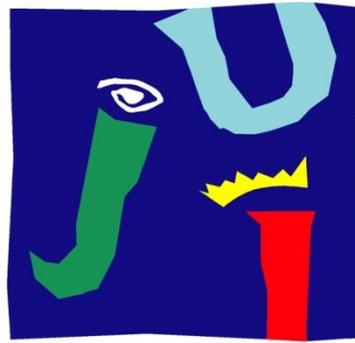


# DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA MULTIAGENTE PARA LA REASIGNACIÓN DINÁMICA DE PLAZAS DE APARCAMIENTO EN ÁREAS DE SERVICIO EN EL TRANSPORTE POR CARRETERA



**U**NIVERSITAT  
**J**AUME • **I**

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Sistemas Inteligentes

**Realizado por:** Francisco Palau Romero - [fraparo@inf.upv.es](mailto:fraparo@inf.upv.es)

**Tutor:** Luis Amable García Fernández

# Resumen

El transporte por carretera es el principal medio utilizado para transportar mercancías. En aras de mejorar la seguridad de las vías se han redactado sucesivas legislaciones nacionales que afectan a los tiempos de conducción de los conductores de camiones. La situación habitual en España es que los conductores tengan la obligación de parar y descansar 45 minutos cada 4 horas y media de conducción. Esto implica que los conductores deben elegir el área de servicio adecuada para su trayecto y sujeta a sus preferencias particulares. Sin embargo, no siempre hay plazas libres en las áreas de servicio seleccionadas por diversos motivos. Esta situación produce una situación peligrosa para la vía, pues o bien el camión aparca en sitios no autorizados o bien sigue conduciendo y, como consecuencia menos dañina, podría ser multado.

En este TFM se define y desarrolla un sistema multiagente que permita a los camiones y a las áreas de servicio coordinarse en las reservas de plazas de aparcamiento. En Capdevila M. *et al.*, 2013 [1] ya se ha desarrollado un primer sistema basado en la negociación; en este TFM se propone abordar este problema con un nuevo sistema de coordinación de plazas. Se desarrollará además una herramienta de simulación que permita evaluar las bondades del sistema propuesto.

**Palabras clave:** Gestión dinámica, Aparcamiento en carretera, Simulación, Multiagente

# Tabla de Contenidos

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1.	Motivación.....	6
1.2.	Objetivos .....	8
1.3.	Planificación.....	8
1.4.	Herramientas utilizadas.....	10
<b>2.</b>	<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>12</b>
2.1.	Gestión de recursos mediante información dinámica.....	12
2.2.	Gestión de rutas y sistemas multiagentes.....	13
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>	<b>15</b>
3.1.	Agentes.....	15
3.2.	Ontología.....	18
3.3.	Heurísticas implementadas .....	21
3.4.	Esquema de reserva y negociación .....	26
3.5.	Interfaz del simulador .....	28
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS REALIZADAS .....</b>	<b>30</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
5.1.	Visión de futuro .....	35
<b>6.</b>	<b>TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>36</b>
6.1.	Mejoras en el cálculo de tiempos .....	36
6.2.	Restricciones para Mercancías Peligrosas .....	37
6.3.	Enlace con sistema de cálculo de rutas .....	37
6.4.	Información de Congestión de Carretera .....	38
6.5.	Nuevas heurísticas.....	38
6.6.	Ampliaciones de la Ontología propuestas para futuras versiones .....	38
<b>7.</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>41</b>
<b>8.</b>	<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>43</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>

# Índice de ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b> Millones de dólares de productos transportados en distintos medios en EEUU durante el 2012 .....	7
<b>Ilustración 2:</b> Millones de galones de combustible utilizados por distintos medios para el transporte de mercancías durante el periodo 1990-2003 en EEUU.....	7
<b>Ilustración 3:</b> Esquema del sistema ITS propuesto por V. Di Lecce y A. Amato .....	14
<b>Ilustración 4:</b> Interfaz de usuario del sistema propuesto por V. Di Lecce y A. Amato.....	14
<b>Ilustración 5:</b> Esquema que muestra el modo de comunicación entre agentes.....	17
<b>Ilustración 6:</b> Esquema de comunicación entre los agentes durante solicitud de reserva.....	26
<b>Ilustración 7:</b> Esquema de comunicación entre los agentes durante una solicitud de negociación. ....	27
<b>Ilustración 8:</b> Interfaz de configuración del simulador. ....	28
<b>Ilustración 9:</b> Interfaz de ejecución de la simulación. ....	29
<b>Ilustración 10:</b> Mapa de representación del escenario de pruebas.....	30
<b>Ilustración 11:</b> Infracciones totales realizadas durante los experimentos para las dos heurísticas implementadas con 5 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante 24 horas de simulación. ....	31
<b>Ilustración 12:</b> Infracciones totales realizadas durante los experimentos para las dos heurísticas implementadas con 10 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante 24 horas de simulación. ....	31
<b>Ilustración 13:</b> Infracciones totales realizadas durante los experimentos para las dos heurísticas implementadas con 15 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante 24 horas de simulación. ....	32
<b>Ilustración 14:</b> Porcentaje de ocupación global de las plazas de las áreas de servicio para una simulación con 5 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante las 24 horas de simulación.....	32
<b>Ilustración 15:</b> Porcentaje de ocupación global de las plazas de las áreas de servicio para una simulación con 10 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante las 24 horas de simulación.....	33
<b>Ilustración 16:</b> Porcentaje de ocupación global de las plazas de las áreas de servicio para una simulación con 5 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante las 24 horas de simulación.....	33
<b>Ilustración 17:</b> Esquema del algoritmo de tiempos de descansos mejorado.....	36
<b>Ilustración 18:</b> Relación de porcentaje de accidentes causados por cansancio en relación a las horas conducidas desde el último descanso. ....	45
<b>Ilustración 19:</b> Diagrama de Gantt con la distribución estimada de las tareas realizadas para la elaboración del proyecto. ....	47
<b>Ilustración 20:</b> Diagrama de Gantt con la distribución realizada de las tareas realizadas para la elaboración del proyecto. ....	47

# Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Planificación de las tareas y su distribución en horas. ....	9
<b>Tabla 2:</b> Acciones definidas en la ontología del sistema multiagente implementado. ....	20
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de tipos de mercancías. ....	39
<b>Tabla 4:</b> Ejemplo de datos adicionales para las Áreas de Servicio. ....	40
<b>Tabla 5:</b> Experimento 1 con entrada de 5 vehículos por segundo al sistema. ....	48
<b>Tabla 6:</b> Experimento 2 con entrada de 5 vehículos por segundo al sistema. ....	48
<b>Tabla 7:</b> Experimento 3 con entrada de 5 vehículos por segundo al sistema. ....	48
<b>Tabla 8:</b> Experimento 4 con entrada de 5 vehículos por segundo al sistema. ....	48
<b>Tabla 9:</b> Experimento 5 con entrada de 5 vehículos por segundo al sistema. ....	48
<b>Tabla 10:</b> Experimento 1 con entrada de 10 vehículos por segundo al sistema. ....	49
<b>Tabla 11:</b> Experimento 2 con entrada de 10 vehículos por segundo al sistema. ....	49
<b>Tabla 12:</b> Experimento 3 con entrada de 10 vehículos por segundo al sistema. ....	49
<b>Tabla 13:</b> Experimento 4 con entrada de 10 vehículos por segundo al sistema. ....	49
<b>Tabla 14:</b> Experimento 5 con entrada de 10 vehículos por segundo al sistema. ....	49
<b>Tabla 15:</b> Experimento 1 con entrada de 15 vehículos por segundo al sistema. ....	50
<b>Tabla 16:</b> Experimento 2 con entrada de 15 vehículos por segundo al sistema. ....	50
<b>Tabla 17:</b> Experimento 3 con entrada de 15 vehículos por segundo al sistema. ....	50
<b>Tabla 18:</b> Experimento 4 con entrada de 15 vehículos por segundo al sistema. ....	50
<b>Tabla 19:</b> Experimento 5 con entrada de 15 vehículos por segundo al sistema. ....	50
<b>Tabla 20:</b> Porcentajes de ocupación medio de las áreas de servicio con heurística de negociación. ....	51
<b>Tabla 21:</b> Porcentajes de ocupación medio de las áreas de servicio con heurística libre. ....	51
<b>Tabla 22:</b> Cantidad media de mensajes generados por el sistema durante las simulaciones en relación al número de vehículos que entran al sistema por segundo. ....	51

# 1. Introducción

En este primer capítulo del documento detallaremos la motivación que ha llevado al desarrollo de este trabajo, así como los objetivos específicos del proyecto. Adicionalmente, se expondrá la planificación seguida en la realización del proyecto y los recursos utilizados.

El resto de la memoria del TFM está estructurada de la siguiente forma:

- Un apartado del estado de arte, en la cual se expondrá un resumen de la literatura científica actual que trata los aspectos más relevantes del proyecto.
- Un apartado de diseño, donde se detallará los elementos, procesos y herramientas necesarias para el desarrollo del sistema propuesto en este proyecto.
- Un apartado de pruebas realizadas, en las que se pondrá a prueba el sistema desarrollado y se analizarán los datos obtenidos para evaluar las bondades del mismo.
- Un apartado de conclusiones y trabajo futuro, donde se evalúan los resultados obtenidos y se plantean las conclusiones generales del proyecto y el trabajo futuro que podría devenir del mismo.

## 1.1. Motivación

El transporte es uno de los grandes pilares del sistema económico moderno, además tiene un alto impacto social y ecológico en la sociedad. Es tal su importancia, que la literatura científica en el ámbito del tráfico es cada vez más extensa (la búsqueda de “intelligent transportation system” ofrece 821.000 resultados en GoogleScholar y 12.465 en IEEE Xplore).

El aumento del interés del transporte como disciplina científica ha hecho que se establezca el término Sistemas de Transporte Inteligente (Intelligent Transport System, o ITS) como el conjunto de soluciones telemáticas para la mejora de las operaciones relacionadas con el transporte. Los objetivos del ITS engloban, pero no se limitan, a la utilización de las tecnología de la información (IT) para el conocimiento del tráfico y estado de las carreteras en tiempo real, control de las señales y de los mensajes de tráfico, etc.

En el ámbito del transporte de mercancías, el tráfico por carretera supone una parte importante de este medio. Tomando como ejemplo a algunos de los países más desarrollados industrialmente, el porcentaje de cantidad de materias transportadas por carretera fue del 45.37% y del 32.45% durante el 2011 en la UE-27 y China, respectivamente, y de un 35.27% durante el 2009 en Estados Unidos<sup>1</sup>. Se observa en estos datos que el transporte por carretera juega un rol vital en la economía mundial; tanto es así que China, un país que en el pasado no había invertido grandes capitales en su red de carreteras y que dependía del transporte por raíles, ha aumentado la cantidad de proyectos para la construcción de estas infraestructuras (principalmente autopistas y autovías) desde comienzos de los años 80 (Alberto Nogales, China: Transport sector Brief [2]).

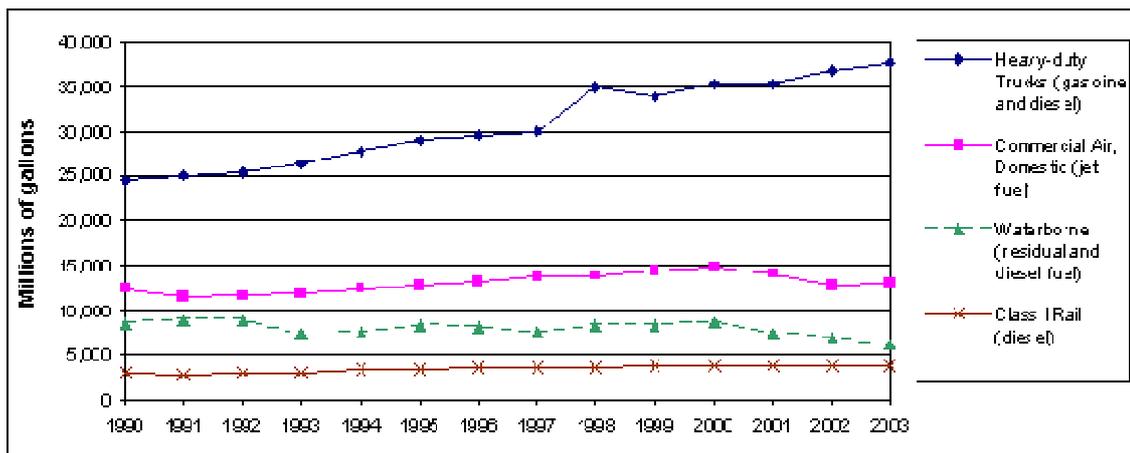
---

<sup>1</sup> Fuente: Statistical pocketbook 2013, European Commision.



**Ilustración 1: Millones de dólares de productos transportados en distintos medios en EEUU durante el 2012<sup>2</sup>**

El transporte por carretera, aunque necesario para el crecimiento económico e industrial de los países, está relacionado con ciertos impactos negativos, como la contaminación, la congestión de las carreteras y los accidentes de tráfico. En la EU-27 la cifra de fallecidos en accidentes en carretera durante el 2011 fue de 30268, y la cantidad de CO2 emitido durante el 2010 fue de 3891.3 millones de toneladas<sup>3</sup>.



**Ilustración 2: Millones de galones de combustible utilizados por distintos medios para el transporte de mercancías durante el periodo 1990-2003 en EEUU**

<sup>2</sup> Fuente: Bureau of Transportation statistics 2012, United States Department of transportation

<sup>3</sup> Fuente: Statistical pocketbook 2013, European Commission.

Es competencia del ITS reducir los problemas asociados al transporte, por lo que los esfuerzos para el desarrollo de este tipo de proyectos aumentan año tras año. Tomando a la Unión Europea como ejemplo, la Comisión Europea ha realizado grandes inversiones de capital en proyectos del ámbito del ITS (por ejemplo, con el TEMPO Programme o el proyecto EasyWay<sup>4</sup>), orientados a la mejora del sistema de transporte de mercancías y a la disminución de los problemas asociados a este ámbito.

Uno de los problemas asociados al transporte a larga distancia por carretera, es el de los espacios de aparcamientos requeridos para el descanso. Para poder realizar su descanso los transportistas deben aparcar en lugares diseñados para tal fin, es decir, en las plazas de aparcamiento de las áreas de servicio. No obstante, estas plazas son un recurso limitado, y un conductor podría llegar a un área de servicio y no encontrar ninguna plaza disponible. Es este problema el que este Trabajo de Fin de Máster (TFM) va a analizar y proponer soluciones por medio de ITS.

## 1.2. Objetivos

Los objetivos del trabajo son los que siguen:

- Diseño y desarrollo de una plataforma multiagente, con un conjunto de agentes que representen a los vehículos, a las áreas de servicio y a las plazas de aparcamiento, cuyo objetivo sea coordinarse para la gestión dinámica de plazas de aparcamiento. Se deben tener en cuenta las restricciones en los tiempos de conducción existentes en la legislación vigente que se pueden encontrar en el Apéndice A.
- Creación de una interfaz de usuario que permita generar simulaciones configurables del sistema multiagente implementado y almacenar los datos de la simulación realizada en un formato adecuado.
- Analizar los datos de las simulaciones para verificar que la utilización de información dinámica para la gestión de plazas reduce el número potencial de infracciones.
- Documentar adecuadamente el trabajo realizado.

## 1.3. Planificación

Se ha distribuido el trabajo del siguiente modo:

- Revisión bibliográfica en sistemas multiagentes para el tráfico y transporte [1][3][4].
- Discusión con el tutor de los sistemas revisados y de las características dinámicas a implementar para los objetivos del TFM.
- Revisión y discusión de algoritmos adecuados para la asignación dinámica de plazas.
- Implementación de un sistema multiagente para evaluar las características de los algoritmos seleccionados en el apartado anterior.

---

<sup>4</sup> [http://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/deployment\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/deployment_en.htm)

Desarrollo y evaluación de un sistema multiagente para la reasignación dinámica de plazas de aparcamiento en áreas de servicio en el transporte por carretera	Francisco Palau Romero
---	------------------------

Con la siguiente distribución de horas, que también puede encontrarse reflejada en el diagrama de Gantt en el Apéndice B:

Tarea	Horas planificadas	Horas realizadas	Objetivo
T1	25	25	Revisión bibliográfica
T2	25	30	Definición de los requisitos funcionales del sistema a desarrollar
T3	20	15	Diseño conceptual de los elementos del sistema a desarrollar
T4	20	15	Diseño del protocolo de gestión dinámica de plazas entre los agentes descritos en el diseño conceptual
T5	120	110	Implementación del sistema multiagente
T6	60	80	Diseño de pruebas y evaluación del sistema
T7	30	55	Redacción de la memoria final

**Tabla 1: Planificación de las tareas y su distribución en horas.**

La desviación entre las horas planificadas y las horas realizadas, se ha debido a los siguientes motivos:

- Hubo una desviación en los objetivos iniciales, lo que supuso una re-escritura de los requisitos y objetivos del sistema. Se pasó de un sistema multiagente que reprodujera el algoritmo de negociación desarrollado por Capdevila M. *et al.*, 2013 [1] a uno que realizara reservas de un modo dinámico utilizando un conjunto de tablas horarias.
- Se simplificó los métodos de negociación y comunicación, eliminando algunos requisitos en la reserva de plaza (que se ha dejado como trabajo futuro).
- La realización de pruebas han requerido una utilización mayor de la esperada de los recursos computacionales, lo ha ralentizado el proceso de prueba-error necesario para la depuración del código. Esto también ha provocado la necesidad de una mayor cantidad de horas para la realización de simulaciones.
- La redacción de la memoria final ha requerido una serie de *feedbacks* por parte del tutor Luis Amable para que adquiriera la calidad necesaria para la entrega del proyecto.

