



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE
VALÈNCIA**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y URBANISMO
TFM TIPO INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO DE LA GESTIÓN
DINÁMICA DEL ESTACIONAMIENTO
REGULADO EN VÍA PÚBLICA**

AUTOR: MARIANO PÉREZ MIÑANO

TUTOR: PROF. DR. ALFREDO GARCÍA GARCÍA

FECHA: SEPTIEMBRE 2014

RESUMEN

El presente trabajo pretende caracterizar la situación actual del estacionamiento regulado en vía pública, centrando el estudio en la gestión dinámica del mismo. Más concretamente, el estudio define y expone el estado del arte de tres aspectos básicos de la gestión dinámica del estacionamiento regulado como son: medios de pago digital, tarifas dinámicas e información de plazas libres en vía pública; así como la influencia que tienen en la consecución de un uso más eficiente del vehículo particular, tanto por la reducción de kilómetros recorridos para estacionar como por el menor tiempo invertido en la operación, en la disponibilidad de plazas libres para estacionar en áreas de alta demanda y en una adecuación mayor de la tarifa con los gastos que supone una plaza de estacionamiento en la ciudad.

El trabajo incluye la descripción y análisis de una experiencia piloto realizada en la ciudad de Recife (Pernambuco, Brasil), de la que se realiza un profundo estudio de sus resultados; dejando claramente expuestas las posibles mejoras en el sistema y las futuras líneas de investigación.

ABSTRACT

This paper aims to characterize the current status of on-street regulated parking, focusing the study on the dynamic management. More specifically, the study defines and presents the state of the art of three basic aspects of regulated parking dynamic management as: digital media payment, dynamic fee and information of free parking spaces on public roads; and the influence they have on achieving a more efficient use of private vehicles, thus reducing cruising for parking for the shortest time spent on the operation, the availability of free parking spaces in high demand areas and better adaptation of the fee with the costs involved a parking space in the city.

The work includes the description and analysis of a pilot experiment conducted in the city of Recife (Pernambuco, Brazil), for which a detailed study of the results is performed; clearly leaving exposed the potential system improvements and future research.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. ESTADO DEL ARTE	4
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	5
3.2. LA REGULACIÓN COMO SOLUCIÓN	10
3.2.1. LA TARIFA DE ESTACIONAMIENTO COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE LA DEMANDA DE TRÁFICO.....	13
3.2.2. MODELOS OPERACIONALES	29
4. OBJETIVOS.....	40
5. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	41
5.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	42
5.1.1. CARACTERIZACIÓN TERRITORIAL Y SOCIOECONÓMICA.....	42
5.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO 45	
5.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL ESTACIONAMIENTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	52
5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA IMPLANTADO	58
5.2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA REGULACIÓN DEL ESTACIONAMIENTO	58
5.2.2. SISTEMA DE DETECCIÓN Y PUBLICIDAD DE PLAZAS LIBRES DE ESTACIONAMIENTO	62
5.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DESARROLLADA.....	66
5.3. TOMA DE DATOS.....	69
6. ANÁLISIS DE DATOS	73
6.1. FORMA DE PAGO DIGITAL DEL ESTACIONAMIENTO.....	73
6.2. DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PLAZAS DE ESTACIONAMIENTO DISPONIBLES.....	78
6.3. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTO ..	86
6.3.1. DATOS DE DEMANDA DE ESTACIONAMIENTO	86
6.3.2. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DERIVADOS DE LOS DATOS DE DEMANDA Y DE UTILIZACIÓN DE LA FORMA DE PAGO DIGITAL .	90
7. CONCLUSIONES	94

8. PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA.....	97
9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	99
10. CONCLUSIÓN.....	101
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

1. ANTECEDENTES

Una vez finalizados los estudios del Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo, se redacta el presente Trabajo de Fin de Máster tipo “investigación”, tal como se especifica en la normativa del mismo publicada por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos para la obtención de la mencionada titulación.

2. INTRODUCCIÓN

En las ciudades actuales el aparcamiento se ha convertido en uno de los grandes problemas a resolver para la sociedad en general, no sólo para los conductores, debido a los impactos generados sobre el sistema de transporte, los ciudadanos y el espacio público.

De esta forma, se puede dividir la problemática en dos grandes aspectos: la ocupación del espacio público para uso particular, sin ningún coste o muy bajo, impidiendo otros usos más sostenibles o de interés general y la ineficiencia del uso de vehículo privado.

En el escenario actual de cambio hacia una movilidad más sostenible mediante el fomento de modos de transporte más eficientes, la alta demanda de estacionamiento produce fuertes impactos en el funcionamiento de dicho modos tanto a través de la ocupación de espacio público para este uso que podría estar destinado a infraestructura de transportes colectivos, bicicletas o peatones como por la injerencia en el funcionamiento de estos mediante la ocupación ilegal el espacio del transporte público en superficie y de los modos no motorizados.

Por otro lado, parece clara la sobreutilización ineficiente del vehículo, que queda constatada en los estudios que muestran el recorrido de una significativa cantidad de distancia de más durante la búsqueda de aparcamiento, lo que impacta directamente en los costes sociales derivados de la pérdida de tiempo y del consumo energético, en la emisión de contaminantes, así como en el aumento de intensidad de circulación en las vías urbanas que produce un crecimiento en los congestionamientos.

Parece claro, que en el mencionado escenario, no se establece como objetivo la desaparición del uso del vehículo privado, pero sí su utilización más racional y eficiente que permita responder a los intereses de todos los usuarios.

De esta forma, la regulación del estacionamiento, y más aún la gestión dinámica de la misma, en la que se pone a disposición de los conductores la información de la cantidad de plazas libres y su ubicación, puede ser la

solución al ser un instrumento que permite una mejor gestión de la movilidad en vehículo privado, permitiendo el ahorro de kilómetros recorridos en la búsqueda de estacionamiento y el conocimiento en tiempo real del estado de ocupación del área que puede ser usado en el establecimiento de tarifas dinámicas que garanticen un nivel de ocupación determinado desincentivando el uso del vehículo privado sin disminuir los ingresos del sistema, lo que además permite un pago más ajustado al precio real que supone una plaza de estacionamiento en la ciudad para la administración.

En el caso concreto de la situación de Recife, ciudad brasileña capital del estado de Pernambuco, el rápido crecimiento de la tasa de motorización junto a la poca capacidad de transformación y adaptación del espacio público han llevado a una situación de muy alta demanda de estacionamiento en varias áreas de la ciudad que conducen a altos impactos tanto en el sistema de transporte, conforme se ha descrito anteriormente, como en la transformación incontrolada del uso del suelo en algunos barrios con la aparición de estacionamientos privados en locales destinados a otros usos, así como el estacionamiento regulado ilegal en espacios públicos destinados a usos como plazas o aceras.

Ante las problemáticas detectadas caben soluciones basadas en la gestión dinámica del estacionamiento regulado en vía pública que permitan tanto solucionar o mitigar la situación actual como para evaluar las distintas variables de un sistema de este tipo y definir las mejoras a implantar para conseguir el mejor resultado posible.

3. ESTADO DEL ARTE

La alta presión de la demanda de estacionamiento en vía pública afecta a todos los usuarios del espacio público, directamente a los propios conductores e indirectamente a los usuarios del transporte público de superficie y a los modos no motorizados de transporte.

Ejemplos de esta situación son la incidencia que la indisciplina del aparcamiento tiene sobre la velocidad comercial de los autobuses o sobre la seguridad en el desplazamiento de peatones y ciclistas.

De la misma forma, la alta demanda de estacionamiento provoca la existencia de una alta cantidad de plazas de estacionamiento en vía pública ocupando un espacio que podría estar dedicado a infraestructura exclusiva de modos más sostenibles de desplazamiento, sea a través de la ejecución de carril-bus o de la construcción de infraestructura de transporte ciclista o peatonal.

Por otro lado, la alta demanda de estacionamiento provoca también unos elevados costes sociales, en forma de combustible consumido y tiempo invertido en la búsqueda de aparcamiento así como graves impactos ambientales en forma de aumento de emisiones de contaminantes en dicha búsqueda.

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

La alta demanda de estacionamiento unida a la falta de regulación del aparcamiento en vía pública producen una sobreutilización del vehículo privado así como una gran ineficiencia en ese uso que produce un aumento significativo de los costes sociales asociados al consumo de combustible y al tiempo invertido en la búsqueda de aparcamiento.

Estos son problemas globales que se dan tanto en países desarrollados como en economías emergentes, como demuestra un reciente estudio de IBM [1]. En dicho estudio se pone de manifiesto, por ejemplo, que el 17% de los conductores en Milán y Pekín y el 16% de los conductores de Madrid y Shenzhen pasa de 31 a 40 minutos buscando aparcamiento. También es significativo que más de la mitad de los conductores desisten de aparcar en el lugar de destino por falta de plazas en 16 de las 20 ciudades estudiadas, destacando los casos presentados en la **Tabla 1**.

Ciudad	% de conductores que desisten de estacionar en el lugar deseado por falta de plazas
Shenzhen	80%
Nairobi	76%
Pekín	74%
Singapur	73%
Méjico	73%
Madrid	69%
Chicago	63%
Estocolmo	62%
Montreal	58%
Toronto	57%

Tabla 1. Porcentaje de conductores que desisten de estacionar en el lugar deseado por falta de plaza [1]

Esta situación produce un incremento significativo en la intensidad del tráfico de las áreas con mayor demanda de estacionamiento. Raras veces se tiene en cuenta la circulación en búsqueda de estacionamiento como fuente de problemas de congestiones de tráfico ya que los vehículos que circulan buscando aparcamiento están mezclados con los que circulan normalmente por la calle y existen pocos estudios que caractericen este fenómeno, sin embargo *Shoup* [2] recopiló y analizó los resultados de dieciséis estudios del comportamiento de cruce entre 1927 y 2001 en los distritos comerciales centrales de las once ciudades en cuatro continentes. En estos estudios se caracterizó este fenómeno mediante el análisis de grabaciones de tráfico, la realización de encuestas a conductores que estacionen o a través de la conducción de un “vehículo sonda”.

Tras el análisis que *Shoup* [2] realiza de los resultados, mostrados en la **Tabla 2**, se concluye que el tiempo medio que se tardó en encontrar un espacio de estacionamiento fue de 8 minutos y que el 30% de los vehículos en el flujo de tráfico circulaban buscando espacio para estacionar.

Sin embargo, la gran desviación de los datos respecto a la media, sobre todo en el porcentaje de tráfico que se encuentra en la búsqueda de estacionamiento, reduce mucho la consistencia de las conclusiones de *Shoup*. Bien es verdad que la desviación no es tanta en el caso de tiempo medio de búsqueda de estacionamiento en los que se puede comprobar que restringiendo el análisis a los estudios realizados en los últimos 30 años la media es de casi 10 minutos (9,7), superior a la de la totalidad de los datos desde 1927.

En este escenario, parece más lógico extraer como conclusión la relevancia que puede llegar a tener la búsqueda de aparcamiento en el aumento de la intensidad de tráfico que la caracterización cuantitativa de los valores de porcentaje de tráfico en búsqueda de estacionamiento o tiempo medio para encontrarlo.

Esta conclusión, viene a poner de relevancia el impacto que causa la búsqueda de aparcamiento sobre la velocidad del tráfico y por tanto sobre la velocidad comercial de los modos de transporte público en superficie que comparten la infraestructura con el vehículo privado.

YEAR	CITY	SHARE OF TRAFFIC CRUISING	AVERAGE SEARCH TIME (minutes)
1927	Detroit (1)	19%	—
1927	Detroit (2)	34%	—
1933	Washington	—	8,0
1960	New Haven	17%	—
1965	London (1)	—	6,1
1965	London (2)	—	3,5
1965	London (3)	—	3,6
1977	Freiburg	74%	6,0
1984	Jerusalem	—	9,0
1985	Cambridge	30%	11,5
1993	Cape Town	—	12,2
1993	New York (1)	8%	7,9
1993	New York (2)	—	10,2
1993	New York (3)	—	13,9
1997	San Francisco	—	6,5
2001	Sydney	—	6,5
	AVERAGE	30%	8,1

Tabla 2. Resultados de porcentaje de tráfico que se encuentra buscando estacionamiento y tiempo medio para encontrarlo de los 16 estudios analizados por Shoup D. Fuentes: Simpson (1927), Hogentogler, Willis & Kelley (1934), Huber (1962), Inwood (1966), Bus & Bahn (1977), Salomon (1984), O'Malley (1985), Clark (1993), Falcocchio, Darsin & Prassas (1995), Saltzman (1997) & Hensher (2001).

Además de la incidencia directa sobre el sistema de transporte público en superficie, esta situación genera unos costes sociales prácticamente inasumibles por las ciudades.

En el estudio anteriormente referido de *Shoup* [2], se estiman los kilómetros y el tiempo invertido en recorrerlos, así como el consumo energético y las

emisiones de contaminantes, durante la búsqueda de estacionamiento en el distrito comercial de Westwood Village, cerca del campus de la Universidad de UCLA en Los Ángeles-CA (Estados Unidos).

En dicha estimación, se realizaron 240 observaciones en las que se midió el tiempo que se tarda en encontrar aparcamiento en superficie en ese distrito, donde se localizan 470 plazas de estacionamiento, aunque todas reguladas y con un precio de 0,50 USD la hora. En estas observaciones se midió un tiempo medio de circulación hasta encontrar una plaza libre de 3,3 minutos y una distancia de 804,67 metros. Lo que extrapolando directamente a las 470 plazas y su tasa de ocupación diaria de 17 vehículos en el periodo de un año, resulta en unos costes sociales significativos.

La conclusión del estudio es que en el distrito de Westwood Village, donde existen 470 plazas de estacionamiento regulado con un precio muy bajo, se recorren 1.528.876,8 kilómetros al año en la búsqueda de estacionamiento, invirtiendo 95.000 horas en hacerlo. Este tráfico implica un consumo de combustible de 178.000 litros de gasolina y la emisión de 730 toneladas de CO₂.

En la misma línea, un estudio de *Pineda y Abadía* [3] cuantifica los costes sociales producidos por la búsqueda de estacionamiento en Madrid y Barcelona según los criterios definidos en el proyecto europeo HEATCO [4], que establece los criterios y directrices europeas armonizadas para el estudio y la evaluación de costes en los proyectos de transporte.

Estos resultados, presentados en la **Tabla 3**, estiman los costes económicos directos producidos por la pérdida de tiempo y el consumo de combustible durante la búsqueda de una plaza para estacionar el vehículo. Los costes de tiempo perdido se han estimado sobre unos valores de 3 minutos buscando estacionamiento y un valor de 9,9 € la hora. Los costes de combustible se han calculado considerando un recorrido de 2,67 km en la búsqueda de estacionamiento y un valor de 0,1 €/km, que a su vez se obtiene de un consumo de 10 litros cada 100 km y un valor del combustible de 1 €/l.

Como puede comprobarse, el coste total por pérdida de tiempo asciende a casi 350 millones de euros en el caso de Madrid y a 268 millones en el caso de Barcelona. Si se incluyen los costes por consumo de combustible, se producen unos costes económicos totales de 535 y 413 millones de euros respectivamente.

Tiempo perdido buscando aparcamiento		
	Madrid	Barcelona
Desplazamientos / día en coche	2.342.041	1.809.000
Tiempo perdido por día (horas)	117.102	90.450
Tiempo perdido por año (horas)	35.130.608	27.135.000
Coste año (€)	347.793.014	268.636.500
Gasto de energía		
	Madrid	Barcelona
Usuarios afectados	2.342.041	1.809.000
km más al día	6.245.441	4.824.000
km más al año	1.873.632.400	1.447.200.000
Coste generado año (€)	187.363.240	144.720.000

Tabla 3. Costes por tiempo perdido y gasto energético derivados de la búsqueda de estacionamiento en Madrid y Barcelona.

En el mismo estudio se estiman los costes por contaminantes emitidos en ambos casos, siguiendo también los criterios definidos en el proyecto europeo HEATCO [4] en cuanto a la valoración económica y la metodología para la estimación de emisiones desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente a través del “COPERT IV Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport”. Los resultados obtenidos, recopilados en la **Tabla 4**, muestran un coste total por emisiones contaminantes de más de 26 millones de euros en el caso de Madrid y de más de 20 millones para el caso de Barcelona.

	Madrid	Barcelona
Kilómetros año	1.873.632.400	1.447.200.000
Coste emisiones (€/año)		
Nox	2.971.581	2.295.259
PM2,5	5.635.287	4.352.714
CO2	17.621.513	13.610.916
Total	26.228.380	20.258.890

Tabla 4. Costes derivados de la emisión de contaminantes en la búsqueda de estacionamiento en Madrid y Barcelona

Para terminar de caracterizar el problema del estacionamiento en superficie, cabe destacar la ocupación de espacio público para ser utilizado como estacionamiento. Este espacio tiene un coste para la administración y, en cualquier caso, sea el estacionamiento en vía pública regulado y cobrado o no, el uso de este espacio no llega a cubrir esos costes, que en consecuencia deben ser soportados por todos los ciudadanos.

Como bien muestra *Shoup* [5] en un estudio sobre el coste económico de la creación de nuevas plazas de estacionamiento, los costes que los usuarios pagan por la utilización anual de esas plazas no alcanza ni el 2% del coste de creación de estas.

De esta forma, se puede afirmar que el estacionamiento en vía pública trae asociados varios problemas de ineficiencia, tanto en los impactos generados sobre la intensidad de tráfico, al aumentar esta significativamente en áreas de alta demanda de estacionamiento a causa de la circulación de vehículos en busca de estacionamiento, como en los elevados costes sociales asociados por pérdida de tiempo y consumo de combustible, además del aumento de emisiones contaminantes. Por otro lado, destinar una gran cantidad del espacio urbano al estacionamiento de vehículos privados además del coste de oportunidad para otros usos más sostenibles, tiene un elevado coste económico para la administración que no es cubierto en ningún caso mediante la tarifa de estacionamiento.

3.2. LA REGULACIÓN COMO SOLUCIÓN

Una vez definido el problema, parece clara la necesidad de regular el estacionamiento como solución a dicho problema.

Son numerosas las muestras de los beneficios que la regulación del tráfico aporta. El estudio de *Pineda y Abadía* [3], referido en el epígrafe anterior, realiza un análisis del impacto de la regulación integral del estacionamiento en las ciudades de Madrid y Barcelona, **Gráfico 1**, mostrando claramente las mejoras producidas.

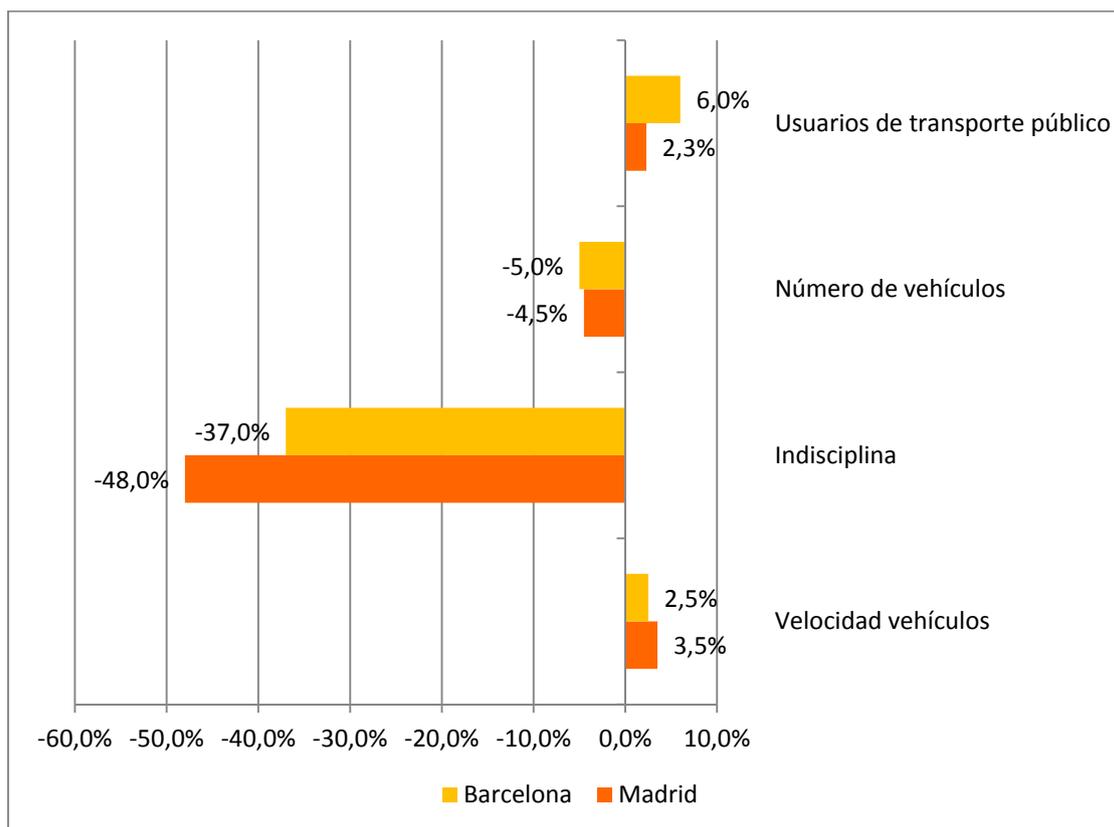


Gráfico 1. Impactos de la regulación integral del estacionamiento en las ciudades de Madrid y Barcelona

Este análisis muestra que con el establecimiento de la regulación integral del estacionamiento en estas dos ciudades el porcentaje de conductores que optan por el transporte público aumenta.

De la misma forma, se consigue una reducción del tráfico de agitación en busca de plaza para estacionar, sobre todo en vías principales, lo que lleva aparejado un aumento de la velocidad media de hasta un 5% debido a esa reducción.

Ya desde mediados de siglo, por ejemplo con la instalación de los parquímetros en la plaza Grosvenor de Londres en mayo de 1965 y cuadruplicación de los precios en agosto de ese mismo año, **figura 1**, existen estudios descriptivos que permiten poner de manifiesto la sensibilidad de la demanda de estacionamiento al establecimiento de precios o a su variación.



Figura 1. Sensibilidad de la demanda de estacionamiento al establecimiento de precios y su variación en la plaza Grosvenor de Londres

Todos estos estudios permiten poner de manifiesto y definir los beneficios de la regulación del estacionamiento:

- Reducción de los tiempos de búsqueda de plaza libre para estacionar cerca del destino deseado, lo que reduce a su vez la cantidad de vehículos en el flujo de tráfico en búsqueda de aparcamiento y por tanto permite aumentar la velocidad media de este y reducir el exceso de kilómetros por este motivo. Lo que implica una reducción significativa de los costes sociales asociados al consumo de combustible y al tiempo perdido.
- Mejor utilización del espacio público pudiendo destinar mayor área de este a modos de transporte más sostenibles como el transporte público y los desplazamientos a pie o en bicicleta
- Reducción de la indisciplina de estacionamiento con los beneficios que ello conlleva, como el aumento de seguridad al reducirse la invasión del espacio de modos más sostenibles o el aumento la velocidad comercial del transporte público en superficie
- Aumento del uso del transporte público como alternativa al uso del vehículo privado, dada la gran sensibilidad del conductor a la dificultad de estacionamiento en destino o al precio de este.

Destacando *Pineda y Abadía* [3] que el principal motivo de un conductor para dejar el coche en casa son las dificultades de aparcamiento (por inexistencia o por ser plazas de pago). La gran sensibilidad del conductor ante los problemas

de estacionamiento pone de manifiesto la elevada efectividad de esta medida como elemento regulador de la movilidad en vehículo privado, dejando claro que la regulación puede ser la solución al problema descrito del estacionamiento, ya que genera beneficios en cadena de gran valor para la movilidad y la calidad de vida urbana. Modifica los hábitos de conducta (demanda) hacia modos de transporte más sostenibles; libera buena parte del espacio legal de estacionamiento que puede ser utilizado para otros usos (carriles bus o bici) o tipologías de aparcamiento favoreciendo la competitividad de otros modos de transporte, o motivos de estacionamiento (ocio, compras), que contribuyen a dinamizar económicamente el entorno urbano. Y de paso permite reducir la tendencia a la indisciplina o aparcamiento ilegal, favoreciéndose de este modo un mejor flujo circulatorio, que al final también redundará en una menor contaminación local por reducción de la congestión urbana.

Sin embargo, hasta hace relativamente poco tiempo, apenas existían estudios que trataran este tema desde un punto de vista científico, limitándose, como se ha explicado anteriormente, a trabajos meramente descriptivos y empíricos sobre casos y políticas de estacionamiento, destacando en este campo los estudios de *Thompson et al.* [6]; *Vianna et al.* [7]; *Habib et al.* [8] y *Van Ommeren et al.* [9].

