]										
TOMTOM NAVIGATOR		X		X				X	X	X
MICHELIN ITINERARIOS		X		X	X		X		X	
WAZE				X		X				
iGO NAVIGATION	X	X		X	X		X		X	
[JJ+09]		X		X						
GOOGLE MAPS		X	X	X	X		X	X	X	X
eTRAFFIC			X							

7. Conclusiones

En resumen, nuestras aplicaciones poseen un conjunto de características muy singulares y deseables, que ninguna de los competidores aúna en un sólo sistema. Todas estas características están centradas en nuestra visión holística del problema del tráfico urbano en la actualidad. Según la cual, una estrategia integral, a nivel metropolitano o de gran ciudad, es mejor que cualquier solución parcial implementada sobre algún cruce en particular o vial principal. Además, entendemos que estas soluciones deben ser sostenibles para seguir acercándonos a la ciudad inteligente. Y sobre todo, enfocado en los conductores que son los usuarios de nuestras aplicaciones y los que tienen en sus manos la importante decisión de no ser partes del problema sino de la solución.

A continuación resumimos las características que hemos discutido en este documento y que consideramos son ventajas competitivas de nuestras soluciones, en forma de los objetivos concretos que perseguimos con estos desarrollos:

- Conocer la ciudad tanto offline como online (hacer modelos matemáticos de la ciudad en el futuro).
- Usar la información aprendida (datos reales de la ciudad, en la determinación de rutas y planes de semaforización apropiados).
- Proponer soluciones inteligentes (usando técnicas inspiradas en la naturaleza).
- Prestar especial atención a la reducción de gases contaminantes (uno objetivo muchas veces contrapuesto con la distancia/tiempo de viaje).
- Usar tecnologías modernas de uso común y bajo coste (Smartphones, Raspberry Pi/Arduino, 3G, Wi-Fi...).
- Emplear estrategias modernas de fidelización (gamificación).

El resultado de transformar estos objetivos en soluciones integrales para el tráfico urbano será un aporte significativo a la iniciativa de la ciudad del futuro. Estas soluciones deben abarcar no solo la monitorización de la ciudad (funcionalidad en la que se enfoca la mayoría de los sistemas actuales) sino la propuesta de soluciones obtenida por computadora para soportar la toma de decisiones.

Referencias

- [ACS07] ACS Lite (2007). 16 Jun 2015 <<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/06083/index.cfm>>
- [AKM+11] Abbas, M., Karsiti, M., Madzlan N., Samir B., Traffic Light Control via VANET System Architecture, IEEE, 23(5): 174-179, 2011.
- [AKA+11] Aljaafreh, A., Khaleel, M., Al-Fraheed, I., Almarahleh, K., Al-Shwaabkeh, R., Al-Etawi, S., Shaqareen, W., Vehicular Data Acquisition System for Fleet Management Automation, IEEE, 26 (4): 130-133, 2011.
- [B15] Bzing s.r.o (2015) *Be-on-road*. 2 Jul 2015 <<http://www.beonroad.com/>>
- [BB+11] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., & Krajzewicz, D. (2011, October). Sumo-simulation of urban mobility-an overview. In SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation (pp. 55-60).
- [BR+14] Bodenheimer, R., Brauer, A., Eckhoff, D., German R., Enabling GLOSA for Adaptive Traffic Lights, IEEE, Vehicular Networking Conference (VNC). December 2014, pp. 167 – 174.
- [CG+14] Castillo, P., García-Sánchez, Mora, A.M., Arenas, M.G, Romero, G., Merelo, JJ.,García, P., Romeo, A. and Aragón, M. Sistema de información autónomo y de bajo coste para conocer el estado de las carreteras en tiempo real, 2014.
- [CHF+10] Changshi, L., Fuhua, H., Hybrid Heuristics for Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands, IEEE, 10(1): 493 – 496, 2010.
- [CRS94] CROSS (1994). 16 Jun 2015 <<http://www.cross.cz/en/>>
- [DGT14] DGT: Dirección General de Tráfico de España (2014) *eTraffic*. 16 Jun 2015 <<http://infocar.dgt.es/etraffic/>>
- [DS+11] Deterding, S, Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., and Dixon, D., “Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts,” CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 2425,2428, ACM, 2011
- [GD+10] Guerrero, J., Damián, P., Flores C., and Llamas, P., Plataforma para Gestión de la Red de Semáforos de Zonas Urbanas, SISTEMAS, CIBERNÉTICA E INFORMÁTICA, 1(7): 12-18, 2010.
- [GM15] Google Inc. (2007) *Google Maps*. 16 Jun 2015 <<https://www.google.es/maps/>>
- [HW08] Haklay, Mordechai, and Patrick Weber. Openstreetmap: User-generated street maps. Pervasive Computing, IEEE 7.4 (2008): 12-18.
- [IGO06] NNG (2006) *iGO Navigation*. 16 Jun 2015 <<http://www.nng.com/>>
- [ISM03] INDRA (2003) *Smart Mobility Platform*. 16 Jun 2015 <<http://www.indracompany.com/sector/smart-mobility/oferta/its-urbano/gestion-movilidad-hermes>>