## 1.4. Herramientas utilizadas

### 1.4.1. JADE

JADE (Java Agent DEvelopment Framework) es un entorno de programación completamente implementado en el lenguaje de programación Java, distribuido por Telecom Italia<sup>5</sup>. Es un software de código abierto bajo licencia LGPL ( Lesser General Public License Version 2).

Este entorno de programación simplifica la implementación de sistemas multiagentes por medio de un software intermedio que cumple con las especificaciones FIPA<sup>6</sup>, y que ofrece una serie de herramientas que facilitan la depuración y despliegue del sistema.

La plataforma de agentes puede implementarse de forma distribuida, con distintos sistemas operativos, y puede gestionarse la configuración por medio de una interfaz gráfica remota. La configuración puede modificarse en tiempo de ejecución, incluso moviendo agentes de una máquina a otra si se requiere.

Algunos de los motivos para la elección de esta plataforma son:

- Familiaridad del autor con la plataforma.
- Es un entorno que continúa en proceso de ampliación y mejora, lo que da una mayor robustez, fiabilidad y continuidad a este proyecto y al trabajo futuro.
- Está basado en el lenguaje Java, por lo que el aprendizaje de la plataforma es más sencillo.
- Esta plataforma puede operar en una gran variedad de sistemas operativos, incluidos sistemas para dispositivos móviles.
- La plataforma es de licencia abierta.
- Soporta arquitectura distribuida.
- El lenguaje de comunicación de agentes se adapta al estándar establecido por la organización IEEE *FIPA*.

La última versión de la plataforma, hasta el momento de escritura de este documento, es JADE 4.3.2 y publicada en marzo del 2014. Para este trabajo se utiliza la versión 4.3.

JADE define dos lenguajes de contenidos predefinidos. En el paquete `jade.content` se incluyen dos codecs para dos lenguajes de contenido, los tipos de lenguaje son los siguientes:

- Lenguaje SL: legible para las personas y codifica las expresiones como string (`jade.content.lang.sl`).
- Lenguaje LEAP: no legible y codifica en byte-encoded (`jade.content.lang.leap`).

---

<sup>5</sup> <http://www.telecomitalia.com>

<sup>6</sup> FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) es una organización cuyo objetivo es estandarizar los modelos y tecnologías de agentes. La estandarización es necesaria para lograr la interoperabilidad de los sistemas basados en agentes (facilidad de interconexión e integración) y su apertura (posibilidad de extensión). En las especificaciones de FIPA se definen las características que deben cumplir las plataformas de gestión de sistemas multiagentes.

Se ha optado por el lenguaje SL considerando que es mejor para la simulación porque es comprensible, y facilita la depuración del código al poder visualizar la información que se está transmitiendo.

## 1.4.2. WindowBuilder

Para la creación de una sencilla interfaz que nos permita configurar la simulación y que con el menor esfuerzo cubra lo necesario para la realización de las simulaciones, se ha utilizado la extensión de Eclipse WindowBuilder<sup>7</sup>, que ofrece un diseñador de interfaces gráficas para Java.

WindowsBuilder es un plug-in de Eclipse y de otros entornos basados en Eclipse (RAD, RSA, MyEclipse, JBuilder, etc.). El código generado no requiere ninguna biblioteca personalizada para compilar y ejecutarse.

---

<sup>7</sup> <http://www.eclipse.org/windowbuilder/>

## 2. Estado del arte

En la actualidad existe una gran cantidad de literatura científica que trata algunos de los aspectos más relevantes relacionados con este proyecto, tales como la gestión eficiente de recursos logísticos mediante el uso de información dinámica y la utilización de agentes inteligentes para la resolución de problemas de un modo distribuido. En los siguientes apartados se analizarán algunos de los trabajos más relevantes en estas áreas.

### 2.1. Gestión de recursos mediante información dinámica

En el ámbito ITS existe una extensa cantidad de trabajos que buscan mejorar el uso de recursos mediante una gestión más eficiente de los mismos. En el trabajo de Na Zeng *et al.* [5] se quiere mejorar el aprovechamiento de los puntos de transbordo utilizados en el transporte urbano aplicado en la estación de Tianjin. El método propuesto para tal fin es el uso de una plataforma inteligente combinada con el uso de distintas tecnologías de la información; dicho sistema, mediante la información recolectada a través de la monitorización, tomará las decisiones oportunas para gestionar el tráfico, con el fin de evitar congestiones y accidentes.

La plataforma propuesta por Na Zeng *et al.* se divide en tres niveles o sistemas, siendo los niveles inferiores los que ofrecen servicios al inmediatamente superior, existiendo así una independencia entre los mismos. El primer nivel es la infraestructura de comunicación, que gestiona la transmisión de la información. El segundo nivel es la aplicación central de la plataforma, y se ocupa tanto de gestionar los datos como de procesar operaciones lógicas, además ofrece una interfaz de usuario para la manipulación del sistema. El tercer nivel del sistema involucra a aplicaciones GIS (Geographic Information Systems) y WEBGIS, que permite la captura, almacenamiento, análisis y gestión de la información del tráfico.

Teniendo en cuenta que la finalidad inmediata de nuestro proyecto es el desarrollo y evaluación de un sistema que realice una gestión dinámica de las plazas de aparcamiento en las áreas de servicio en carretera, el primer y tercer nivel del sistema propuesto por Na Zeng *et al.* son prescindibles. Para realizar la evaluación de las bondades de nuestro sistema, con una simulación del tráfico real de una carretera es suficiente, y esta simulación no requiere de información en tiempo real ni de información GIS. No obstante, de aplicar este sistema multiagente en un entorno real, será recomendable tener en cuenta el trabajo de Na Zeng *et al.*

Otro ejemplo de recursos logísticos limitados son los medios de acceso a los aeropuertos, que pueden verse congestionados si varias salidas/llegadas de los vuelos se concentran en una misma franja horaria. No hay tampoco que olvidar que las pistas de aterrizaje también son un recurso limitado en un aeropuerto, haciendo doblemente necesaria la distribución de los vuelos de un modo eficiente. En el trabajo de Jie Ouyang y Xuhong Li [6] se realiza un análisis de los beneficios derivados de una buena utilización de los recursos de transporte de un aeropuerto, para así mejorar la relación entre transporte aéreo y terrestre. Existen trabajos que enfocan la solución de este problema a través de algoritmos de control, que

permiten ajustar la demanda de vuelos a un valor similar a la capacidad de transporte del aeropuerto [7,8], tanto para vuelos como para otros métodos de transporte internos del aeropuerto.

Es interesante observar como en una gran mayoría de los trabajos cuyo objetivo es la gestión de recursos logísticos limitados, el uso de información dinámica es primordial. Adaptarse a la demanda de recursos es la clave para el uso eficiente de los mismos.

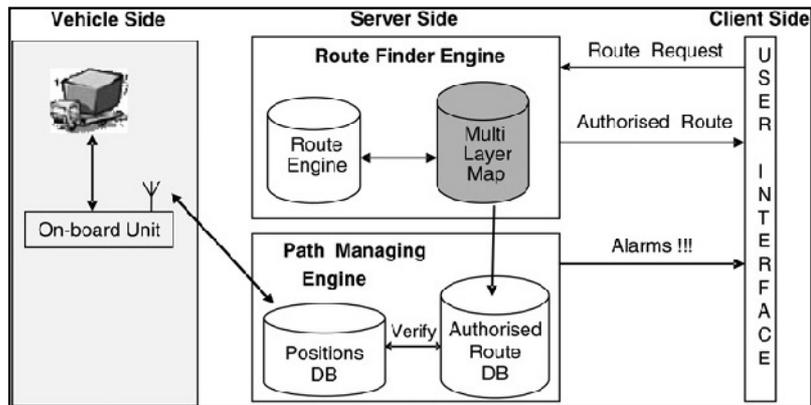
## 2.2. Gestión de rutas y sistemas multiagentes

Desde hace décadas existen un gran número de trabajos para la resolución del problema del cálculo de rutas para el transporte, entre ellos los más famosos son el algoritmo de Dijkstra[10], el de Bellman-Ford[11-12] y el de D'Esopo-Pape[13]; no obstante en la actualidad existe un amplio abanico de nuevas metodologías para el cálculo de rutas[14-16]. No obstante, es habitual que en todos los algoritmos para el cálculo de rutas se maneje un gran volumen de información, por lo que el uso de agentes inteligentes permite crear un sistema distribuido, obteniendo así una solución flexible, abierta y escalable.

En el trabajo de V. Di Lecce y A. Amato [9] se propone un sistema integrado que genere rutas de viaje para aquellos vehículos que realicen el transporte de mercancías peligrosas, evitando aquellas rutas cuyo entorno pueda verse afectado por el material transportado. V. Di Lecce y A. Amato utilizan el sistema de cálculo de rutas de GoogleMaps®, para posteriormente transmitir dicha propuesta de ruta al agente encargado de generar la ruta definitiva, el cual utiliza un “factor riesgo” para calcular de nuevo su ruta a través de GoogleMaps® utilizando “checkpoints” en el transcurso de la primera ruta recibida para evitar las zonas de riesgo. Posteriormente el agente negocia su ruta con otros agentes que se encuentren en su zona geográfica, pues se debe evitar también que vehículos cuya carga transportada sean peligrosas al estar próximas, circulen a poca distancia.

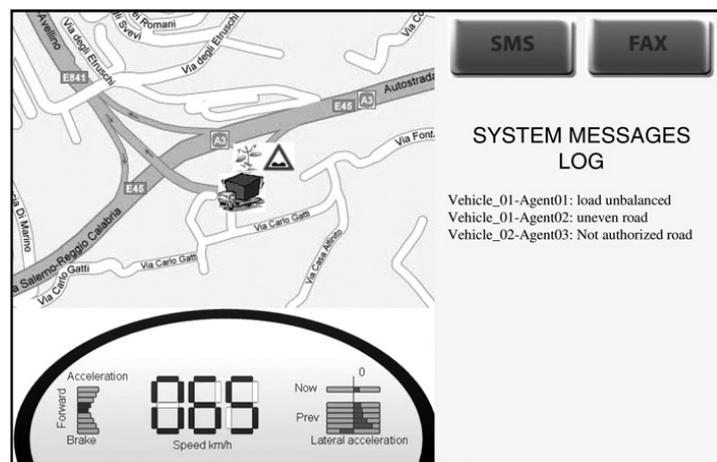
En el sistema multiagente propuesto por V. Di Lecce y A. Amato, con el objetivo de poder gestionar la extensa cantidad de información que supone un mapa de carreteras y las negociaciones entre una posible gran cantidad de agentes, se opta por dividir el mapa en sectores y utilizar la figura de un agente gestor por cada sector del mapa en el que se quiera aplicar el sistema, de un modo similar a la propuesta de Capdevila M. *et al* [1]. Con la figura del agente gestor es posible gestionar las negociaciones de un modo local entre agentes pertenecientes al sector de un mapa, en lugar de un modo global en el que todos los agentes del sistema sean partícipes de todas las negociaciones. Dado que el alcance del sistema propuesto en este TFM es el de gestionar simulaciones, y su puesta en marcha como sistema real y con un gran volumen de información está por el momento fuera del alcance del mismo, en este TFM se obviará la figura del agente gestor.

Para integrar esta solución, se propone un sistema ITS que incluye una aplicación a bordo para el vehículo con una interfaz de usuario para el conductor, todo ello interconectado a un servidor que contiene los mecanismos necesarios para el cálculo y el almacenaje de rutas. Una visión más detallada puede encontrarse en la ilustración 3.



**Ilustración 3: Esquema del sistema ITS propuesto por V. Di Lecce y A. Amato**

A continuación, en la ilustración 4, también se muestra la interfaz de usuario propuesta en este artículo.



**Ilustración 4: Interfaz de usuario del sistema propuesto por V. Di Lecce y A. Amato.**

El trabajo de V. Di Lecce y A. Amato es una buena referencia para el software objetivo al que aspira este TFM, siendo la principal diferencia el objetivo final del sistema: el de V. Di Lecce y A. Amato es un gestor de trayectos para el transporte de mercancías peligrosas y el sistema final que busca este TFM es un gestor de trayectos y descansos, incluyendo la gestión de las plazas en las áreas de servicio. No obstante, ambos trabajos son totalmente compatibles tanto en diseño como en utilidad para el usuario final.

## 3. Diseño del sistema

En el siguiente apartado se explicarán los componentes principales del sistema (Agentes y Ontología), las heurísticas implementadas para la realización de la negociación, el funcionamiento de los algoritmos principales del sistema (solicitud de plaza y solicitud de negociación) y finalmente se detallará la interfaz de usuario implementada para la realización de las simulaciones. En el Apéndice D se puede encontrar con detalle el desarrollo realizado para la implementación del sistema.

### 3.1. Agentes

El término agente viene del latín *agere* que significa hacer. Expresa la capacidad de acción o actuación de una entidad.

En el contexto de la informática, un agente es un sistema computador capaz de realizar acciones autónomas en algún entorno con el propósito de conseguir sus objetivos de diseño.

En este ámbito, se considera que un agente es una aplicación capaz de realizar acciones de forma **inteligente** y **autónoma** dentro de un entorno concreto, con el que se comunica, para conseguir sus objetivos.

Wooldridge y Jennins (1995) [17] sugirieron una serie de características que un agente inteligente debe cumplir para ser considerado como tal. Estas características definen al agente como un sistema de computación capaz de actuar de un modo autónomo y flexible en un entorno, entendiendo por flexible que sea:

- **Reactivo:** el agente percibe su entorno y responde a los cambios en el mismo en un tiempo aceptable.
- **Proactivo:** el agente puede tomar la iniciativa para tratar de cumplir sus objetivos.
- **Social:** el agente puede interactuar con otros agentes mediante algún método de comunicación.

Otras posibles propiedades que pueden tener los agentes:

- **Movilidad:** La habilidad del agente de moverse dentro de una red.
- **Veracidad:** Un agente no va a comunicar información falsa.
- **Benevolencia:** Los agentes no tienen objetivos contradictorios, y cada agente siempre intentará realizar lo que se le solicite.
- **Racionalidad:** El agente actuará para conseguir sus objetivos, y no realizará acciones que vayan en contra de los mismos.
- **Aprendizaje / Adaptación:** El rendimiento de los agentes mejora con el tiempo.

### *Sociedades de agentes*

La sociedad de agentes está estructurada como una red de agentes en la cual los nodos representan a dichas entidades, y los enlaces los puentes de intercambio entre los mismos. Los agentes pueden intercambiar competencias, conocimientos o recursos. Dependiendo de la organización de estos enlaces, el intercambio puede hacerse directamente entre los agentes o a través de un agente intermediario.

Un sistema multiagente (SMA) es un sistema distribuido que se compone de varios agentes, cuyo comportamiento es más como individuos en una sociedad de agentes que como componentes clásicos de un sistema mayor. Esto significa que los agentes en dichos sistemas no se limitan a realizar sus tareas de un modo distribuido, sino que además son capaces de interactuar entre ellos en un entorno definido.

Las características de un agente dentro del sistema son:

- **Autonomía:** Los agentes actúan de forma autónoma e independiente del resto de agentes.
- **Visión local:** Cada agente tiene conocimiento sólo de la información que le afecta, ningún agente tiene visión global de todo el sistema, o el sistema es demasiado complejo para que un agente pueda hacer uso práctico de disponer de toda la información.
- **Descentralización:** No hay un agente de control centralizado designado (de no ser así, sería una aplicación centralizada)

Los agentes dentro del sistema, para interactuar correctamente, tienen que ser capaces de cooperar, coordinarse y negociar, considerando que no todos los agentes van a tener los mismos intereses.

## *Agentes del sistema*

El sistema implementado es una plataforma multiagente que cuenta con tres tipos de agentes, Gestor de Trayectos (AgJourneyManager), Área de Servicio (AgRestAreaManager) y Plaza (AgParkingSpot).

Las áreas de servicio están representadas por un agente Área de Servicio, existe además un agente Plaza por cada plaza del área de servicio. Estos agentes Plaza se ocuparán de gestionar los horarios de reserva que se le soliciten, de forma que se libera de carga de trabajo al agente Área de servicio, y haciendo que el sistema sea más modular y ampliable.

Cada conductor de vehículo está representado con un agente Gestor de Trayectos, que se encargará de planificar la ruta a partir de la información facilitada por el conductor, obteniendo una posible ruta. Una vez obtenida la ruta, realizará una serie de negociaciones con las áreas de servicio disponibles, determinando de este modo para el conductor cual es la próxima área de servicio en la que se debería realizar el próximo descanso, intentando maximizar el tiempo de conducción. Cuando realice la reserva, quedará pendiente de una posible reubicación en caso de que otro vehículo pueda requerir su plaza. Si un Gestor de Trayectos no pudiera realizar una reserva, se considerará que el conductor genera una infracción (pues es incapaz de realizar su descanso obligatorio) y el agente abandona el sistema.

En la ilustración 5 se muestra un esquema de la jerarquía de comunicación entre los agentes del sistema propuesto en este trabajo.



**Ilustración 5: Esquema que muestra el modo de comunicación entre agentes.**

### Gestor de Trayectos - AgJourneyManager

Cada conductor tiene su propio Gestor de Trayectos, que se encarga de planificar las paradas y negociar la reserva de las plazas, considerando los *Datos del Conductor* y los *Datos del Vehículo*. Se consideran los datos del conductor y los datos del vehículo por separado a causa de que un vehículo puede ser conducido por turnos por varios conductores para evitar los descansos obligatorios, pues las limitaciones de descanso se aplican sobre el conductor, que es quien está obligado a realizar los descansos.