Más concretamente sobre el aspecto económico de la regulación, Button [10] destaca que la literatura sobre estos es relativamente nueva, lo que resulta sorprendente dada la gran y variada serie de estudios que sugieren que los automóviles permanecen el 95% de su tiempo estacionados y los camiones el 85% de este.

El conocimiento detallado y el buen uso del aspecto económico de la regulación del estacionamiento, así como las herramientas que ponen a disposición las nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de esta, o lo que es lo mismo, la gestión inteligente de la regulación, es el tema central del presente trabajo. A continuación se procede a caracterizar minuciosamente dos grandes aspectos de esta: el establecimiento inteligente de la tarifa (y límites de tiempo), y los modelos operacionales existentes de regulación de estacionamiento.

3.2.1. LA TARIFA DE ESTACIONAMIENTO COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE LA DEMANDA DE TRÁFICO

El precio, la disponibilidad y la accesibilidad de los espacios destinados a estacionamiento pueden influir considerablemente en el comportamiento de los viajes frecuentes, por lo tanto, el aparcamiento puede ser utilizado para

gestionar la demanda de desplazamientos y cambiar los patrones de viaje con el objetivo de reducir la congestión y sus efectos asociados.

En comparación con los casos de cobro de un peaje urbano, la utilización del estacionamiento para gestionar la demanda puede ser menos polémica, aunque no esté exenta de ciertos aspectos que todavía encuentran resistencia en la población.

Como se ha expuesto en el epígrafe anterior, existen varios estudios descriptivos sobre políticas de regulación del estacionamiento, existiendo muy pocas referencias sobre modelización del estacionamiento hasta hace relativamente poco tiempo.

Bifulco [11] introdujo varios tipos y tarifas de estacionamiento, así como tiempos medios de recorrido en un modelo estático de asignación de tráfico con el fin de evaluar la eficacia de varias políticas reguladoras del estacionamiento en una red urbana real. *Glazer* [12] correlaciona analíticamente la comodidad con respecto a las tarifas de estacionamiento, asumiendo una tasa por uso del viario constante y un coste de viaje también constante para todos los viajeros. Demostró que una tarifa de estacionamiento fija aumenta la comodidad de los usuarios, pero que una tarifa de estacionamiento por unidad de tiempo puede influir en los viajeros que pueden variar la cantidad de tiempo en el que permanecer estacionados. *Verhoef et al.* [13] también supone un coste de viaje constante, inclusive de la tarifa diaria de aparcamiento, para todos los viajeros procedentes de cada nodo de origen, y llevó a cabo el análisis de cómo afecta el costo de estacionamiento a los viajes individuales y la distribución modal. *Arnott y Rowse* [14], en lugar de asumir demandas de estacionamiento predeterminadas y un coste constante de los viajes, desarrollaron un modelo para una ronda de circunvalación en el que asumieron que la elección de estacionamiento de los viajeros está uniformemente distribuida en la vía y posteriormente obtienen el tiempo de estacionamiento esperado, el tiempo de conducción y la distancia recorrida en la búsqueda de plazas de aparcamiento disponibles. Más recientemente, *Anderson y de Palma* [15] estudiaron el modo en que los conductores circulan y buscan plaza de aparcamiento, asumiendo que esos estacionamientos son propiedad privada. Sus resultados son, cuanto menos, intrigantes: “[...] cuando la circulación para estacionar congestiona tanto al tráfico que busca estacionamiento como al tráfico de paso, los beneficios de la fijación de precios de estacionamiento se reducen sustancialmente [...]”. Todos estos estudios se centran en el estacionamiento diario en una red de tráfico en estado estacionario. Aunque los modelos estáticos proporcionan una idea básica de la congestión del tráfico y rendimiento de la red, pasan por alto el dinamismo de la cola del flujo de tráfico y los patrones de tráfico variables en el tiempo. Asimismo, la disponibilidad y la

accesibilidad de los espacios de estacionamiento no se discuten explícitamente en esos modelos.

Sin embargo, el trabajo de *Qian et al.* [16] modela las opciones de estacionamiento en los viajes matutinos, e investiga como el aparcamiento afecta a los patrones de viaje y el rendimiento de la red, proponiendo a partir de ahí las configuraciones óptimas de aparcamiento que pueden reducir tanto las congestiones de tráfico como los costes sociales asociados.

Los autores eligen modelar la dinámica de estacionamiento en el tráfico de la punta matutina por dos razones fundamentales: en primer lugar, porque las demandas de tráfico matutinas son relativamente estables a los ajustes del día a día, y la mayoría de los conductores se han dirigido a las áreas de estacionamiento huyendo de la búsqueda diaria de aparcamiento. Esto puede eliminar la incertidumbre de la demanda de viajes permitiendo extraer los efectos de la búsqueda de estacionamiento. En segundo lugar, porque el modelo de este tráfico realizado por *Vickrey* [17] formula la dinámica del tráfico perfectamente de modo que la fijación de precios, la disponibilidad y la accesibilidad de aparcamiento se pueden resolver analíticamente.

El problema del tráfico matutino, en el que los viajeros eligen una hora de salida para iniciar un desplazamiento con el objetivo de reducir al mínimo los costes de viaje ha atraído considerable atención desde el trabajo pionero de *Vickrey* [17]. Este trabajo muestra que existe un patrón equilibrado de hora de salida si todos los viajeros intentan minimizar sus propios costes, de forma que todos los viajeros incurren en el mismo coste de viaje independientemente de la hora de salida de cada uno. *Arnott et al.* [18] estudiaron como una combinación de peaje y tarifa de estacionamiento afectaba al patrón equilibrado de viajes matinales. En ese estudio, se asumió una distribución continua de las plazas de aparcamiento a lo largo de una autopista cerca del distrito central de negocios (CBD, en sus siglas en inglés: Central Business District) y que el número de plaza de aparcamiento por unidad de distancia al CBD es constante. En comparación con los peajes de carretera, las tarifas de estacionamiento no eliminan colas, pero pueden mostrarse bastante eficientes. Sin tarifa de estacionamiento los viajeros siempre ocupan plazas de aparcamiento en orden creciente de distancia al destino. Un esquema dinámico óptimo de tarifa de estacionamiento puede cambiar el orden hasta ser decreciente y, por lo tanto, reducir la ventana temporal de llegada al área del CBD. Ese hilo argumental fue seguido por *Zhang et al.* [19], que más recientemente, *Zhang et al.* [20], extendieron el problema para investigar la eficacia de los abonos, de estacionamiento, demostrando que una distribución adecuada de los mismos, comercializados en condiciones de libre mercado, tiene el potencial para gestionar el tráfico.

A diferencia de *Arnott et al.* [18], donde el estacionamiento se distribuye de forma continua en las cercanías del centro, *Qian et al.* [16] modelan el estacionamiento en la punta de la mañana de otra forma, como se ha explicado anteriormente, asumiendo dos áreas de estacionamiento en las inmediaciones del CDB en lugar de una distribución continua de plazas hacia esa zona. Las grandes diferencias respecto al modelo de *Arnott et al.* [18] son fundamentalmente dos. En primer lugar, la capacidad y la accesibilidad de los estacionamientos se convierten en variables, entendida la accesibilidad como la medida de distancia de acceso/tiempo desde las plazas de estacionamiento hasta el destino final, en vez de estar prefijados. De esta forma, tanto la capacidad como el tiempo de acceso son más flexibles y representan mejor en el modelo más situaciones reales, como los estacionamientos disuasorios en la periferia con servicios de autobús, en los que el tiempo de acceso se convierte en el tiempo promedio del autobús más el tiempo caminando desde la parada hasta la oficina y la capacidad en el total de plazas disponibles en el estacionamiento. Así, con el objetivo de reducir la congestión los estacionamientos se pueden construir en los lugares y con la capacidad que se deseen de forma que el rendimiento del sistema en la hora punta de la mañana mejore u optimice. La otra gran diferencia respecto a modelos anteriores es que las plazas en una zona del CDB se pueden agrupar, ya que la mayoría de los viajeros tienen un coste de estacionamiento esperado para cada grupo y no perciben diferencia entre varias plazas que se podrían considerar como un mismo grupo y asociársele las mismas características. Se supone, pues, que las plazas de estacionamiento dentro de un mismo grupo son idénticas, es decir tienen el mismo coste para aparcar y el mismo tiempo de acceso al destino. Resultando en un modelo, esquematizado en la **Figura 2**, en el que los usuarios se dirigen al trabajo a través de un “cuello de botella” de capacidad q hacia dos posibles áreas de estacionamiento cerca del CDB, teniendo la más próxima al CDB un tiempo de acceso menor y una tarifa mayor que el área más alejada del CDB.

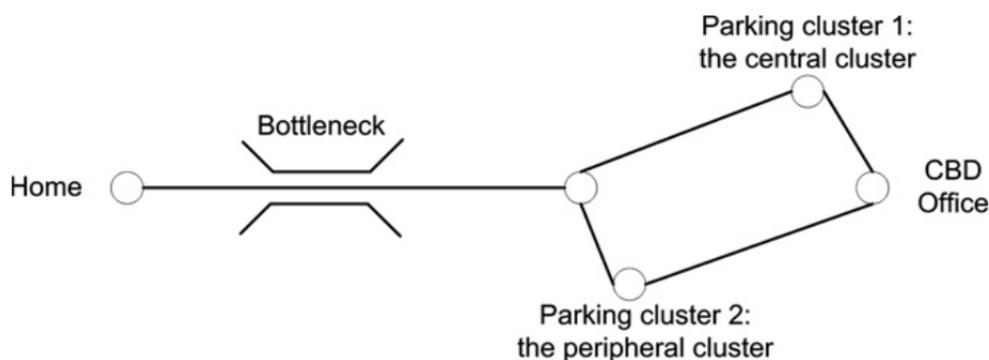


Figura 2. Modelo simplificado de una red con dos posibles áreas de estacionamiento a elegir utilizado por *Qian et al.* [16]

En este modelo, además, se asume que todos los aparcamientos son públicos y que el agente regulador tiene un control total sobre la tarifa de estacionamiento, la capacidad de este y el tiempo de acceso, y tiene como objetivo minimizar los costes sociales y la congestión de tráfico.

De esta forma, una determinada demanda N de conductores en la hora de pico matutina, en los desplazamientos casa-trabajo, se dirige al CDB a través de un “cuello de botella” de capacidad dada q , posteriormente opta por estacionar en el área 1 o 2 y finalmente camina (o utiliza otros modos, por ejemplo, el autobús) hasta el destino. Siendo las tarifas de estacionamiento de cada grupo de plazas (p_1 y p_2), la capacidad de cada área (k_1 y k_2) y el tiempo de acceso a destino (l_1 y l_2) variables; pudiendo incluir el coste de un posible modo de transporte alternativo a caminar desde el estacionamiento hasta el destino directamente en el coste asociado a esta última.

Se establece que el tiempo de acceso del área de estacionamiento central es menor que la del estacionamiento periférico ($l_1 < l_2$) y, por tanto, la tarifa de esta área no puede ser menor que la de la zona más alejada ($p_1 \geq p_2$).

Con estas premisas, los autores establecen el equilibrio dinámico de usuarios, definido anteriormente por *Vickrey* [17] y *Arnott et al.* [21], en el que siendo dadas la capacidad del “cuello de botella”, las facilidades de estacionamiento y las tarifas, los conductores, conscientes de estas condiciones tras un periodo suficiente de tiempo, alcanzan un equilibrio en el día a día si eligen sus horarios de salida y lugares de estacionamiento de tal manera que sus gastos generales de viaje son los mismos tras los ajustes diarios, y si no modifican unilateralmente su elección de estacionamiento sin que cambie ninguna de las variables dadas.

Siempre que cambie una de las variables: la capacidad del “cuello de botella”, la tarifa, la ubicación o la capacidad del estacionamiento, el modelo supone que tras un periodo de tiempo suficiente se alcanza un nuevo equilibrio. Posteriormente se obtienen los patrones de viaje y el coste total de la red en tales equilibrios. Teniendo el agente regulador control para actuar sobre las variables y el doble objetivo de minimizar los costes sociales y mitigar al máximo la congestión de tráfico (en términos de demora). El total de costes sociales se representan como el coste real del viaje de los conductores menos el total de los ingresos obtenidos por el cobro de una tarifa, ya que esa recaudación puede ser redistribuida de algún modo posteriormente. Por tanto, se consideran los costes sociales como los costes de demora en el tráfico, el coste por atraso en la llegada a destino y el coste de tiempo de acceso a la oficina.

De esta forma, los autores caracterizan cinco tipos de elección o preferencia del estacionamiento:

1) Fuertemente hacia el exterior.

Tanto en la llegada temprana como tardía, el conductor prefieren el área central de estacionamiento. El periférico no será utilizado a menos que las plazas en el área central se agoten. Esto suele ocurrir cuando el área periférica de estacionamiento no es suficientemente competitiva, seguramente porque su tarifa de estacionamiento no es lo suficientemente baja o su tiempo de acceso a destino es inaceptablemente mayor que el del área central.

2) Débilmente hacia el exterior.

En la llegada temprana los costes totales son iguales, siendo menores los del estacionamiento central en la llegada atrasado por aumentar el valor del coste por llegar tarde. En este caso los conductores son indiferentes en la elección del área de estacionamiento llegando temprano, utilizando indistintamente cualquiera de las dos áreas, comenzando a decantarse por el área central en llegadas más atrasadas.

3) Fuertemente hacia el interior

Tanto en la llegada temprana como tardía, el conductor prefiere estacionar en el área periférica, no utilizándose el área central a menos que se agoten las plazas disponibles en la exterior. Esto suele ocurrir cuando la tarifa de estacionamiento en el centro es inaceptablemente alta o el tiempo de acceso desde el área periférica es razonablemente parecido al del área central.

4) Débilmente hacia el interior

En la llegada temprana el área periférica de estacionamiento ofrece un coste menor, que queda compensado en la llegada con retraso por el aumento del coste de llegar tarde. De esta forma, en la llegada anticipada existe una leve preferencia por el área periférica que con la llegada atrasada queda compensada, siendo entonces indiferente para los conductores el área a escoger, utilizando indistintamente cualquiera de las dos.

5) Híbrida

En esta situación, los conductores preferirán el área periférica en la llegada temprana y el área central en la llegada atrasada por el peso que adquiere el coste por llegar atrasado. Esta situación se produce cuando

el área periférica ofrece una ventaja para los conductores que llegan anticipadamente pero insuficiente para los conductores que llegan tarde, por el peso que tiene en su decisión el coste de llegar atrasados. En ese caso los conductores prefieren pagar una tasa adicional en el área central que asumir el coste de llegar tarde en el área periférica.

La elección preferente de las áreas de estacionamiento está determinada fundamentalmente por los costes de estacionamiento y los tiempos de acceso de ambas zonas, independientemente de la disponibilidad de plazas de estacionamiento. Sin embargo, la capacidad de aparcamiento tiene un papel importante en la determinación de un cierto patrón y cuotas de mercado para ambas áreas. Por ejemplo, en el estacionamiento fuertemente hacia el interior o hacia el exterior, si se proporcionan plazas de estacionamiento suficientes ($>N$) en el área de estacionamiento preferente, nunca se utilizará la otra zona. Sin embargo, si las plazas de estacionamiento en el área preferente son limitadas y no pueden albergar a todos los vehículos, el patrón de viaje para alcanzar el equilibrio de los usuarios será tal que los conductores que utilizan la zona preferente deben salir de casa antes. Por lo tanto, tres factores del estacionamiento, la tarifa, el tiempo de acceso y la capacidad, determinan por completo el patrón de viaje, y cada uno de ellos influye en los horarios de salida de los viajeros y por lo tanto en el rendimiento del sistema de transporte.

En este escenario, los autores obtuvieron los 20 posibles perfiles de viaje, y los correspondientes costes sociales, bajo unas condiciones determinadas, y estudiaron como influye cada factor en el rendimiento de la red y en el cambio de patrones de viaje, obteniendo los siguientes resultados.

Si la tarifa de estacionamiento y el tiempo de acceso son fijos y sólo es variable la capacidad de las áreas de estacionamiento, la capacidad óptima del área de estacionamiento periférica es proporcional a la diferencia de costes de llegada temprana en ambos estacionamientos; bajo ciertas condiciones, ampliar el área de estacionamiento más central no representa una ventaja para el sistema, de esta forma, se debe considerar restringir su capacidad y ofrecer ciertas ventajas por estacionar en el área periférica que atraigan conductores hacia esta, reduciendo los costes sociales totales.

Si la capacidad y el tiempo de acceso son fijos y, por tanto, sólo puede variar la tarifa de estacionamiento, el coste social mínimo se alcanza con la elección “hacia el interior” o “híbrida” (a menos que la capacidad del estacionamiento periférico sea igual a la demanda o 0) debiendo ser utilizados las dos zonas de aparcamiento. Cambiando la preferencia de estacionamiento de los conductores del modo “hacia el exterior” a “híbrido” o “hacia el interior”, a través del aumento del precio en el área más cercana, es posible siempre reducir los costes sociales totales. Sin embargo, aumentar la tarifa de estacionamiento en

el área más cercana en un rango pequeño no reduce necesariamente dichos costes sociales totales.

Los autores, además, muestran como deben establecerse en conjunto las tres variables para obtener un rendimiento óptimo de la red, lo que es más importante todavía desde el punto de vista del agente regulador. Cuando el área de estacionamiento más cercana al CDB ofrece una ventaja significativa en términos de tiempo de acceso respecto a la periférica, lo mejor es que todos los conductores estacionen en esa área. Cuando la zona periférica ofrece un valor competitivo de tiempo de acceso en comparación con el área central (que suele ser el caso más frecuente en la realidad), el perfil óptimo de viaje es aquel en el que se utilizan ambas zonas de estacionamiento. En este último caso, la congestión de tráfico en el “cuello de botella” se puede mitigar cambiando la demanda de tráfico y dirigiendo a los conductores a las diferentes opciones de estacionamiento. A diferencia del caso en el que el estacionamiento no era utilizado para gestionar la demanda de tráfico, esta situación puede reducir eficazmente los costes sociales totales y las demoras por retenciones de tráfico.

Para ilustrar como ajustar la capacidad y tarifa óptimas de estacionamiento a un escenario real, los autores muestran un ejemplo numérico, con una demanda de 10.000 vehículos en la hora punta matutina y un “cuello de botella” con una capacidad de 80 veh/min (lo que equivale, aproximadamente, a una autovía de 3 carriles). Asignando los costes sociales recogidos en la literatura, se suponen dos áreas de estacionamiento que se encuentran a 2 y 20 minutos del centro sin coste extra de desplazamiento. En el escenario en el que un gestor del estacionamiento podría actuar sobre las variables capacidad y tarifa de estacionamiento, el rendimiento óptimo se obtiene con un estacionamiento periférico con capacidad para 3.087 plazas y una tarifa de \$4,40 más barata que en el área central. En esa situación se alcanza una disminución del 11% de los costes totales de viaje así como una reducción del 40,80% de demoras por retenciones.

De esta forma, a través de la literatura, se comprueba la eficacia de la regulación del estacionamiento como herramienta de gestión de la demanda de tráfico, al nivel de medidas tan polémicas como los peajes por congestión. Incluso existen varias propuestas de configuración de ubicación, capacidad y precios de estacionamientos bastante útiles para los gestores públicos con capacidad de intervención en ese campo.

En este sentido, como herramienta eficaz de gestión de la demanda que presenta una menor resistencia de la población y que, como advierte *Shoup* [5], necesita de una tecnología para su gestión de pagos y de control mucho más simple que la del peaje por congestión, *Albert y Mahalel* [22] comparan en un

estudio los potenciales beneficios de ambas herramientas. El estudio se basa en la técnica de la “preferencia declarada”, utilizada en estudios económicos para conocer la reacción de consumo de las personas ante nuevos productos o servicios y en ingeniería de transporte para conocer el posible uso de un nuevo modo o infraestructura de transporte.

El estudio consiste en una entrevista a una muestra de población del Technion (el Instituto Tecnológico de Israel) en la que fueron preguntados sobre cómo cambiarían sus hábitos de viaje en caso de que se implantaran peajes de congestión o tarifas de estacionamiento en el Campus.

La población del estudio estaba formada por 240 empleados de la universidad, lo que representa el 8% de la plantilla, elegidos aleatoriamente del libro de direcciones del Technion, incluyendo profesores, asistentes, investigadores y personal administrativo. Esta población, a fecha del estudio, tenía libre acceso al campus y podía utilizar de forma gratuita las plazas de estacionamiento de este. Los empleados que regularmente no viajaban solos fueron incluidos del estudio.

La población fue dividida en dos grupos:

- Grupo A: Empleados que generalmente llegaban al campus durante la hora punta (7:15 – 8:30)
- Grupo B: Empleados que normalmente llegaban al campus durante otros periodos del día

Posteriormente les fue presentado un escenario a cada grupo.

Al grupo A se le enfrentó al escenario A (el peaje de congestión) en el que un peaje de congestión entraría en vigor en el campus para todos los vehículos que llegaran durante la hora pico de la mañana. Durante las entrevistas se les explicó a los entrevistados tanto el objetivo de ese peaje como la necesidad de aliviar la congestión a la entrada del campus.

El grupo B tuvo que hacer frente al escenario B (la tarifa de estacionamiento) en el que se establecería una tarifa plana de estacionamiento durante todo el día. Tanto el propósito de la nueva tarifa como la necesidad de hacer frente a la escasez de plazas de aparcamiento en el campus también les fue explicada a los entrevistados.

La encuesta ofrecía tres alternativas:

- Alternativa 1: Viajar en vehículo privado y pagar el respectivo peaje o tarifa

- Alternativa 2: Utilizar el servicio lanzadera del campus o el transporte público
- Alternativa 3: Usar el vehículo particular y estacionar fuera del campus

Los encuestados que se enfrentaron al peaje de congestión tuvieron una cuarta alternativa adicional.

- Alternativa 4: Utilizar el vehículo propio pero cambiar el horario de llegada con el objetivo de evitar el peaje.

Los resultados del estudio muestran como ante la nueva situación en la que se impone un nuevo pago, los conductores tienden a cambiar sus hábitos de viaje. En el caso del grupo que se enfrentaba a la tarifa de estacionamiento, el 54% de los conductores preferiría utilizar otras opciones para evitar el pago de la nueva tarifa, como queda reflejado en el **Gráfico 2**. En el caso de la introducción de un peaje de congestión, sería el 72% de los conductores, como se comprueba en el **Gráfico 3**.

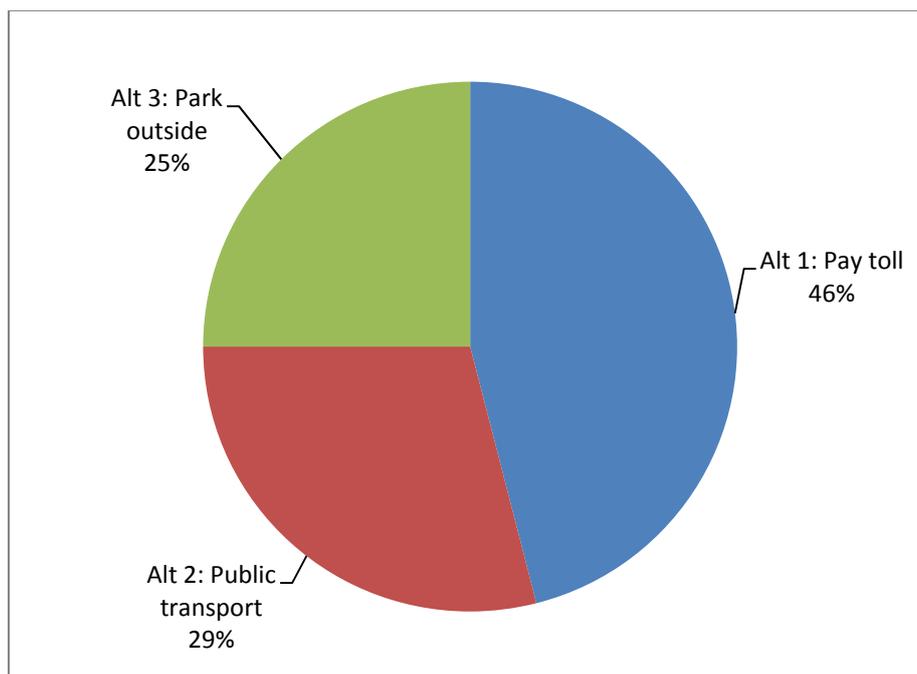


Gráfico 2. Probabilidad de elección de cada alternativa en el escenario de implantar una tarifa de estacionamiento. Albert y Mahalel [22]

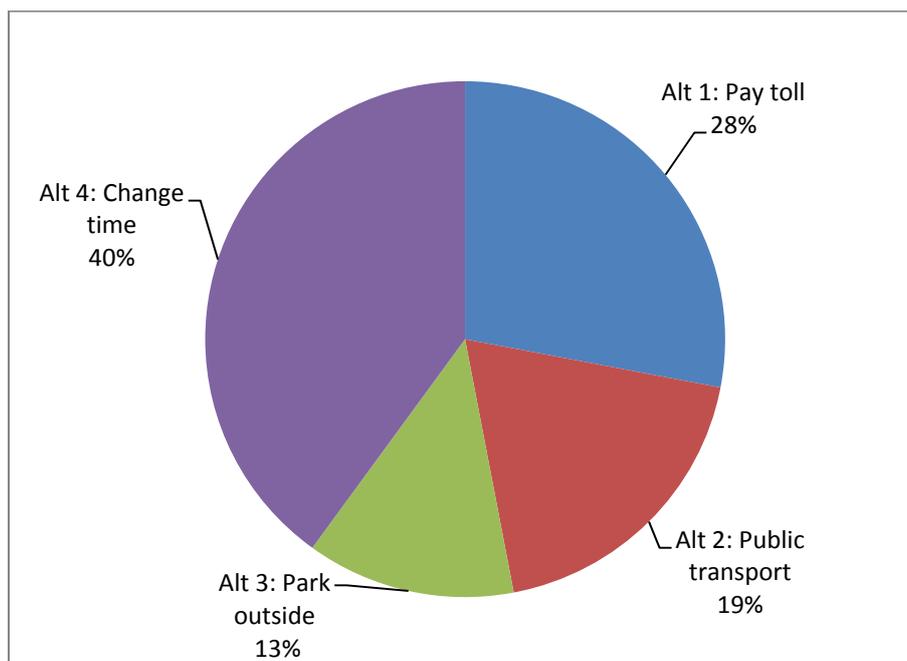


Gráfico 3. Probabilidad de elección de cada alternativa en el escenario de implantar un peaje de congestión. Albert y Mahalel [22]

Esta fuerte influencia de los pagos en el comportamiento social se refleja también en los altos valores de la elasticidad de la demanda obtenidos en el estudio: $-1,8$ para el peaje de congestión y $-1,2$ para la tarifa de estacionamiento. Este efecto indica una fuerte tendencia a evitar nuevos pagos (especialmente el del peaje de congestión) y elegir una alternativa.

