

## Control de Estacionamiento en Superficie usando Metodología Multiagente y Tecnología RFID

Juan Antonio Marco Montes de Oca<sup>1</sup>, Adolfo Sanz Izquierdo<sup>1</sup>, Javier Conde Collado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales UNED. c/Juan del Rosal, 12, 28040. Madrid. [jconde@ind.uned.es](mailto:jconde@ind.uned.es), [jmarco@invi.uned.es](mailto:jmarco@invi.uned.es), [sanzizquierdo@gmail.com](mailto:sanzizquierdo@gmail.com).

**Palabras Clave:** RFID, Sistemas Multiagente (MAS), RT-MAS, RT-MESSAGE arquitectura SIMBA, agentes ARTIS.

### 1. Introducción.

En la actualidad, debido a que todos los procesos a controlar se encuentran dentro de entornos en constante cambio tanto físico como temporal, es un hecho que se necesitan metodologías que intenten dar respuesta a problemas con limitaciones de tiempo real de manera ordenada y exacta, con la flexibilidad necesaria para poder implementar tecnologías emergentes, este es el caso de los MAS y los sistemas RFID.

En este artículo se pretende realizar una investigación basada en la experiencia de análisis y estudios previos en proyectos anteriores, de la problemática que tiene el control del estacionamiento en superficie como un eslabón más dentro de la movilidad en el casco urbano de una gran ciudad, entendiéndose por ésta: tráfico rodado residencial, aparcamiento en superficie, aparcamiento subterráneo, control de movilidad residencial e información y servicio al ciudadano. Para lograr esto, se parte de un sistema idealizado donde cada coche estará identificado unívocamente por medio de una tarjeta inteligente identificativa provista de tecnología RFID.

Con la aplicación de las directrices y requerimientos que se avanza en este estudio, se pretende conseguir:

1. Disminuir la ocupación y fragmentación del territorio.
2. Aumentar la Seguridad ciudadana (vial y peatonal).
3. Reducir la emisión de gases contaminantes (nocivos para la vida humana en núcleos urbanos con una densidad alta de población y fuentes de creación de “*Efecto Invernadero*”) y la contaminación acústica.
4. Reducir del deterioro de la convivencia vecinal por disminución del espacio público.
5. Aminorar las pérdidas de tiempo por congestión e innacesibilidad a barrios e inmuebles.
6. Notificar en tiempo real incidencias sobre el estacionamiento en superficie en determinadas zonas.

## **2. Objetivos.**

En esta comunicación se abordará, siguiendo la misma línea de investigación empezada en [18], el control sobre el estacionamiento privado/público en superficie, aplicando metodología MAS a la implementación con tecnología RFID para lograrlo. La metodología (MAS) ya ha sido aplicada al control de tráfico urbano, de lo que se trata ahora es de trasladar su investigación y resultados al campo del estacionamiento en superficie y conseguir con ello una disminución de consumo de carburante que consecuentemente reducirá la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero según [19], y un mayor control sobre la oferta de plazas libres de estacionamiento en superficie.

En las grandes urbes metropolitanas, se plantea el problema global de cómo controlar y estimar el número de plazas libres existentes en superficie en tiempo real para el estacionamiento del vehículo privado. Esta información se hace capital a la hora de realizar replanificaciones dinámicas de transporte público, estudios sobre movilidad de transporte privado, y estimación de oferta puntual de plazas para el ciudadano en general. Tecnologías emergentes e innovadoras pero ya muy consolidadas como RFID y metodología MAS, pueden aportar el apoyo técnico necesario a la comunicación que se presenta, de acuerdo a que facilitan la obtención, transmisión y gestión de datos de manera más fiel. En esta comunicación se presentarán los requisitos necesarios para diseñar el sistema RFID necesario para la identificación unívoca de plazas libres/ocupadas y la metodología MAS para la gestión posterior de dicha información.

Los objetivos concretos son:

- 1) Estimar el número de plazas libres de estacionamiento en superficie en tiempo real con dispositivos RFID.
- 2) Redireccionar dinámicamente al conductor del vehículo en su búsqueda de estacionamiento en superficie mediante MAS.
- 3) Generar un mapa dinámico de plazas libres y ocupadas de estacionamiento en superficie que ayude al ciudadano y al organismo gestor (público o privado) a planificar en tiempo real su destino.
- 4) Habilitar o inhabilitar en tiempo real, un número de plazas de estacionamiento en superficie, para servicios especiales como: ambulancias, servicios policiales, bomberos o de otro tipo.