Cuando un agente Gestor de Trayectos debe planificar una parada, recopila una lista de Áreas de Servicio a las que puede acceder dentro de su tiempo de conducción permitido, y solicita una plaza en la más alejada de su posición (pues le permite realizar el máximo tiempo de conducción posible), indicando la hora prevista y la duración.

- Si el Área de Servicio tiene plaza disponible, se realiza la reserva.
- Si el Área de Servicio indica que no hay reubicación posible, el Gestor de Trayectos intenta reservar en la siguiente Área de Servicio de la lista.

Si al agente Gestor de Trayectos se le solicita una reubicación, consulta al Área de Servicio preferida (excluyendo a aquella que ha realizado la solicitud de reubicación) si dispone de una plaza libre.

- Si encuentra plaza en el Área de Servicio deseada, informará del tiempo perdido al Área de servicio que solicitó la reubicación, que le informará si debe confirmar la nueva reserva y cancelar la que ya tuviera.
- Si el Área de servicio no tuviera plaza disponible, se repite el proceso con la siguiente de la lista de Áreas de Servicio preferidas. De quedarse sin opciones para reubicarse, el agente Gestor de Trayectos informará al agente Área de Servicio que no le es posible reubicarse.

### Áreas de Servicio - AgRestAreaManager

El agente Área de Servicio se encarga de coordinar la ocupación de sus plazas, actuando como intermediario entre los agentes Gestor de Trayectos y Plazas.

También gestiona junto con los agentes Gestores de Trayectos la reubicación de vehículos en caso de que se soliciten más plazas de las disponibles para una misma franja horaria, proponiendo a todos los Gestores de Trayecto que tengan reserva de plaza en esa franja horaria y al nuevo solicitante que re-planifiquen sus paradas omitiendo el Área en conflicto.

Los Gestores de Trayectos a los que se haya solicitado la reubicación informan si es o no posible, y en caso de serlo, indican cuanto tiempo de conducción pierden a causa de dicha reubicación. Una vez obtenidas las respuestas, la Área solicita la reubicación al vehículo con una pérdida menor.

### Plaza - AgParkingSpot

Gestiona una agenda de reservas de ocupación, registrando las reservas o anulaciones de las mismas y facilita su información al área de servicio a la que pertenece cuando se la soliciten.

### ***Elementos de la infraestructura***

Se han creado adicionalmente unos elementos de infraestructura que dan apoyo a la simulación. Estos elementos, aunque se han implementados como agentes para facilitar su integración en la plataforma multiagentes, no se comportan como tales.

### Loader - AgLoader

El *Loader* se encarga del control de la simulación, realizando las siguientes tareas:

- La generación de los agentes necesarios para realizar la simulación a partir de información de ficheros de texto o de datos aleatorios.
- Control del tiempo de la simulación.
- Mostrar y conectar con la Interfaz de usuario para recuperar la información de configuración de la simulación.

### Gestor del registro - AgLogManager

El gestor de registros *LogManager* se encarga de gestionar los ficheros que almacenan los datos de la simulación, recibir la información de los agentes, y registrarla.

## 3.2. Ontología

El término **ontología** en informática hace referencia a la especificación formal y explícita de unos conceptos compartidos referentes a un dominio concreto, legibles por una computadora, con la finalidad de facilitar la comunicación y compartición de la información entre diferentes sistemas.

Esto aplicado a los agentes permite la comunicación entre aquellos que tengan definida una ontología común para poder entender los conceptos que se intercambian en sus mensajes.

En este apartado se van a detallar los conceptos que disponemos dentro del sistema representados con una ontología y las acciones que pueden realizar. Los conceptos se han dividido en dos grupos: los conceptos que forman parte del sistema de negociación y aquellos que sirven para almacenar los datos de simulación.

### 3.2.1. Ontología: Conceptos del sistema

#### ***Carretera - Road***

Información sobre las carreteras contempladas en el sistema:

- **Identificador de carretera** - *int: roadId*
- **Nombre de la carretera** - *String: name*
- **Indicador de tráfico** - *float: traffic*: Valor entre 0 y 1 que indica el nivel de congestión de la carretera.
- **Longitud** - *int: lenght*

#### ***Datos del Conductor - Driver***

Detalla la información referente a un conductor.

- **ID del conductor** - *int: driverId*
- **Nombre** - *String: name*
- **Tiempo de conducción** - *int: drivingTime*: Cantidad de minutos que el conductor lleva conduciendo.

#### ***Datos del Vehículo - Vehicle***

Información sobre cada uno de los vehículos que dispondrán de un Agente gestor de trayectos en el sistema.

- **ID del Vehículo** - *int: idVehicle*
- **Velocidad máxima** - *int: maxSpeed*
- **Km en que se encuentra actualmente** - *int: km*
- **Carretera en que se encuentra actualmente** - *Road: road*
- **Conductor para el trayecto** - *Driver: driver*

#### ***Área de Servicio - RestArea***

Información sobre las áreas de servicio del sistema.

- **Identificador del área de servicio** - *int: idRestArea*
- **Nombre** - *String: name*
- **Número de plazas** - *int: spots*
- **Carretera en que se encuentra** - *Road: road*: Se considera la carretera principal desde la que se tiene acceso al área de servicio.
- **Kilómetro de carretera en que se encuentra el acceso al área de servicio** - *int: km*

#### ***Reserva - Reservation***

Información sobre una reserva concreta, que se utilizará para almacenar los registros de ocupación de las plazas de aparcamiento, y también para intercambiar información sobre las reservas entre los agentes.

- **ID del Gestor de trayectos que ha realizado la reserva** - *int: JourneyManagerID*
- **Hora inicio** - *Date: timeStart*
- **Hora fin** - *Date: timeEnd*

### 3.2.2. Ontología: Acciones del sistema

Las acciones del sistema definen esquemas de comunicación entre distintos agentes (Emisor y Receptor), en los cuales se transmite un mensaje con unos atributos o datos predefinidos.

Nombre - Clase	Emisor	Receptor	Descripción	Atributos
<b>Solicitar plaza - ReservationRequest</b>	Agente Gestor de Trayectos	Área de Servicio	Un Gestor de Trayectos solicita reservar una plaza en el Área de Servicio.	Reservation
<b>Consultar ocupación de plaza - OccupationRequest</b>	Agente Gestor de Trayectos	Área de Servicio	Un gestor de trayectos realiza una consulta para saber si existe una plaza libre en el Área de Servicio en la hora en que está prevista su llegada a ella.	Reservation
<b>Solicitar ocupación de plaza - OccupationRequest</b>	Área de Servicio	Plaza	El Área de Servicio solicita saber la ocupación de la Plaza en la franja horaria requerida.	Reservation
<b>Informar de liberación de plaza - CancelRequest</b>	Área de Servicio	Plaza	El Área de Servicio indica a la Plaza que libere la franja horaria de un vehículo en su ocupación.	Reservation
<b>Registro de Reubicación - LogRelocation</b>	Área de Servicio	Gestor del Registro	Cada vez que se produce una reubicación se registra información sobre la misma.	time, affectedVehicles, relocableVehicles, success, relocatedVehicleOrder, relocatedVehicleLostTime
<b>Registro de Infracción - LogInfraction</b>	Gestor de Trayectos	Gestor del Registro	Cuando un vehículo sale del sistema por infracción (no hay sitio para él) se registra una infracción.	time
<b>Registro de Trayectos - LogJourneyData</b>	Gestor de Trayectos	Gestor del Registro	Cuando un vehículo sale del sistema o finaliza la simulación, se registran información sobre su trayecto.	drivedTime, lostTime, restTime, km, kmIn, kmOut

Tabla 2: Acciones definidas en la ontología del sistema multiagente implementado.

### 3.2.3. Ontología: Información a Registrar

Dentro de la ontología se han definido los siguientes conceptos, para informar al agente LogManager de la información que debe registrar para analizar los resultados.

#### ***Datos de Reubicación - LogRelocation***

Registro realizado por las Áreas de Servicio con la información de cada reubicación que se produce en el sistema.

- Hora de la reubicación

- Número de vehículos afectados
- Número de vehículos que pueden reubicarse
- Éxito: Si/No
- Orden del vehículo que se ha reubicado
- Tiempo perdido por el vehículo reubicado

### ***Información sobre el Trayecto - LogJourneyData***

Información que el agente Gestor de Trayectos recopila sobre el trayecto realizado en cada carretera:

- Tiempo total de conducción
- Tiempo perdido (Suma de todos los periodos desde el tiempo de conducción continuada realizado hasta cada parada y el tiempo máximo de conducción continuada).
- Tiempo total de descanso
- Kilómetros conducidos
- Kilómetro de entrada a la carretera
- Kilómetro de salida

## **3.3. Heurísticas implementadas**

El sistema implementado se basa en la utilización de heurísticas para realizar la negociación de las plazas de aparcamiento. A continuación se dará una descripción de las dos heurísticas implementadas en el sistema desarrollado.

### **3.3.1. Negociación**

La negociación para la reubicación está basado en el método planteado por Capdevila M. *et al.*, 2013 [1], pero la negociación se realizará entre los distintos agentes involucrados (Gestor de Trayectos y Áreas de Servicio) en vez de disponer de un agente *Manager* que se encargue de gestionar la negociación de manera centralizada. Cada Área de Servicio realiza la reubicación de los Gestores de Trayectos involucrados en una negociación y determina qué vehículo debe reubicarse. Se ha tomado la decisión de eliminar la figura del *Manager* para evitar que un solo agente tenga acceso a los datos de todos los vehículos y de la información de ocupación de todas las áreas de servicio (pues se considera que esta es información sensible a ser sustraída).

Si existen plazas libres, la reserva realizada por un camión se asigna directamente. El proceso de reasignación de plazas sucede cuando alguna nueva petición de reserva llega a un área de servicio que tiene todas sus plazas reservadas u ocupadas. Esta situación provoca la ejecución del protocolo de reasignación que promoverá una nueva distribución, probablemente distinta de la actual, de reservas entre el área actual y las áreas vecinas con plazas libres para dar cabida a todas las peticiones. Se consideran una serie de supuestos aplicables a las características del escenario de ejecución, de las cuales se destacan las siguientes: 1) se establece la restricción que si un camión se encuentra cerca del área de servicio del que tiene reserva, este camión no entra en el proceso de reasignación; y que 2)

los aspectos más relevantes para la toma de decisiones son aspectos de tiempo de conducción y distancia recorrida.

Este protocolo dispone de características dinámicas para el proceso de negociación. Estas características involucran dos aspectos: 1) la aparición de nuevas plazas libres (debido, por ejemplo, a que un camión que estaba ocupando una plaza física abandonó el área de servicio dejando, por lo tanto, una nueva plaza libre); y 2) el desplazamiento de los camiones en la carretera a medida que avanza el tiempo, lo que modifica su posición en la carretera y por lo tanto su prioridad para ser asignado a una plaza de un área de servicio.

El funcionamiento de la negociación será el siguiente:

1. Se inicia cuando un Gestor de Trayectos solicita la reserva de una plaza a un Área de Servicio y no hay ninguna plaza en el horario indicado disponible en dicha área.
2. El Área de Servicio solicita a las Plazas ocupadas en esa franja horaria los identificadores de todos Gestores de Trayectos de los vehículos que ocupan las plazas.
  - Si más de un vehículo ocupa la franja horaria, no se enviarán los identificadores, de este modo evitamos mover varios vehículos para ubicar uno solo.
3. El Área de Servicio envía un mensaje a todos los Gestores de Trayectos cuyo identificador corresponda con los que ha recibido de las plazas (incluyendo además al vehículo solicitante), pidiendo que verifiquen si pueden reubicarse en otra Área de Servicio.
  - Existe un tiempo límite en el cual un vehículo puede aceptar o no realizar una reubicación, este tiempo se establece para permitir a los conductores a reaccionar a los cambios imprevistos en su parada. En nuestro sistema se ha establecido que si el vehículo se encuentra a quince minutos de distancia con el área de servicio donde tiene una reserva, no participará en las negociaciones.
4. Cada Gestor de Trayectos busca si encuentra una plaza libre donde poder reubicarse revisando su lista de Áreas de Servicio preferidas por orden desde el principio (excluyendo el área en conflicto), consultando a cada área si dispone de una plaza libre en la franja que tiene previsto parar, continuando con la siguiente de la lista mientras le respondan negativamente, hasta que encuentre una respuesta afirmativa.
5. El Área de servicio que está gestionando la reubicación recibe las respuestas de los Gestores de Trayectos que le indican una de las siguientes respuestas:
  - Que no pueden reubicar su parada.
  - Que pueden reubicar su parada, junto con el tiempo de conducción ininterrumpida que perderían a causa de dicho cambio (expresada en minutos). Este valor podría ser negativo, ya que un vehículo podría encontrar una plaza en un Área de Servicio más beneficiosa para su tiempo de conducción (es decir, saldría ganando con la reubicación).
6. El Área de Servicio, teniendo una lista de vehículos con posibilidad de reubicarse y el tiempo que cada vehículo pierde al realizar dicha reubicación, ordena dicha lista de menor a mayor pérdida de tiempo de conducción.
7. Se asigna al primer vehículo de la lista como el designado para reubicarse, y se le indica que realice la reserva en el Área de servicio consultada.
8. El Gestor de Trayectos realiza la nueva reserva, teniendo en este instante dos reservas activas, ya que a modo de seguridad no se le elimina la reserva inicial hasta que no ha confirmado la nueva.
9. Si el vehículo escogido es un vehículo que tenía una reserva, se cancela la reserva inicial.
  - Tras realizarse la cancelación, se concede la reserva al vehículo que originó la negociación.

10. Si es el vehículo que originó la negociación, ya no es preciso hacer nada más.
11. Si el Gestor de Trayectos no consigue realizar la reubicación, el Área de Servicio asigna para reubicarse al siguiente vehículo de la lista. Este proceso se repetirá hasta que alguno de los vehículos pueda reubicarse o ninguno pueda hacerlo (momento en el cual se indica al vehículo que ha originado el conflicto que es imposible que realice la reserva en el Área de Servicio que ha solicitado).

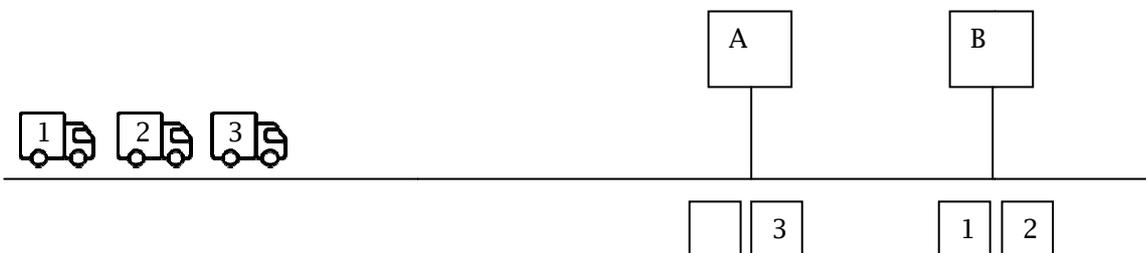
A continuación veremos algunos escenarios que ayudarán a comprender el funcionamiento del algoritmo de negociación dinámica.

Características comunes de los escenarios:

- Todos los camiones se encuentran en el mismo punto de la carretera, y hacen las reservas en orden (primero el camión 1, luego el 2, y así secuencialmente). Todos los camiones pueden conducir como máximo el mismo número de kilómetros.
- El área de servicio A tiene dos plazas de aparcamiento libres y se encuentra a 100 kilómetros de los camiones.
- El área de servicio B tiene dos plazas de aparcamiento libres y se encuentra a 120 kilómetros de los camiones.

Situación 1:

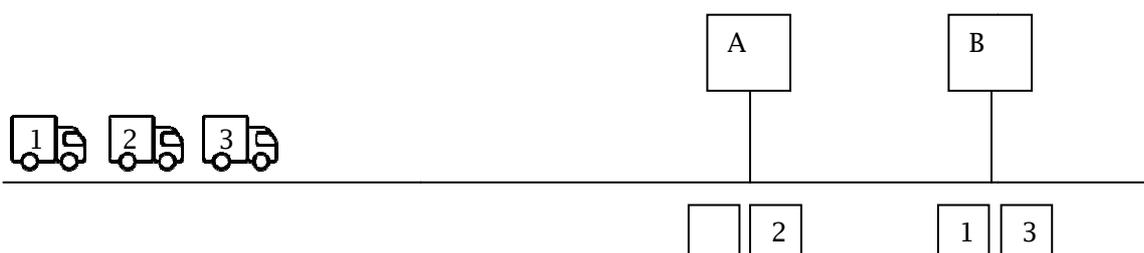
- El camión 1 puede conducir 150 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 2 puede conducir 120 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 3 puede conducir 100 kilómetros antes de cometer una infracción.



*Conclusión:* No ha habido necesidad de negociación ni se ha cometido ninguna infracción.

Situación 2:

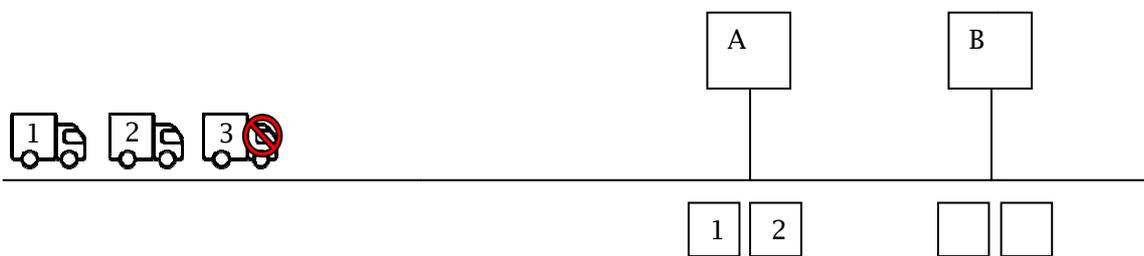
- El camión 1 puede conducir 150 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 2 puede conducir 120 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 3 puede conducir 130 kilómetros antes de cometer una infracción.