Estos valores, estimados en el estudio, son relativamente mayores que los valores recogidos en la literatura para los precios del carburante: $-0,2$ a $-0,8$. A esto hay que añadirle el matiz de que existe una mayor predisposición a pagar la tarifa de estacionamiento que el peaje de congestión.

Estos resultados, muestran la fuerte influencia que ambos pagos tienen sobre el comportamiento de los conductores, siendo mejor aceptado el pago por el estacionamiento. Además, el pago de un peaje de congestión no puede aplicarse en periodos de tiempo cortos con tanta facilidad como la tarifa de estacionamiento, que puede adaptarse fácilmente cada periodo del día produciendo el efecto de cambiar los horarios de viaje de los viajeros sin perder su aceptación.

Más recientemente, *Fosgerau y de Palma* [23] dan un paso más en la caracterización de la tarifa por estacionamiento como herramienta de gestión de la demanda de tráfico y su potencialidad en comparación con el peaje de congestión. Utilizando los modelos anteriores de *Arnott et al.* [18] y *Qian et al.* [16] en los que introducen una tarifa de estacionamiento variable en el tiempo,

la imposibilidad de cobrarle a algunos conductores y la potencialidad de explotar la interacción de los viajes al trabajo en la punta de la mañana y de la tarde para eliminar por completo las retenciones.

Parten los autores de la bondad de un peaje de congestión en la gestión e la demanda, pudiendo un modelo variable en el tiempo eliminar las retenciones de tráfico, aunque también reconocen la enorme dificultad política de su implantación, por lo que presenta y estudian una tarifa dinámica, es decir variable en el tiempo, como alternativa.

En primer lugar, se utilizan los modelos anteriores, en el que una cierta demanda de conductores se dirige al trabajo a través de un “cuello de botella” de capacidad q , y se adaptan para estudiar la distribución temporal de las colas en el cuello de botella en función del horario del viaje y de la variación temporal del precio de estacionamiento en destino.

De esta forma, los autores pueden establecer la tarifa de estacionamiento óptima y compararla con la situación en la que no existe regulación tarifaria del estacionamiento. En esta comparación es fácilmente perceptible la laminación en la cola del “cuello de botella” que se produce al aplicar la tarifa de estacionamiento, como se comprueba en el **Gráfico 4** en el que se muestra la evolución temporal de la cola en ambos casos. En el segundo caso, la cola comienza después (en b_0) y también termina antes (en b_*), continuando los viajes hasta el instante b_2 a la capacidad de la vía, es decir, sin generar retenciones que provoquen las colas.

Dando un paso más, los autores definen un grupo de conductores a los que no se les puede aplicar una tarifa por estacionar, por ejemplo porque disponen de plaza de estacionamiento privada en destino. Tras el análisis del modelo se comprueba que no importa para los resultados del equilibrio del horario de salida para la tarifa óptima, siempre que los conductores a los que no se les puede aplicar un cargo sean suficientemente poco para encajar dentro de la parte congestionada del periodo de punta. A veces se diseñan reservas anticipadas especiales para aumentar más la eficacia.

Para concluir, los autores incluyen en el modelo la interacción que existe entre la punta de la mañana y de la tarde a través del tiempo que las personas están en el trabajo. Hasta ahora todos los estudios realizados o bien estudiaban sólo la hora punta de la mañana o estudiaban ambas por separado, pero nunca teniendo en cuenta la interrelación existente.

Es obvio que existe una fuerte relación de la hora de salida con la hora de llegada a través del horario que las personas deben pasar en el puesto de trabajo, esta situación provoca que se pueda afectar a la hora punta de la tarde a través de una tarifa de estacionamiento durante la hora punta de la mañana y

viceversa. Los autores muestran un caso en el que es posible utilizar esa interacción para eliminar la congestión completamente durante las dos puntas de tráfico a través de la tarifa de estacionamiento.

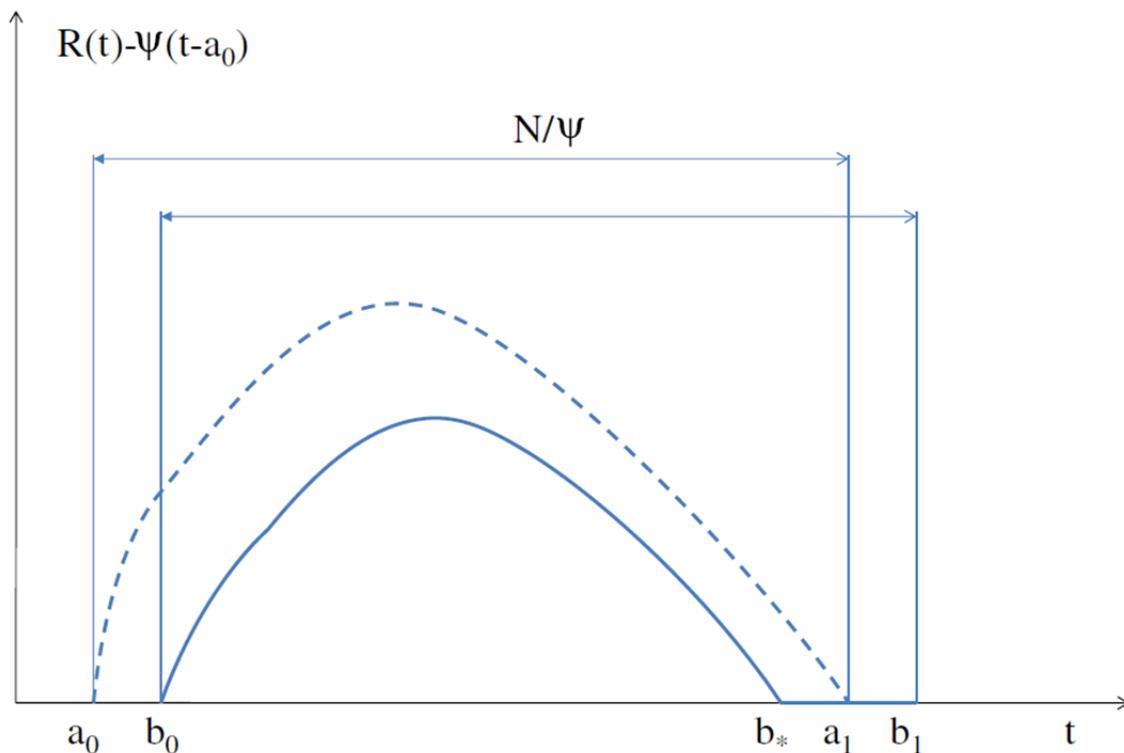


Gráfico 4. Evolución de la cola bajo políticas de no regulación y bajo la tarifa óptima de estacionamiento. Fosgerau y de Palma [23]

En el establecimiento de la tarifa óptima de estacionamiento Shoup [2] explica que si el estacionamiento en la vía pública es gratuito lo más normal es encontrar altos índices de ocupación, por lo que no se encuentra plaza libre tan fácilmente, teniendo que transitar en busca de aparcamiento ¿de qué sirve un estacionamiento gratuito si no se encuentra plaza?

Es más, si la otra opción es aparcar en estacionamientos públicos de gestión privada con tarifa elevada, la decisión más normal por parte de los conductores es conducir por la vía pública hasta encontrar una plaza libre. De esta forma, al infravalorar el estacionamiento en vía pública, las ciudades están creando un incentivo económico para el tráfico de agitación en busca de aparcamiento. Shoup [2] cuantificó ese incentivo estudiando los precios del estacionamiento en vía pública y en garajes en el mismo lugar (el ayuntamiento) de 20 ciudades de Estados Unidos, llegando a la conclusión que la tarifa de estacionamiento en vía pública era apenas el 20% de la tarifa de estacionamiento en garajes,

existiendo un incentivo mayor para continuar transitando en busca de aparcamiento en la ciudad de Nueva York, donde el estacionamiento en un garaje cuesta \$ 14,38 la primera hora mientras que aparcar en la vía pública cuesta \$1,50.

En Boston, el autor encuentra una situación similar, ya que debido al escaso número de plazas de estacionamiento en garajes, el precio de aparcar en estos es muy alto (una encuesta de 2006 estableció el precio medio en el distrito financiero en \$ 31,00 al día), en contraposición con la tarifa plana de \$ 1,00 la hora de estacionamiento en la vía pública.

Cuando, en cualquiera de estos casos los conductores compran ambos precios, por lo general deciden que el precio del garaje es muy alto, aunque lo que ocurre en realidad, es que el precio del aparcamiento en vía pública es muy barato. De esta forma, los espacios en la vía pública son difíciles de encontrar, y cuando un conductor encuentra uno no renuncia fácilmente a él, lo que agrava la situación dificultando más aún encontrar uno, aumentando el coste, en tiempo, y por lo tanto los costos de congestión y contaminación, en la búsqueda de esos espacios.

Shoup [2] ilustra esta situación y la del escenario de la tarifa óptima con un ejemplo visual, reproducido en la **Figura 3**, en el que muestra, a la izquierda, una manzana comercial típica de Westwood, donde el estacionamiento en vía pública está infravalorado y todas las plazas ocupadas. Cada manzana tiene 8 plazas a ambos lados y el tiempo promedio para encontrar una plaza es de 3,3 minutos, existiendo dos vehículos transitando alrededor del bloque en busca de aparcamiento.

En contraposición, la figura de la derecha muestra lo que sucede en el caso de una ciudad que cobra la tarifa mínima que produciría una pequeña cantidad de plazas libres. En esta situación los conductores no necesitan continuar transitando ya que siempre van a encontrar plaza disponible en la vía pública cerca de su destino, por lo que el tiempo de búsqueda es nulo y no existe tráfico de agitación en busca de aparcamiento en el flujo de tráfico.

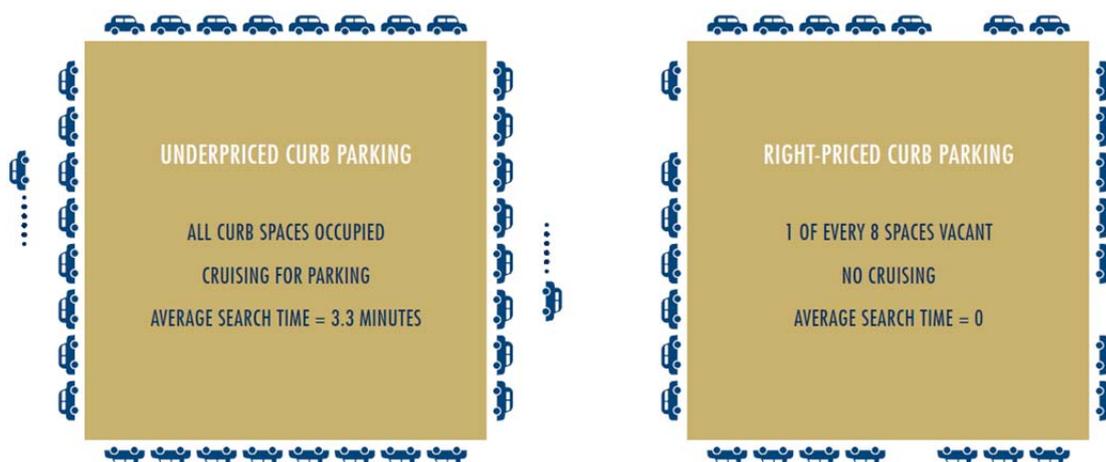


Figura 3. Esquemas de una manzana comercial de Westwood con el estacionamiento en vía pública infravalorado (izquierda) y con una tarifa que produce una cierta cantidad de plazas disponibles.

Según *Shoup* [2], sólo a través de una metodología ensayo-error se puede llegar a la tarifa correcta de estacionamiento. Si en la situación de partida todas las plazas están ocupadas, la ciudad puede incrementar periódicamente la tasa \$ 0,25 hasta que la ocupación a ciertas horas del día sea de aproximadamente el 85%. Si la ocupación continúa siendo completa durante otros horarios del día, la ciudad puede seguir incrementando la tarifa en esos horarios hasta que la ocupación sea aproximadamente del 85% durante todo el día. El autor denomina a ese equilibrio entre demanda y precios la “regla de oro” de la tarifa de estacionamiento: el precio es demasiado alto si existen demasiados espacios vacíos y demasiado bajo si no existen plazas disponibles, solamente cuando una pequeña cantidad de plazas está libre el precio es el correcto.

Este precio que asegura una pequeña cantidad de plazas disponibles no inviabiliza económicamente el viaje. Los conductores pueden adoptar diferentes estrategias para abaratar su desplazamiento sin dejar de hacer el viaje. Los usuarios pueden:

- 1) Viajar fuera de la hora punta, cuando el estacionamiento es más barato.
- 2) Aparcar donde es más barato y caminar un poco más hasta su destino.
- 3) Estacionar por un tiempo menor.
- 4) Aparcar en garajes de gestión privada.
- 5) Compartir vehículo y, por tanto, dividir el coste del estacionamiento.
- 6) Utilizar el transporte público o los modos no motorizados (caminar y bicicleta) hasta su destino.

De esta forma, se incentiva el uso del transporte público, reduciéndose el número de vehículos en los viajes, no de personas.

Desde 2011, la ciudad de San Francisco está llevando a cabo un experimento controlado a gran escala de fijación de precios de estacionamiento. El experimento se ha fijado como objetivo de rendimiento un nivel máximo de ocupación para el estacionamiento medido, para lo que se han utilizado parquímetros inteligentes que cambian los precios de acuerdo con la ubicación, la hora del día o el día de la semana con el objetivo mantener alrededor del 15% de las plazas libres en cualquier manzana dada. Introduciendo en un servicio real el concepto de precio de mercado variable tan defendido por Shoup [2], que actualmente es consejero del servicio.

Millard-Ball *et al.* [24] realizaron un estudio en profundidad de los dos primeros años del experimento, en el que se evaluaron las relaciones entre los patrones de ocupación y medidas de gran interés como la probabilidad de encontrar plaza de aparcamiento y la cantidad de tráfico de agitación en busca de estacionamiento. El estudio concluye que la ciudad ha logrado alcanzar el objetivo de ocupación que se había propuesto y reducir el tráfico de agitación en un 50%.

Además de estos impactos directos, el experimento de San Francisco está proporcionando una gran cantidad de datos que permiten establecer valiosas conclusiones. Por ejemplo, el estudio de la idoneidad del umbral del 85% de ocupación tan promovido por la literatura. Pues bien, tras el análisis del estudio se puede concluir que este valor representa un umbral razonable, ya que por debajo del 85% de ocupación los conductores por lo general pueden encontrar una plaza de estacionamiento, mientras que en ocupaciones por encima de este valor, la probabilidad de encontrar un espacio en la vía pública tiende rápidamente a cero, como muestra el **Gráfico 5**.

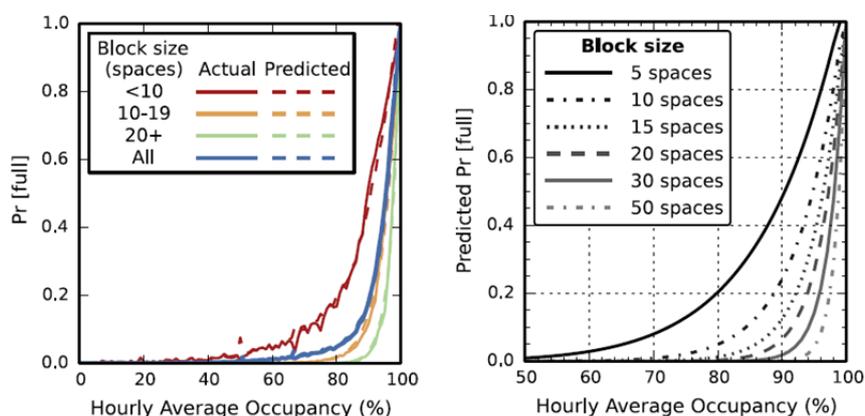


Gráfico 5. Probabilidad real y prevista de que un tramo de vía se encuentre lleno.

3.2.2. MODELOS OPERACIONALES

La regulación del estacionamiento viene motivada, generalmente por la necesidad de ordenar un espacio público a través de la aplicación de unos criterios básicos consistentes en orientar el estacionamiento bajo principios de movilidad sostenible.

Existe una enorme variedad de modelos operacionales distintos, con diferentes herramientas de gestión que permiten diseñar el mejor sistema posible en cada caso para la consecución de los objetivos marcados.

3.2.2.1. REGULACIÓN POR TIPO DE VEHÍCULO O USUARIO

La ordenación del espacio urbano a través de la regulación del estacionamiento, requiere la división del área de estacionamiento y la asignación de distintos espacios a cada tipo de vehículo, atendiendo las necesidades de cada uno de ellos.

Estacionamiento para turismos

La mayor parte del área de estacionamiento se destina al aparcamiento de vehículos ligeros, o mejor dicho, todos aquellos cuyas dimensiones no sobrepasen las de las plazas de estacionamiento, que suelen tener una longitud de 5,00 m.

Dentro de esta área suele hacerse una distinción por tipo de usuario, destinando parte del espacio al estacionamiento de usuarios residentes de la zona, por ejemplo, y reservando una determinada cantidad de plazas a personas de movilidad reducida. En el caso de Brasil, se reservan también plazas para personas mayores de 60 años, siendo obligatorio en cualquier tipo de regulación del estacionamiento la reserva de al menos el 2% de las plazas para personas de movilidad reducida (denominados portadores de necesidades especiales) y el 5% de las plazas a personas ancianas.

Como cualquier zona destinada al estacionamiento en Brasil, estas plazas están reguladas mediante señalización vertical, siendo la señalización horizontal meramente complementaria, existiendo una placa normalizada para cada tipo de plaza. En la **Figura 4** se muestran los ejemplos de dos señales de regulación, una de plazas reservadas a personas ancianas y otra a personas de movilidad reducida.



Figura 4. Señales de regulación de plazas reservadas a personas ancianas (izquierda) y personas de movilidad reducida (derecha)

Estacionamiento para motocicletas

La moto está proliferando en las grandes ciudades debido a sus ventajas en tiempo, coste y facilidad de aparcamiento. En el caso específico de Brasil, esta situación es muy marcada, empezando a representar un problema.

En un espacio urbano con el estacionamiento regulado, la reserva de diferentes áreas para el estacionamiento exclusivo de motocicletas reduce significativamente la indisciplina en el aparcamiento, que en este tipo de vehículo suele ser elevada, debido fundamentalmente a la falta hasta ahora de una regulación explícita habiendo tendido a ocupar el espacio del peatón encima de las aceras.

Con áreas destinadas al estacionamiento exclusivo de motocicletas y con la introducción en la regulación de los medios de pago digitales, es posible aplicar el mismo tratamiento a estos vehículos que a los turismos, imponiendo un pago por el uso del espacio.

Zonas de carga y descarga

Estas zonas están planificadas principalmente para los vehículos comerciales, aplicándose, habitualmente una limitación de la duración máxima diaria del estacionamiento, de forma que se evite que las zonas de carga y descarga sean utilizadas por vehículos comerciales de forma permanente (comerciantes, montadores, etc.).

Paradas de taxis

Son zonas reservadas mediante señalización para el estacionamiento de taxis, reduciendo la presencia de taxis circulando en vacío debido a la falta de estacionamiento, disminuyendo, por tanto, los efectos de esta circunstancia sobre la congestión y el medio ambiente.

Reservas a vehículos especiales

Existen espacios reservados a vehículos especiales en puntos con una alta demanda específica, como en el caso de transporte escolar, vehículos de policía, vehículos oficiales, vehículos blindados de transporte de dinero, etc.

En el caso de Brasil, la gran variedad de tipologías de vehículos regulada en la ordenación del estacionamiento, la rígida normativa de señalización y su aplicación por parte de los órganos de gestión del tráfico, generan un ambiente urbano con una enorme densidad de señalización horizontal con los consiguientes efectos negativos sobre el espacio del peatón, ya de por sí muy maltratado por la legislación, y un enorme impacto visual, como se muestra en la **Figura 5**, donde en un tramo de apenas 80 m se contabilizan 7 señales de regulación del estacionamiento.



Figura 5. Ejemplo de tramo con una alta densidad de señalización de regulación del estacionamiento.

3.2.2.2. REGULACIÓN POR TIEMPO, POR TARIFA O POR TIEMPO Y TARIFA

Consiste en introducir en la regulación por tipo de usuario la asignación en cada caso de un periodo de uso y/o una tarifa con los objetivos descritos en los epígrafes anteriores de eficiencia de uso del uso del vehículo privado en general y del estacionamiento en particular.

La regulación puede limitarse al establecimiento de un tiempo máximo de permanencia, controlado por medios manuales (generalmente con discos horarios) que se suele poner en práctica cuando son pocas las plazas a regular y el control puede hacerse con recursos propios.

Lo más común es el establecimiento de una tarifa de estacionamiento que debe ser abonada, a través de uno de los medios de pago del sistema correspondiente por parte del usuario.

Esta tarifa puede ser distinta para cada tipología de usuario o vehículo, pudiendo establecer tarifas diferenciadas en un mismo sistema para motocicletas, turismos, residentes, personas de movilidad reducida o vehículos de carga y descarga, existiendo incluso el establecimiento de tarifas para ocupaciones del espacio de estacionamiento por parte de elementos no automóviles como contenedores de obra, puestos de venta ambulante, etc.

La tarifa puede establecerse en función del tiempo, de forma que el usuario será cobrado de forma proporcional al tiempo de estancia en la plaza, o también puede establecerse una tarifa por fracciones fijas de tiempo, existiendo de esta forma precios fijos por hora completa, periodos de 2 horas, etc.

Actualmente, por todo lo expuesto en el epígrafe anterior, se hace necesaria una tarifa más flexible, que se adapte al tipo de vehículo y de usuario, al lugar elegido para estacionar, al día de la semana en el que se estacione e, incluso, a la hora del día a la que se haya hecho.

En sistemas en los que no se introducen en la regulación los aspectos específicos de la demanda por área geográfica, pero se introduce la necesidad de asociar el pago de una tarifa a un vehículo en particular, se establecen modelos denominados “pay per plate”, en los que el usuario, debe facilitar la matrícula del vehículo para el que está pagando la tarifa de estacionamiento, de forma que mejora significativamente la gestión, pudiendo establecer diferencias por tipo de vehículos, eliminando la presencia de reventa de derecho de estacionamiento, ayudando al control del pago, etc.

Por otro lado, existen sistemas más avanzados en los que se establecen tarifas diferenciadas en las distintas áreas de la ciudad y que se denominan “pay per place”, pudiendo además incluirse también tarifas diferenciadas en distintos momentos del día o diferentes día de la semana.