## **3. Tipologías de Estacionamiento.**

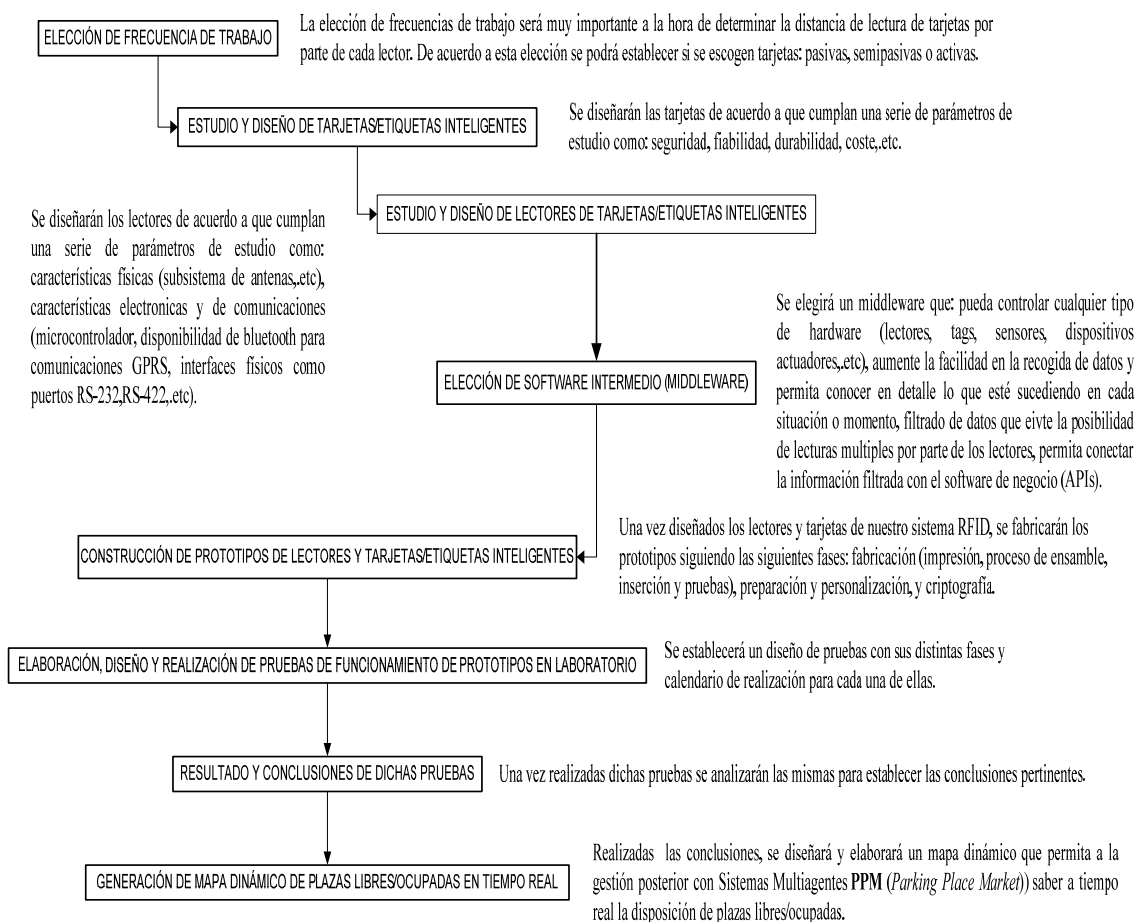
Para abordar con la debida rigurosidad este estudio, se ha realizado una clasificación de los distintos tipos de plaza de aparcamiento existentes o que pueden existir para determinar posteriormente una mejor identificación de dicha plaza. Los criterios que se han seguido para lograr una tipología completa son: localización, función y tipo de vehículo, de esta forma se tendrá:

por su localización	por su función	por tipo de vehículo
aparcamientos en la vía pública de superficie	aparcamientos de uso libre	aparcamientos para vehículos automóviles
playas de aparcamiento en superficie	aparcamientos de carga y descarga	aparcamientos para vehículos industriales
edificios de aparcamiento	aparcamientos para eventos o instituciones	aparcamientos para bicicletas
	aparcamientos disuasorios	aparcamientos para taxis (paradas)
	aparcamientos rotatorios	aparcamientos especiales para minusválidos
	aparcamientos para residentes	
	aparcamientos de empresa	
	aparcamientos comerciales	