*Conclusión:* El camión 1 y 2 han solicitado plaza de aparcamiento con éxito. La solicitud de plaza del camión 3 ha creado una negociación entre los camiones 1, 2 y 3. El camión 2 ha sido reubicado a la estación de servicio A, pues es el que tiene un mayor tiempo de conducción. No se ha cometido ninguna infracción.

Situación 3:

- El camión 1 puede conducir 110 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 2 puede conducir 100 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 3 puede conducir 110 kilómetros antes de cometer una infracción.



*Conclusión:* El camión 1 y 2 han solicitado plaza de aparcamiento con éxito. La solicitud de plaza del camión 3 ha creado una negociación entre los camiones 1, 2 y 3. La negociación ha fracasado, pues ningún camión puede reubicarse, dejando al camión 3 sin posibilidad de encontrar un área de servicio libre antes de terminar su tiempo de conducción permitido. El camión 3 ha cometido una infracción.

### 3.3.2. Modo libre

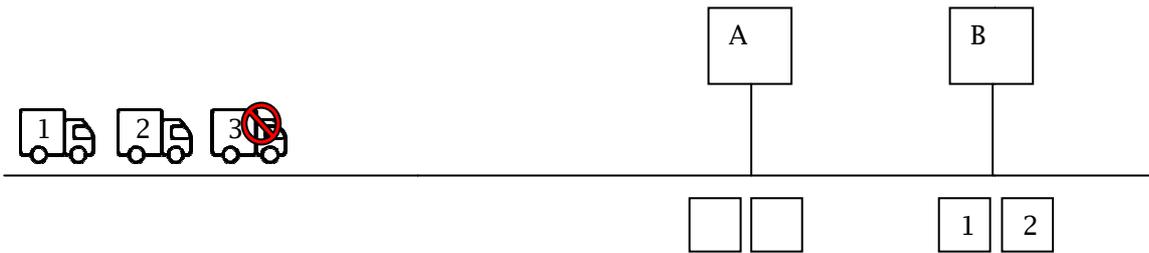
El modo libre es una heurística en la cual cada camión intentará realizar el máximo recorrido posible dentro de su tiempo de conducción máximo, pero sin tener en cuenta la información dinámica de las plazas de aparcamiento. Con este modo, todos los camiones conducirán hasta la estación de servicio deseada, e intentarán realizar una reserva en la misma. Nótese que no existe negociación alguna, pues cuando un camión llega a la estación de servicio, no existen reservas con las que negociar, sólo plazas ocupadas o disponibles. A continuación veremos algunos escenarios que ayudarán a comprender el funcionamiento del algoritmo de modo libre.

Características comunes de los escenarios:

- Todos los camiones se encuentran en el mismo punto de la carretera, y hacen las reservas en orden (primero el camión 1, luego el 2, y así secuencialmente). Todos los camiones pueden conducir como máximo el mismo número de kilómetros.
- El área de servicio A tiene dos plazas de aparcamiento libres y se encuentra a 100 kilómetros de los camiones.
- El área de servicio B tiene dos plazas de aparcamiento libres y se encuentra a 120 kilómetros.

Situación 1:

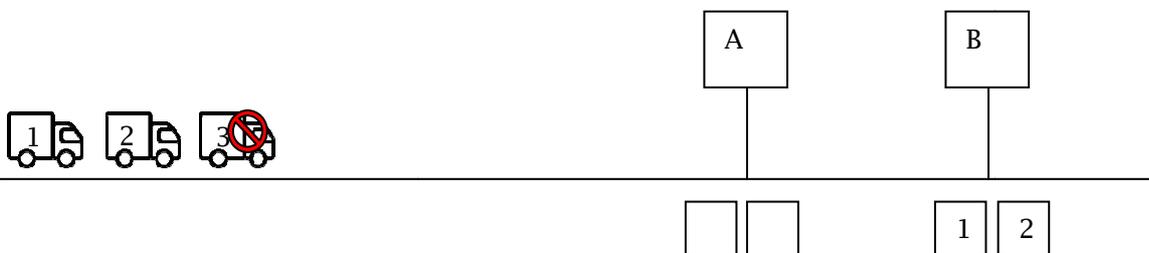
- El camión 1 puede conducir 150 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 2 puede conducir 120 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 3 puede conducir 100 kilómetros antes de cometer una infracción.



*Conclusión:* El camión 3 no ha podido reservar en el área de servicio B, por lo que comete una infracción.

Situación 2:

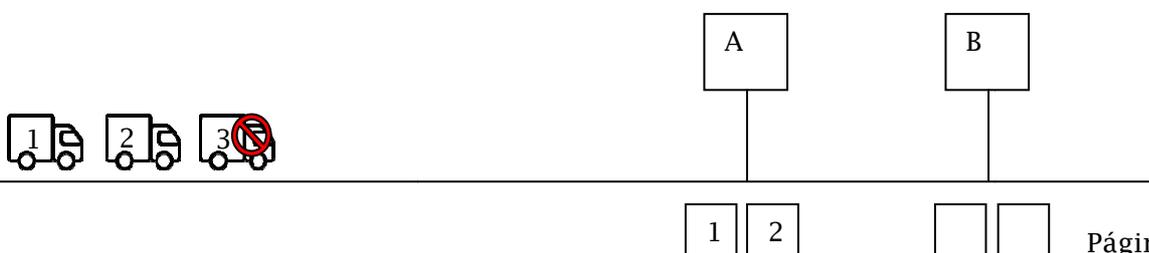
- El camión 1 puede conducir 150 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 2 puede conducir 120 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 3 puede conducir 130 kilómetros antes de cometer una infracción.



*Conclusión:* El camión 3 no ha podido reservar en el área de servicio B, por lo que comete una infracción.

Situación 3:

- El camión 1 puede conducir 110 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 2 puede conducir 100 kilómetros antes de cometer una infracción.
- El camión 3 puede conducir 110 kilómetros antes de cometer una infracción.



*Conclusión:* El camión 3 no ha podido reservar en el área de servicio A, por lo que comete una infracción.

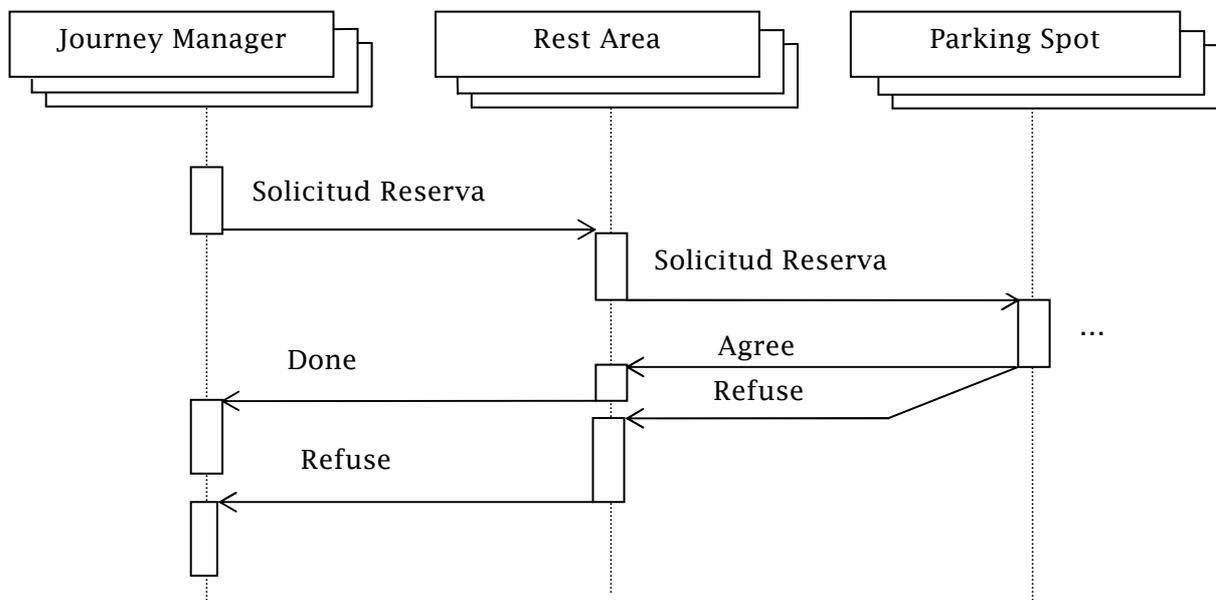
### 3.4. Esquema de reserva y negociación

Los siguientes esquemas (ilustración 6 y 7) muestran la comunicación que los agentes llevan a cabo durante una solicitud de reserva y durante una solicitud negociación.

#### ***Solicitud de reserva***

La solicitud de reserva comienza cuando un agente *Journey Manager* solicita una plaza de aparcamiento a un agente *Rest Area*. Cuando esto ocurre, el agente *Rest Area* re-envía la solicitud a todas los agentes *Parking Spot* que tiene asignado, y dichas plazas envían una respuesta al agente *Rest Area* indicando su disponibilidad para la hora solicitada.

Si al menos un agente *Parking Spot* dispone de espacio para la reserva, el agente *Rest Area* informará al agente *Journey Manager* de que la reserva se ha realizado con éxito.

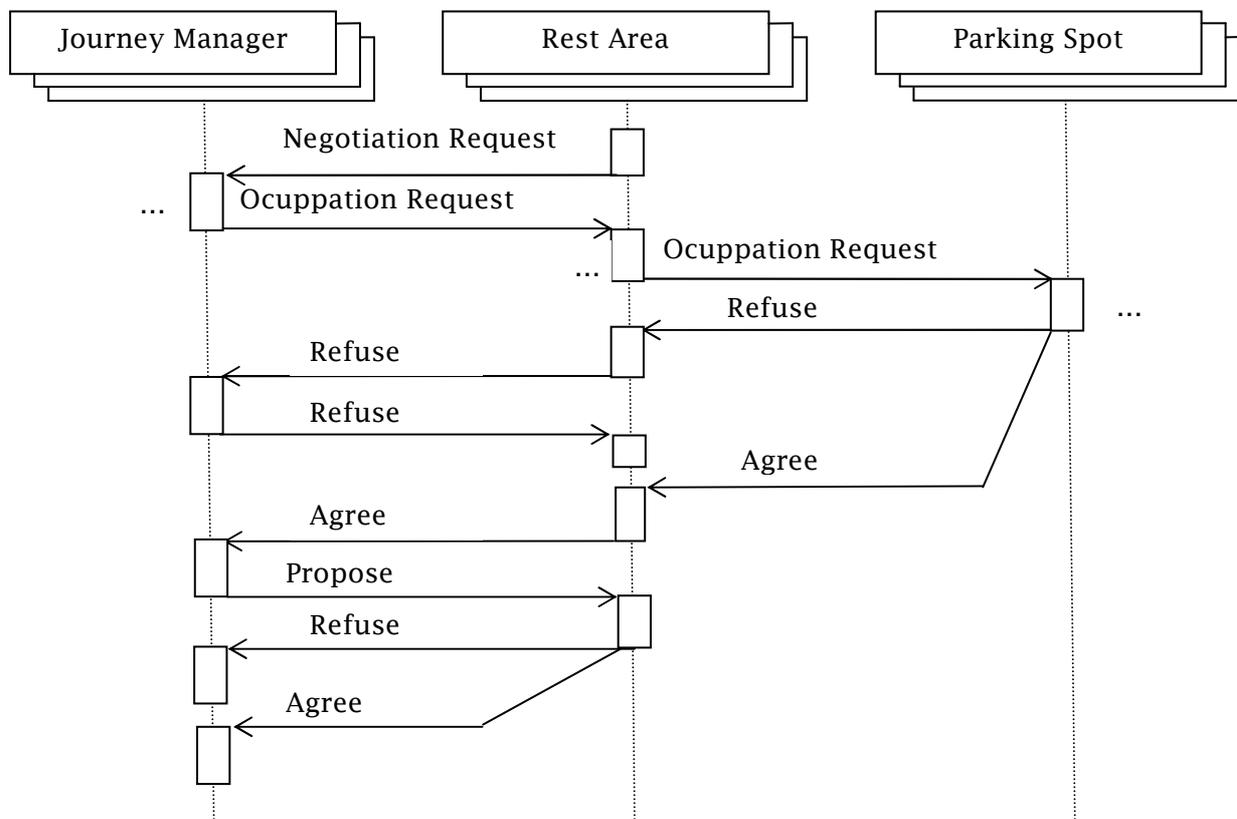


**Ilustración 6: Esquema de comunicación entre los agentes durante solicitud de reserva.**

## *Solicitud de negociación*

La solicitud de negociación comienza cuando un agente Rest Area, a causa de no disponer de plazas disponible para un agente Journey Manager solicitante, envía a todos los agentes Journey Manager que están ocupando plaza para un determinado bloque horario una solicitud para buscar otra área de servicio para su descanso.

Los agentes Journey Manager involucrados enviarán una solicitud de ocupación a los agentes Rest Area a los que puedan acceder (excluyendo al agente Rest Area que ha comenzado la negociación). En caso de obtener una respuesta positiva de alguna de dichas áreas de servicio, propondrá su reubicación al área de servicio que comenzó la negociación, la cual deberá aceptar una de las propuestas y rechazar el resto.

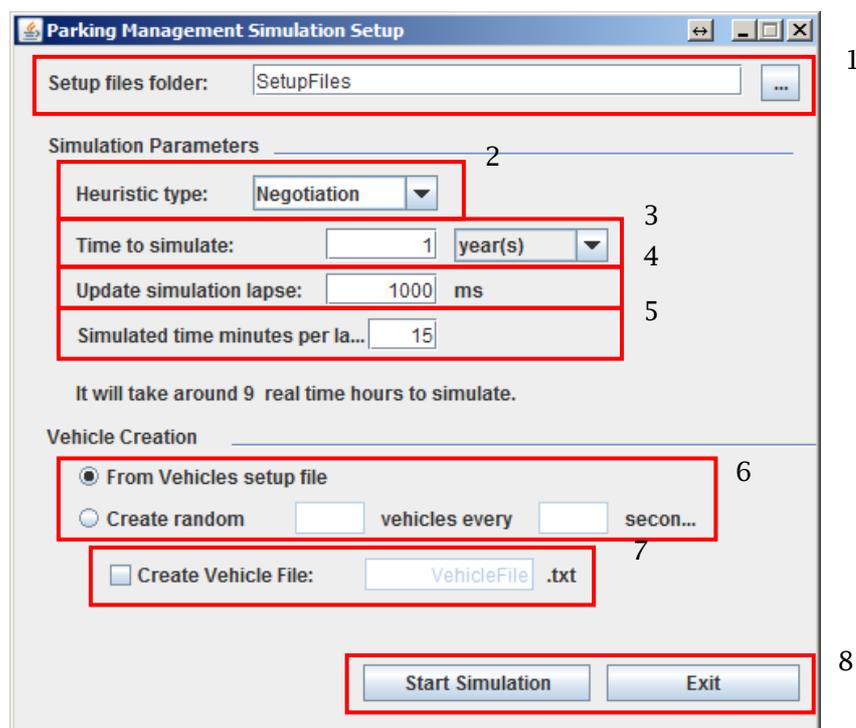


**Ilustración 7: Esquema de comunicación entre los agentes durante una solicitud de negociación.**

## 3.5. Interfaz del simulador

Para permitir una configuración sencilla de los parámetros de simulación, se ha desarrollado una interfaz de usuario adaptada a las necesidades del proyecto.

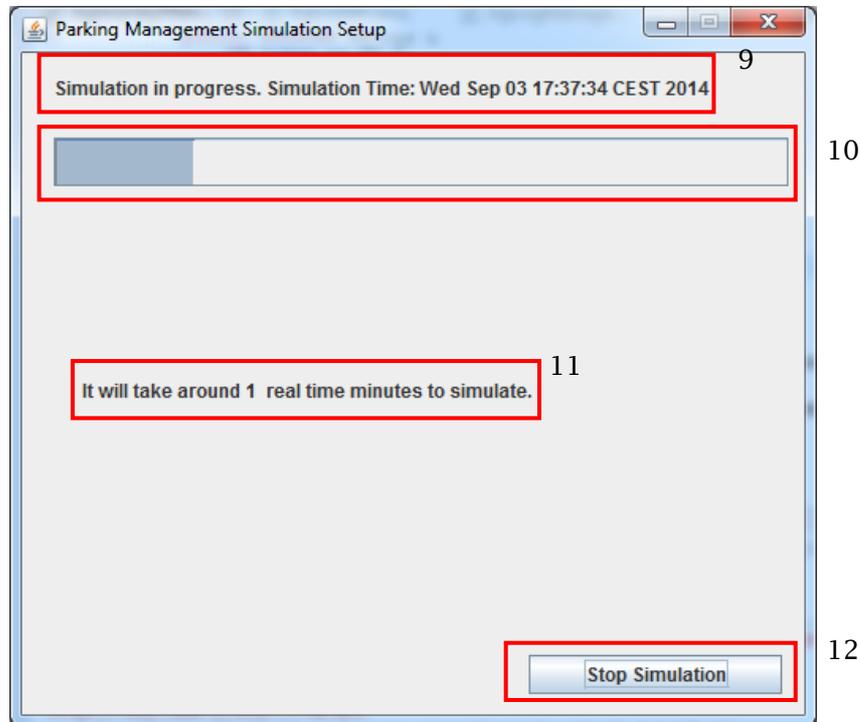
A continuación se detallan en la ilustración 8 y 9 los elementos de la interfaz de configuración de la simulación y los elementos de la interfaz de ejecución de la simulación.