R7. Ventajas sobre los competidores

- [JJ+09] Junghyung, K., Joonghyup, K., Sung-Ho, O., Jihyeon, Y., Kyungbong C., Development of a Common Vehicle Router Platform for Multiple ITS Applications and Communication Media, ICACT'09 Proceedings of the 11th international conference on Advanced Communication Technology - Volume 1, pages 748-750, 2009.
- [KMG+11] Kolmanovsky, I., McDonough, K., Gusíkhin, O., Estimation of Fuel Flow for Telematics-Enabled Adaptive Fuel and Time Efficient Vehicle Routing. Procedente de la 11ª Conferencia Internacional sobre Telecomunicaciones (ITS), celebrada en San Petesburgo (USA), Agosto, 2011, pp. 139 – 144.
- [KWM+12] Markus Kerper, Christian Wewetzer, and Martin Mauve. Analyzing Vehicle Traces to Find and Exploit Correlated Traffic Lights for Efficient Driving. In 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IV 2012, Alcal de Henares, Madrid, Spain, June 3-7, 2012, pages 310–315, 2012.
- [LYK+15] Liu, S., Yue, Y., Krishnan, R., Non-Myopic Adaptive Route Planning in Uncertain Congestion Environments, IEEE, 99 (1): 493-496, 2015.
- [Mal15a] Datos abiertos Ayto. Málaga. 9 Mar. 2015 <<http://datosabiertos.malaga.eu/>>
- [Mal15b] Callejero Ayto. Málaga.. 20 Mar 2015 <<http://callejero.malaga.eu/>>
- [MI03] Michelin (2007) *Itinerarios*. 16 Jun 2015 <<http://www.viamichelin.es/web/Itinerarios/>>
- [NG+09] Nian-zhi ZHANG, Guo-hua SUN, Yao-hua WU, Fang-hui GENG, “A modified particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery”, Proceedings of the 7th Asian Control Conference, pp. 1679-1684, August 2009.
- [OS07] OMRON (2007) *Sprout*. 16 Jun 2015 <<http://www.omron.com/about/story/>>
- [OSM10] Frederik Ramm, Jochen Topf, Steve Chilton (2010) *OpenStreetMap: Using and Enhancing the Free Map of the World*, UIT Cambridge, ISBN: 978-1-90686-011-0
- [R+07] Rodríguez, A., Hacia la optimización del transporte. Desarrollo de un software para cálculo de rutas de vehículos y gestión de flotas. Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro Zaragoza, September 2007.
- [REI07] RHYTHM ENGINEERING (2007) *Insync*. 16 Jun 2015 <<http://rhythmtraffic.com/>>
- [SA13] D. H. Stolfi and E. Alba. Red Swarm: Smart Mobility in Cities with EAs. Proceeding of the Fifteenth Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO'13, ACM, 2013, pp. 1373-1380
- [SCT07] SCATS (2007). 16 Jun 2015 <<http://www.scats.com.au/>>
- [SET05] Schneider Electric (2005) *TELVENT*. 16 Jun 2015 <http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/productos-servicios/marcas-antteriores/telvent/telvent_transp.page/>

R7. Ventajas sobre los competidores

[SP+15] Jingmin S., Chao P., Qin Z., Pengfei D., Yu B., and Mengjun X., There is a will, there is a way: A new mechanism for traffic control based on VTL and VANET. In 16th IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering, HASE 2015, Daytona Beach, FL, USA, January 8-10, 2015 [1], pages 240–246.

[STS07] Soluciones de tráfico de Siemens. 16 Jun 2015 <https://w5.siemens.com/spain/web/es/ic/logistica/aeropuertos_correos_trafico/trafico/Pages/Default.aspx>

[TCC15] Área de Movilidad Ayto. Málaga. 2013. 20 Mar. 2015 <<http://movilidad.malaga.eu/>>

[TLY+12] Tu, D., Lei, J., Yang, Y., A Robust Approach for Congested Vehicles Tracking Based on Tracking-Model-Detection Framework, IEEE, 11th International Conference on Signal Processing (ICSP), Pekín, (China): Octubre, 2012, (Vol 2) pp. 820 – 824.

[TT03] TomTom (2003). 16 Jun 2015 <<http://www.tomtom.com/>>

[W+08] W. Wen, *A dynamic and automatic traffic light control expert system for solving the road congestion problem*, Expert Systems with Applications: An International Journal, v.34 n.4, p.2370-2381, May, 2008

[W13] Waze (2013). 16 Jun 2015 <<https://www.waze.com/>>

[ZC+11] Zichermann, G., and Cunningham, C., “Gamification by design: Implementing game mechanics in web and mobile apps”, O'Reilly Media, Inc., 2011

[ZL+13] Y Zhu, X Liu, M Li, Q Zhang, POVA: Traffic Light Sensing with Probe Vehicles. Parallel Distributed Syst. IEEE Trans. 24(7), 1390–1400 (2013).