**Figura 0.1.** Tipologías de Estacionamiento.

## Identificación de plazas libres/ocupadas mediante Radio-Frecuencia (RFID).

La tecnología RFID, se utiliza para la identificación de objetos, personas y animales y ha sido suficientemente bien explicada en [18]. De acuerdo con los objetivos marcados, se identificará unívocamente a cada coche (con la información de marca y modelo insertada en el chip) para poder estimar el espacio disponible de estacionamiento. La metodología de trabajo a desarrollar supone las siguientes fases necesarias de estudio para poder diseñar e implementar un sistema RFID:



## 5. Sistemas Multiagente (MAS).

La metodología MAS se está utilizando para para subastas con intercambio de bienes [7] que es susceptible de ser aplicada en otros ambitos, como los logísticos [10], subastas en sistemas recurrentes [13], o como sistemas dinamicos configurables [14]. Continuando con las investigaciones realizadas, se propone una metodología MAS, que partirá de un sistema

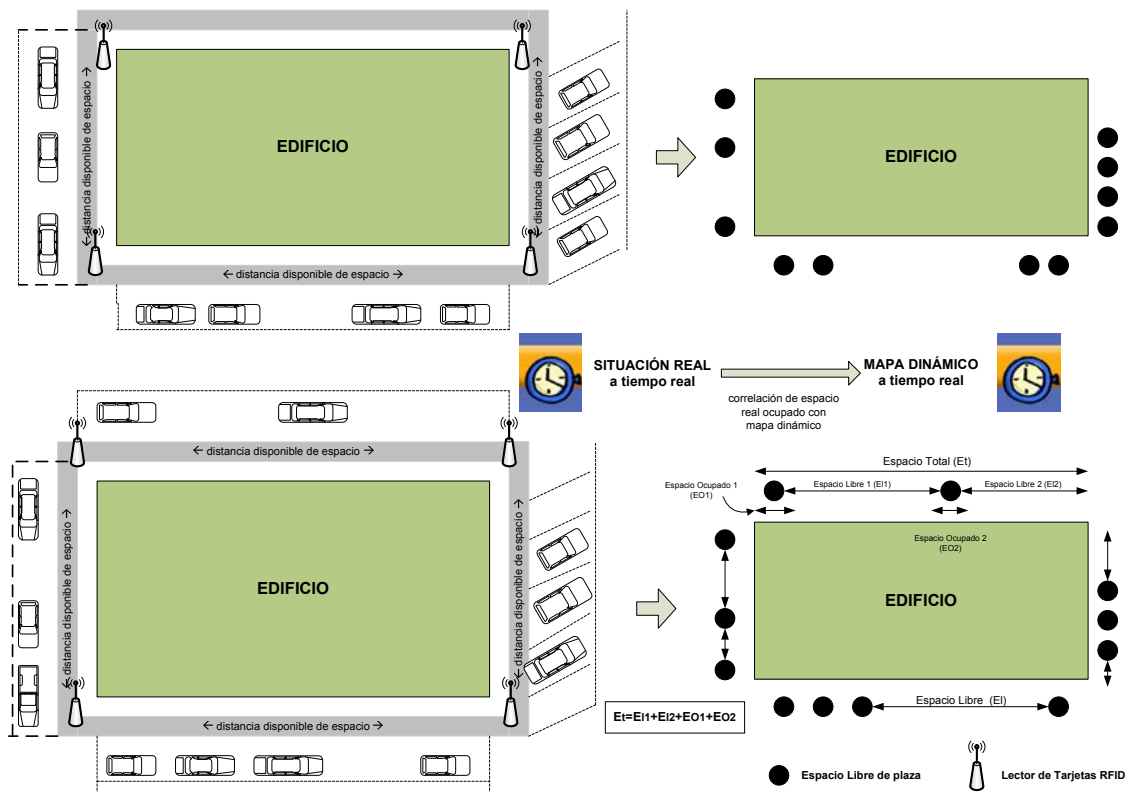
abierto y escalable que permita un desarrollo futuro y acoplable con cualquier sistema de control de tráfico.

En el modelo que se propone, pretende resolver el problema de Ayuda a la Localización de Plazas de Aparcamiento en Áreas de Estacionamiento Regulado (ALPAR), afrontando el problema considerado siguiendo las siguientes directrices:

1. Se utilizará un sistema multi-agente para ayuda en la localización<sup>27</sup>.
2. Se usará un sistema multi-agente capaz de actuar en tiempo real<sup>28</sup>

Desde un punto de vista conceptual se definirán los agentes con objetivos, tareas y roles siguientes, en donde se contemplan las siguientes características que debe tener un agente: 1) Conocimiento de donde se encuentra, 2) Responsabilidad sobre ciertos objetivos, 3) Definir en su zona de control, el estado de los parámetros que se definan, en el caso que aquí se aborda, será el conocimiento exhaustivo de la situación de los lugares aptos para aparcamiento y su estado (libre/ocupado) en cada momento,

4) Deberá poder comunicarse con otros agentes.