**Ilustración 8: Interfaz de configuración del simulador.**

1. Botón de carga de los ficheros de configuración (que contienen la información de las carreteras, estaciones de servicio y camiones, si realizamos una simulación sin carga dinámica de camiones).
2. Selección de la heurística a aplicar en la simulación. Se han implementado dos, con negociación o sin negociación (modo libre).
3. Cantidad de tiempo que transcurrirá en la simulación.
4. Cantidad de tiempo que requiere el sistema para avanzar la simulación la cantidad de tiempo establecida en 5.
5. Cantidad de tiempo que transcurrirá en la simulación en cada lapso establecido en 4.
6. Selección de si queremos que los vehículos se generen estáticamente (obteniendo sus valores de inicio del fichero de configuración) o si deseamos una generación dinámica y aleatorio, en cuyo caso especificaremos cuantos camiones se crean y cada cuanto tiempo.

7. Al marcar esta opción, el simulador almacena en un fichero de texto los camiones que se van generando aleatoriamente durante la simulación.
8. Botones que permiten iniciar la simulación o salir de la pantalla de configuración.



**Ilustración 9: Interfaz de ejecución de la simulación.**

9. Este texto indica que la simulación se está ejecutando, y en qué día y hora se encuentra el sistema simulado.
10. Barra de progreso de la simulación, cuando se complete la simulación habrá finalizado.
11. Estimación de la duración total de la simulación.
12. Botón que permite detener la simulación.

## 4. PRUEBAS REALIZADAS

Se han realizado cinco simulaciones basándonos en el siguiente escenario:

- Se simularán 24 horas de tráfico (en intervalos de simulación de 15 minutos que se sucederán cada segundo).
- Se utilizará como carretera un tramo de 200 kilómetros de la autopista A7, aproximadamente el tramo desde Vera (A) hasta Motril (K).
- Se ha situado una estación de servicio con dos plazas de aparcamiento disponibles cada 20 kilómetros, teniendo disponible 10 estaciones de servicios (B, C, D, E, F, G, H, I, J y K) y 20 plazas de aparcamiento.
- Cada 15 minutos de simulación, entrarán un número determinado de camiones en el sistema en un lugar aleatorio de la carretera, con una cantidad de kilómetros recorridos aleatoria y una cantidad de kilómetros a recorrer también aleatoria. Estos datos generados aleatoriamente consideran la longitud máxima de la carretera, para evitar situaciones que no puedan contemplarse en escenario propuesto.

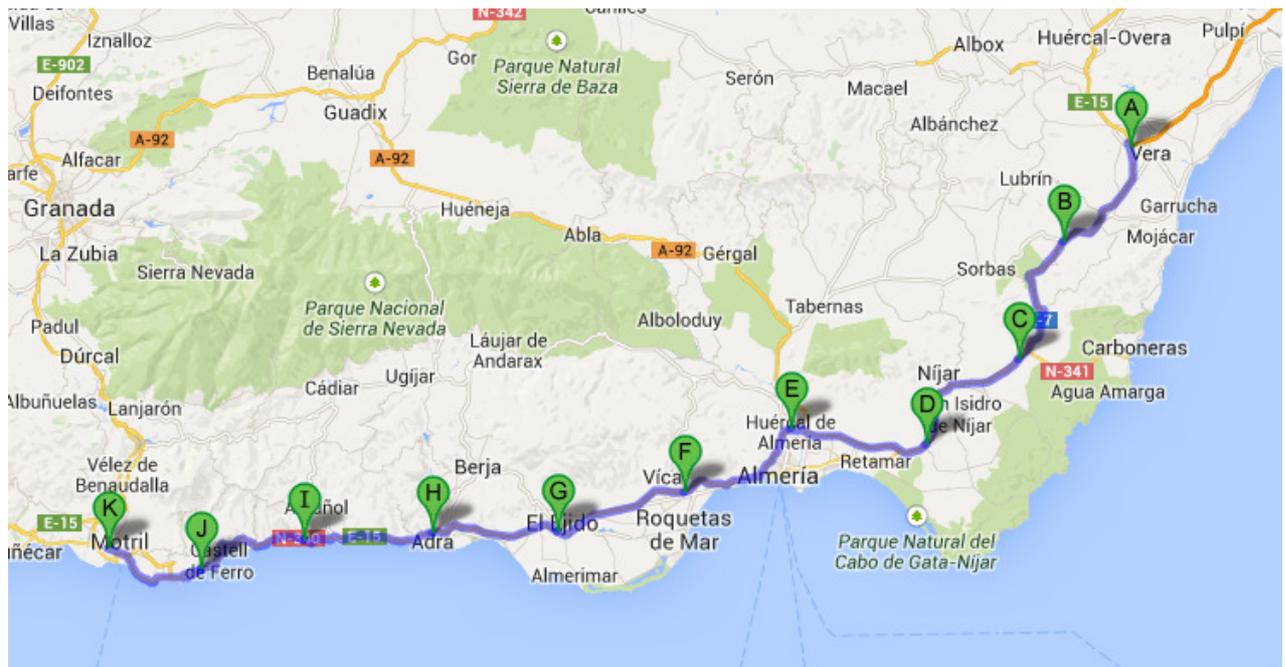
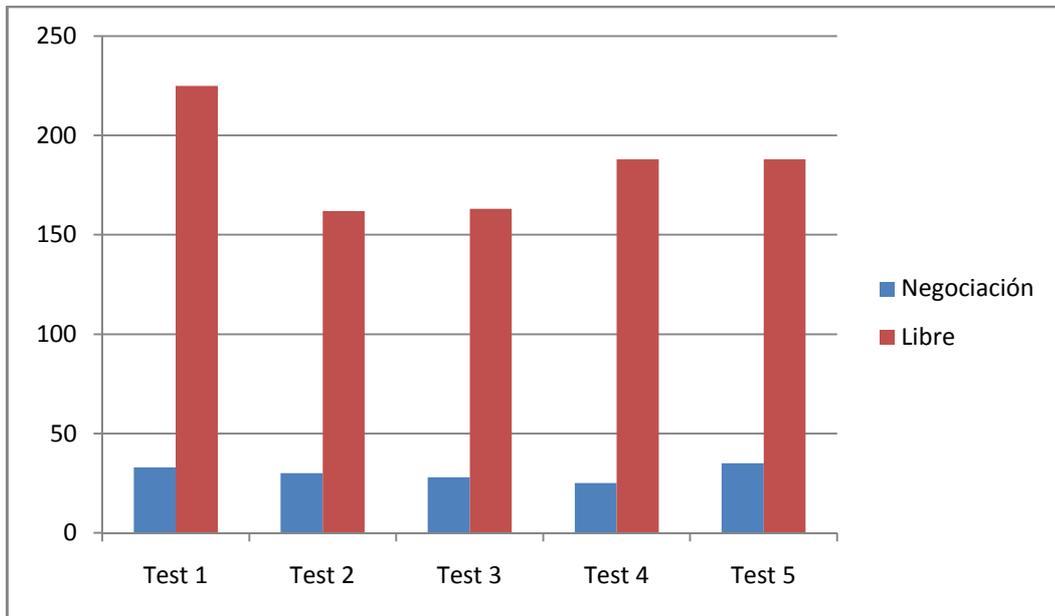
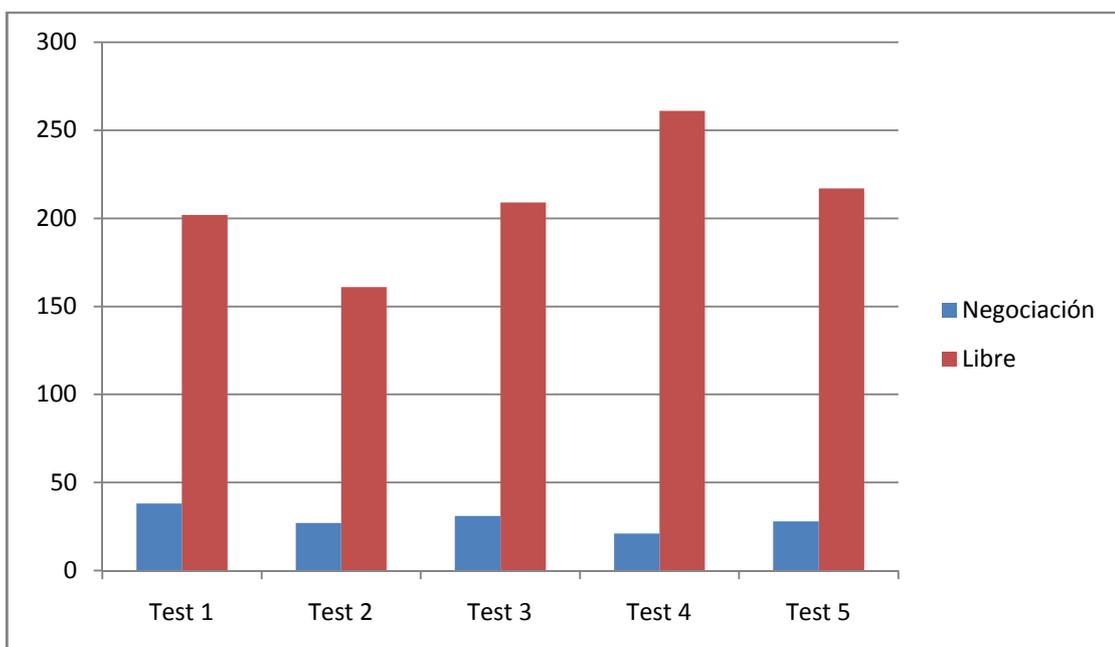


Ilustración 10: Mapa de representación del escenario de pruebas.

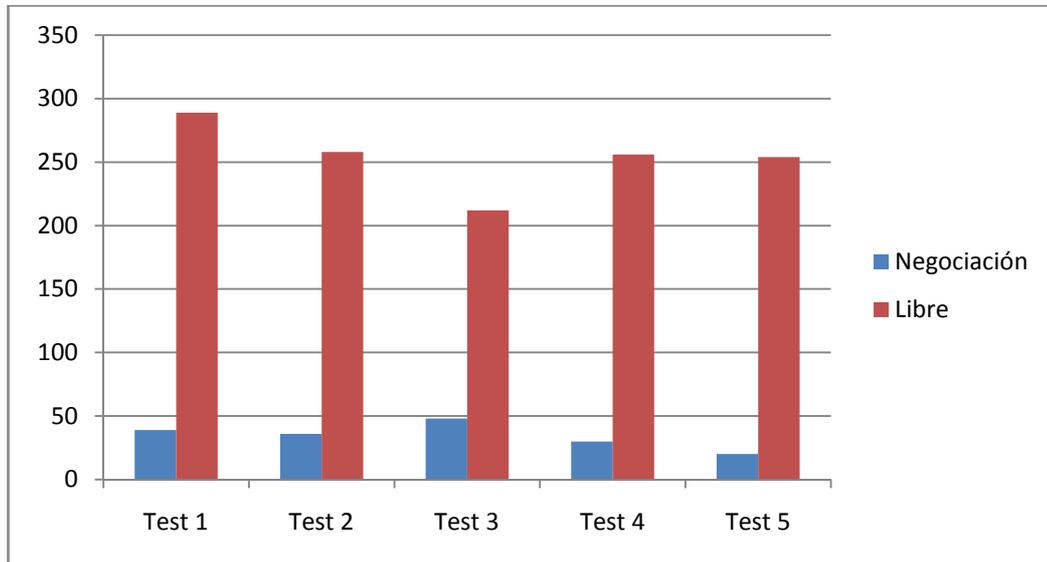
En las siguientes ilustraciones se muestra el número de infracciones globales ocurridas durante los cinco experimentos realizados para las heurísticas implementadas (con negociación y modo libre) para 3 escenarios distintos, en los que entran en el sistema 5, 10 o 15 vehículos cada quince minutos. Se considera infracción al hecho de que un vehículo no sea capaz de realizar el descanso que le corresponda.



**Ilustración 11: Infracciones totales realizadas durante los experimentos para las dos heurísticas implementadas con 5 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante 24 horas de simulación.**



**Ilustración 12: Infracciones totales realizadas durante los experimentos para las dos heurísticas implementadas con 10 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante 24 horas de simulación.**

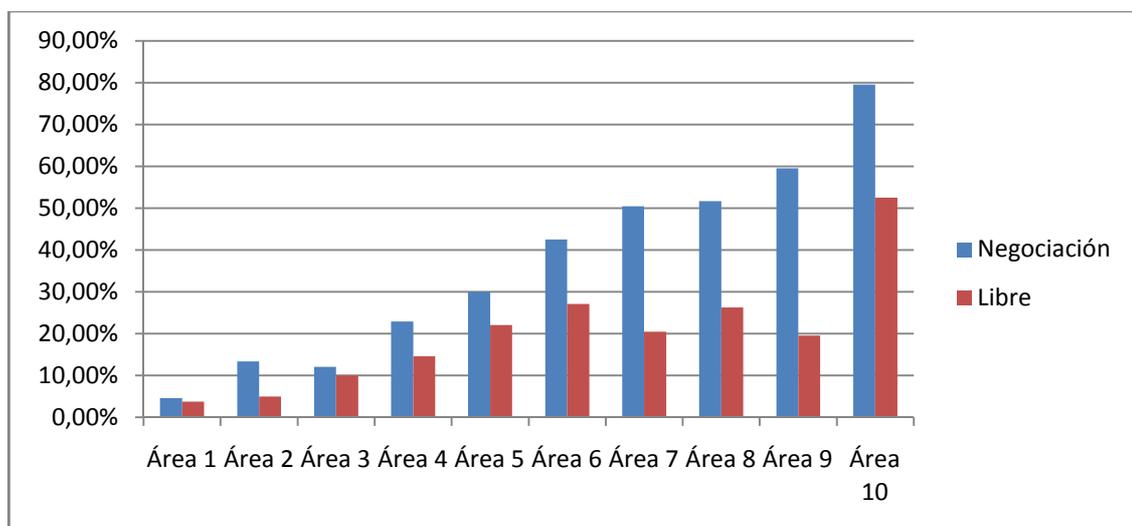


**Ilustración 13: Infracciones totales realizadas durante los experimentos para las dos heurísticas implementadas con 15 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante 24 horas de simulación.**

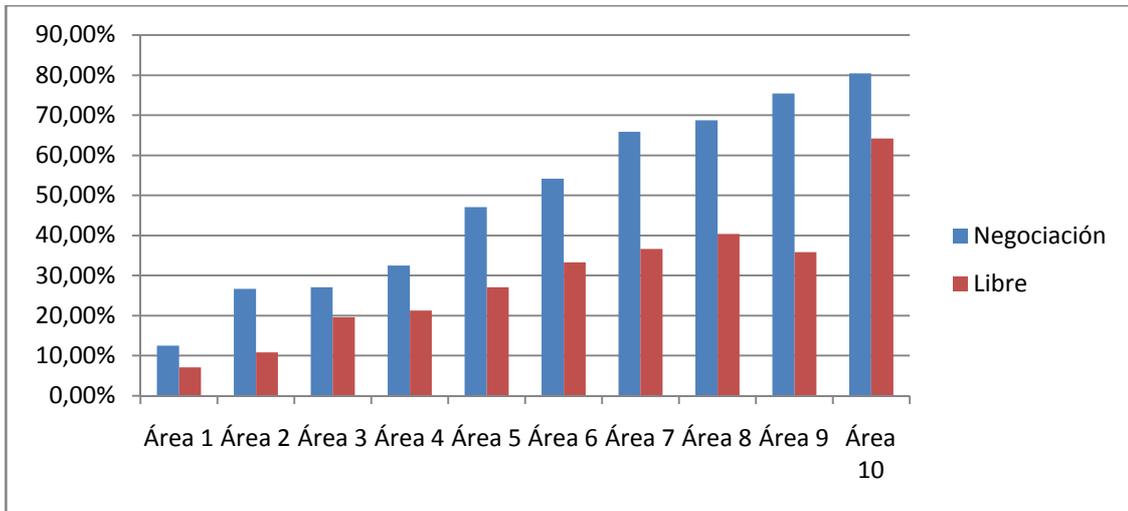
Se puede apreciar como con la negociación, que utiliza información dinámica para gestionar las plazas de aparcamiento, se reduce en gran medida el número de infracciones que se producen utilizando el modo libre, que utiliza información estática.

En el Apéndice C se pueden encontrar las tablas que contienen los datos obtenidos en los experimentos con más detalles.