En estos sistemas se puede establecer una venta exclusiva para cada área diferente, de modo que un usuario sólo pueda adquirir su ticket en equipamientos instalados en el área donde ha estacionado; o establecer la posibilidad en los medios de pago de informar del lugar donde se ha estacionado. Por ejemplo, introducir en las aplicaciones para telefonía móvil destinadas al pago del estacionamiento en vía pública la opción de informar del lugar donde se ha aparcado.

Este tipo de sistemas permiten una mejor gestión de la demanda de tráfico a través de la tarifa de estacionamiento, ya que permiten variar la tarifa según las necesidades específicas de cada área y momento.

3.2.2.3. FORMAS DE PAGO

La evolución de la tecnología permite tener hoy en día un amplio abanico de formas de pago del estacionamiento en vía pública, que van desde la venta directa en formato papel en puntos de venta autorizados hasta las más modernas aplicaciones para teléfonos móviles tipo “Smartphone”.

La forma más simple de venta del derecho a estacionar es a través de tickets en formato papel que se adquieren en una red de puntos de venta autorizados por el órgano público correspondiente o por la empresa operadora del servicio. En esta situación, el usuario debe dirigirse al punto de venta correspondiente, y comprar una o varias papeletas o tickets que posteriormente colocará en lugar visible en el vehículo para su control.

Estas papeletas contienen los campos de matrícula, fecha y hora que obligatoriamente deben ser informados en el momento de activar el derecho a estacionar. Estas papeletas pueden tener estos campos para ser rellenados con bolígrafo por parte del usuario o con todas las opciones ya escritas y cubiertas de un material que se eliminará por raspadura en el campo de datos correspondiente por parte del usuario.

En ambos casos, la papeleta tiene un precio fijo y da derecho a estacionar por un tiempo determinado también fijo, bien sea 1 hora, 2 ó más. Existiendo muy poca flexibilidad en el establecimiento de la tarifa.

De esta manera, el usuario debe realizar dos acciones diferenciadas, por un lado la compra de la papeleta y, posteriormente, la activación del derecho a

estacionar mediante el registro en dicha papeleta de la fecha y hora de inicio del estacionamiento. En la **Figura 6** se muestra un ejemplo de papeleta diferenciada según el tiempo de permanencia del usuario.

Con esta forma de pago suele darse el fenómeno de la reventa, en el que personas ajenas a la operación del servicio de estacionamiento compran un alto número de papeletas que luego revenden a un precio superior a los usuarios junto a sus vehículos, de forma que estos no tengan que desplazarse hasta el punto de venta correspondiente.



Figura 6. Ejemplo de ticket de estacionamiento en formato papel para dos tiempos de permanencia diferentes

La forma de compra más común en servicios de estacionamiento regulado es a través de equipamientos instalados en la vía pública, denominados parquímetros. En esta forma de pago, el usuario realiza sólo una acción, ya que la compra y la activación del derecho de estacionamiento van asociadas, es decir, el usuario estaciona su vehículo y se dirige a uno de estos estacionamiento a adquirir un ticket que tendrá validez a partir de ese mismo momento, no pudiendo realizarse la compra anticipada para una activación posterior.

En estos equipamientos de obtendrá un tiempo autorizado de permanencia variable en función del valor pagado. Y existen equipamientos que además de aceptar monedas, aceptan tarjetas bancarias. Algunos modelos, aceptan también las tarjetas integradas de transporte de las ciudades, pudiendo el usuario colocar saldo en ellas y utilizarlo en el parquímetro, que tendrá instalado un lector para este tipo de tarjetas. De esta forma, con la misma tarjeta que se usa en el servicio de transporte público se puede pagar el estacionamiento sin necesidad de dinero en metálico. En estos equipamientos, cuyo esquema de funcionalidades se muestra en la **Figura 7**, también se puede recargar el saldo en la tarjeta de integración de transportes o regularizar una situación en la que el usuario ha sido advertido de una irregularidad pero aún no ha sido multado.

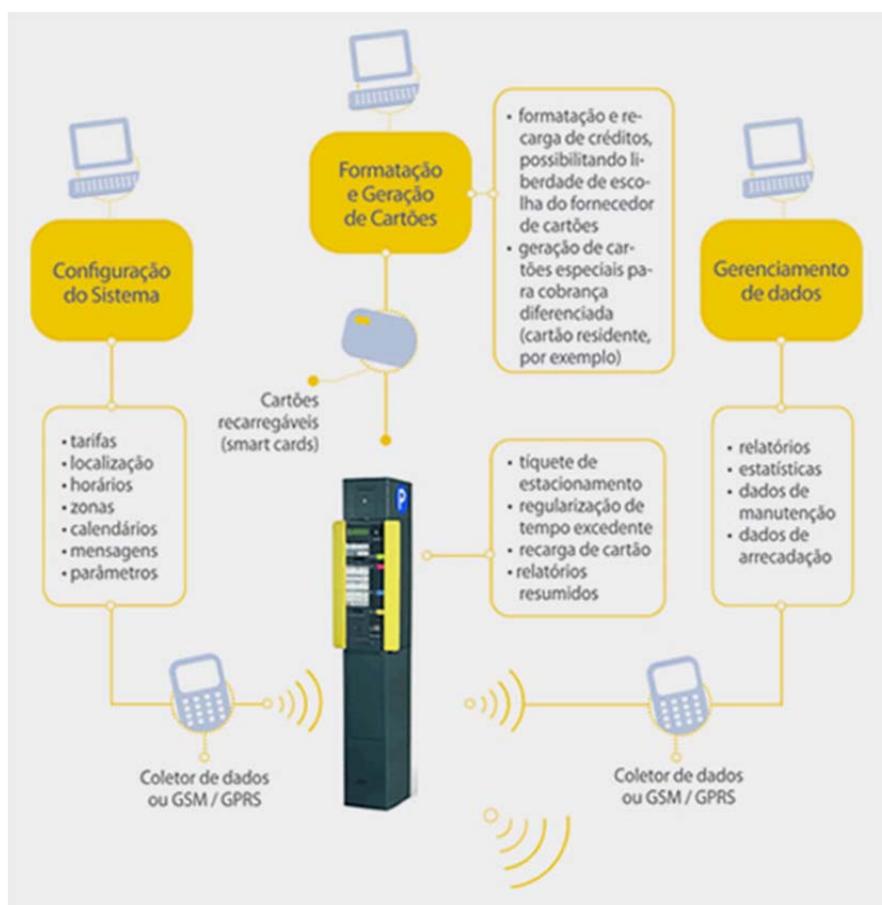


Figura 7. Esquema de funcionalidad de un parquímetro que acepta el pago a través de crédito virtual en la tarjeta de integración utilizada en el sistema de transporte público

En la modalidad de regulación por tarifa “pay per plate”, el usuario deberá incluir el número de matrícula de su vehículo en el equipamiento a la hora de la

compra. Algunos modelos, ni siquiera emiten ticket en papel, al introducir el usuario el número de matrícula, el equipamiento asocia a ese vehículo el estado “activo” en la base de datos, apareciendo como regular en el control del área. De esta forma, el usuario no necesita volver al vehículo a dejar el ticket.

En la modalidad de regulación tarifaria “pay per place”, un equipamiento sólo vende tickets con la tarifa de la zona en la que se encuentra instalado, por lo que el usuario no necesita de ninguna acción adicional en la acción de adquisición de ticket.

Con el auge de las TICs, es cada vez más común la forma de pago digital del estacionamiento o, como comúnmente se denomina, la compra de tickets virtuales. En este modo de pago, el usuario necesita registrarse en la plataforma digital de la operadora del estacionamiento, y asociar a ese registro los datos de una tarjeta bancaria. De esta forma, a través de dicha plataforma puede adquirir los tickets virtuales mediante pago con tarjeta. A la hora de aparcar, el usuario activa el ticket a través de una aplicación para teléfonos móviles tipo “Smartphone”, pasando el status de esa matrícula a estar “activo” en la base de datos y, por tanto, apareciendo como regular en el control del estacionamiento.

En esta forma de pago hay que introducir obligatoriamente la matrícula del vehículo, dado que no existe control visual de la presencia de tickets sino un control mediante control del estado en la base de datos de las matrículas de los vehículos que están estacionados en un área determinada.

En la modalidad “pay per place”, el usuario debería informar también del área en la que ha estacionado el vehículo, que suele venir identificada mediante un color o código simple.

Con esta forma de pago se tiene una flexibilidad máxima a la hora de establecer la tarifa, bien sea diferenciando el tipo de vehículo, el área geográfica o el horario. Este medio permite cobrar por el estacionamiento a vehículos como las motocicletas, que no pueden dejar el ticket en formato papel en el vehículo para control, o elementos que ocupan el espacio sin ser vehículos como los contenedores de obra, que podrían tener su propia tarifa diferenciada.

Esta facilidad de operación con el ticket virtual permite que se simplifique también la venta a través de puntos autorizados si fuese necesaria la existencia de estos, ya que un terminal simple conectado a la base de datos permite al punto de venta emitir el ticket virtual, pudiendo hasta emitir un comprobante si le fuese pedido. También permite la venta a través del personal de la empresa operador que realiza la vigilancia y el control del estacionamiento, que a través

de un terminal móvil podrían emitir el ticket y a través de una impresora portátil podría imprimir un comprobante si le fuese requerido.

3.2.2.4. VIGILANCIA Y CONTROL DEL ESTACIONAMIENTO

La vigilancia y control de un sistema de estacionamiento regulado es una acción fundamental para el éxito de la regularización en la consecución de los objetivos establecidos en su diseño.

A modo de ejemplo, en los sistemas de estacionamiento regulado de las ciudades brasileñas, la tasa de respeto del estacionamiento regulado es del orden del 45%, de hecho, ese es el valor estándar utilizado por los ayuntamientos en la redacción de los estudios de viabilidad económica en las licitaciones para la adjudicación de las concesiones de estos servicios.

Una tasa de respeto tan baja reduce significativamente la efectividad de la regulación ya que el conductor percibe que el estacionamiento no está regulado al no observar vigilancia ni control del mismo.

En sistemas donde existe un medio de pago en formato papel, se realiza un control visual del estado de cada vehículo estacionado en el área de regulación del estacionamiento., comprobando que se encuentra visible en el coche el ticket adquirido y que no ha acabado el periodo de validez del mismo.

Cuando el servicio de regulación es realizado mediante un sistema digital de adquisición de tickets, el control se realiza con un equipamiento simple, conectado a la base de datos del sistema, en el que el operario teclea la matrícula de los vehículos estacionados y comprueba que se encuentren con un ticket digital “activo” en ese momento.

Tanto uno como otro control es realizado, normalmente, por personal de la empresa operadora de este servicio, que realiza rondas preestablecidas por las vías en la que el estacionamiento está regulado.

Donde existe una enorme controversia es en el aspecto de la punición de los vehículos estacionados de forma irregular. Dependiendo de los países, regiones e, incluso, ciudades, la metodología cambia mucho. Es común a la mayoría de los lugares que una persona que no sea funcionaria pública no puede multar un vehículo en situación irregular, sin embargo, las grandes diferencias se presenta en el modo en el que se afronta esta situación.

En el caso de Brasil, cuando un trabajador de la empresa operadora detecta un vehículo en situación irregular emite un “aviso de irregularidad”, del que se muestra un ejemplo en la **Figura 8**, del que deja una copia visible en el

asociada un lugar, fecha y hora) y emite el correspondiente aviso de irregularidad.

La empresa operadora envía los avisos de irregularidad, que llevan adjunta la documentación necesaria, al órgano licitante del servicio, generalmente el ayuntamiento, que analiza los avisos y los envía al órgano gestor de tráfico correspondiente, que tras procesar la documentación emite la correspondiente multa o envía de vuelta el caso junto a las inconsistencias encontradas que impedirían la emisión de la multa. El esquema de funcionamiento de la vigilancia con este equipamiento se muestra en la **Figura 9**.

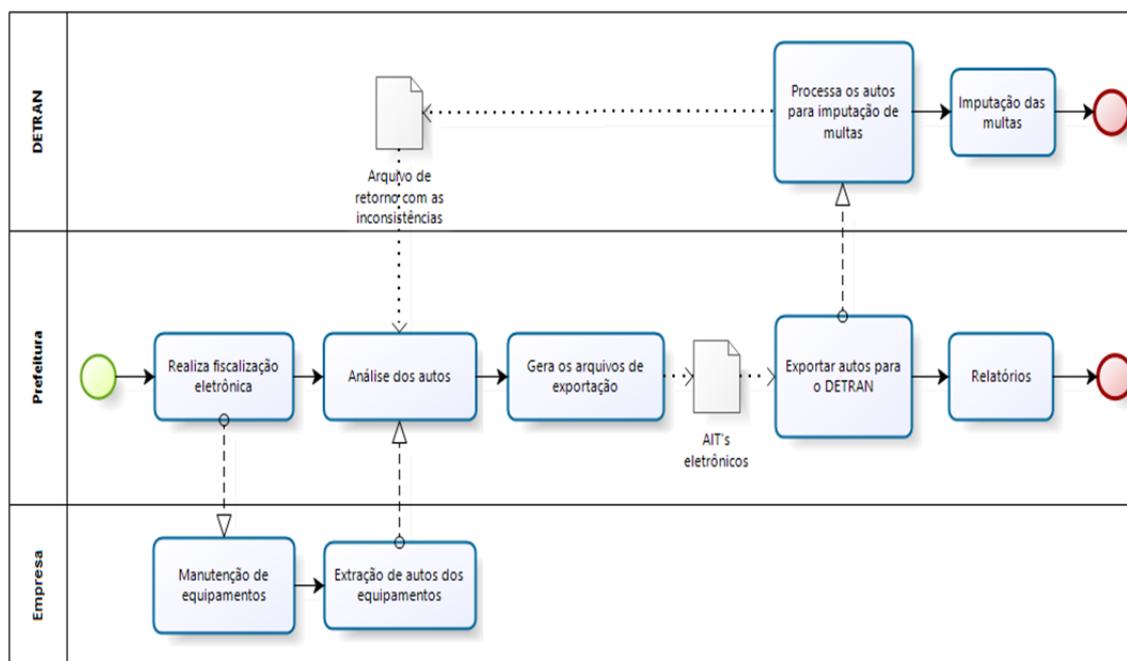


Figura 9. Esquema de funcionamiento del proceso sancionador en la fiscalización con ticket virtual

La vigilancia y control mediante un dispositivo portátil en el que el operador de la empresa concesionaria teclea la matrícula de los vehículos estacionados en el área aumenta mucho la eficiencia del mecanismo sancionador, pero es claramente menos eficiente en la comprobación del estado de cada vehículo que el control visual realizado en los sistemas con ticket en formato papel.

Por este motivo, actualmente se encuentran en fase de desarrollo una gran variedad de equipamientos de vigilancia y control del estacionamiento regulado a través de cámaras OCR (Optical Character Recognition), de lectura de matrículas. Existen prototipos de equipamientos portátiles con cámaras de este tipo instaladas, así como varios intentos de realizar el control mediante unos

vehículos instrumentalizados con cámaras de este tipo que permitiría un aumento significativo en la eficiencia del control y la vigilancia.

El perfeccionamiento de la vigilancia y el control de una zona de estacionamiento regulado es crucial para conseguir los objetivos marcados, sin embargo, las ciudades no se involucran en esta tarea, ya que es mal vista por la población, dejando que sean los trabajadores de la empresa operadora los que hagan el trabajo. De esta forma, se hace urgente la evolución del sistema de verificación del estado de regularidad de un vehículo en los sistemas con ticket virtual mediante el desarrollo de una tecnología que permita realizar estas tareas con mayor rapidez, así como un perfeccionamiento del sistema sancionador basado en la homologación de la tecnología anteriores por parte del órgano gestor del tráfico que permita la emisión automática de multas.

4. OBJETIVOS

Es evidente que la alta presión de la demanda de estacionamiento en las ciudades actuales es un problema real que causa unas grandes ineficiencias en el sistema de transporte con los consiguientes costes sociales, además de los problemas de seguridad vial explicados en epígrafes anteriores.

Hasta hace relativamente poco tiempo, no existía mucha literatura sobre la regulación del estacionamiento en vía pública y el uso de la tarifa de estacionamiento como herramienta de gestión de la demanda de tráfico. Aunque el aumento de la gravedad del problema ha generado una mayor cantidad de estudios que muestran la eficacia de dicha herramienta.

La mayor parte de estos estudios se basan en modelos económicos y de consumo de toma de decisiones, así como modelos de simulación y asignación de tráfico, sin embargo, apenas existen estudios con experimentos en situaciones reales que confirmen la hipótesis de partida, demostrando la eficacia de las medidas de regulación del estacionamiento en casos reales.

Por este motivo, se ha procedido al diseño, implantación y análisis de un sistema de gestión dinámica del estacionamiento regulado en vía pública.

Esta implantación permitirá, en primer lugar, comprobar la viabilidad técnica y económica del sistema diseñado, ya que no tendría sentido constatar la bondad de las herramientas de gestión de la demanda de tráfico a través de la regulación del estacionamiento en vía pública si los sistemas a implantar no son viables técnica o económicamente en la gestión real de la regulación del aparcamiento, generalmente a través de concesiones públicas.

Desde un punto de vista científico, esta experiencia servirá, fundamentalmente, para verificar la posibilidad de creación de un escenario controlado en el que se puedan diseñar y llevar a cabo experimentos que verifiquen las hipótesis de partida en estudios de investigación en casos reales.

Por este motivo, y como objetivos complementarios a estos dos fundamentales, se analizará:

- El diseño e implantación de un medio de pago digital del estacionamiento regulado, estudiando su robustez, penetración y viabilidad económica.
- El desarrollo, instalación y operación de un sistema de guiado de los conductores hacia plazas de estacionamiento disponibles a través de una red de cámaras y un sistema central de lectura de imágenes, identificación de plazas libres e información de los resultados.

Estos diseños, desarrollos e implantaciones, serán realizados en un escenario real en la ciudad brasileña de Recife (Pernambuco) por lo que serán también objetivos del presente trabajo el conocimiento y análisis de la situación previa a las implantaciones en el área de estudio, así como de la situación en el nuevo escenario. De esta forma, deberá caracterizar tanto la demanda de tráfico como la de estacionamiento antes y después de la implantación del nuevo sistema.

5. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Para alcanzar los objetivos del presente trabajo, se ha diseñado, desarrollado e implantado un sistema de gestión dinámica de la regulación del estacionamiento en la vía pública en el barrio de Recife en la ciudad brasileña de Recife (Pernambuco).

Este sistema consta de un medio de pago digital, a través de una aplicación para teléfonos móviles, que permitirá una relación más flexible con el usuario a la hora comunicar cambios en la regulación, de establecer nuevas tarifas o, incluso, de establecer reglas de uso diferentes en diferentes periodos de tiempo, bien sea a lo largo de un año o a distintas horas del día, lo que no permiten los actuales medios de pago a través de compra de tickets en papel con un valor predefinido en puntos de venta autorizados que existen aún en tantas ciudades.

El sistema también consta de un servicio de información de plazas libres de estacionamiento en el área donde este está regulado, a través de cámaras instaladas en la vía pública.

El medio de pago digital entró en funcionamiento a finales del año 2012, aunque a efectos de este estudio se considerarán sus datos desde el mes de enero del año 2013, para evitar en lo posible el periodo en el que esta nueva forma de pago fue introduciéndose en el día a día de los usuarios y así evitar un posible sesgo en los datos. El servicio de información de plazas disponibles fue implantado en agosto de 2013, habiendo sido operados ambos ininterrumpidamente hasta el final del estudio, registrando los datos de pago a través del nuevo sistema, así como los datos de desempeño del servicio de información de plazas libres.

Con el objetivo de restringir el estudio al barrio de Recife, sólo se permite pagar a través del teléfono móvil a los vehículos que van a estacionar en ese barrio, y la información de plazas disponibles se restringe también únicamente a esa área.

Para completar el estudio, se han estudiado los datos de demanda de tráfico y estacionamiento del área de estudio antes y después de la implantación, a través de medidas de los distintos parámetros que las caracterizan.

En los siguientes epígrafes se detallan tanto las características del área de estudio como del sistema a implantar y la toma de datos.

5.1. CONTEXTUALIZACIÓN

5.1.1. CARACTERIZACIÓN TERRITORIAL Y SOCIOECONÓMICA

Brasil es un país predominantemente urbano, con más del 80% de la población viviendo en ciudades, donde se busca el acceso a oportunidades de trabajo, educación, salud, ocio y a cualquier otra dimensión de la vida cotidiana. Sin embargo, en la mayoría de las ciudades los beneficios de la urbe no son accesibles para una buena parte de la población.

Los municipios de las regiones metropolitanas concentran la mayor parte de las actividades urbanas ofreciendo equipamientos estratégicos como puertos y aeropuertos (infraestructuras); escuelas, universidades y servicios médicos y hospitalarios (servicios); así como actividades culturales, gastronómicas y turísticas (ocio); volviéndose grandes polos de atracción de viajes. En el resto de municipios se instalan de forma predominante áreas residenciales, la mayoría de las veces carentes de equipamientos, empleos y servicios que atiendan las necesidades de su población

Recife es la capital del estado de Pernambuco, y por el hecho de ser la capital es la ciudad de mayor influencia económica de la región. Atrae personas y

vehículos del resto de municipios de la región metropolitana y hasta de estados más próximos, como los vecinos de Paraíba y Alagoas. Este hecho agrava los problemas de circulación de la ciudad debido a la gran cantidad de vehículos de regiones vecinas que circulan diariamente.

La Región Metropolitana de Recife (RMR) está compuesta actualmente por 14 municipios: Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Paulista, Cabo de Santo Agostinho, Abreu e Lima, Araçoiaba, Camaragibe, Igarassu, Ipojuca, Ilha de Itamaracá, Itapissuma, Moreno y São Lourenço da Mata. Según el censo demográfico de 2010, la RMR cuenta con una población de 3.668.428 habitantes, siendo sus principales municipios:

- Recife: 1.536.934 habitantes.
- Jaboatão dos Guararapes: 644.699 habitantes.
- Olinda: 375.559 habitantes.
- Paulista: 300.611 habitantes.

La densidad demográfica de la RMR es una de las mayores del país, alcanzando los 1.332 habitantes/km², siendo la mayor metrópolis de la región nordeste y la quinta mayor de Brasil.

La RMR concentra el 65% del PIB del estado de Pernambuco, concentrando la mayor parcela de actividad económica del estado, siendo sus principales equipamientos y polos estructuradores los siguientes:

- El puerto de Recife. Es el principal distribuidor de azúcar del Nordeste. Debido a su excelente posición geográfica sirve de escala a los barcos que conectan Brasil con Europa, Estados Unidos o el resto del mundo. Su papel no es tan destacado como lo fue en el pasado pero todavía ejerce una gran influencia en la dinámica de la región central de la ciudad. En contrapartida, el complejo industrial-portuario de Suape, instalado fuera de la capital, en los municipios de Cabo de Santo Agostinho y de Ipojuca, que comenzó a operar en 1.984 moviendo principalmente derivados del petróleo y alcohol, es hoy el principal polo de desarrollo del estado. Aunque se sitúa distante del principal municipio de la RMR, genera muchas repercusiones en la en las dinámicas de Recife. Por sus ventajas competitivas, como el gran calado y su capacidad de operación los 365 días del año sin restricción al horario de las mareas, ha atraído la implantación de importantes iniciativas como la petrolera Abreu e Lima, el astillero Atlántico Sur (el mayor astillero del hemisferio sur), el astillero Promar o Petroquímica Suape entre otras. Sólo la consolidación de estas iniciativas es suficiente para generar unas

expectativas de duplicación de renta en el estado de Pernambuco hasta 2020 y de triplicación de su PIB hasta 2030.

- El aeropuerto Internacional dos Guararapes-Gilberto Freyre es el mayor complejo aeroportuario del Nordeste en capacidad anual de pasajeros, siendo el segundo terminal más dinámico de la región. El aeropuerto está situado en la propia ciudad de Recife, en el barrio de Ibura, a 11 km del centro.
- Porto Digital, localizado en el barrio de Recife (barrio que lleva el nombre de la ciudad), es reconocido como el mayor Parque Tecnológico de Brasil en facturación y número de empresas (sumando 173 en el año 2010), empleando a más de seis mil personas. Este territorio ahora se expande para el barrio vecino de Santo Amaro. Además de este polo especializado en Tecnología de la Información y Comunicación, Recife alberga un polo médico de proyección nacional, situado en el barrio de Ilha do Leite, que también se muestra como un espacio de concentración de grandes edificios empresariales, con servicios diversos.

Con esta primera aproximación a la realidad socioeconómica del entorno, se está en disposición de definir el área de estudio, que se sitúa en el barrio de Recife (barrio que lleva el nombre de la ciudad) también conocido como Recife Antigo.