**Figura 0.2.** Mapa dinámico de plazas libres/ocupadas

<sup>27</sup> Se elige un sistema multiagente porque se pretende que en un futuro se puedan incorporar de forma dinámica nuevos tipos de entidades al sistema. Se debe prever la posibilidad de que cambien las existentes. En los futuros desarrollos se vislumbra la posibilidad de una evolución del comportamiento y teniendo la necesidad de usar unidades inter-actuantes para resolver el problema.

<sup>28</sup> En el problema que aquí se plantea tiene importancia el tiempo de respuesta, un usuario no puede esperar un tiempo indefinido para lograr la mejor respuesta, es necesario que el sistema de una respuesta refleja, aunque no sea la mejor, antes de que acabe el tiempo. Se impone al sistema que debe de responder en un tiempo máximo de t milisegundos.

#### 4.1. Funcionamiento del sistema con agentes

El sistema funciona como una pizarra donde, se ofertan las plazas correspondientes a cada zona según el esquema de la figura 1. La denominaremos **PPM** (*Parking Place Market*). De otra parte los  $U_h$  hacen sus peticiones a través del  $A_{OR}$  quien traslada la petición al  $A_{AD}$ , y recibe la respuesta para trasladarla de nuevo al  $U_h$ . El ciclo, es el indicado en de la figura 1.

Los problemas a que de forma habitual hacen frente los agentes tienen sistemas de negociación complejos alargándose por tanto en el tiempo, obteniendo con mayor número de iteraciones una solución más fiel.

En este caso de estudio, se debe ofrecer una solución en tiempo real, para ello, se usará un sistema multi-agente en tiempo real según se describen en [4], [5], [8], [12].

La necesidad de emplear agentes en tiempo real viene dada por la dinámica del propio sistema a controlar. Bajo esta premisa se definirán agentes en tiempo real a los que se les impondrán unas limitaciones temporales logrando con esto llegar a un **RT-MAS** (*Real Time Multi-Agent System*)

#### 4.2. Modelización del sistema

Para modelar el sistema se utiliza un RT-MAS y el método **RT-MESSAGE** que se describe en [4]. El sistema caso de estudio, es un sistema en tiempo real- crítico, la tarea debe realizarse en el plazo previsto o no será de utilidad y complicará la circulación en la zona regulada. Si el sistema no produce una respuesta en el tiempo definido, se lanzará una respuesta automática de indisponibilidad de plazas. Los agentes definidos, tienen restricciones de tiempo real estricto que podrán ser variables.

Se utilizará la **arquitectura SIMBA** mencionada en [4] y descrita en [9]. Esta arquitectura permite el diseño de agentes de tiempo real del sistema. Las comunicaciones entre los agentes serán sencillas y de tamaño acotado, lo que facilitará la rapidez del proceso. El sistema planteado tendrá un conjunto de agentes autónomos que van a colaborar para direccionar a un usuario a una plaza de aparcamiento libre en una zona regulada, para ello, existirán agentes que estén enviando mensajes periódicos sin que ello afecte al sistema.

#### 4.3. Sistema de Asignación de Plazas

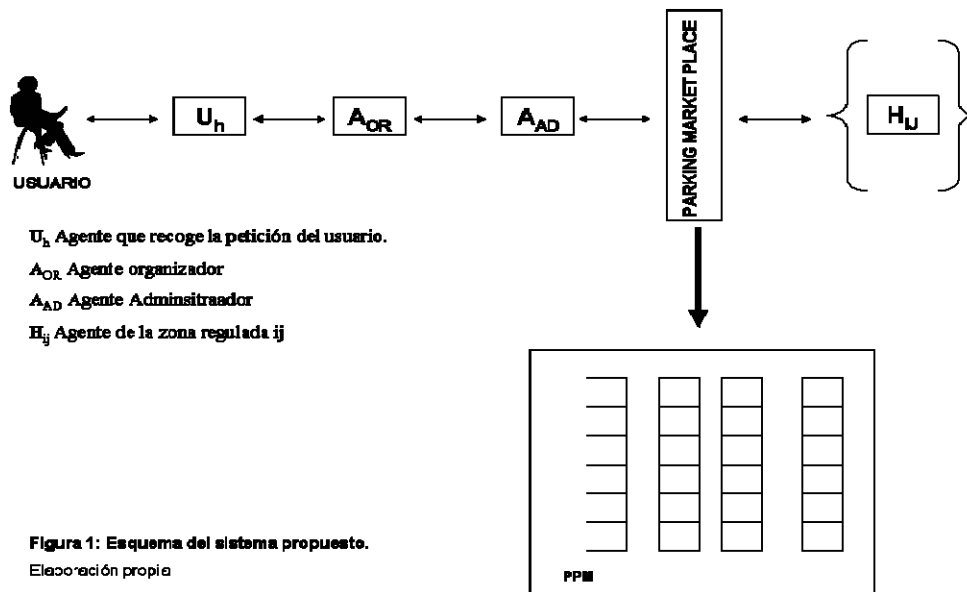
Se definirá el sistema por el cual se asignan las plazas de aparcamiento a los usuarios evitando conflictos.