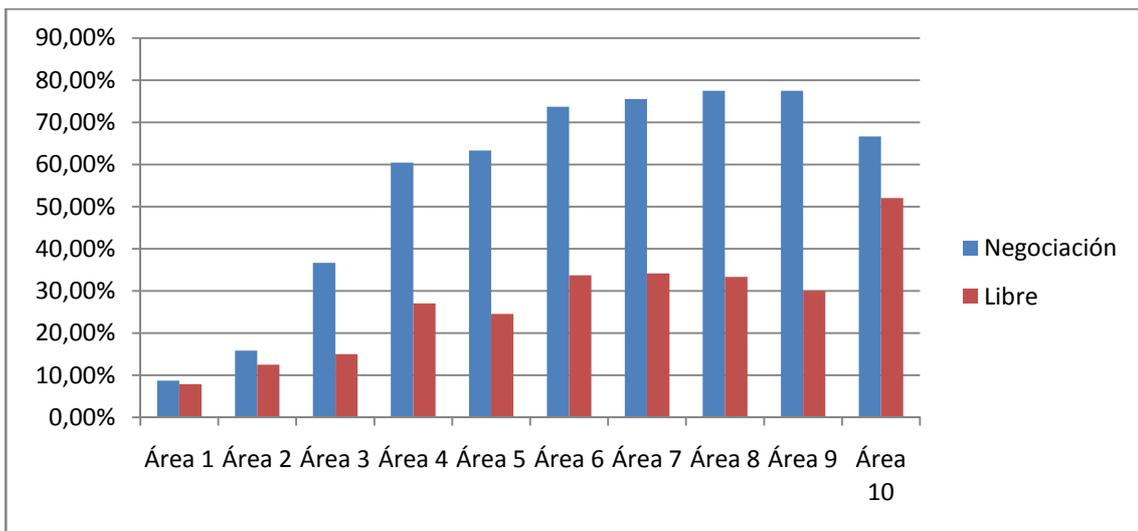
En las siguientes ilustraciones se muestra el porcentaje de ocupación global de cada una de las áreas de servicio para las dos heurísticas implementadas en relación al número de vehículos que entran en el sistema cada quince minutos.



**Ilustración 14: Porcentaje de ocupación global de las plazas de las áreas de servicio para una simulación con 5 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante las 24 horas de simulación.**



**Ilustración 15: Porcentaje de ocupación global de las plazas de las áreas de servicio para una simulación con 10 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante las 24 horas de simulación.**



**Ilustración 16: Porcentaje de ocupación global de las plazas de las áreas de servicio para una simulación con 5 vehículos entrando en el sistema cada 15 minutos de simulación durante las 24 horas de simulación.**

Como se puede observar en las ilustraciones 14, 15 y 16, la tendencia suele ser de aumento en el índice de ocupación en las últimas áreas de servicio. Esto se debe a las características del escenario de simulación y del sistema, por las que los vehículos se favorecen de realizar un aparcamiento en las áreas de servicio más alejadas, pues así su tiempo de conducción es mayor. Esto produce que las áreas de servicio localizadas en los últimos kilómetros de la carretera tengan un mayor número de solicitudes de reserva.

También se observa como el aprovechamiento de los recursos logísticos es mayor con la utilización de información dinámica para las reservas.

## 5. Conclusiones

- Se deduce de los resultados que la gestión dinámica de las plazas de aparcamiento reduce significativamente el número de infracciones. También se ha apreciado un aumento de la utilización de las plazas de aparcamiento de las áreas de servicio.
- El método de negociado empleado busca el beneficio social, intentando distribuir el tiempo total de conducción de un modo equitativo.
- El uso de información dinámica también permite que una reubicación sea beneficiosa para el reubicado, pues puede alcanzar Áreas de Servicio más beneficiosas para su tiempo de conducción que la actual.
- Se ha visto recomendable el uso de herramientas de modelado de las ontologías (como por ejemplo *Protégé*) para la definición de la ontología para reducir el tiempo de corrección de errores en la misma, incluso en ontologías sencillas.
- Se ha logrado el objetivo del trabajo, que era desarrollar un simulador que permita la gestión de las plazas de aparcamiento mediante distintas heurísticas, utilizando para ello una plataforma de agentes inteligentes realizada en Jade.
- Se ha tenido en cuenta, de todas las restricciones posibles para la realización de descansos, que los camiones pueden conducir ininterrumpidamente hasta 270 minutos (4.5 horas), momento en el cual deben realizar un descanso de 60 minutos. Se ha implementado únicamente esta restricción para simplificar el desarrollo del sistema y la interpretación de los resultados obtenidos con el simulador.
- Se ha observado que intentando una simulación mucho más cuantiosa en agentes y tiempo de ejecución que la utilizada en las pruebas, la carga en CPU y en Memoria se vuelve insostenible. Se plantea pues que sería necesario la mejora en la extracción de datos y en el uso de recursos físicos para poder realizar simulaciones más extensas que permitan un análisis más preciso de las heurísticas simuladas.
- Este proyecto podría sentar las bases para un sistema de gestión de plazas de aparcamiento a nivel global. En la actualidad la obtención dinámica de la disponibilidad de las plazas de aparcamiento se realiza mediante inversiones en infraestructura de las áreas de servicio (normalmente sistemas de visión que evalúan la disponibilidad de la plaza). Este proyecto propone incorporar la infraestructura en los vehículos, de este modo, mediante el uso de GPS y de la agenda de reserva, se podría conocer la información en tiempo real de la ocupación de las estaciones de servicio, así como una estimación de su futura ocupación.

## 5.1. Visión de futuro

En los siguientes párrafos se da una visión de la funcionalidad que podría disponer una aplicación real basada en el sistema propuesto:

Imaginemos la situación: un conductor tiene que salir a realizar un transporte en unos días desde Madrid a Paris, así que entra en su ordenador y solicita a su Agente Gestor de Trayectos la planificación de la ruta indicando sus preferencias para el viaje (Por ejemplo modo de máxima conducción ininterrumpida 4,5 horas continuas o parada cada 2 horas o 2,5 horas, si quiere alojamiento,...).

Su agente consulta con el sistema de Google Maps la ruta. El agente recibe la ruta, que será de unas 18 horas según la velocidad máxima del vehículo de 90km / h. Según el histórico de trayectos realizados por el conductor durante la semana o semanas que abarcará el viaje, y del resto de rutas planificadas para esas semanas, podrá realizar [X horas de trayecto en Y días, y necesitará Z paradas]. El agente irá planificando la ruta online, considerando para cada una de las paradas que debe realizar un tramo del trayecto en que el conductor debería parar para cumplir las restricciones de tiempos de conducción indicadas por la legislación, y consulta las Áreas de servicio existentes en esos tramos. Entre las disponibles, por orden de valoración (relación de confianza entre los agentes) solicitará reserva de plaza a cada Área hasta que acuerde con una de ellas la reserva de una plaza libre. En base a ello, seguirá planificando el resto del viaje. Si el agente Gestor de Trayectos considera que se debe hacer noche en algún punto del trayecto, se seleccionará para esa parada una Área de Servicio que disponga de Alojamiento. Se podrá también verificar con el agente del Hostal la disponibilidad de habitación para esa noche y el precio.

Una vez finalizado el proceso, le mostrará al Conductor el resultado indicándole el trayecto y las áreas de servicio donde se ha planificado parar y cuanto tiempo. El conductor podrá hacer alguna modificación si prefiere ir por otro camino, o parar en alguna Área de servicio diferente de las propuestas, con lo que al Gestor de Trayectos replanificará la ruta y negociará las paradas de nuevo, hasta que el Conductor le convenza el resultado y confirme la ruta. En ese momento el Gestor de Trayectos confirmará las reservas con las Áreas de servicio, e incluso con los Hostales si aplica, informando al conductor.

Cuando llega el día y el Conductor debe empezar el trayecto, el Gestor de Trayectos confirmará el inicio de la ruta (en caso contrario cancelaría todas las reservas), y durante la ruta también llevará un control del trayecto en conexión con la información de la ubicación por GPS y de la retroalimentación del conductor desde dispositivos móviles como su Smartphone o Tablet, de forma que si se produjese una parada no planificada, o un imprevisto como un atasco que retrasase el trayecto habría que replanificar de nuevo la ruta, cancelando las reservas que ya no se podrán realizar, negociando las nuevas reservas y notificando al conductor.

Cuando el conductor llegue a una Área de Servicio podría realizar un Check In manual, o podría confirmarse la ocupación de la plaza utilizando el sistema de cámaras de la Área de Servicio y un sistema OCR que reconociese la matrícula.

## 6. Trabajo futuro

### 6.1. Mejoras en el cálculo de tiempos

En el sistema presentado, se consideran únicamente tiempos de conducción de 4,5 horas seguidos de 1 hora de descanso.

Para darle un mayor realismo al sistema, se podrían mejorar los cálculos de tiempos y la planificación de las paradas en base al cálculo de tiempos de conducción y descanso aplicando las restricciones temporales que se encuentran en el Apéndice A.

Un posible algoritmo inicial para el cálculo de tiempos de conducción podría ser el siguiente:

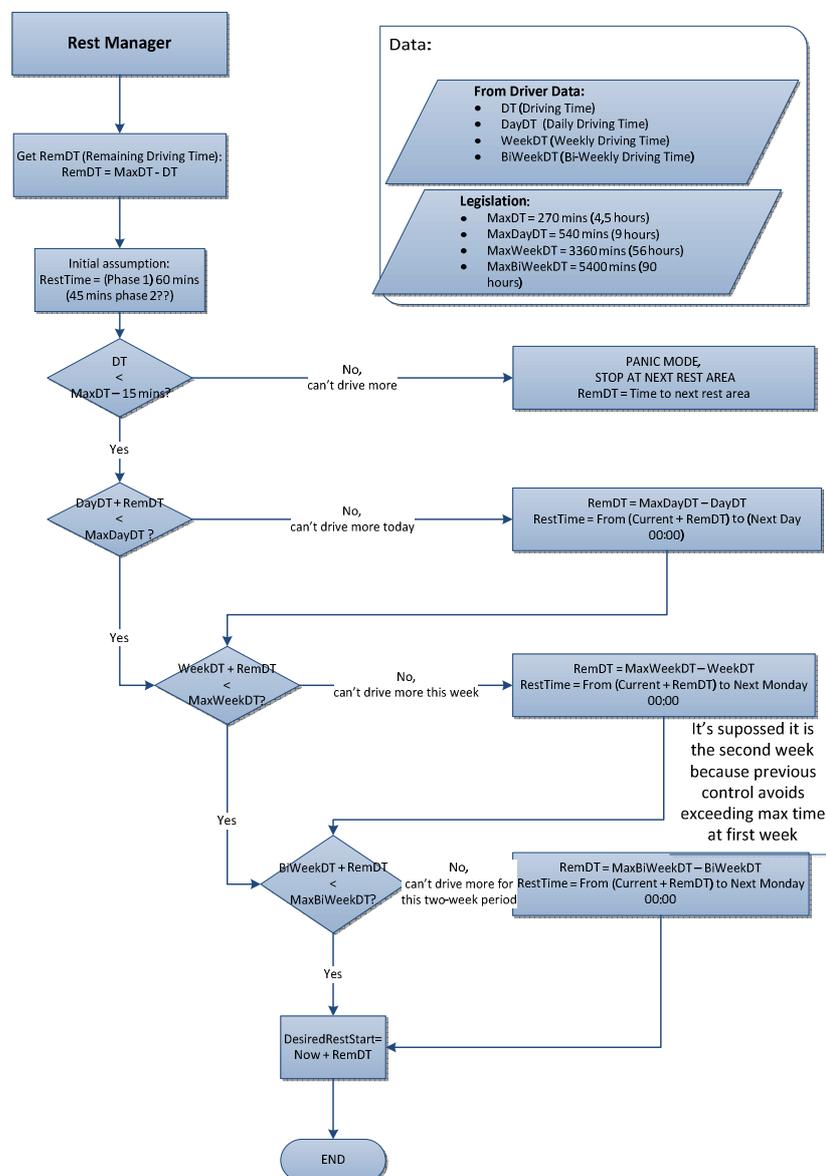


Ilustración 17: Esquema del algoritmo de tiempos de descansos mejorado.

Para hacer más completo el cálculo de tiempos se podrían incluir los siguientes requisitos:

- Considerar las excepciones: Días que se pueden realizar 10 horas en vez de 9.
- Incluir limitaciones de tiempos de descanso.
- Considerar la posibilidad de tener varios conductores.
- Incluir cálculo de los tiempos de conducción a partir de registros de tiempo de los conductores. Esto podría plantearse como un enlace con el tacógrafo que deben llevar por ley los vehículos de transportes.

## 6.2. Restricciones para Mercancías Peligrosas

Entre el 10% y el 15% de las mercancías que se transportan por carretera en España son peligrosas. Una mejora en el sistema debería ser considerar el tipo de mercancías de los vehículos para refinar los algoritmos utilizados en las heurísticas.

- Existen distintas legislaciones que afectan al transporte y aparcamiento de mercancías peligrosas, y que podrían considerarse en el sistema, por ejemplo:
- Normalmente no se puede transportar mercancías peligrosas atravesando núcleos urbanos.
- Existen restricciones respecto al aparcamiento de mercancías peligrosas cerca de otros vehículos que transporten alimentos.
- Existen unas recomendaciones para el aparcamiento de mercancías peligrosas (vigilancia en el área de servicio, plazas con mayor separación...)
- Existen limitaciones del paso de determinadas mercancías peligrosas por ciertas carreteras o en determinados horarios.

## 6.3. Enlace con sistema de cálculo de rutas

Para este proyecto se ha simplificado considerando la ruta por una única carretera, pero para darle mayor viabilidad lo ideal sería vincularlo con un sistema de cálculo de rutas que nos diese la ruta a seguir por diversas carreteras.

También sería interesante aprovechar que estos sistemas disponen de información sobre las áreas de servicio en dichas carreteras para realizar la búsqueda de las áreas de servicio preferidas.

Por ejemplo: Google maps, que además dispone de una API de conexión.

## 6.4. Información de Congestión de Carretera

En el proyecto actual se ha considerado que el Gestor de Trayectos conoce a priori toda la información de la carretera incluyendo el parámetro de congestión de la carretera (Road.traffic) que además se mantiene fijo.

Una posible ampliación sería convertir las carreteras en agentes que nos facilitasen información sobre la misma, y el parámetro de tráfico podrían conseguirlo consultando información real del tráfico de alguna fuente de datos externa (DGT, Google Maps...)

## 6.5. Nuevas heurísticas

Aprovechando la infraestructura de simulación creada, este trabajo permite la inclusión de nuevas heurísticas y su simulación, obteniendo así estadísticas que permitan evaluar todas las heurísticas simuladas.

## 6.6. Ampliaciones de la Ontología propuestas para futuras versiones

### 6.6.1. Datos adicionales para Conductor

En vez de registrar el tiempo de conducción de cada conductor, sería preciso disponer de su registro de tiempos completo con la Información de todos los trayectos realizados que se necesitan para poder aplicar todas las posibles restricciones en la planificación de las nuevas rutas y paradas.

- Fecha - Hora inicio
- Fecha - Hora Fin
- Estado: Trayecto, Descanso

Esta información habitualmente se registra en el tacógrafo que los vehículos de transporte de mercancías y pasajeros deben llevar por ley.

## 6.6.2. Datos adicionales para Vehículo

Datos adicionales que podrían registrarse sobre los vehículos para su uso en el sistema:

- Tipo de Mercancía: Existen restricciones de aparcamiento de ciertos tipos de mercancías que requieren de condiciones especiales.
- Carga, Altura y Longitud máxima: Algunas carreteras tienen restricciones según la carga, altura o longitud del vehículo debido a las restricciones físicas de la misma, como puedan ser pavimentos poco resistentes, puentes, túneles o giros cerrados.
- Conductor(es) para el trayecto: Podrían registrarse más de un conductor por vehículo, ya que en ocasiones se utiliza este método para realizar menos descansos y poder realizar trayectos largos en menos tiempo.

## 6.6.3. Datos para definir los tipos de Mercancía

Basándonos en la clasificación habitual de mercancías peligrosas del Acuerdo Europeo relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera<sup>8</sup>, planteamos la siguiente codificación para registrar el Tipo de Mercancía transportada por el vehículo, esto será útil para trabajos futuros, donde se puede añadir una condición a la heurística del sistema según la cual ciertas mercancías no pueden estar próximas a otras:

Código	Clase	Descripción
00	-	Mercancías no peligrosas
01	-	Alimentos
10	Clase 1	Materias y objetos explosivos
20	Clase 2	Gases
30	Clase 3	Materias líquidas inflamables
41	Clase 4.1	Materias sólidas inflamables
42	Clase 4.2	Materias susceptible de inflamación espontánea
43	Clase 4.3	Materias que, al contacto con el agua, desprenden gases inflamables
51	Clase 5.1	Materias comburentes
52	Clase 5.2	Peróxidos orgánicos
61	Clase 6.1	Materias tóxicas
62	Clase 6.2	Materias infecciosas
70	Clase 7	Materias radiactivas
80	Clase 8	Materias corrosivas
90	Clase 9	Materias y objetos peligrosos diversos

**Tabla 3: Clasificación de tipos de mercancías.**

Se asume que un vehículo sólo puede transportar un Tipo de mercancía.

<sup>8</sup> Ministerio de Fomento, *Acuerdo Europeo relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera*, 2011, <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/R16959.pdf> (2014-06-09)

## ***Datos adicionales para Área de Servicio***

Información adicional que se podría disponer de un área de Servicio:

- Dirección: Sería interesante para la vinculación del sistema con aplicaciones tipo mapa.
- Accesible desde: Sentido A / Sentido B /Ambos sentidos...
- Coordenadas: Otra alternativa para la localización en mapas.
- Servicios: Gasolinera / Parking /Restaurante /Alojamiento...
- Horario: Se podrían aplicar filtros según el horario del área de servicio.
  - Día de la semana
  - Desde hora
  - Hasta hora
- Valoración Media: Se podría añadir un sistema de valoraciones de las áreas de servicio e incluir esta valoración en la heurística.