Este barrio es una isla, ubicada en el centro de Recife en la desembocadura del Rio Capibaribe, en la que originariamente se desarrollaban las actividades propias del Puerto de Recife, que se sitúa en el barrio. Posteriormente, se desarrolló en la isla el Parque Tecnológico "Porto Digital", que comparte el barrio con el Puerto. También se sitúa en la isla la Prefeitura de Recife, así como la Superintendencia General de Pernambuco de la Policía Federal de Brasil, el Tribunal Regional Federal, el Banco de Brasil, el centro comercial "Paço Alfândega" y múltiples equipamientos de educación y servicios de ocio y tiempo libre como teatros, auditorios, etc. El barrio, además, es la principal área turística de la ciudad. La **Figura 10** muestra la localización del barrio y una imagen satélite del mismo.

Recife Antigo, por estar tan enfocado a actividades tan diversas, apenas está poblado, contando (según el censo de 2010) con 602 habitantes para una extensión de 270 hectáreas (2,7 km²).

La isla tiene 4 accesos a través de puentes, dos de ellos de sentido único (Puente Mauricio de Nassau y Puente Buarque de Macedo) y dos de doble sentido de circulación que forman parte de un eje arterial de la ciudad que atraviesa la isla (Puente Limoeiro y Puente Giratorio).

El barrio de Recife está muy bien atendido por el servicio de transporte público en autobús de la RMR. El barrio cuenta con 61 líneas urbanas que pasan y paran en la isla además de otras 52 líneas urbanas y metropolitanas que tienen parada en el Terminal do Cais de Santa Rita, aledaño a la isla en su entrada por el puente giratorio.



Figura 10. Localización e imagen de satélite del barrio de Recife (o Recife Antigo)

5.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Impulsada por la situación reciente del país, que presenta un crecimiento continuo del poder adquisitivo de la población, tal y como se refleja en el crecimiento de las clases superiores en el **Gráfico 6**, así como por un modelo económico de consumo que facilita cada vez más la adquisición de vehículos automóviles, el parque nacional presenta un crecimiento muy pronunciado, con los consecuentes problemas asociados a un crecimiento tan rápido y una falta de planeamiento por parte de la administración pública.

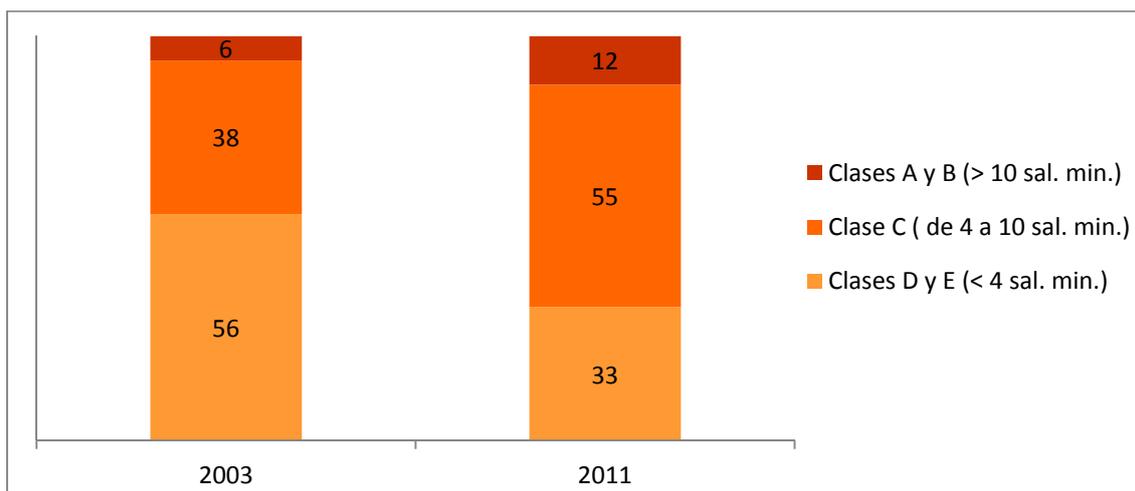


Gráfico 6. División porcentual de la población brasileña en clases en 2003 y 2010

Este fenómeno tiene dimensiones nacionales en un país que en el año 2000 tenía un parque de 29,7 millones de vehículos y 174,5 millones de habitantes, lo que implicaba una tasa de motorización de 170,2 vehículos cada 1.000 habitantes, muy alejada de las tasas de motorización de los países europeos y mucho más aún de Estados Unidos. Ese parque ya contaba con 71 millones de vehículos en enero de 2012, lo que representa ya una tasa de motorización de 357,3 vehículos cada 1.000 habitantes, mucho más parecidos a los estándares europeos.

Ese crecimiento desmedido del parque automovilístico del país, que se muestra en el **Gráfico 7**, también se ha dado en el estado de Pernambuco, donde la flota de vehículos matriculados en enero de 2012 superó los 2 millones, de los que más de la mitad correspondían a la región metropolitana y 543 mil a la capital.

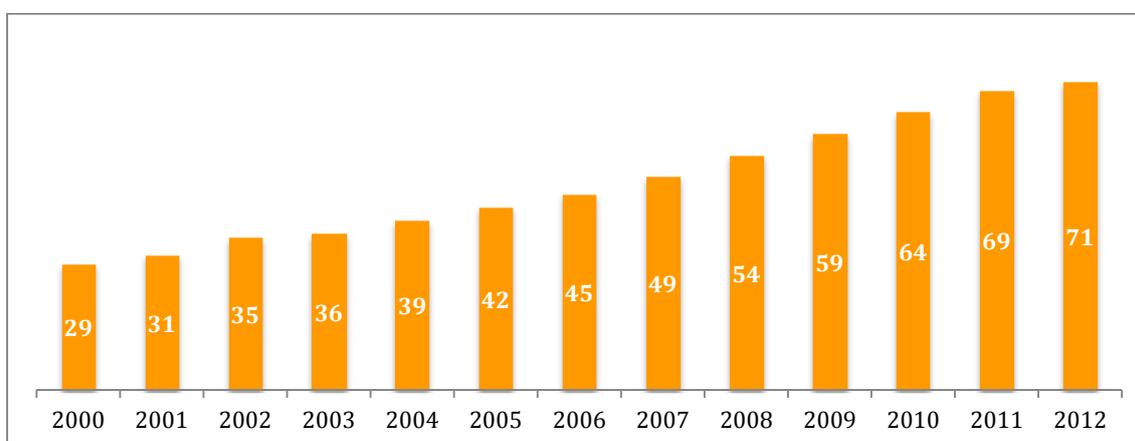


Gráfico 7. Evolución del parque móvil de Brasil (en millones de vehículos)

Esta situación de crecimiento descontrolado del parque automovilístico unido a la falta de planeamiento de la administración pública han llevado al país, en general, y a Recife y su área metropolitana, en particular, a verse afectados por graves problemas de tráfico.

Estos problemas se ven reflejados de una forma general en estudios como el anual de la empresa TomTom, que utiliza los datos recogidos de móviles, tablets o navegadores que usan su tecnología por todo el mundo, incluyendo tanto vías urbanas como intermunicipales. Este estudio asigna un índice a cada ciudad que representa el porcentaje de vías que se encuentran congestionadas en las horas punta, dando más importancia a la densidad de congestiones en la ciudad que al tamaño de esta.

En su publicación del año 2014, en la que estudiaba las mayores ciudades del mundo, las brasileñas de Rio de Janeiro y São Paulo figuraban en el 3º y 5º lugar respectivamente, conforme se observa en la **Tabla 5**.

Ciudades mundiales más congestionadas	País	Índice
1. Moscú	Rússia	74%
2. Estambul	Turquia	62%
3. Rio de Janeiro	Brasil	55%
4. Ciudad de México	México	54%
5. São Paulo	Brasil	46%
6. Palermo	Itália	39%
7. Varsóvia	Polônia	39%
8. Roma	Itália	37%
9. Los Angeles	Estados Unidos	36%
10. Dublin	Irlanda	35%

Tabla 5. Clasificación de las ciudades del mundo más congestionadas según estudio de TomTom

En el año 2014, la empresa realizó el estudio de su Índice de Tráfico Global en Brasil, incluyendo a todas las capitales y realizando la clasificación nacional, recogida en la **Tabla 6**, rebelándose que Recife es la ciudad que presenta una mayor proporción de calles congestionadas en la hora punta, alcanzando el 60% de las vías, por encima de las ya conocidas de Rio de Janeiro y São Paulo.

Ciudades brasileñas más congestionadas	Índice
1. Recife	60%
2. Salvador	59%
3. Rio de Janeiro	55%
4. Fortaleza	48%
5. São Paulo	46%
6. Belo Horizonte	42%
7. Porto Alegre	38%
8. Curitiba	34%
9. Brasília	27%

Tabla 6. Clasificación de las ciudades brasileñas más congestionadas según estudio de TomTom

Para caracterizar el tráfico del área de estudio, cabe recordar que el barrio de Recife es una isla con acceso a través de 4 puentes. Dos de estos puentes tienen doble sentido de circulación con más de un carril de circulación por sentido y los otros dos son de sentido único de circulación. Estos puentes, cuya localización y características se muestran en la **Figura 11**, son las únicas vías de acceso a la isla, siendo los puentes Giratorio y Limoeiro los accesos de una vía arterial que atraviesa el barrio de norte a sur.



Figura 11. Identificación y características de los puentes de acceso al barrio de Recife

Fueron medidas las intensidades de tráfico en todos los puentes, resultando la distribución de entrada que se muestra en la **Tabla 7** y el **Gráfico 8** y la distribución de salida que se muestra en la **Tabla 7** y el **Gráfico 9** para un día laborable normal.

	Sentido Entrada			Sentido Salida		
	Puente Giratorio	Puente B. de Macedo	Puente Limoeiro	Puente Giratorio	Puente M. de Nassau	Puente Limoeiro
0:00	111	78	93	223	96	116
1:00	43	42	63	49	44	51
2:00	33	39	51	27	41	42
3:00	45	23	42	40	17	36
4:00	90	116	216	119	78	111
5:00	214	59	456	257	79	250
6:00	884	458	1347	782	236	797
7:00	1814	952	1860	1416	518	988
8:00	1318	854	1608	784	492	863
9:00	1237	916	1896	945	682	1110
10:00	883	1063	1836	842	682	1230
11:00	879	963	1662	905	704	1331
12:00	1022	994	1611	1101	722	1425
13:00	1214	808	1338	1304	748	1344
14:00	1274	744	1218	1491	740	1385
15:00	1496	758	1584	1140	474	1145
16:00	1379	565	1293	1160	547	1396
17:00	1940	1205	1464	2208	1497	3662
18:00	1736	1193	1206	1986	1419	3870
19:00	1072	746	816	1649	678	1667
20:00	677	690	594	927	472	908
21:00	528	656	438	934	385	713
22:00	580	472	423	549	502	747
23:00	170	166	132	134	165	216

Tabla 7. Distribución de intensidades horarias que circulan por los puentes de acceso al barrio de Recife un día laborable normal.

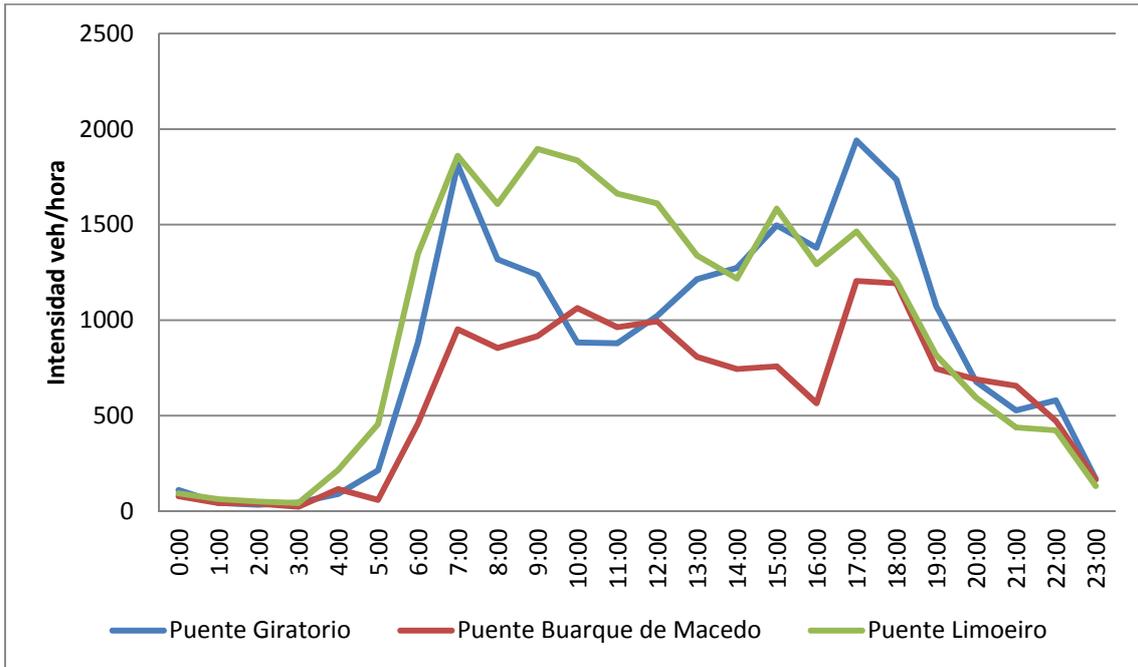


Gráfico 8. Representación de la distribución intensidades horarias que circulan por los puentes de acceso al barrio de Recife sentido entrada un día laborable normal.

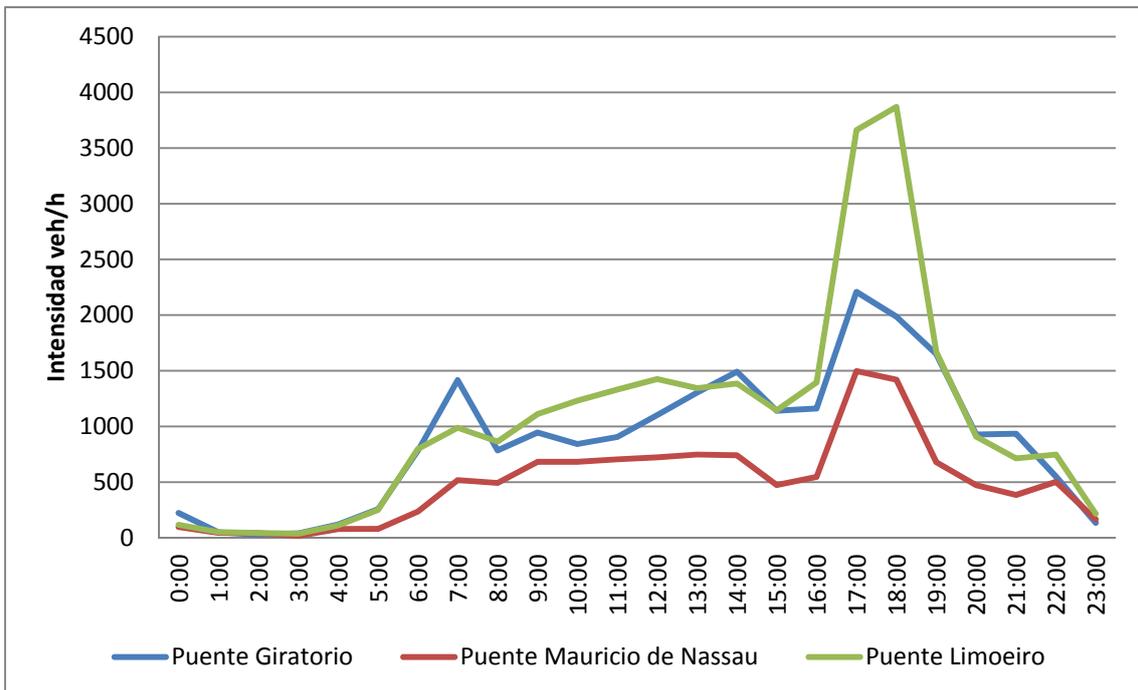


Gráfico 9. Representación de la distribución intensidades horarias que circulan por los puentes de acceso al barrio de Recife sentido salida un día laborable normal.

Al estudiar los datos de demanda estimó el saldo de vehículos que había en la isla en cada momento, sin más que sumar a la cantidad de la hora anterior los vehículos que entraron durante esa hora y restar los que salieron. Representando gráficamente los resultados, **Gráfico 10**, se puede comprobar como la isla se comporta como un sumidero por la mañana y como una fuente por la tarde, permaneciendo la gran mayoría de los vehículos estacionados en el barrio durante todo el día, mayoritariamente entre las 6:00 y las 20:00 horas, llegando a tener aproximadamente 8.500 vehículos estacionados en la isla, exactamente 8.590 vehículos entre las 17:00 y las 18:00 horas.

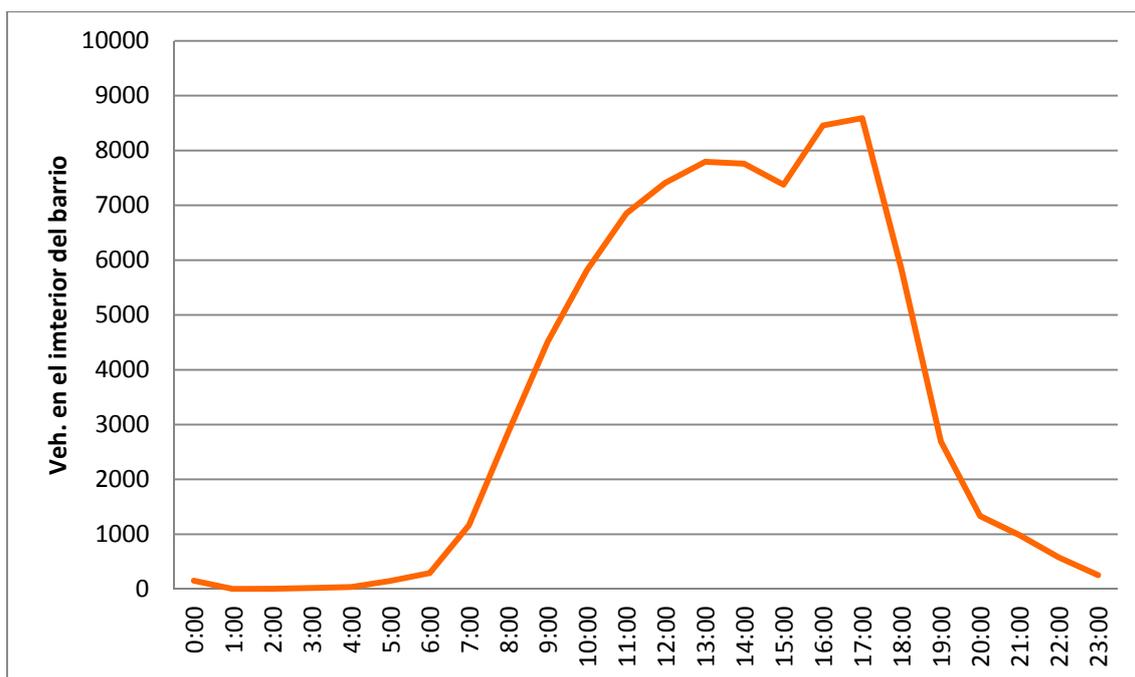


Gráfico 10. Saldo de vehículos en el interior del barrio de Recife a lo largo de un día laborable normal.

5.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL ESTACIONAMIENTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Las ciudades brasileñas dimensionaron sus estacionamientos privados, bien sea en edificios residenciales como comerciales o de negocios, para una demanda que hace mucho tiempo que fue superada, debido principalmente al crecimiento desmedido del parque automovilístico en Brasil en los últimos años, como se ha explicado en el epígrafe anterior.

Recife no es una excepción, los grandes polos atractores de tráfico, bien sean residenciales, comerciales o de negocios no presentan una oferta suficiente para atender la demanda existente, de forma que se plantea una situación en la

que existe una gran parte de la demanda de estacionamiento que compite por una plaza en la vía pública, generando un escenario de gran indisciplina, con una alta presencia del estacionamiento ilegal y con la aparición del “flanelinha” (en España comúnmente llamado gorrilla) como gestor del espacio de estacionamiento ilegal. Esta circunstancia se agrava con la enorme cantidad de tráfico de agitación en busca de estacionamiento existente.

Para caracterizar la oferta de estacionamiento en el área de estudio, fue realizado un conteo clasificado de las plazas existentes en la vía pública en el barrio de Recife, cuyo resumen se presenta en la **Tabla 8**, contabilizándose un total de 1.599 plazas de estacionamiento en vía pública, de las que 878 están reguladas y pertenecen a la “Zona Azul” y 721 no tienen regulación tarifaria. Además se han contado 82 plazas exclusivas para taxi y 77 plazas para motocicletas.

También fue realizado un conteo de plazas en estacionamientos públicos de gestión privada, cuyo resumen se presenta en la **Tabla 9**, y que totalizan 608 plazas.

Estos resultados ponen de manifiesto la escasa oferta de estacionamiento público tanto en la vía como en estacionamientos de gestión privada. A esta oferta habría que añadirle la de los edificios empresariales, la Prefeitura de la ciudad de Recife y el Tribunal Regional Federal.

Esta escasez de oferta de estacionamiento es tan pronunciada que además de la lógica indisciplina esperable en una situación similar se da un fenómeno, cuanto menos curioso, en el barrio de Recife. Existe una figura llamada “flanelinha” (o gorrilla como es conocido en España) que además de señalar las plazas libres para los conductores en búsqueda de aparcamiento, preparan y ponen a disposición de los conductores áreas en las que no está permitido el estacionamiento por calles sin salida, espacios privados accesibles, solares, etc.

Estas personas tienen un control de acceso a esa área obligando a los conductores a entrar por un solo punto, y establecen tarifas horarias, diarias y mensuales para el estacionamiento. En la **Figura 12**, se muestra el estacionamiento masivo en una calle sin salida controlada por un “flanelinha” que ejerce además de aparcacoches para conseguir mayor capacidad de plazas de estacionamiento.



Figura 12. Calles sin salida habilitada irregularmente para estacionamiento y gestionada de forma ilegal

TFM: ESTUDIO DE LA GESTIÓN DINÁMICA DEL ESTACIONAMIENTO REGULADO EN VÍA PÚBLICA

Vía	Zona Azul 2 Horas			Zona Azul 5 Horas				Plazas sin regulación			Taxi	Motos	TOTAL
	Paralela	45º/90º	Total	Paralela	45º/90º	Especial	Total	Paralela	45º/90º	Total			
Av Alfredo Lisboa			0				0	46	30	76	0		76
Av Barbosa Lima			0	72		1	73			0	0		73
Av Marques de Olinda	29		29			3	3			0	16		48
Av Militar			0				0	51		51	0		51
Av Rio Branco	39		39	5			5	12		12	22	22	100
C da Alfandega	16		16		46		46			0	8		70
C do Apolo			0				0	5		5	0		5
Rua Alvares Cabral	35	18	53			5	5		20	20	0	20	98
Rua Barao Rodrigues Mendes			0	21			21			0	0		21
Rua Bernardo Vieira de Mello			0				0	49		49	0		49
Rua Bione			0				0	25		25	13		38
Rua da Assembléia			0	17			17			0	0		17
Rua da Guia			0	62	12		74			0	0		74
Rua da Moeda		10	10	16			16			0	2		28
Rua de Sao Jorge			0				0	47	38	85	0		85
Rua do Apolo			0	52			52	13		13	0	13	78
Rua do Bom Jesus			0	70	32	3	105		18	18	0		123
Rua do Brum	19		19			3	3	166		166	0		188
Rua do Moinho			0				0	18	40	58	0		58
Rua do Observatorio			0	22	14		36	15		15	0		51
Rua do Ocidente			0				0	17		17	0		17
Rua Primavera			0				0	12		12	16		28
Rua Domingos José Martins			0	36			36			0	0		36
Rua Dona Maria Cesar			0	35	10		45			0	0		45
Rua Madre Deus			0	26			26			0	0		26
Rua Mariz e Barros			0	51		3	54			0	5	22	81
Rua Prof.r Aloisio Magalhaes			0	10			10			0	0		10
Rua Tomazina			0	22		1	23			0	0		23
Rua Vigario Tenorio			0	62			62			0	0		62
Trv do Amorim			0				0	9		9	0		9
Trv Tiradentes			0				0	90		90	0		90
	138	28	166	579	114	19	712	575	146	721	82	77	1.758
							878			721	82	77	1.758

Tabla 8. Resultado del conteo clasificado de plazas de estacionamiento en vía pública en el barrio de Recife

Empresa operadora	Vía	Cantidad de plazas
CG Estacionamento	Rua do Apolo	95
Estacionamento	Rua Bernardo Vieira de Melo	60
Estapar	Rua da Guia	50
Estapar	Rua da Guia	30
Estapar	Rua da Guia	30
Beto Garagem	Rua do Brum	26
Estacionamento	Rua Cais do Apolo	25
Estacionamento	Rua Cais do Apolo	20
Estacionamento	Av. Rio Branco	18
Estacionamento	Tv Tiradentes	14
Shopping Paço Alfândega	Cais da Alfândega	240
TOTAL		608

Tabla 9. Resultado del conteo de plazas de estacionamientos públicos de gestión privada en el barrio de Recife

La regulación del estacionamiento en el área de estudio, conocida como “Zona Azul”, consiste en la definición de dos tipos de áreas definidas por el tiempo de permanencia permitido por la compra de un ticket. En una de ellas el valor de compra de un ticket da derecho a 2 horas de estacionamiento y en la otra a 5 horas. De esta forma, tras realizar el inventario de plazas de aparcamiento en el área, se pueden definir cuatro tipos de espacios destinados al estacionamiento:

- Plazas libres en vía pública. Sin regulación.
- Plaza de estacionamiento regulado en vía pública, “Zona Azul”, con una permanencia de 2 horas por ticket comprado.
- Plaza de estacionamiento regulado en vía pública, “Zona Azul”, con una permanencia de 5 horas por ticket comprado.
- Plaza de estacionamiento pública en recinto privado.