Se tratará la asignación de plazas de parking como si de una subasta se tratase. El estudio de subastas y negociaciones con multi-agentes ha sido abordado por diversos autores en [3] y [2]. Existen diferentes tipologías de subasta dinámica: 1) Inglesa o al alza, y 2) Holandesa o a la baja.

Se escogerá para este caso de estudio la variante inglesa. En este sistema, el subastador establece la cantidad mínima a ofrecer ganando la puja el que hace la oferta más alta.

La subasta que se contempla en este caso será a dos vueltas; En la primera vuelta se deciden quienes pueden acceder a la puja y en la segunda vuelta se adjudica al mejor postor. Para aplicar el sistema se necesita:

- Un valor mínimo de puja que fijará el sistema y será dinámico y adaptativo.
- Un valor de puja de cada agente usuario.



El valor mínimo de puja  $V_{\min}$  responderá a la expresión:  $V_{\min} = 1000 * 1/T_{\max}$

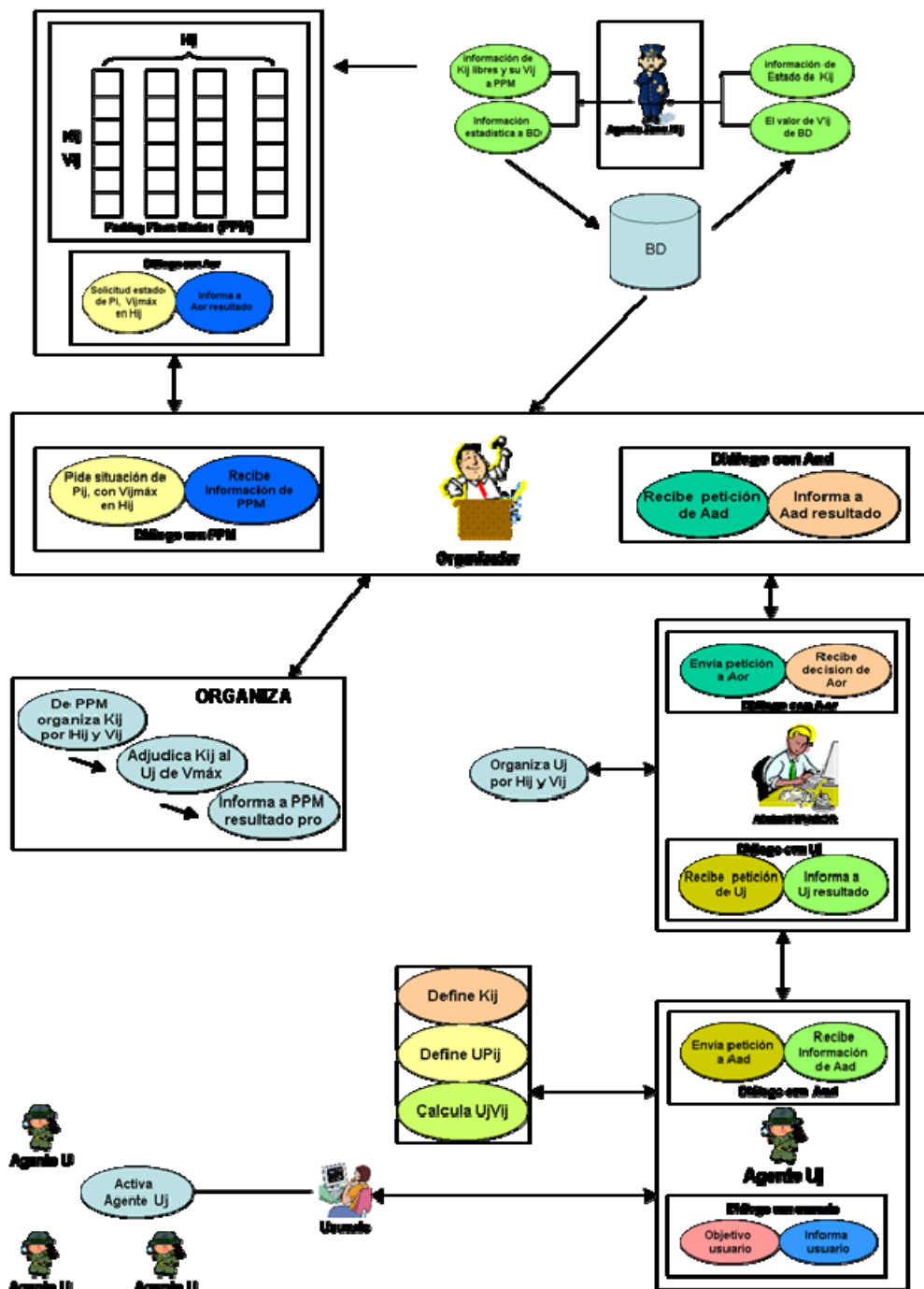
Donde el valor  $T_{\max}$  es un valor que inicialmente fija el sistema y será adaptativo en función del historial recogido y que representa el tiempo máximo de acceso a la plaza disponible. Cuando un usuario  $U_{h1}$  solicita la plaza disponible en función de su posición se le asigna un  $T_{U_{h1}}$ , que representa su tiempo estimado de llegada a la plaza desde la posición de petición, a partir de este valor obtenemos  $V_{U_{h1}}$ .