La tabla 4 muestra un posible ejemplo de datos completos:

Nombre	Ctra Ppal	Km	Nº Plazas	Dirección	Accesible desde	Coordenadas	Horario	Servicios
<b>L'horta</b>	V-31	11		Camino Puente de Piedra, 3 46910 Sedaví	Dirección Valencia		Lunes 0:00-23:30 Martes 0:00-23:30 Miércoles 0:00-23:30 Jueves 0:00-23:30 Viernes 0:00-23:30 Sábado 0:00-23:30 Domingo 0:00-23:30	  

**Tabla 4: Ejemplo de datos adicionales para las Áreas de Servicio.**

## 7. Glosario

### *Conductor / DRIVER:*

Toda persona que conduzca el vehículo, incluso durante un corto período, o que esté a bordo de un vehículo como parte de sus obligaciones para conducirlo en caso de necesidad.

### *Descanso / REST PERIOD:*

Cualquier período ininterrumpido durante el cual un conductor pueda disponer libremente de su tiempo.

### *Pausa:*

Cualquier período durante el cual un conductor no pueda llevar a cabo ninguna actividad de conducción u otro trabajo y que sirva exclusivamente para su reposo. Es decir, las pausas son las paradas cortas que deben realizarse entre tiempos de conducción y no superar el tiempo máximo de conducción ininterrumpida.

### *Período de descanso diario / DAILY REST TIME:*

El período diario durante el cual un conductor puede disponer libremente de su tiempo, ya sea un «período de descanso diario normal» o un «período de descanso diario reducido»:

- «Período de descanso diario normal»: cualquier período de descanso de al menos 11 horas. Alternativamente, el período de descanso diario normal se podrá tomar en dos períodos, el primero de ellos de al menos tres horas ininterrumpidas y el segundo de al menos 9 horas ininterrumpidas.
- «Período de descanso diario reducido»: cualquier período de descanso de al menos 9 horas, pero inferior a 11 horas.

### *Semana / WEEK:*

El período de tiempo comprendido entre las 00.00 del lunes y las 24.00 del domingo.

### *Período de descanso semanal / WEEKLY REST TIME:*

El período semanal durante el cual un conductor puede disponer libremente de su tiempo, ya sea un «período de descanso semanal normal» o un «período de descanso semanal reducido»:

- «Período de descanso semanal normal»: cualquier período de descanso de al menos 45 horas,
- «Período de descanso semanal reducido»: cualquier período de descanso inferior a 45 horas que, sujeto a las condiciones establecidas en el artículo 8, apartado 6, se puede reducir hasta un mínimo de 24 horas consecutivas.

### *Tiempo de conducción / Driving Time:*

El tiempo que dura la actividad de conducción registrada o planificada.

### *Tiempo diario de conducción / Daily driving period:*

El tiempo acumulado total de conducción entre el final de un período de descanso diario y el principio del siguiente período de descanso diario o entre un período de descanso diario y un período de descanso semanal.

*Tiempo semanal de conducción / Total weekly driving time:*

El tiempo acumulado total de conducción durante una semana.

*Masa máxima autorizada / maximum authorized mass:*

La masa máxima admisible del vehículo dispuesto para la marcha, incluida la carga útil.

*Ruta / Route:*

Es un conjunto de carreteras determinado que permite llegar de un origen a un destino.

*Trayecto / Journey:*

Es la planificación del viaje que va a realizar el conductor, incluyendo toda la información de tiempos de conducción y descanso previstos, y las áreas de servicio en que se prevén las paradas.

*Tacógrafo / tachograph:*

Un tacógrafo es un dispositivo electrónico que registra diversos sucesos originados en los vehículos de transporte terrestre durante su conducción. Los sucesos que registra un tacógrafo normalmente son: velocidad (promedio y máxima), RPM, kilómetros recorridos, aceleraciones y frenadas bruscas, tiempo de ralentí (periodo durante el cual el vehículo permanece detenido con el motor en marcha), entre otros. Estos datos, dependiendo del tacógrafo, pueden ser recopilados por una computadora y almacenados en una base de datos o imprimirse en forma de gráficos para su posterior análisis.

Por medio de estos dispositivos se registran los tiempos de parada y descanso efectuados por los conductores, sirviendo como dispositivo de control requerido por la legislación.

## 8. Agradecimientos

Quisiera agradecer al profesor Luís Amable García por confiarme la realización de este trabajo, por su inestimable ayuda y trabajo en todas las fases del mismo y por su demostrada paciencia.

A mi esposa, Raquel, por su inestimable apoyo, esfuerzo y gran capacidad.

Y finalmente al profesor de la Universidad Politécnica de Valencia Vicente Botti, por su consejo y visión.

## 9. Referencias

- [1] Capdevila, M.; Tomas, V.R.; Garca, L.A.; Prades Farron, M., "Dynamic Management of Parking Spaces in Road Rest Areas with Automatic Negotiation," Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on , vol., no., pp.3609,3614, 13-16 Oct. 2013
- [2] Alberto Nogales; "China: Transport Sector Brief" East Asia and Pacific Region Transport Sector Unit, March, 2004
- [3] Nisan, Noam (ed.). Algorithmic game theory. Cambridge University Press, 2007
- [4] Kevin Leyton-Brown, Yoav Shoham. Multiagent Systems: Algorithm, Game-Theoretic and Logical Foundations. Cambridge University Press, 2008
- [5] Na Zeng; Ke-jing Qin; Jun Li, "Intelligent transport management system for urban traffic hubs based on an integration of multiple technologies," Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), 2010 IEEE 17Th International Conference on , vol., no., pp.1178,1183, 29-31 Oct. 2010
- [6] Jie Ouyang; Xuhong Li, "Intelligent transportation system frame of airport rail information based on air-rail intermodalism," Intelligent Control and Information Processing (ICICIP), 2010 International Conference on , vol., no., pp.533,538, 13-15 Aug. 2010
- [7] Simaiakis, I.; Balakrishnan, H., "Design and simulation of airport congestion control algorithms," American Control Conference (ACC), 2014 , vol., no., pp.5300,5306, 4-6 June 2014
- [8] Khadilkar, H.; Balakrishnan, H., "A network congestion control approach to airport departure management," American Control Conference (ACC), 2012 , vol., no., pp.1682,1688, 27-29 June 2012
- [9] Di Lecce, V.; Amato, A, "Route planning and user interface for an advanced intelligent transport system," Intelligent Transport Systems, IET , vol.5, no.3, pp.149,158, September 2011
- [10] Dijkstra, E.W.: 'A note on two problems in connexion with graphs', Numer. Math., 1959, 1, pp. 269-271
- [11] Bellman, R.: 'On a routing problem', Q. Appl. Math., 1958, 16, pp. 87-90
- [12] Ford, L.R. Jr., Fulkerson, D.R.: 'Flows in networks' (Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 1962)
- [13] Pape, U.: 'Implementation and efficiency of Moore-algorithms for the shortest route problem', Math. Program., 1974, 7, (1), pp. 212-222
- [14] Jozefowicz, N., Semet, F., Talbi, E.-G.: 'Multi-objective vehicle routing problems', Eur. J. Oper. Res., 2008, 189, pp. 293-309
- [15] Sun, L., Hu, X., Li, Y., Lu, J., Yang, D.: 'A heuristic algorithm and a system for vehicle routing with multiple destinations in embedded equipment'. Proc. Seventh Int. Conf. on Mobile Business, 2008, pp. 1-8
- [16] Lim, A., Wang, F.: 'Multi-depot vehicle routing problem: a onestage approach', IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., 2005, 2, (4), pp. 397-402
- [17] Wooldridge, M. (1995) This is MYWORLD: the logic of an agent-oriented testbed for DAI. In Intelligent Agents: Theories, Architectures and Languages (eds M. Wooldridge and N. R. Jennings), LNAI Volume 890, pp. 1 60-1 78- Springer, Berlin.

# Apéndice A

## Restricciones en el transporte por carretera

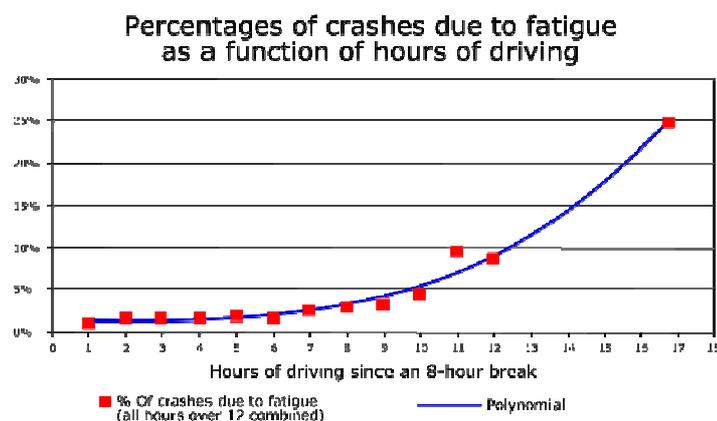
Existen diferentes restricciones respecto a la conducción, descanso y aparcamiento en el transporte de mercancías y pasajeros. En este apartado revisaremos las más significativas para este trabajo, o que se deberían tener en cuenta para futuras ampliaciones.

### Tiempos de Conducción

Según la legislación vigente, existen los siguientes tipos de tiempos de conducción:

- **Conducción ininterrumpida:** Tras un período de conducción de cuatro horas y media, el conductor hará una pausa ininterrumpida de al menos 45 minutos.
- **Conducción diaria:** El tiempo máximo de conducción diario no puede exceder de 9 horas, salvo dos veces a la semana que puede llegar a las 10 horas.
- **Conducción semanal:** El tiempo de conducción semanal no superará las 56 horas (se entenderá por semana el período de tiempo comprendido entre las 00.00 del lunes y las 24.00 del domingo).
- **Conducción bisemanal:** El tiempo de conducción en dos semanas consecutivas no puede exceder de 90 horas. Así, si en una semana se conduce durante 56 horas (máximo permitido), en la siguiente sólo podrá conducirse durante 34 horas, puesto ambas suman el máximo de 90 horas.

El motivo de que el tiempo de conducción sea una restricción, es que es habitual que para minimizar el tiempo de entrega entre transportes, los transportistas realicen una gran cantidad de horas al volante. Así pues, siendo el cansancio una causa habitual de accidente en carretera (como se puede apreciar en la ilustración 13), el no realizar descansos periódicos es un hecho sancionable.



**Ilustración 18: Relación de porcentaje de accidentes causados por cansancio en relación a las horas conducidas desde el último descanso<sup>9</sup>.**

<sup>9</sup> Fuente: Federal Motor Carrier Safety Administration (2008-02-22).

## Hechos sancionables

Cualquier exceso en tiempo de conducción se considera sancionable, por lo que el sistema tratará de evitar siempre los excesos<sup>10</sup>.

- **Faltas leves** (Sanciones desde 301 a 400 €): El exceso en los tiempos máximos de conducción o de la conducción ininterrumpida, salvo que deba ser considerado infracción grave o muy grave.
- **Faltas graves** ( Sanciones desde 1.501 a 2.000 €): El exceso superior al 20 por ciento en los tiempos máximos de conducción o de conducción ininterrumpida, salvo que dicho exceso deba ser considerado infracción muy grave, de conformidad con lo previsto en el artículo 140.20.
- **Faltas muy graves** (Sanciones desde 3.301 a 4.600 €):El exceso superior al 50 por ciento en los tiempos máximos de conducción o de conducción ininterrumpida.

## Otras Restricciones

**Proximidad de Mercancías:** Según el tipo de carga se podría restringir el aparcamiento a un vehículo si hay otro vehículo incompatible en el área de servicio se denegará la reserva de plaza y el agente deberá buscar otra Área de servicio en la que parar.

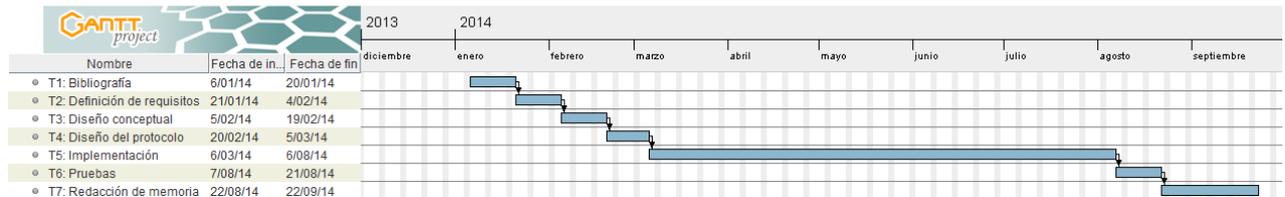
**Disponibilidad de plazas:** El sistema debe controlar que no se sobrepase el número de plazas disponibles de una Área de servicio.

---

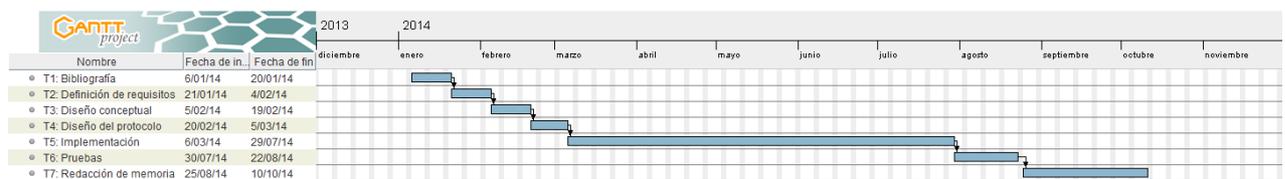
<sup>10</sup> Consejo de la Unión Europea, *Directiva 94/55/CE del Consejo, de 21 de noviembre de 1994*, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31994L0055:ES:HTML> (2014-06- 29)

# Apéndice B

## Diagrama Gantt.



**Ilustración 19: Diagrama de Gantt con la distribución estimada de las tareas realizadas para la elaboración del proyecto.**



**Ilustración 20: Diagrama de Gantt con la distribución realizada de las tareas realizadas para la elaboración del proyecto.**

# Apéndice C

## Resultados de los experimentos realizados.

Experimentos realizados con 5 vehículos entrando en el sistema por segundo

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	515	505
Nº de vehículos que no han requerido descanso	42	44
Nº de infracciones	92	14
Nº total de reubicaciones	-	4
Nº de reubicaciones con éxito	-	4

**Tabla 5: Experimento 1 con entrada de 5 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	510	510
Nº de vehículos que no han requerido descanso	40	44
Nº de infracciones	112	17
Nº total de reubicaciones	-	10
Nº de reubicaciones con éxito	-	9

**Tabla 6: Experimento 2 con entrada de 5 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	520	510
Nº de vehículos que no han requerido descanso	45	35
Nº de infracciones	117	9
Nº total de reubicaciones	-	11
Nº de reubicaciones con éxito	-	11

**Tabla 7: Experimento 3 con entrada de 5 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	520	530
Nº de vehículos que no han requerido descanso	35	42
Nº de infracciones	131	11
Nº total de reubicaciones	-	12
Nº de reubicaciones con éxito	-	11

**Tabla 8: Experimento 4 con entrada de 5 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	505	520
Nº de vehículos que no han requerido descanso	38	48
Nº de infracciones	104	14
Nº total de reubicaciones	-	8
Nº de reubicaciones con éxito	-	8

**Tabla 9: Experimento 5 con entrada de 5 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Experimentos realizados con 10 vehículos entrando en el sistema por segundo.

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1010	990
Nº de vehículos que no han requerido descanso	77	88
Nº de infracciones	202	38
Nº total de reubicaciones	-	22
Nº de reubicaciones con éxito	-	13

**Tabla 10: Experimento 1 con entrada de 10 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1000	1040
Nº de vehículos que no han requerido descanso	85	83
Nº de infracciones	161	27
Nº total de reubicaciones	-	15
Nº de reubicaciones con éxito	-	14

**Tabla 11: Experimento 2 con entrada de 10 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1040	1070
Nº de vehículos que no han requerido descanso	91	94
Nº de infracciones	209	31
Nº total de reubicaciones	-	9
Nº de reubicaciones con éxito	-	7

**Tabla 12: Experimento 3 con entrada de 10 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1070	1020
Nº de vehículos que no han requerido descanso	76	75
Nº de infracciones	261	21
Nº total de reubicaciones	-	16
Nº de reubicaciones con éxito	-	12

**Tabla 13: Experimento 4 con entrada de 10 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1010	1030
Nº de vehículos que no han requerido descanso	81	85
Nº de infracciones	217	28
Nº total de reubicaciones	-	17
Nº de reubicaciones con éxito	-	8

**Tabla 14: Experimento 5 con entrada de 10 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Experimentos realizados con 15 vehículos entrando en el sistema por segundo.

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1515	1590
Nº de vehículos que no han requerido descanso	122	112
Nº de infracciones	289	39
Nº total de reubicaciones	-	18
Nº de reubicaciones con éxito	-	18

**Tabla 15: Experimento 1 con entrada de 15 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1545	1540
Nº de vehículos que no han requerido descanso	110	110
Nº de infracciones	258	36
Nº total de reubicaciones	-	25
Nº de reubicaciones con éxito	-	22

**Tabla 16: Experimento 2 con entrada de 15 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1500	1530
Nº de vehículos que no han requerido descanso	119	119
Nº de infracciones	212	48
Nº total de reubicaciones	-	45
Nº de reubicaciones con éxito	-	29

**Tabla 17: Experimento 3 con entrada de 15 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1560	1550
Nº de vehículos que no han requerido descanso	112	112
Nº de infracciones	256	30
Nº total de reubicaciones	-	31
Nº de reubicaciones con éxito	-	28

**Tabla 18: Experimento 4 con entrada de 15 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Valor	Modo Libre	Modo Negociación
Nº de vehículos	1560	1610
Nº de vehículos que no han requerido descanso	108	108
Nº de infracciones	254	20
Nº total de reubicaciones	-	40
Nº de reubicaciones con éxito	-	29

**Tabla 19: Experimento 5 con entrada de 15 vehículos cada 15 minutos al sistema**

Porcentaje de ocupación medio de las áreas de servicio con heurística de negociación.