En el caso de plazas en la vía pública, los distintos tipos se distribuyen por el barrio de Recife como se muestra en la **Figura 13**, en la que se observa que

las plazas más restrictivas se encuentran en las vías con mayor demanda, las reguladas menos restrictivas en las vías de demanda menor y las no reguladas ocupan un área que actualmente no tiene una gran actividad, por lo que casi todo los conductores que estacionan en esa área lo hacen para evitar el pago por el estacionamiento.



Figura 13. Mapa de la distribución de plaza de estacionamiento por tipo en el barrio de Recife

5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA IMPLANTADO

5.2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA REGULACIÓN DEL ESTACIONAMIENTO

La regulación del estacionamiento en el barrio de Recife, denominada Zona Azul, comienza por una segregación de áreas por tipo de vehículo (moto, taxi, coche de policía, etc.), por actividad (carga y descarga) y por usuarios con condiciones especiales, que en este caso serían personas portadoras de necesidades especiales y personas ancianas, a las que se reservan el 2% y el 5% de las plazas respectivamente.

Los vehículos que deben pagar por estacionar son los coches, tanto sean de usuarios comunes, personas portadoras de necesidades especiales o personas ancianas. La tarifa consiste en el establecimiento de un precio fijo para compra del ticket que permite estacionar, que actualmente tiene un valor de R\$ 1,00 (en la fecha del presente estudio, agosto de 2014, equivaldría a 0,34 €). Con este ticket se puede estacionar en dos tipos de plaza de aparcamiento, una que da derecho al estacionamiento por dos horas (2 h) y otra que permite permanecer cinco horas (5 h) con un ticket.

De esta forma, la Prefeitura de Recife intentó inducir al estacionamiento en áreas más alejadas de los grandes centros de actividad a través de tarifas diferencias, o mejor dicho, de diferentes cantidades de tiempo de estacionamiento permitido por el mismo valor, que como se verá más adelante no da resultado.

La distribución de los distintos tipos de plaza de estacionamiento presentes en el Barrio de Recife se ha mostrado anteriormente en la **Figura 13**. Estas plazas se encuentran reguladas mediante señalización vertical únicamente, a excepción de las plazas destinadas a personas portadoras de necesidades especiales y a personas ancianas.

La señal para la regulación de las dos zonas diferenciadas indica el tiempo máximo de permanencia en la información que complementa a la señal “R-6b Estacionamiento regulado”, conforme se muestra en la **Figura 14** para ambos tipos de plaza.



Figura 14. Señales de regulación del estacionamiento con dos y cinco horas de permanencia máxima

Para la compra del ticket y la activación del derecho a estacionar se pueden utilizar dos caminos bien distintos. Por un lado está el ticket en papel y por otro el ticket virtual.

Ticket en papel

El ticket en papel consiste en una papeleta que se puede comprar en puntos de venta autorizados y debidamente identificados como vendedores de Zona Azul. Es distribuido en lotes de 10 papeletas, lo que se llama talonario, y puede ser comprado por unidades o por talonarios.

Esta papeleta consiste en una hoja con distintos elementos gráficos de seguridad, para evitar falsificaciones, en la que existen los siguientes campos:

- Matrícula.
- Mes.
- Día.
- Hora.
- Minuto.

El campo matrícula debe ser rellenado con bolígrafo por el usuario y el resto de campos debe ser raspado por estar todas las opciones prefijadas cubiertas por una capa de material que se retira mediante raspado, conforme se muestra en la **Figura 15**.

COLQUE SOBRE O PAINEL DEIXANDO VISÍVEL ESTA FACE DO CARTÃO

ZONAZUL

VALIDO ATÉ 31/05/2015

RECIFE

CTTU

R\$ 1,00
PREÇO CARTÃO AVULSO

INSTRUÇÕES NO VERSO
VALIDO SOMENTE NO INTERIOR DO VEÍCULO, SEM
CORTES, EMENDAS, RASURAS, PERFURAÇÕES OU
QUALQUER ALTERAÇÃO EM SUAS CARACTERÍSTICAS ORIGINAIS

TALÃO 020885
SÉRIE CQ
CARTÃO 208850

PLACA

MÊS

JAN FEV MAR ABR MAI JUN
JUL AGO SET OUT NOV DEZ

RASPE OS CAMPOS DE MÊS, DIA, HORA E MINUTO QUE IRÁ UTILIZAR.
OS CAMPOS RASPADOS DEVEM APRESENTAR COR DIFERENTE.

DIA

01	02	03	04	05
06	07	08	09	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31				

HORA

08	09	10	11	12	13
	14	15	16	17	

MINUTO

00	05	10	15	20	25
30	35	40	45	50	55

Figura 15. Papeleta de pago del estacionamiento regulado.

De esta forma, el usuario debe estacionar, ir al establecimiento autorizado, realizar la compra de una o varias papeletas, dirigirse de nuevo al vehículo, rellenar con bolígrafo el campo de matrícula del vehículo y mediante raspadura en los campos de mes, día, hora y minutos indicar el momento en el que comienza el estacionamiento, teniendo derecho a permanecer estacionado por

el valor pagado un periodo de 2 ó 5 horas según la plaza en la que se encuentre.

Ticket virtual

El ticket virtual solo puede ser adquirido a través de la aplicación para smartphones (app) desarrollada al efecto y llamada “Zona Azul Recife”. En esta aplicación es necesario darse de alta en la base de datos, donde el usuario debe registrar tanto sus datos personales como los de una tarjeta de crédito de su propiedad.

En la aplicación, el usuario puede registrar cuantos vehículos desee en la opción de registro de vehículos, indicando el tipo de vehículo de que se trata y la matrícula de este.

También puede comprar los tickets por valor de R\$ 1,00 en lotes de 10 unidades, que serán utilizados con posterioridad, pasando a formar parte de su saldo.



Figura 16. Pantalla de la aplicación en la que se elige el vehículo para el que se va a activar un ticket virtual.

De esta forma, un usuario registrado puede acceder a la aplicación a través de su nombre de usuario y contraseña. Posteriormente comprar los ticket que desee en lotes de 10 unidades, y cada vez que estacione activar uno

identificando cuál de los vehículos que tiene registrados es el que ha estacionado, como se muestra en la **Figura 16**. Esa matrícula pasa a estar activa en la base de datos a partir de la fecha y hora de activación por parte del usuario, pasando su saldo a tener un ticket menos, teniendo derecho a permanecer estacionado por el ticket activado un periodo de 2 ó 5 horas según la plaza en la que se encuentre.

Una vez agotado el tiempo de permanencia máxima, se haya comprado el ticket por cualquiera de los dos modos existentes, el usuario debe retirar el vehículo de la plaza en la que ha estacionado no existiendo la posibilidad de ampliar el tiempo de permanencia en la misma plaza. Esta regla de uso, al ser tan difícil de controlar no es cumplida por los usuarios, existiendo el hábito de retirar el ticket en papel y colocar otro al final del periodo pagado o activar un nuevo ticket virtual sin retirar el vehículo del lugar.

El control del pago de la tarifa de estacionamiento recae íntegramente en la administración pública por lo que son agentes de tráfico los que realizan las comprobaciones de que los vehículos estacionados en las plazas reguladas han pagado la tarifa correspondiente. La comprobación de la compra del ticket en papel se realiza de forma visual, la comprobación de la activación del ticket virtual se realiza a través de un dispositivo con comunicación con la base de datos en el que se teclea la matrícula del vehículo correspondiente obteniéndose la información de su estado, es decir, si tiene un ticket activo o no.

En cualquiera de los dos casos, si el conductor no ha realizado el pago correspondiente recibe directamente la sanción administrativa prevista, sin que exista un aviso de irregularidad antes que permita al conductor regularizar la situación del vehículo antes de recibir la multa mediante el pago de un importe menor que el de esta.

5.2.2. SISTEMA DE DETECCIÓN Y PUBLICIDAD DE PLAZAS LIBRES DE ESTACIONAMIENTO

En el área de estacionamiento regulado, y como una herramienta de ayuda al conductor en la búsqueda de plaza libre para estacionar, se ha diseñado, implantado y testado un sistema de lectura de plazas de aparcamiento a través de cámaras instaladas en la vía pública, lectura de imágenes y puesta a disposición de la información a través de internet y de la aplicación “Zona Azul Recife”.

Con este sistema se pretende poner en servicio una información que guie a los conductores hacia las plazas libres, reduciendo el tráfico de agitación en busca de aparcamiento. En caso de no existir plazas libres, los conductores pueden

conocer el problema antes de acceder a la isla y tomar decisiones como la de estacionar en el exterior del barrio y acceder andando o en una bicicleta del servicio público, por ejemplo.

El diseño, la implantación y las pruebas realizadas en el sistema de detección de plazas libres se explica con detalle a continuación, y consiste básicamente en la instalación de cámaras en la vía pública que capturan las imágenes de la franja de estacionamiento de las calles y las envía con una cierta periodicidad a la central de datos. Para el envío de las imágenes fue necesaria la implantación de una red de comunicación propia, vía radio, en toda el área del barrio.

En la central de datos estas imágenes son leídas por un software de lectura de estas desarrollado “ad hoc” para la detección de plazas libres en la franja de estacionamiento regulado a través de técnica de reconocimiento de patrones de imagen por red neuronal.

Al comienzo del desarrollo, el software definía y delimitaba, previamente, el espacio de cada plaza de estacionamiento y posteriormente identificaba si este se encontraba ocupado o no por un vehículo.

Este proceso mostró algunas debilidades significativas, derivadas del uso real de las plazas de estacionamiento, en las que las plazas no siempre están delimitadas o, aunque lo estén, el conductor no siempre se ciñe al espacio asignado, de forma que en las situaciones en las que un vehículo ocupaba parte de la plaza anexa el software la interpretaba como ocupada también con el consiguiente error en la información facilitada. Por otro lado, un error en la lectura de una plaza libre equivalía a un error en la información del estado de la plaza, es decir, si una plaza libre era reconocida como ocupada por el software, la información facilitada a los usuarios de esa plaza era errónea.

Para solucionar este problema, se introdujo en el proceso una división menor del espacio de estacionamiento, de forma que quedaba dividido en “rebanadas” menores que representan una fracción de plaza. De esta forma, el software lee las imágenes y asigna un estado a cada “rebanada” como libre u ocupada. Con esta información, identifica una plaza como libre o no en función del espacio total alcanzado por las rebanadas libres consecutivas. De esta forma, si, por ejemplo, son detectadas dos fracciones consecutivas que juntas no representan el espacio de una plaza de estacionamiento, el sistema no caracteriza eso como plaza libre. En caso de que el espacio alcanzado por un conjunto de “rebanadas” libres consecutivas fuese mayor o igual que el de una plaza de estacionamiento, el sistema reconocería la cantidad de plazas correspondiente (en función del espacio libre) como plazas disponibles.

En la **Figura 17** se presenta un ejemplo de imagen procesada por el sistema en la cual son detectadas 6 “rebanadas” libres. Cuatro de ellas están

localizadas de forma consecutiva, constituyendo una plaza disponible para estacionar, lo que es informado al usuario. Las otras dos, también consecutivas, no alcanzan el espacio suficiente para constituir una plaza de estacionamiento por lo que el sistema no la reconoce como un lugar disponible y por tanto no la publicita.

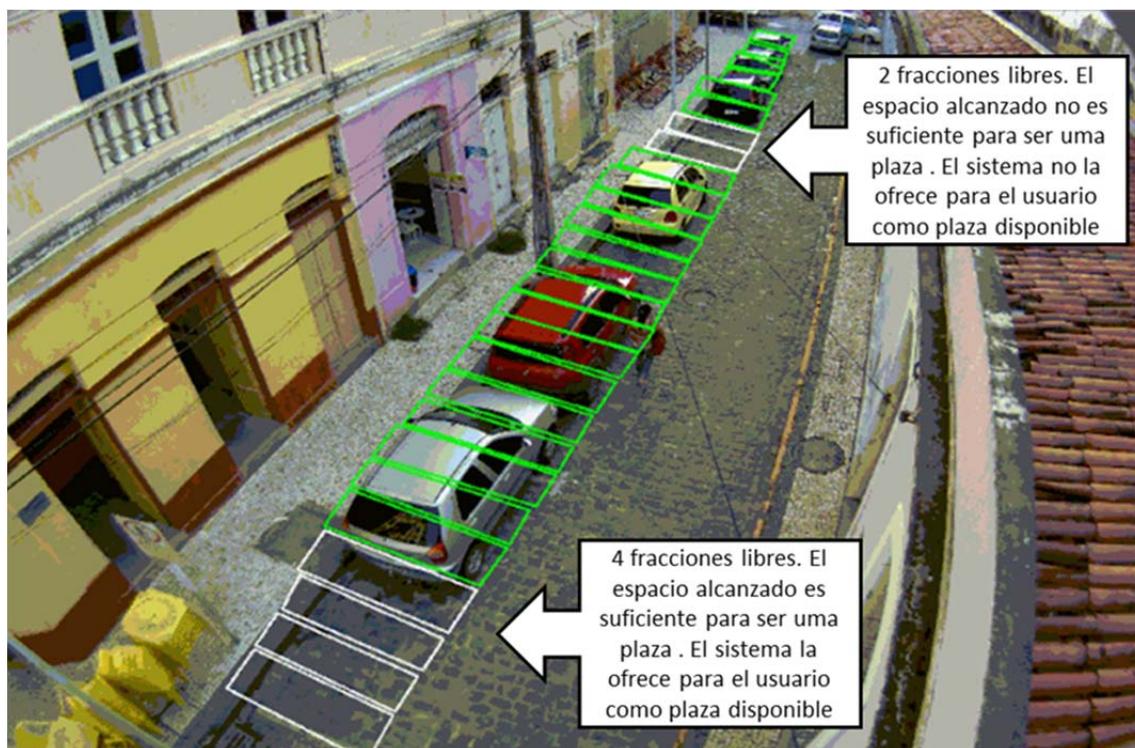


Figura 17. Ejemplo de la lógica de detección de plazas libres del software desarrollado

Toda la información obtenida por el sistema es facilitada al usuario de la forma más simple y accesible. Para conseguir esos objetivos esta información es facilitada al usuario a través de una aplicación para teléfono móvil tipo Smartphone. Esta información es accesible tanto a través de la aplicación “Zona Azul Recife” como a través de una aplicación que alberga un portal integral de movilidad en el que además de la zona azul, el usuario puede acceder al servicio público de bicicletas compartidas o a la información de rutas y horarios de autobuses urbanos, entre otros muchos servicios.

En la **Figura 18**, se muestra la pantalla principal de la aplicación que alberga la plataforma integrada de movilidad urbana sostenible en la que se observan todos los servicios disponibles, entre los que se encuentra el servicio de información de plazas de estacionamiento libres



Figura 18. Pantalla principal de la aplicación que alberga la plataforma integrada de movilidad urbana sostenible, con la información de plazas de estacionamiento disponibles.

Una vez que el usuario ha accedido a la búsqueda de plazas, el aplicativo muestra un mapa del barrio de Recife, con las calles que tienen plazas de estacionamiento de Zona Azul destacadas. En cada vía se muestra un globo con el número estimado de plazas libres en la calle correspondiente. Estos globos tienen un patrón de colores de forma que uno verde corresponde a una calle o plaza con muchas plazas (más de tres), un globo rojo a una calle o plaza sin plazas disponibles y uno amarillo a una localización con pocas plazas disponibles (una o dos), como se puede comprobar en el ejemplo de la **Figura 19**.

Para un mayor detalle de las informaciones, pulsando sobre un globo el aplicativo muestra la cantidad de plazas libres del total existente en el local, la última actualización (tiempo que transcurrió desde la lectura de la cámara hasta el momento de la visualización de la información) y la distancia a la que el usuario se encuentra de ese local, así como la permanencia máxima en esas plazas, como muestra la pantalla del aplicativo presentada en la **Figura 19**.

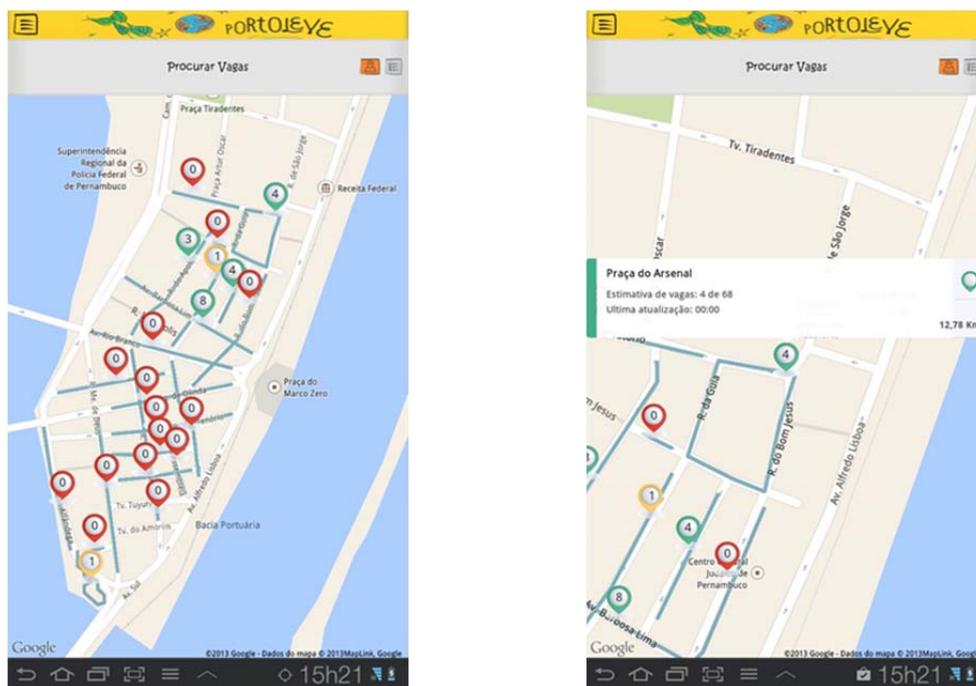


Figura 19. Pantalla donde se muestra la información de plazas libres de estacionamiento por calle o plaza y pantalla que muestra la información de detalle tras pulsar en una calle determinada

5.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DESARROLLADA

Con toda lo explicado en epígrafes anteriores, con el sistema implantado y las herramientas que incluye, un usuario puede realizar cualquiera de las acciones necesarias para aparcar en un área de estacionamiento regulado en vía pública de una forma mucho más cómoda para él y eficiente para el sistema de tráfico.

Un usuario puede gestionar su estacionamiento desde su dispositivo móvil tipo Smartphone a través de la aplicación “Zona Azul Recife”, en la que puede comprar saldo de tickets de estacionamiento, buscar plaza libre de estacionamiento, activar ticket para el vehículo o vehículos que desee y programar una alarma que le indique el tiempo que falta para que se agote la permanencia máxima en el local donde ha aparcado. De esta forma no es necesario que transite sin rumbo fijo en busca de un lugar para aparcar, que lleve dinero en metálico consigo, que camine buscando un punto de venta autorizado y ni tan siquiera que vuelva al vehículo a dejar el ticket.

Esta aplicación desarrollada, es de uso fácil y sencillo, de forma que el usuario realice unas acciones de registro previas al primer uso, siendo posteriormente todas las acciones automáticas para cada usuario registrado.

En primer lugar un usuario debe registrarse en la base de datos de la aplicación. Con el registro realizado ya puede acceder a ella sin más que

colocar su nombre de usuario y contraseña. Una vez en la aplicación, el usuario puede registrar el vehículo o los vehículos que desee, informando el tipo de vehículo y el número de matrícula del mismo. También puede alterar sus datos de registro, los de un coche o incluir más vehículos cuando desee, como se muestra en las pantallas de ejemplo de la **Figura 20**.

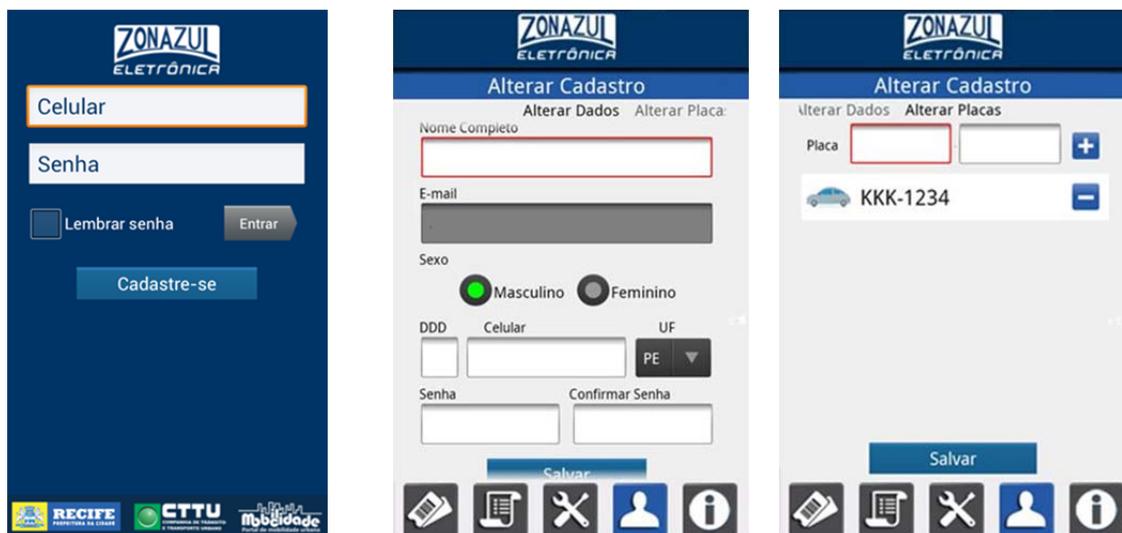


Figura 20. Pantalla de la aplicación “Zona Azul Recife” para acceso, alteración de los datos de usuario y alteración de los datos de un vehículo

Una vez registrado y con sus vehículos en el sistema, la siguiente acción debería ser comprar los talonarios (de 10 unidades de tickets) que constituirán el saldo disponible para el usuario, siempre visible en pantalla, mediante una acción rápida y sencilla en la propia aplicación. Con ese saldo superior a cero y el vehículo estacionado, se puede activar uno de los tickets del saldo sin más que informar cuál de los vehículos registrados se ha estacionado, eligiéndolo de una lista donde se muestran todos. También se puede activar un ticket para un vehículo no registrado, para lo que hay que teclear su número de matrícula. En la **Figura 21** se muestran las pantallas de la aplicación en las que se realizarían estas acciones.



Figura 21. Pantalla de la aplicación “Zona Azul Recife” para compra de tickets, activación de un ticket para un vehículo registrado y activación para un vehículo no registrado

Una vez estacionado y con el ticket activo, el usuario puede configurar una alarma que le avise de que se está agotando el tiempo de permanencia mínima de la plaza donde ha estacionado. El usuario informa del tipo de plaza, 2 o 5 horas de permanencia máxima, y la antecendencia con la que quiere ser avisado, de forma que reciba una alerta a través de la aplicación con el tiempo de antelación suficiente como para terminar las tareas que esté realizando y retirar el coche antes de que se encuentre en situación irregular.

Por supuesto que el usuario también dispone de acceso a su histórico de uso para comprobar su facturación, su utilización temporal del estacionamiento o por cualquier otro motivo. Las pantallas con estas funcionalidades se muestran en la **Figura 22**.