Cuando otro(s) usuario(s)  $U_{h2}$  solicitan la plaza disponible se calcula su  $T_{U_{h2}}$  y su  $V_{U_{h2}}$ .

Se definen el conjunto  $\{V_{U_{hij}}\} / V_{U_{hij}} \leq V_{\min}$ . La plaza se adjudica al min.  $\{V_{U_{hij}}\}$ . En el caso de que existan  $V_{U_{hj}} < V_{\min}$ , no alcanzarían la puja mínima y quedarían descartados.

El sistema podría ser dinámico, esto significa que cuando una plaza se ha adjudicado a un  $U_{hj}$ , y el sistema detecta una plaza disponible que pudiera ser alcanzada por  $U_{hj}$ , en menos tiempo automáticamente le será ofrecida y si la acepta, la plaza que deja libre pasará de nuevo a subasta. Se abandonará esta característica para un desarrollo posterior. En este modelo, tampoco se tiene en consideración, y se deja para posterior desarrollo, la existencia de otros factores que pueden afectar al valor de la subasta, valores de negociación que son independientes del parámetro tomado  $V_{ij}$ , que sería asimilable a un precio en una subasta de bienes, pueden influir otras variables [11], que hagan que la subasta se decante por una oferta diferente, de esta forma, al tener definido cada vehículo de forma unívoca, se podrá introducir un parámetro  $C_{vi}$ , que indique características como las dimensiones del vehículo y de esta forma, se tendrá que  $\{H_{ij}\}$  ofertan sus  $\{K_{ij}\}$  con un doble valor  $(V_{ij}, C_{vi})$ , de esta forma cada elemento del conjunto de los  $\{U_k\}$  facilitará para entrar en la subasta su par  $(V_{ij}, C_{vk})$ .

La figura 2 representa un esquema simplificado del modelo propuesto.



ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA MAS PRO PUESTO  
FUENTE: Elaboración propia

Figura 2

La plaza de aparcamiento será ganada por el que cumpla:  $C_{vk} \leq C_{vi}$ , y de entre los que cumplan esta condición el adjudicatario será mín.  $\{V_{ij}\}$