Área de servicio	5 vehículos	10 vehículos	15 vehículos
Área de servicio km 20	4.58%	12.5%	8.73%
Área de servicio km 40	13.33%	26.67%	15.83%
Área de servicio km 60	12.08%	27.09%	36.67%
Área de servicio km 80	22.92%	32.5%	60.42%
Área de servicio km 100	30%	47.08%	63.33%
Área de servicio km 120	42.5%	54.17%	73.75%
Área de servicio km 140	50.42%	65.83%	75.52%
Área de servicio km 160	51.67%	68.75%	77.49%
Área de servicio km 180	59.58%	75.42%	77.49%
Área de servicio km 200	79.58%	80.42%	66.67%

**Tabla 20: Porcentajes de ocupación medio de las áreas de servicio con heurística de negociación en relación al número de vehículos que entran al sistema cada 15 minutos**

Porcentaje de ocupación medio de las áreas de servicio con heurística libre.

Área de servicio	5 vehículos	10 vehículos	15 vehículos
Área de servicio km 20	3.74%	7.08%	7.91%
Área de servicio km 40	5%	10.83%	12.49%
Área de servicio km 60	10%	19.58%	15.00%
Área de servicio km 80	14.58%	21.25%	27.08%
Área de servicio km 100	22.08%	27.08%	24.58%
Área de servicio km 120	27.08%	33.33%	33.74%
Área de servicio km 140	20.42%	36.67%	34.16%
Área de servicio km 160	26.25%	40.42%	33.32%
Área de servicio km 180	19.58%	35.82%	30%
Área de servicio km 200	52.5%	64.17%	52.08%

**Tabla 21: Porcentajes de ocupación medio de las áreas de servicio con heurística libre en relación al número de vehículos que entran al sistema cada 15 minutos**

Cantidad media de mensajes generados por los agentes del sistema durante la simulación en relación al número de vehículos que entran en el sistema por segundo y al tipo de heurística aplicada.

Heurística	5 vehículos	10 vehículos	15 vehículos
Heurística de Negociación	8316.4	15941	20464.8
Heurística modo libre	3131	11098.8	12328.8

**Tabla 22: Cantidad media de mensajes generados por el sistema durante las simulaciones en relación al número de vehículos que entran al sistema cada 15 minutos**

# Apéndice D

## Fases del desarrollo

Para el desarrollo del sistema se ha intentado aplicar una metodología de desarrollo iterativo, empezando por lo más básico y ampliando la funcionalidad progresivamente hasta conseguir llegar a los objetivos planteados para este proyecto. A continuación se dará un detalle del trabajo realizado en cada fase.

### *Fase 1*

Para la fase 1 se ha implementado en JADE la base del sistema con los tres agentes y una funcionalidad inicial básica que se detalla a continuación.

#### Agentes e interacciones:

- Agente Gestor de Trayectos
  - Para la primera fase se utilizan periodos de conducción de 4,5 horas y descansos de 1 hora. También se ajustan los parámetros iniciales de la simulación para evitar que más de un vehículo ocupen una plaza durante la franja deseada en una negociación.
  - Genera una lista de Áreas de Servicio deseadas.
  - Consulta la disponibilidad de plazas en la Área de servicio más propicia y solicita una reserva de plaza
  - Atiende solicitudes de reubicación, consultando un Área de Servicio de su lista de áreas deseadas.
  
- Agente Área de Servicio
  - Atiende solicitudes de disponibilidad.
  - Atiende solicitudes de reserva.
  - Deriva la reserva de plaza a la plaza disponible con mayor ocupación<sup>11</sup>
  - Inicia el proceso de negociación de reubicación si se solicita una reserva y todas las plazas están ocupadas en la franja horaria deseada.
  
- Agente Plaza:
  - Realiza la reserva de la plaza registrándola en su histórico de ocupación.
  - Informa de la ocupación de la plaza a la Área de servicio en determinado horario.
  - Informa del vehículo que tiene una reserva en determinado horario.
  - Gestiona cancelaciones de reservas.

---

<sup>11</sup> Se ha decidido de este modo, ya que si se consigue ocupar un mayor número de huecos en la misma plaza, dejando otras plazas con mayor tiempo disponible, y por lo tanto más posibilidad de poder alojar otros vehículos.

## Ontología Fase 1

Los elementos de la ontología incluidos para la fase 1 son los siguientes:

- Vehicles:
  - IDVehículo - IDVehicle
  - Velocidad Máxima - maxSpeed
  
- Datos del conductor:
  - Tiempo Conducción (minutos)- drivingTime
  
- Datos del Área de Servicio - RestArea
  - Nombre - Name
  - Carretera Principal - road
  - Kilometro - Position
  - Número de Plazas - Parking Space
  
- Histórico de ocupación de las plazas - HistoricalOccupancy: Todos los datos excepto Tipo Carga.

## Carga de Datos

Para la definición de los datos se han utilizado unos ficheros de texto separados por comas con los siguientes formatos:

- **Roads:** IDRoad, Name, Length (KM)
- **RestAreas:** IDRestArea, IDRoad, Pos (Km), Name, Parking Space
- **Vehicles:** IDVehicle, MaxSpeed

Como se puede observar, se han introducido los datos de las carreteras directamente dentro de los ficheros RestAreas y Vehicles.

Para cargar los datos en el sistema y crear los agentes, se ha preparado un agente auxiliar llamado AgLoader cuyo objetivo es leer los ficheros y lanzar los agentes correspondientes a partir de los datos contenidos en los ficheros de texto.

## ***Fase 2***

Durante el desarrollo del sistema, en el paso de la fase 1 a la fase 2 se han ido realizando las siguientes ampliaciones:

### **Interfaz**

Se ha añadido una interfaz que permita configurar los parámetros de la simulación, y que permite:

- Elegir la ubicación donde leer los ficheros de configuración de los agentes.
- Decidir si se quiere realizar la carga de datos de los vehículos para la creación de los Gestores de Trayectos a partir de fichero, o si se desea que el sistema vaya creando agentes con datos aleatorios cada cierto intervalo de tiempo.
  - En caso de generar vehículos aleatorios, decidir si se quiere guardar un fichero con los datos de los vehículos creados.

### **Ampliación de la Ontología**

#### Conceptos:

- **Driver:** ID, name, drivingTime.
- **Road:** ID, name, traffic, lenght.
- **Vehicle:** id, maxSpeed, road, KM, driver.
- **RestArea:** id, name, spots, road, km.
- **Reservation:** JourneyManagerID, timeStart, timeEnd.

#### Acciones:

- **ReservationRequest:** Reservation.
- **OccupationRequest:** Reservation.
- **CancelRequest:** Reservation.
- **InformOccupation:** occupation (entero que indica la ocupación).
- **LogInfraction:** time.
- **LogJourneyData:** drivedTime, lostTime, restTime, km, kmIn, kmOut, numberOfRelocations.
- **LogRelocation:** time, affectedVehicles, relocableVehicles, success, relocatedVehicleOrder, relocatedVehicleLostTime.

### **Desarrollo de los Agentes**

Se ha ido ampliando la funcionalidad de los agentes y se ha añadido el nuevo agente LogManager para registrar los resultados de la simulación.

En esta fase se realiza una simulación estática, realizando en el momento de la creación de cada Agente Gestor de trayectos una única reserva para su siguiente parada respecto a la posición y hora actuales.

El funcionamiento de los agentes con sus comportamientos en esta fase es el siguiente:

#### *AgLoader*

El agente "Loader" muestra una interfaz de usuario y se encarga de generar los agentes necesarios para realizar la simulación. Este agente también puede generar dinámicamente agentes JourneyManager (configurable con la opción de interfaz).

Los comportamientos del agente "loader" son los siguientes:

- CreateJourneyManager --> Crea un vehículo con parámetros aleatorios.
- CreateJourneyManagerAgent --> Añade tantos comportamientos CreateJourneyManager como vehículos se quieran crear en cada iteración de la simulación (definido en interfaz)

#### *AgParkingSpot*

Los agentes "plaza de parking" almacenan un registro de sus reservas. Estos agentes pueden recibir una solicitud de reserva (para realizar una reserva) o una solicitud de consulta (para saber si durante un momento determinado tienen o no tienen espacio disponible). Es importante tener en cuenta que cada vez que avance la simulación un día, las reservas del día anterior se eliminan, se ha realizado de este modo para no almacenar una cantidad innecesaria de datos y para agilizar la búsqueda de reservas.

Los comportamientos del agente "plaza de parking" son los siguientes:

- BParkingSpotMessageReceiver --> Este comportamiento queda a la espera de mensajes, dependiendo el tipo de mensaje que lleve (reserva, consulta de ocupación o cancelación de reserva), se lanza uno de los siguientes comportamientos.
- BParkingSpotManagerReservationRequest --> Comprueba si dispone de espacio para una solicitud determinada, si la plaza de aparcamiento dispone de tiempo para la franja horaria solicitada, responde al mensaje indicando su nivel de ocupación (es decir, cuantas horas estará ocupado el día en el que se está realizando la ocupación). La plaza de parking que tenga una ocupación mayor, "ganará" la negociación y se le asignará la reserva del vehículo solicitante. Si la plaza no tuviera espacio disponible, rechazará la participación en la negociación.
- BParkingSpotManagerOccupationRequest --> Consulta si el agente plaza tiene hueco disponible en un determinado espacio de tiempo, tanto si lo tiene como si no, responde al REQUEST con un mensaje AGREE o REFUSE (dependiendo la disponibilidad).
- BParkingSpotManagerCancelRequest --> Cancela las reservas realizadas por un vehículo en la plaza de parking (nunca se debería dar el caso, pero en el caso de que un vehículo tenga varias reservas en una plaza de aparcamiento, se anularán todas).

#### *AgRestArea*

El agente Área de Servicio genera durante su fase *setup* tantos agentes Plaza como se indica en el fichero de configuración (este dato se le pasa al constructor del Área de Servicio). El Área de Servicio gestiona solicitudes de reservas (sólo se puede gestionar una reserva cada vez, hasta que no se termina de gestionar la reserva de un vehículo, el agente no puede gestionar una nueva reserva). También gestiona consultas de ocupación (es decir, para saber si el área tiene espacio disponible a una hora determinada), se pueden tener abiertas varias consultas de ocupación (pues varios vehículos pueden querer consultar simultáneamente la disponibilidad de plaza a la vez).

Si una reserva requiere de negociación por encontrarse todas las plazas ocupadas, el Área de Servicio iniciará y gestionará la negociación, iniciando el CFP a todos los vehículos involucrados para solicitar una reubicación y liberar la plaza requerida.

Los comportamientos del agente "Área de servicio" son:

- BRestAreaMessageReceiver --> Recibe mensajes de ocupación y crea tantos comportamientos de consulta de ocupación como sean requeridos.

- BRestAreaManagerOccupationRequest --> Consulta a sus plazas de aparcamiento si disponen de hueco disponible para una hora determinada. Responde al gestor de trayectos que le realizó la consulta con la respuesta.
- BRestAreaManagerReservationRequest --> Al recibir una petición de reserva de un gestor de trayectos, el área de servicio inicia un CFP con todas las plazas de las que dispone, solicitando una reserva (las plazas libres responden con su índice de ocupación para ese día y las ocupadas indican qué vehículos están impidiendo la reserva).
  - Si hay hueco disponible, el área de servicio selecciona la plaza de parking con mayor índice de ocupación y le manda un mensaje para que realice la reserva, se manda otro mensaje al vehículo indicando que la reserva se ha realizado.
  - Si ninguna plaza tiene hueco, se genera un comportamiento de reubicación (ver a continuación).
- BRestAreaManagerNegotiateForRelocation --> Este comportamiento recibe del comportamiento de reservas un listado con todos los gestores de trayectos involucrados en la negociación, y comienza un CFP en el que recibe respuesta de los implicados indicando el tiempo que "pierden" por realizar la reubicación (o un REFUSE por parte de aquellos que no puedan realizar el cambio), aquel vehículo que "pierda" menos tiempo por reubicarse, será escogido para reubicarse.
  - Cuando el gestor de trayectos confirme que ha podido reubicarse con éxito, se cancelará la reserva que tuviera este gestor de trayectos y se creará una reserva para el vehículo que solicitó plaza (a no ser que el que se reubique sea el vehículo que la solicitó).
  - Si por algún motivo el gestor de trayectos no pudiera realizar la reserva, se consulta al siguiente que menos tiempo "pierda" por la reubicación, y así secuencialmente. Si ningún vehículo pudiera reubicarse, la reserva no podría realizarse.

#### *AgJourneyManager*

El agente "Gestor de Trayectos", correspondiente a un vehículo, realiza solicitudes de reserva al Área de servicio que más le interese.

Cada vez que se va a realizar una reserva, se genera una tabla de áreas de servicio a las que puede acceder; la que más le interesa será dentro del margen de tiempo de conducción restante hasta el máximo, aquella que esté a más distancia del vehículo (es decir, aquella en la que al detenerse haya podido realizar la mayor cantidad posible de tiempo de conducción sin realizar infracción alguna).

También dispone de un comportamiento para gestionar solicitudes de negociación por parte de las áreas de servicio, cada vez que le llega una de estas solicitudes, el vehículo consulta a todas las áreas de servicio a las que puede acceder (sin incluir la que ha iniciado la negociación) si tienen disponibilidad, si es así, responden al CFP con la diferencia en kilómetros del área de servicio en la que tenían reserva hasta la nueva área de servicio donde podrían ubicarse (esta distancia puede ser negativa, ya que un vehículo puede encontrar hueco en una área de servicio que antes no tuviera espacio libre).

Los comportamientos del agente vehículo son:

- BJourneyManagerReservation --> Añade un comportamiento en el agente que genera una tabla de áreas de servicios disponibles, una vez creada la tabla, intenta realizar una solicitud de reserva en la área de servicio más beneficiosa para el vehículo (aquella que esté a mayor distancia de su posición de las que puede acceder). Si no

consigue realizar la reserva en dicha área de servicio, lo intentará con la siguiente (y así hasta quedarse sin áreas de servicio posible, en cuyo caso el agente mandará un log indicando el fracaso y saldrá del sistema).

- `BJourneyManagerCreatingPreferencesTable` --> Selecciona todas las áreas de servicio de la carretera en la que se encuentra el vehículo, selecciona aquellas a las que el vehículo puede acceder (es decir, aquellas que no estén "detrás" del vehículo y aquellas a las que puede llegar con el tiempo legal de conducción restante), en una tabla paralela, almacenamos la distancia que hay entre el vehículo y el área de servicio (para consultar posteriormente).
- `BJourneyManagerNegotiation` --> Cuando recibe un CFP del agente "área de servicio", consulta a las áreas de servicio de su tabla si tienen disponibilidad. Si la tienen, responde al CFP con el tiempo "que pierde" al realizar la reubicación. Cuando el área de servicio confirma que se reubique, realiza una solicitud de reserva, e informa al área de servicio que ha iniciado el CFP del éxito o fracaso de dicha solicitud.

## FASE 3

### Gestión del Tiempo

Se ha añadido la gestión del tiempo a la simulación, de forma que la simulación avanzará la fecha y hora y se realizarán nuevas reservas una vez los vehículos se pongan de nuevo en trayecto.

- Se ha mejorado la interfaz para incluir opciones que nos permitan controlar los parámetros de los tiempos de la simulación:
- El agente "Loader" se encarga de gestionar el "calendario" que se usa en la simulación (es decir, este agente hace avanzar el tiempo de simulación, en base a los parámetros recogidos de la interfaz e informa de ello a todos los agentes).

Se ha incluido el comportamiento UpdateTime → Ticket Behaviour que aumenta el tiempo de la simulación cada X segundos en Y minutos (por ejemplo, podemos definir que cada X=1 segundo de tiempo pasado desde la ejecución de la simulación, el tiempo simulado avance Y=60 minutos). Esta información se manda a todos los agentes Gestor de Trayecto y Plaza.

- El agente ParkingSpot, cuando avanza el día en el simulador, "día actual" recoge los datos de "día siguiente" y "día siguiente" se limpia. Para ello se ha incluido el comportamiento:

BParkingSpotManagerUpdate → Recoge del agente AgLoader el tiempo del sistema simulado en forma de mensaje. Si avanza el día, las reservas del día actual desaparecen y las del día siguiente se convierten en las del día actual.

- El agente Gestor de Trayectos (JourneyManager) ahora deberá considerar el tiempo transcurrido en cada lapso y actualizar sus datos en consecuencia, para ello, se ha añadido el comportamiento:

BJourneyManagerUpdate --> Recibe las actualizaciones del tiempo del simulador a través del agente *Loader*. Cada vez que avanza el tiempo, modifica las variables "kilómetro" (posición del vehículo en una carretera) y "tiempo de conducción" (tiempo que lleva conduciendo el conductor del vehículo) con la diferencia entre el anterior tiempo del simulador y el recibido (en minutos). También se actualiza la tabla de áreas de servicios deseadas (pues el vehículo puede haber "pasado de largo" alguna).

- Se ha incluido una interfaz para la ejecución de la simulación, que incluye información del progreso de la simulación (barra de carga y fecha en la que se encuentra la simulación)

### Heurística Modo Libre

Se ha añadido un modo libre para comparar las estadísticas de la heurística implementada. En este modo se considerará que los vehículos pararán en el área de servicio que les interesa sin consulta previa, sin importarles si hay o no plazas. En caso de no haber plaza disponible en dicha Área de Servicio se registrará una infracción, pues el camión no puede alcanzar ninguna otra antes de cometer una infracción.