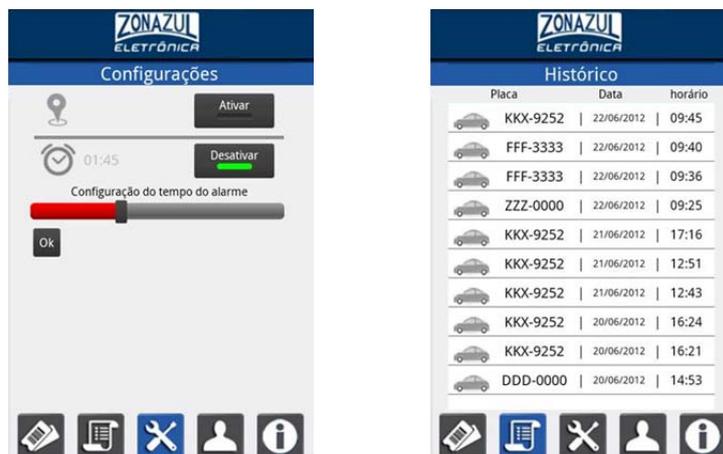


Figura 22. Pantallas de la aplicación para configuraciones y consulta del histórico de uso

5.3. TOMA DE DATOS

Una de las partes más importantes del presente trabajo es la toma de datos que permitan, mediante su análisis, establecer las conclusiones para la consecución de los objetivos marcados, así como proponer mejoras y futuras líneas de investigación.

Antes de la implantación del nuevo sistema se han recogido datos de demanda de tráfico que permitan caracterizarla en los accesos del área de estudio. Ciertamente, la demanda de tráfico no será un dato a estudiar, ya que en ningún momento se prevé que el sistema implantado modifique los patrones de conducta de los conductores ya que no se establece ninguna diferencia en la tarifa o en la distribución y capacidad del estacionamiento. Este dato se ha definido en detalle, en primer lugar, como base para potenciales estudios posteriores, y también para permitir definir mejor la idoneidad del área como futuro escenario de experimentos en estudios de gestión dinámica de la regulación del estacionamiento. Por este motivo, no se ha realizado un análisis de estos datos en el presente estudio, aunque sí se han utilizado para la definición del área analizada.

La toma de datos para el estudio de la demanda de tráfico en el barrio de Recife se ha realizado a través de la instalación de cámaras OCR (Optical Character Recognition) en los cuatro puentes de acceso a la isla, recogiendo dos ejemplos en la **Figura 23**. Estas cámaras, a su vez, están conectadas a la base de datos del DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito do Brasil) lo que a efectos de seguridad, por ejemplo, permite reconocer un vehículo con un aviso de robo, y desde el punto de vista de este estudio permite, a través de una consulta con la base de datos de este órgano, la definición del vehículo como motocicleta, vehículo ligero o vehículo pesado, permitiendo la clasificación del tráfico.

La lectura de matrículas en las entradas/salidas del barrio, permite también el estudio origen destino de la demanda de tráfico, así como la proporción de tráfico de paso o el tiempo de permanencia de los vehículos entre otros parámetros importantes para la caracterización de la demanda de tráfico.

Los datos recogidos por estas cámaras, quedan registrados en una base de datos de la CTTU (Companhia de Trânsito e Transporte Urbano) de la ciudad de Recife y son conservados en ella.



Figura 23. Ejemplo de cámaras OCR instaladas en los puentes de acceso y salida del barrio de Recife. Recife (Pernambuco)

Para la implantación del nuevo sistema de pago del estacionamiento mediante aplicación de teléfonos móviles, tuvo que ser desarrollado un sistema central de explotación que, entre otras funcionalidades, registraba y archivaba en una base de datos los datos de usuarios y vehículos y los eventos producidos, tanto transacciones económicas de compra de tickets como eventos operacionales de activación de estos.

Cada evento se registra asociado al usuario que lo realizó, el vehículo correspondiente (en el caso de activaciones de tickets), la fecha y la hora, lo que permite el estudio posterior.

De esta forma, los datos de descarga de la aplicación se encuentran registrados en las plataformas de venta de aplicaciones de los diferentes sistemas operativos de telefonía móvil, que en este caso se reduce a Android e iOS. El resto de los datos, se encuentran archivados en la base de datos del sistema de “backup” de la aplicación desarrollada.

Una vez implantado el servicio de información de plazas libres de estacionamiento, debían diseñarse dos estrategias distintas de toma de datos. Una que permitiera evaluar el desempeño del sistema en sí y otro con el objetivo de caracterizar la demanda de estacionamiento en el área a estudiar.

Para el primer objetivo, se diseñó una estrategia de seguimiento continuo del desempeño del sistema, para lo que se implantó una central de operaciones en el barrio de Recife, que se muestra en la **Figura 24**, con un equipo de personal asociado. De esta forma, los resultados ofrecidos por las cámaras eran visualizados en tiempo real en dicha central, permitiendo la comprobación de la bondad de la información y la detección de errores. De esta forma se obtenía el porcentaje de acierto de la lectura en distintas situaciones, pudiendo realizarse operaciones correctivas, tanto en las propias cámaras (mediante la configuración de distintos parámetros) como en el software de lectura de imagen.



Figura 24. Central de control del sistema de información de plazas disponibles de estacionamiento a través de cámaras instalada en la vía pública.

Para el estudio y caracterización de la demanda de estacionamiento se utilizarán los datos recogidos por las cámaras, que quedan registrados en la base de datos del sistema. Estos datos no dejan registro por evento sino periódicamente, almacenando en la base de datos las lecturas de cada cámara cada vez que esta se actualiza.

Las actualizaciones se producen en secuencia, es decir, una cámara de la red captura una imagen, la envía a la central, es procesada por el software y la información se facilita al usuario y queda archivada, y sólo entonces la siguiente cámara de la red captura una imagen y realiza el mismo proceso. Dado el tiempo que se tarda en esta operación la frecuencia de refresco y, por tanto, la cantidad de datos depende directamente de parámetros como la eficiencia en la lectura de imágenes del software desarrollado o la comunicación de datos vía radio del sistema.

De esta forma, para la caracterización de la demanda de tráfico se tomaron muestras aleatorias de los distintos tipos de plaza de estacionamiento según su tiempo de permanencia máxima, dos o cinco horas. También se tomaron datos de una muestra de plazas de estacionamiento no regulado para incluir este tipo de plaza en el estudio.

En estos tramos, las cámaras de detección de plazas libres reconocen y registran automáticamente el dato de ocupación de la misma, permitiendo conocer no sólo el grado de ocupación global, sino también la distribución de esta a lo largo del tiempo, por estar asociado cada dato registrado a una plaza, una fecha y un instante determinado.

Sin embargo, parámetros como la rotación o el tiempo de permanencia en una plaza de estacionamiento debieron ser estudiados a través de toma de datos manual, aunque con una ventaja, en vez de realizar una toma de datos al uso en este tipo de estudios, en el que una o varias personas realizan diferentes pasadas en diferentes horarios por tramos de estacionamiento anotando las matrículas de los vehículos de cada plaza, con la presencia de las cámaras y el monitoreo en tiempo real del área de estudio, se realizó la toma de datos de esta parte del estudio desde la central de control, anotando apenas eventos de llegada/salida de vehículos en cada plaza de la muestra.

Esta toma de datos se realizó durante tres días laborables consecutivos (martes, miércoles y jueves) de cada más tras la instalación del sistema de detección de plazas disponibles por cámaras.

En la toma de datos manual se registraron los siguientes datos por cada vehículo que utilizaba el estacionamiento regulado en los tramos incluidos en la muestra aleatoria:

- Identificación del vehículo (por modelo y color, ante la imposibilidad de leer la matrícula en las imágenes recogidas por las cámaras).
- Hora de llegada.
- Hora de salida.

- Número de ocupantes.
- Observaciones (detección de plaza ocupada por presencia de contenedor de obra, comercio ambulante, etc.).

Durante la toma de datos no se encontró ninguna dificultad para la toma de estos datos, aunque la observación del número de ocupantes de los vehículos requirió en algunos casos recurrir al archivo de video de las cámaras, sobre todo durante la observación de los dos periodos de punta existentes en la demanda de estacionamiento.

6. ANÁLISIS DE DATOS

Tras el desarrollo e implantación del sistema de gestión dinámica del estacionamiento regulado en la vía pública y su operación durante un año, tras la implantación del servicio de información de plazas libres, que fue la última funcionalidad en implantarse, procede analizar los datos recogidos y establecer los resultados del estudio en todos y cada uno de los aspectos a definir según los objetivos establecidos.

6.1. FORMA DE PAGO DIGITAL DEL ESTACIONAMIENTO

El sistema de pago a través de la aplicación para teléfonos móviles está en funcionamiento desde finales del año 2012 pero, como se ha explicado anteriormente, a efectos de este estudio se considerarán sus datos desde el mes de enero del año 2013, para evitar en lo posible el periodo en el que esta nueva forma de pago fue introduciéndose en el día a día de los usuarios y así evitar un posible sesgo en los datos. De esta forma, se tienen datos desde, siete meses antes que el servicio de información de plazas libres fuese implantado, lo que va a permitir, no sólo el análisis del uso de esta forma de pago, sino también la comparación de su utilización antes y después de la implantación del sistema de guiado.

Desde su puesta en funcionamiento, en enero de 2013, hasta el mes de julio del 2014, la aplicación “Zona Azul Recife” ha sido descargada 4.106 veces en las dos plataformas de venta en las que está disponible, Android e iOS, triplicando el número descargas en Android el de descargas en el sistema operativo de Apple, según la distribución que se presenta en la **Tabla 10**.

Plataforma	Total
Android	1.166
iPhone	2.940
Windowsphone	-
Total	4.106

Tabla 10. Distribución del número de descargas de la aplicación “Zona Azul Recife” en las distintas plataformas de venta de app.

Sin embargo, a pesar del elevado número de descargas, la cantidad de usuarios que ha comprado tickets a través de la aplicación es bastante menor, aunque no menos significativo, siendo un total de 2.555 usuarios los que han comprado tickets alguna vez a través de esta forma de pago.

Para un análisis mejor y más profundo de los datos de compra e índice de penetración de esta forma de pago en el uso cotidiano del estacionamiento por parte de los usuarios del barrio de Recife, sería necesario conocer los datos de venta de tickets en formato papel por parte de los puntos de venta autorizados. Sin embargo, esa venta la realiza directamente la CTTU (Companhia de Trânsito e Transporte Urbano) y no la empresa operadora de la Zona Azul, y no han sido facilitados para este estudio.

Sin embargo, rescatando los datos del estudio de tráfico del barrio de Recife, cabe destacar que se estimó el saldo neto de vehículos en el interior de la isla en cada momento, sin más que sumar a la cantidad de la hora anterior los vehículos que entraron durante esa hora y restar los que salieron, estableciéndose un máximo de alrededor de 8.500 vehículos (exactamente 8.590 vehículos) entre las 17:00 y las 18:00 horas.

Comparando los usuarios que han comprado tickets a través de la aplicación para teléfonos móviles y el número máximo de vehículos que llega a haber en el interior del barrio al cabo del día, sabiendo que la mayoría de plazas de estacionamiento se encuentran en los edificios y áreas privadas al servicio de empleados y visitantes, tanto de empresas como de edificios de la administración pública, como la propia Prefeitura de la ciudad, se tiene una primera idea, bastante aproximada y sin ningún valor científico todavía, de que la penetración de esta forma de pago es bastante elevada.

Los datos que realmente definirán el grado de penetración en el uso cotidiano de la aplicación “Zona Azul Recife” en el pago del estacionamiento regulado será la compra y activación de tickets. Como se ha comentado anteriormente, no se tienen datos de la venta de tickets en papel, por lo que parece que no se

podrá estimar dicho parámetro, pero si se cruzan los datos de venta con los de ocupación del estacionamiento y caracterización de la demanda de este, recogida en un epígrafe posterior, puede estimarse el porcentaje de cada forma de pago del estacionamiento en el área de estudio, por lo que este análisis se realizará en el epígrafe correspondiente a la caracterización de la demanda de estacionamiento.

Al tener datos de venta de tickets antes y después de la implantación del servicio de guiado hasta plazas de estacionamiento disponibles, se puede analizar el impacto de esta funcionalidad en el uso de la forma de pago digital. En **Tabla 11** se muestran los datos de venta de tickets virtuales a lo largo del año 2013 y durante los siete primeros meses del año 2014.

Año	Mes	Cantidad de tickets
2013	ene-13	14.859
	feb-13	11.716
	mar-13	14.782
	abr-13	17.338
	may-13	17.210
	jun-13	14.862
	jul-13	17.724
	ago-13	18.794
	sep-13	17.268
	oct-13	19.107
	nov-13	17.963
	dic-13	17.212
2014	ene-14	18.971
	feb-14	16.763
	mar-14	15.673
	abr-14	17.037
	may-14	17.805
	jun-14	15.646
	jul-14	18.439
Total	319.169	

Tabla 11. Distribución mensual de la cantidad de tickets vendidos a través de la aplicación “Zona Azul Recife” durante el año 2013 y los siete primeros meses del año 2014.

Estos datos se utilizarán con posterioridad para cruzarlos con los datos de ocupación del estacionamiento regulado y estimar un grado de penetración de la forma de pago digital, sin embargo, al comparar los datos antes y después de la implantación del servicio de información al conductor de plazas de estacionamiento disponibles, **Gráfico 11**, se puede observar que en los mismos meses del año 2013 en que se tenía una cantidad determinada de tickets vendidos, en el año 2014, con el servicio de guiado implantado, se tiene una cantidad mayor.

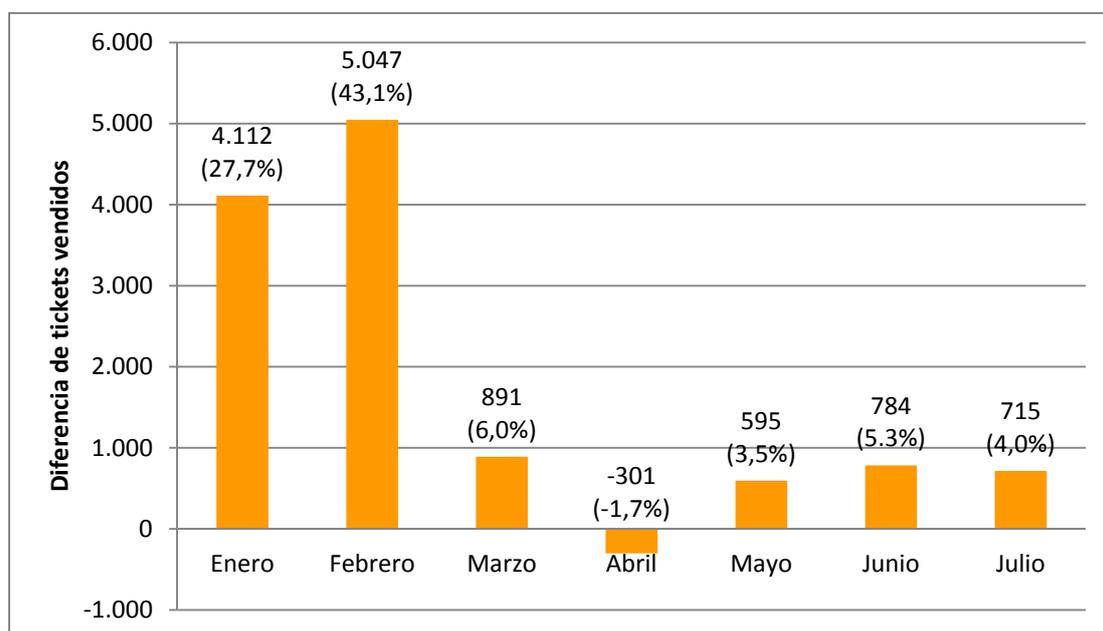


Gráfico 11. Diferencia de tickets virtuales vendidos durante los siete primeros meses del año 2014 en comparación con los mismos meses del año 2013.

Realmente, se aprecia un aumento de venta de tickets mucho mayor en los meses de enero y febrero, por lo que parece que aunque se han tenido en cuenta sólo los datos de venta a partir de varios meses después de la implantación para no tener un sesgo producido por el aumento paulatino de la nueva forma de venta hasta alcanzar su cuota de mercado estable, este sesgo se ha producido, ya que parece que hasta el mes de marzo o abril del año 2013 no se ha alcanzado el régimen normal de ventas de este canal de pago. Por este motivo, aunque el aumento de ventas en los siete primeros meses del año 2014, con el sistema de guiado implantado, en comparación con los mismos meses del año 2013 es del 10,9%, teniendo en consideración únicamente los meses de marzo a julio, ese incremento es del 3,3%.

Este resultado no demuestra que exista una correlación entre la implantación del sistema de guiado y el aumento de la venta de tickets a través de la forma de pago digital, pero sí que está en sintonía con la hipótesis de que la implantación de un servicio de guiado con acceso a través del mismo canal de pago digital, aumenta el número de usuarios que, atraídos por la nueva funcionalidad, utilizan la aplicación para realizar la compra de tickets.

Otro dato interesante es la distribución temporal de activación de los tickets a lo largo de un día laborable. Con los datos existentes se ha representado dicha distribución, **Gráfico 12**, en la que se pone de manifiesto la existencia de dos grandes picos de activación de tickets que coinciden con los horarios de punta de la mañana y del mediodía. Este patrón hace pensar que la utilización mayoritaria de este medio de pago corresponde a usuarios cotidianos, que trabajan en el barrio y compran y utilizan el estacionamiento regulado de forma cotidiana.

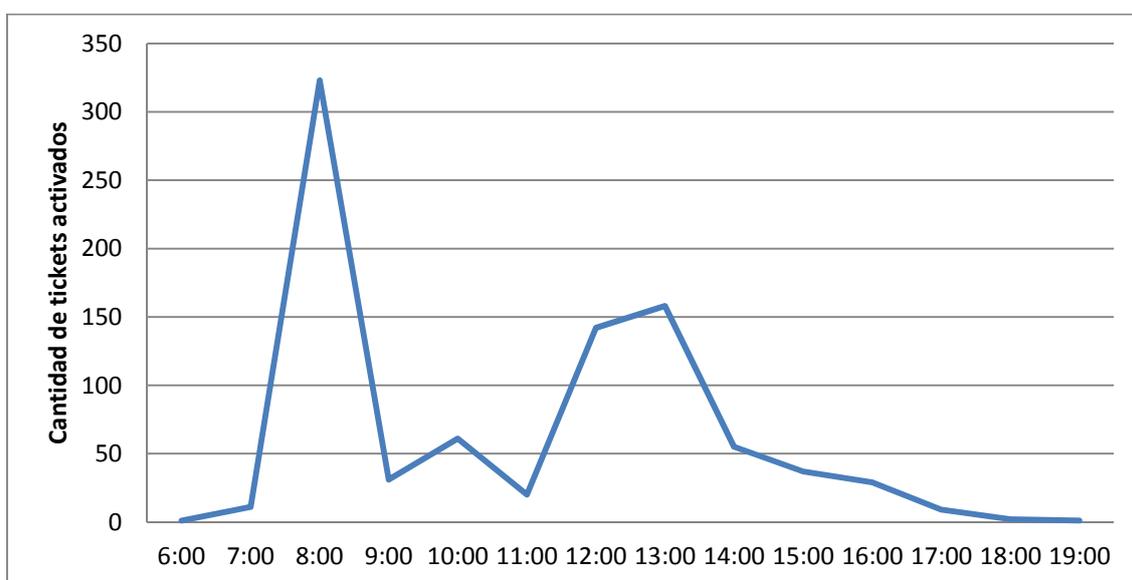


Gráfico 12. Distribución temporal de activación de tickets a lo largo un día laborable

Para determinar si el modo de venta predominante entre los usuarios habituales es el ticket virtual o el ticket en formato papel se necesitaría tener acceso a los datos de venta de esta segunda forma de pago, lo que no ha sido posible, por lo que para estudiar este fenómeno se cruzarán en epígrafes posteriores estos datos con los de ocupación del estacionamiento para estimar un grado de penetración de la forma de pago digital entre los usuarios habituales del estacionamiento regulado.

Sin embargo, lo que da una idea del patrón de usuario del ticket virtual es la cantidad de compras semanales que hacen los conductores que realizan el pago a través de la aplicación de telefonía móvil. Con los datos existentes, se ha confeccionado la **Tabla 12**, en la que se comprueba que el 40,5% de los tickets vendidos durante el periodo de estudio han sido comprados por usuarios que compran más de 5 tickets a la semana y otro 21,5 por usuarios que compran entre 3 y 5 tickets a la semana. Por último, un 25,5% de los tickets vendidos han sido comprados por usuarios que adquieren más de 1 ticket a la semana.

Estos resultados muestran que el 87,5% de los tickets vendidos a través de la plataforma digital han sido comprados por usuarios habituales del estacionamiento regulado, lo que ponen de manifiesto el gran potencial del ticket virtual como canal de gestión de una tarifa dinámica que sirva como herramienta con la que inducir cambios en el comportamiento de la demanda de tráfico, al estar tan conectada a los conductores habituales que realizan sus desplazamientos casa/trabajo durante las horas de punta de la mañana y de la tarde.

	Cantidad de tickets comprados	%
Usuarios que compran más de 5 tickets a la semana	129.175	40,5%
Usuarios que compran entre 3 y 5 tickets a la semana	68.482	21,5%
Usuarios que compran entre 1 y 3 tickets a la semana	81.566	25,6%
Usuarios que compran menos de 1 ticket a la semana	39.945	12,5%
TOTAL	319.169	

Tabla 12. Cantidad de tickets vendidos por tipo de usuarios

6.2. DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PLAZAS DE ESTACIONAMIENTO DISPONIBLES

El análisis del desempeño del sistema de información de plazas disponibles tiene un doble objetivo, por un lado, comprobar su viabilidad técnica y económica y por otro comprobar que es posible crear un ambiente controlado que sirva como escenario de futuros experimentos de investigación en el

campo del estacionamiento regulado, simplificando la toma de datos, tanto manual como automáticamente.

El sistema, como se ha explicado en epígrafes anteriores, se basa en la instalación de cámaras que recogen imágenes de la franja de estacionamiento de las calles donde están instaladas y las envían al sistema central para procesamiento. La lectura de las imágenes es realizada por un software desarrollado “ad hoc” basado en técnicas de reconocimiento de patrones de imagen por red neuronal.

El primer desarrollo del software definía y delimitaba el espacio de cada plaza de estacionamiento y posteriormente identificaba si se este se encontraba ocupado o no por un vehículo. Esta técnica presentaba algunas debilidades asociadas a la división del espacio en plazas completas:

- 1) Una plaza ocupada en un pequeño porcentaje por el vehículo de la plaza adyacente, era leída como ocupada aunque la mayor parte de su longitud estuviese libre permitiendo el estacionamiento de un coche, como se muestra en la **Figura 25**.
- 2) Errores relacionados con fallos de lectura de imágenes: Una plaza de estacionamiento completa libre u ocupada leída erróneamente por el software, era presentada al usuario con un estado equivocado induciendo a los conductores a desistir de una plaza libre o a conducir hasta una plaza ocupada.



Figura 25. Esquema de error-tipo de plaza libre leída como ocupada por pequeña invasión de espacio del vehículo de la plaza adyacente

Para solucionar el primero de los problemas presentados por el desarrollo original, se decidió introducir en el proceso una división menor del espacio de estacionamiento, de forma que quedaba dividido en “rebanadas” menores que representan una fracción de plaza, a la que le será asignado un estado como libre u ocupada, identificando el software una plaza como disponible o no en función del espacio total alcanzado por un grupo de rebanadas libres consecutivas. De esta forma, si, por ejemplo, son detectadas dos fracciones

consecutivas que juntas no representan el espacio de una plaza de estacionamiento, el sistema no caracteriza eso como plaza libre. En caso de que el espacio alcanzado por un conjunto de “rebanadas” libres consecutivas fuese mayor o igual que el de una plaza de estacionamiento, el sistema reconocería la cantidad de plazas correspondiente, en función del espacio libre, como plazas disponibles, conforme se muestra en el esquema de la **Figura 26**.

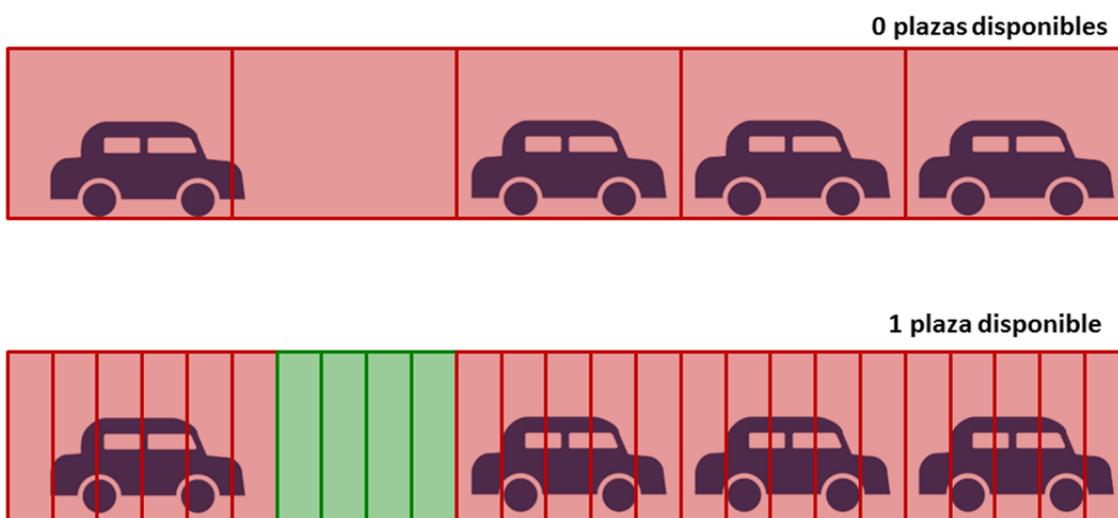


Figura 26. Esquema de la mejora producida con la introducción de una división menor en el espacio de estacionamiento para la lectura de imágenes.