ANÁLISIS DE ACTIVIDADES INCLUIDAS DE UNA PLAZA DE APARCAMIENTO										
SITUACIÓN	ACCIONES	PASO	ACTIVIDADES	ESTADO	ACCION	ORIGEN	DESTINO	TIEMPO INI	TIEMPO ACUMULADO	OBSERVACIONES
USUARIO OPERANDO VEHICULO	Comprobar registro en el sistema	0	No registrado		Crear cuenta Ur	USUARIO	SI SISTEMA	300	300	Las dudas las tiene el operador de la identificación del usuario.
		0	Si registrado		Actualizar cuenta Ur	USUARIO	SI SISTEMA	100	300	Ur localiza posición del usuario
	1	Introducción de datos de datos		Usando teclado dirección de dirección	USUARIO	Ur		300		
	2	Ur comienza el proceso		Comunicación con Aed	Ur	Aed	100	400		
	3	Aed localiza para el lugar de destino HI, VI, Pí		Solicitud a ED HI, VI y Pí	Aed	ED	100	500	Pí probabilidad de encontrar plaza en la zona si no hay de paradas	
	4	ED localiza la información solicitada por Aed		ED envía a Aed HI, VI y Pí	ED	Aed	100	600		
	5	Aed solicita entrada de número de placa a Aed		Aed comunica a Aed sus objetivos	Aed	Aed	100	700		
	6	Aed solicita los datos de las solicitudes a HI		Pí a ED con información a HI y VI	Aed	ED	100	800		
	7	ED responde a Aed		Envía a Aed los HI y VI de cada solicitud	ED	Aed	100	900		
	8	Aed consulta a PPM si hay plaza en HI y en VI y los Vms correspondientes		Consulta a PPM	Aed	PPM	90	990		
	10	PPM informa a Aed de la posición del punto 2	Hay plaza en HI	Pí a 11	PPM	Aed	30	990		
			No hay plaza en HI	Pí a 10						
			Hay plaza en HI y colchete	Pí a 10						
			No hay plaza en HI	Pí a 35						
11	Aed comprueba si tiene más solicitudes en HI	No hay más solicitudes	Pí a 12	Aed	Aed	10	1000			
		Si hay más solicitudes	Pí a 15	Aed	Aed					
12	Asignación plaza		Informa a Aed	Aed	Aed	5	1005			
13	Informar al usuario		Aed informa a Ur	Aed	Ur	5	1000			
14	Comienza otra plaza o espera		El usuario ha operado	HI	PPM	VI	Fin del proceso			

FIG. 3-1 Análisis de actividades

Elaboración propia

Se usará la arquitectura SIMBA que describe [1], [9] y [12]. SIMBA permite el diseño y





Se está ante un sistema inteligente en tiempo real (**SI-RT**). El sistema tiene que operar de forma continua a lo largo del tiempo, debiendo tener relaciones con el entorno de manera que reciba y envíe información.

Para obtener características de funcionamiento en tiempo real, se integrará un Sistema de Inteligencia Artificial (**SIA**), para ello se usarán agentes **ARTIS** [8], [9].

Las figuras 3.1 y 3.2 realizan un análisis de actividades del sistema propuesto.

## **5. Conclusiones.**

En este estudio se han revisado los siguientes aspectos/requerimientos necesarios para el diseño e implantación de un sistema híbrido de tecnologías (RFID y MAS) para el control de estacionamiento en superficie. Con su diseño se logrará:

- a) Reducir la movilidad negativa (aquella que no produce beneficios a la fluidez y produce mayor contaminación del medio-ambiente en un núcleo urbano) dentro del ámbito del estacionamiento urbano medida en tiempo en un 13,5%.
- b) Controlar en todo momento la oferta de plazas de aparcamiento en superficie disponibles en todo el área urbana.
- c) Proporcionar al ciudadano información puntual sobre la posibilidad de encontrar estacionamiento a una determinada hora y lugar y apoyo a la búsqueda de estacionamiento in situ, reduciendo de esta manera su coste de oportunidad.
- d) Reducir en un 27% los tiempos de intervención de Servicios Especiales de atención ciudadana: Ambulancias, Servicios Policiales, Bomberos, Protección Civil, etc.

## **6. Líneas futuras**

Se contemplan las siguientes líneas a seguir a partir de este estudio:

- a) Se estudiará el caso no idealizado de que algún vehículo no esté identificado unívocamente, y de la respuesta del sistema hacia el mismo.
- b) Se definirán todas las variables de utilidad que puedan obtenerse de la base de datos y la optimización en los tiempos de respuesta del sistema de acuerdo, a las condiciones de tráfico que en cada momento existan en cada zona, y las posibilidades de asignar a distancia a un usuario una plaza concreta.
- c) Se estudiará la integración con otros sistemas de tráfico para facilitar la fluidez.
- d) Se estudiará la incorporación al sistema de la dinámica para ofertar una plaza libre más cercana si esta quedara libre en el trayecto a la asignada.
- e) Se estudiará la modificación del sistema para que existan otras características que jerarquicen la asignación de plazas más allá del parámetro temporal propuesto.
- f) Se avanzará en la respuesta refleja del sistema de que la no existencia de plaza sea sustituida por la de la plaza disponible más cercana a donde se encuentre el vehículo y de esta forma invitar al conductor a, ante la dificultad en la zona elegida, dejar el coche en la plaza más cercana y usar medios de transporte público para acceder a su destino.

## 7. Bibliografía.

- Aranda, G., Soler, J., 2005, *Integration of FIPA SL in the Real-Time multiagent platform SIMBA*. <http://users.dsic.upv.es/grupos/ia/sma/publications/articulos/article.pdf> .
- Arias, F. J.; Moreno, J.; Ovalle, D.A. 2006. *Integración de mecanismos de Razonamiento en Agentes de Software Inteligentes para la negociación*
- Bicharra García, A. C.; Lopes, A.; Bentes, C., 2001. *Electronic Auction with autonomous intelligent agents: Finding opportunities by being there*. Inteligencia Artificial Vol. 5 nº 13 ISSN 1137-3601.
- Carrascosa c., Julian, V., Hernandez, L, García-Fornes, A., Aranda, G., Burdalo, L., Moncho, M.C., 2005, *Metodología de un SMA de Tiempo Real empleando la metodología RT-Message* <http://users.dsic.upv.es/grupos/ia/sma/publications/articulos/desma2005.pdf> .
- Carrascosa, C., Terrasa, A., Fabregat, J., Botti, V., 2005, *Gestión de comportamientos en Agentes en tiempo Real*. Inteligencia Artificial Revista Iberoamericana de IA volumen 9, número 25, paginas 39-48. ISSN 1137-3601
- eléctrica*. Revista de Ingeniería Informática edición 13 noviembre 2006. ISSN 0718-6983.
- Ham, M.; Agha, G.; 2008, *Market-based Coordination Strategies for Physical Multi-Agent Systems*. ACM SIGBED Review, volumen 5, issue 1 Enero 2008. ISSN 1551-3688.
- Herbert, R., Turton, P., 2007, *Simple strategies in an Evolving Auction Model* MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2007, pp 1103-1109 ISBN : 978-0-9758400-4-7.
- Julian, V., Botti, V., 2004, *Developing Real-time Multi-Agents Systems* Integrated Computer-Aided Engine volumen 11 pp 135 -149 ISSN 1069-2509.
- Julian, V; Carrascosa, C; Rebollo, M; Soler, J y Botti, 2002, *V SIMBA an approach for Real Time Multi-Agent*. Proceedings of V Conferencia Catalana d'Inteligencia Artificial.
- Lavendelis, E., Grundspenkins J., 2006, *Simulation Tool for Multicriteria Auctions in Transportation and Logistic Domain*. International conference on Computer Systems and Technologies – CompSusTech'06.
- Mähr, T., de Weerd, M., 2007, *Auctions with Arbitrary Deals*. Lecture Notes in Computer Science, volumen 4659/2007 pp 37-46 ISSN 0302-9743.
- Marsá Mestre, I; Sánchez Prieto, S; Velasco J. *Sistemas multi-agente en tiempo real*. <http://ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-132/paper14.pdf> .
- Murillo, J. , Muñoz, V., López, B., Busquets D, 2008. *A Fair Mechanism for Recurrent Multi-unit Auctions*. Lecture Notes in Computer Science, volumen 5244/2008, pp 147-158. ISSN 0302-9743.
- Murillo, J. , Muñoz, V., López, B., Busquets D., 2007, *Dinamic Configurable Auctions for Coordinating Industrial Water Discharges*. Lecture Notes in Computer Science, volumen 4687/2007, pp 109-120 ISSN 0302-9743.
- Roggero D., Patrone, F., Mascardi, V. 2005. *Designing and Implementing Electronic Auctions in a Multiagent System Environment*. WOA 2005, Simulazione e Analisi Formale di Sistemi Comple.

Spiteri A., 2007. *A Comparison of software Analysis and Design Methods for Real Time Systems* Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology volumen 21 ISSN 1307-6884.

Zhang L, 2006, *Development Method for Multi-Agent Real-Time Systems* International Journal of Information Technology Vol. 12 ISSN 2070-3961.

Marco J.A, Conde J (2007). *Prediseño de Sistema de Gestión de Movilidad*. XI.Congreso Internacional de Organización (CIO). Madrid (2007).

Racero Moreno, Jesús; Canca Ortiz, José David; Galán de Vega, Ricardo (2006). *Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico*. X Congreso Internacional de Organización (CIO). Valencia (2006).