Sin embargo, a pesar de esta mejora significativa, que se vio reflejada en el porcentaje de plazas leídas correctamente, aún se presentaba un problema que generaba una cantidad considerable de errores en la interpretación del estado de una plaza. En el caso de una serie de fracciones consecutivas libres que dan lugar a una plaza disponible, un error de lectura de una de ellas provocaba que el espacio disponible total, antes y después de la “rebanada” interpretada como ocupada no fuese suficiente para conseguir el estado de plaza libre fallando el sistema en la interpretación del estado de la misma, informando que ese espacio estaba ocupado cuando realmente estaba libre.

Este problema se solucionó introduciendo en el software algoritmos de interpretación de la información, por ejemplo, cuando una fracción de espacio era leída como ocupada estando las inmediatamente anteriores y posteriores libres, el software cambiaba automáticamente su estado por libre sumándola al espacio total libre para la interpretación del estado de cada plaza de estacionamiento, conforme se muestra en el esquema de la **Figura 27**.

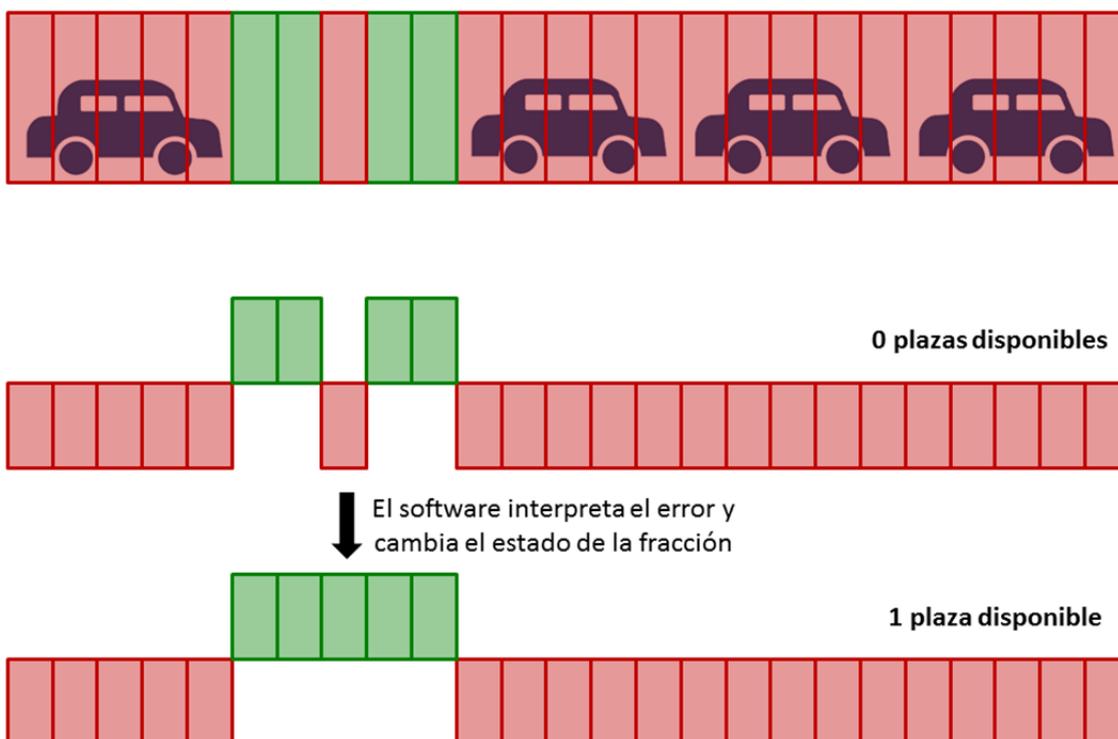


Figura 27. Esquema de la mejora producida por la introducción de algoritmos de interpretación de la información.

Todas estas mejoras impactaban positivamente en la interpretación y porcentaje de acierto del sistema, por lo que el sistema conseguía nos resultados suficientes para garantizar su viabilidad técnica. Sin embargo, el factor que más influencia tiene sobre la viabilidad económica, que es la cantidad de plazas de estacionamiento que puede ser leída por una cámara era relativamente bajo, del orden de 9,5 plazas/cámara. Esta situación venía provocada por la configuración del tejido urbano en el barrio, con calles y manzanas pequeñas, y estacionamiento sólo de un lado, que obligan a la instalación de cámaras para la lectura de una cantidad pequeña de plazas en muchos tramos, como se muestra en la **Figura 28**.

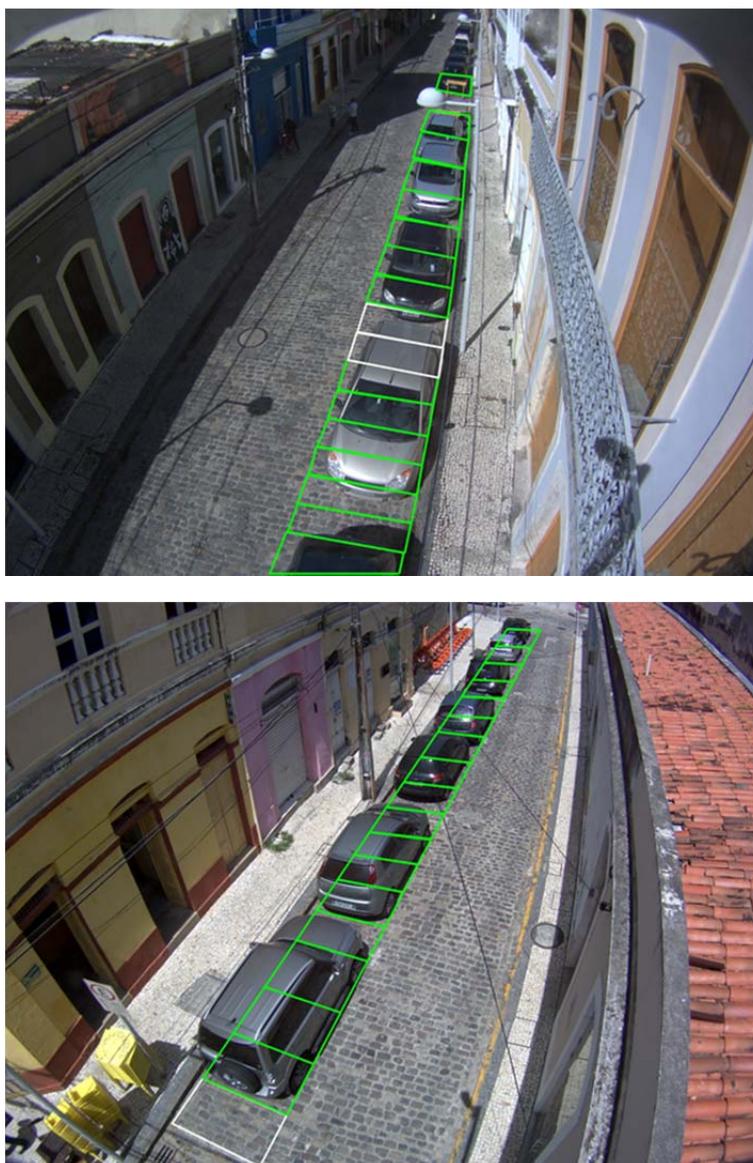


Figura 28. Ejemplo de situaciones en las que existe la necesidad de implantación de una cámara para leer pocas plazas de estacionamiento

Esta deficiencia fue suplida con la instalación de cámaras denominadas “ojo de pez”, que es un formato especial de cámara con objetivo gran angular, cuyo ángulo de visión alcanza en este caso 360°. La imagen obtenida está distorsionada, asemejándose a la imagen reflejada en un espejo cóncavo o en una esfera, que es lo que permite ese ángulo de visión. De esta forma, la imagen obtenida es fragmentada en imágenes en distintas direcciones como si se tratase de una cámara normal móvil con preselecciones de posición, permitiendo la lectura de las distintas partes de la imagen 360° tras la corrección de esta.

Así pues, en muchos casos en los que eran necesarias más de una cámara para leer todas las plazas de estacionamiento del entorno, se puede utilizar una cámara “ojo de pez” solamente, como en el ejemplo mostrado en la **Figura 29**, disminuyendo la cantidad total de cámaras a implantar para cubrir una área determinada.

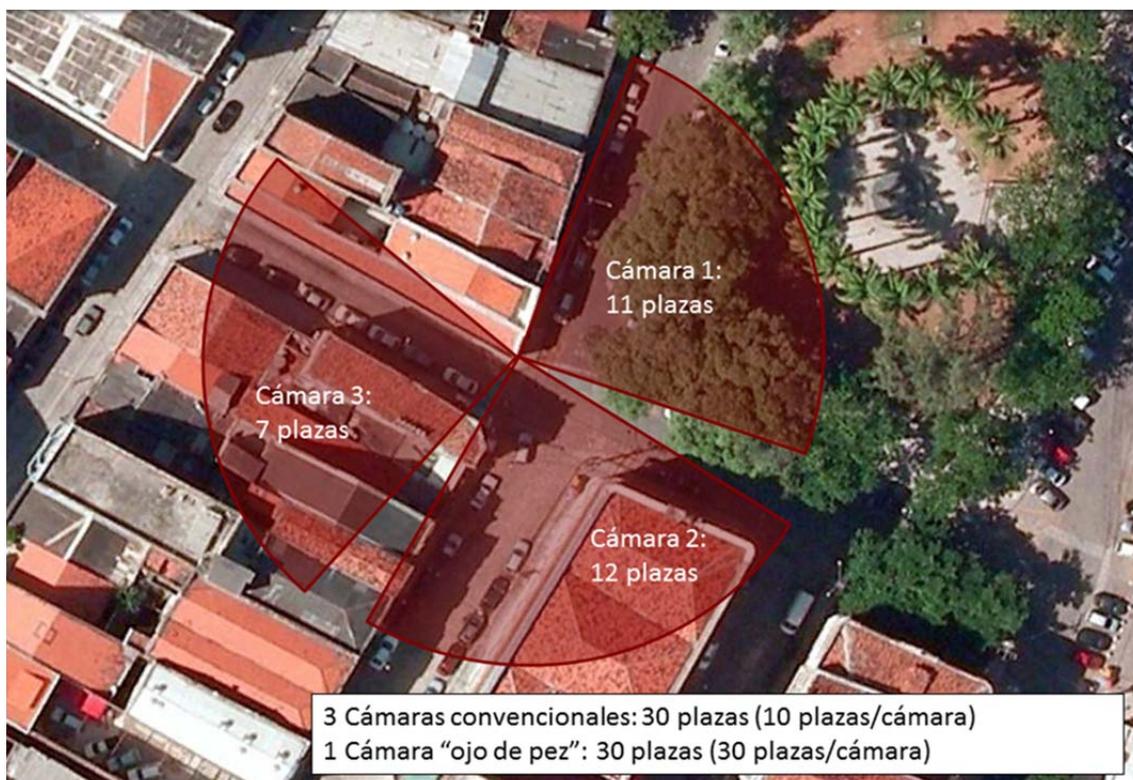


Figura 29. Ejemplo de reducción de la cantidad de cámaras necesarias para cubrir un área determinada con la utilización de cámaras “ojo de pez”.

De esta forma, al tener ambos tipos de cámara unos costes similares de adquisición, instalación y mantenimiento, el coste por plaza se reduce a algo menos de la mitad, viabilizando económicamente el sistema de información a los conductores de plazas de estacionamiento disponibles en el área de estacionamiento regulado en vía pública.

La evolución positiva del desempeño de este sistema, que garantiza su viabilidad técnica y económica, se debe a las mejoras en todos los aspectos explicados, tanto en la lectura de imágenes, como en el tipo de cámara y los cambios en el software.

La mejora en la lectura de imágenes e interpretación del estado de un espacio, bien fuese una plaza completa o una fracción de esta, siempre fue progresiva,

a través del entrenamiento de la red neuronal y mejoras en la interpretación de escenarios con lluvia y nocturnos, que fueron los que más problemas presentaron.

En contraposición, todos los cambios introducidos tanto en la división del espacio como en la interpretación de resultados por parte del software aumentaban el grado de acierto en la información del estado de una plaza de estacionamiento, sin que tuviese que mejorar mucho el acierto en la lectura de las imágenes. Es decir, incluso con errores en la lectura de imágenes, tras la división espacial en fracciones menores y los cambios en el software, se podía facilitar la información correcta del estado de la plaza de estacionamiento correspondiente.

Para conocer el grado de acierto en cada caso, se realizó un seguimiento del desempeño del sistema en cada fase del desarrollo, de forma que se escogían muestras aleatorias de conjuntos de plazas de estacionamiento, y se contaba el número de espacios leídos y la proporción de aciertos en esa lectura, así como la cantidad de plazas de estacionamiento cubierta y la proporción de aciertos en su estado en cada instante. Con estos datos se ha realizado la **Tabla 13**, en la que se puede comprobar la mejoría experimentada por la lectura de imágenes, la interpretación del estado de las plazas de aparcamiento y la cantidad de plazas cubierta por una cámara.

Desarrollo	% Lecturas correctas	% de estados de plaza correctos	Plazas /cámara
Cámara estándar y software de lectura por plaza	87,5%	77,4%	9,5
Cámara estándar y software de lectura por fracciones	87,7%	87,5%	9,5
Cámara estándar y software de lectura por fracciones mejorado	89,2%	94,5%	9,5
Cámara ojo de pez y software de lectura por fracciones mejorado	91,7%	95,9%	19,7

Tabla 13. Grado de acierto de lecturas e interpretación de estado de plaza, así como cantidad de plazas cubiertas por cámara del sistema en cada fase del desarrollo

Con los datos de la **Tabla 13**, y más visualmente en el **Gráfico 13**, se constata que el gran salto de mejora de desempeño en la proporción de aciertos a la hora de interpretar el estado de una plaza de estacionamiento se produce con la introducción de la división del espacio de estacionamiento y las modificaciones del software mediante la introducción de algoritmos de interpretación de los resultados.

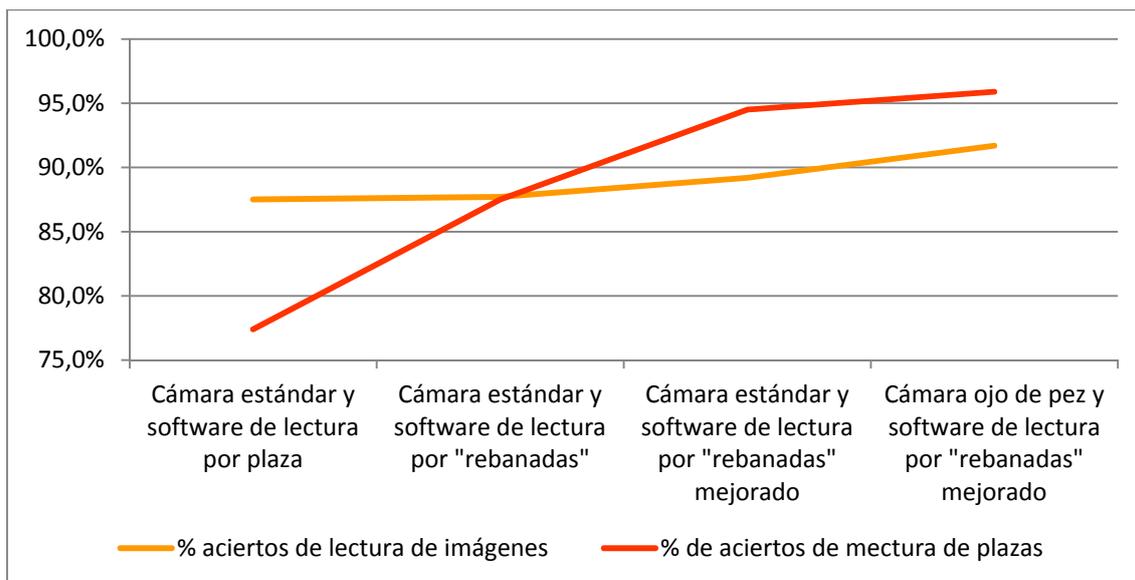


Gráfico 13. Evolución del acierto del sistema en lectura de imágenes e interpretación del estado de una plaza de estacionamiento a lo largo de su desarrollo

Con estos resultados se comprueba la viabilidad técnica y económica del sistema de información a conductores de plazas de aparcamiento disponibles en el área de estacionamiento regulado en vía pública.

De la misma forma, los datos recogidos por dicho sistema proporcionan una mejora sustancial en la toma de datos de estacionamiento en el área de estudio, creando un espacio controlado y monitoreado continuamente y en tiempo real que permite la realización de experimentos en estudios de investigación en el campo del estacionamiento regulado.

A todo esto hay que unirle, aunque no se describen por no ser objeto del presente trabajo, los beneficios añadidos que la detección de plazas libres de estacionamiento a través de cámaras tiene en comparación con otros modos, como son la seguridad, por tener el ambiente controlado y monitoreado en tiempo real, la toma de datos de tráfico, permitiendo la realización de

grabaciones en cualquier vía del área que permitiría la realización tanto de aforos como de estudios origen destino, así como la influencia de cualquier medida en la demanda de tráfico.

6.3. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTO

6.3.1. DATOS DE DEMANDA DE ESTACIONAMIENTO

Tras la caracterización del espacio destinado al estacionamiento en el barrio de Recife y con los datos recogidos y registrados por las cámaras de detección de plazas libres, se puede caracterizar la demanda de estacionamiento en el área de estudio, incluso de forma diferenciada por tipo de plaza de estacionamiento según tiempo de permanencia máxima, a través de parámetros como:

- Ocupación y rotación del estacionamiento.
- Distribución de los tiempos de permanencia en las plazas.
- Periodos de pico.
- Número de ocupantes por vehículo.

Para ello fueron tomadas muestras aleatorias de tramos de estacionamiento regulado con plazas de distinto tiempo de permanencia máxima, incluso se monitoreó una pequeña área de estacionamiento libre como muestra de comparación. En estos tramos, las cámaras de detección de plazas libres reconocen y registran automáticamente el dato de ocupación de la misma, permitiendo conocer no sólo el grado de ocupación global, sino también la distribución de este parámetro a lo largo de un día laborable, por ejemplo, al estar cada dato registrado asociado a una localización, una fecha y un instante determinado.

Sin embargo, parámetros como la rotación o el tiempo de permanencia en una plaza de estacionamiento debieron ser estudiados a través de toma de datos manual. Sin embargo, en vez de realizar una toma de datos al uso en este tipo de estudios, en el que una o varias personas realizar diferentes pasadas en diferentes horarios por tramos de estacionamiento anotando las matrículas de los vehículos de cada plaza, con la presencia de las cámaras y el monitoreo en tiempo real del área de estudio, se realizó la toma de datos de esta parte del estudio desde la central de control, anotando apenas eventos de llegada/salida de vehículos en cada plaza de la muestra.

Se ha realizado un primer estudio entre las 6:00 y las 21:00 horas, a pesar de que el horario en el que el estacionamiento es cobrado se restringe sólo de las 8:00 a las 18:00. Se ha tomado este horario extendido para poder entender de donde viene la situación que se presenta a las 8:00 horas, momento en que ya está prácticamente ocupada la totalidad de las plazas disponibles; así como para poder tener datos reales de tiempo medio de permanencia de los usuarios, ya que existe una gran cantidad de ellos que llega entre las 6:00 y las 8:00 horas y no sale hasta la tarde.

Con los datos recogidos en la toma de datos se ha realizado la **Tabla 14**, donde se recogen los parámetros básicos para la caracterización de la demanda de estacionamiento según el tipo de plaza; libre y de tiempo de permanencia máxima de dos o cinco horas.

TIPO DE REGULACIÓN	TASA DE ROTACIÓN (veh/plaza)	TASA DE OCUPACIÓN DEL SISTEMA	TIEMPO DE PERMANENCIA EN LA PLAZA	TIEMPO PARA QUE UNA PLAZA QUEDE LIBRE
2 horas	2,13	70%	4:54:06	0:52:56
5 horas	2,41	74%	4:54:11	0:44:08
Sin regulación	1,57	62%	6:17:30	1:52:30

Tabla 14. Parámetros básicos para la caracterización de la demanda de estacionamiento según tipo de regulación

Como cabía esperar, la rotación en las plazas de estacionamiento sin regulación es significativamente inferior a la de las reguladas, con una tasa de rotación de apenas un vehículo y medio por plaza de aparcamiento. Sin embargo, contrariamente a lo que se esperaba, o al menos la lógica indica, es que la tasa de rotación de las plazas reguladas con permanencia máxima de 5 horas es mayor que la de las de 2 horas. Esta anomalía, tras la observación del sistema de estacionamiento regulado, puede venir del hecho de la sobresaturación del aparcamiento en el barrio por conductores que se desplazan con motivo trabajo y van a permanecer estacionados un largo periodo de tiempo diariamente. En este escenario, los conductores que llegan más temprano se dirigen preferencialmente a las plazas de 5 horas de permanencia máxima, que presentan una ocupación media mayor (del 74% frente al 70% de ocupación de las plazas de 2 horas), quedando las plazas de 2 horas de permanencia máxima para los conductores que llegan después, independientemente de su destino o del tiempo previsto de estancia en la plaza. Los conductores que llegan más temprano también salen antes por lo que dejan su plaza libre para otro uso aumentando la rotación en las plazas de

5 horas. Por este motivo, el tiempo medio de permanencia en una plaza es similar en ambos tipos, muy influenciado por el tiempo de permanencia de los trabajadores del barrio, que representan un alto porcentaje de los vehículos estacionados.

Este fenómeno se ve más claramente cuando se restringe el estudio al horario en el que es cobrado el estacionamiento regulado, entre las 8:00 y las 18:00 horas, cuya comparación con el horario anterior se recoge en la **Tabla 15**. En este horario, se da el mismo fenómeno, pero más acentuado, apenas hay diferencia en la tasa de rotación entre los dos tipos de plaza regulada y la ocupación es casi total durante el horario de pago del estacionamiento en ambos casos, existiendo una pequeña diferencia de ocupación, siendo mayor en la de la plaza de 5 horas.

TIPO DE REGULACIÓN	Entre 6:00 y 21:00		Entre 8:00 y 18:00	
	TASA DE ROTACIÓN (veh/plaza)	TASA DE OCUPACIÓN	TASA DE ROTACIÓN (veh/plaza)	TASA DE OCUPACIÓN
2 horas	2,13	70%	1,80	91%
5 horas	2,41	74%	1,83	95%
Sin regulación	1,57	62%	1,57	86%

Tabla 15. Parámetros básicos para la caracterización de la demanda de estacionamiento según tipo de regulación en horario de 6:00 a 21:00 horas y en horario de pago del estacionamiento de 8:00 a 18:00 horas

De hecho, en una distribución de la permanencia en una plaza por tipo, resumida en la **Tabla 16**, se comprueba que el porcentaje de vehículos que permanece más de 5 horas en una plaza es similar para los dos tipos de regulación, de casi el 40%.

TIPO DE REGULACIÓN	% DE PERMANENCIA					
	HASTA 1 HORA	DE 1 a 2 HORAS	DE 2 a 3 HORAS	DE 3 a 4 HORAS	DE 4 a 5 HORAS	MÁS DE 5 HORAS
2 horas	16%	13%	9%	6%	19%	38%
5 horas	24%	15%	6%	9%	8%	38%
Sin regulación	31%	5%	0%	0%	0%	64%

Tabla 16. Distribución del porcentaje de conductores según tiempo de permanencia en una plaza, por tipo de regulación

Esta situación de sobresaturación del estacionamiento, se pone de nuevo de manifiesto al comprobar que el porcentaje de vehículos que permanece en una plaza menos de 2 horas es significativamente superior en el espacio con permanencia máxima de 5 horas, alcanzando el 39% de los vehículos, por el 29% correspondiente a las plazas de 2 horas.

El análisis de la demanda de estacionamiento deja claro, pues, que la ordenación del espacio en diferentes tipos de plaza en el barrio de Recife, permitiendo un tiempo de permanencia mayor en zonas con menor actividad y una permanencia menor en zonas con mayor demanda, no es eficaz en términos de aumentar la rotación en las plazas más demandadas, debido fundamentalmente a la alta demanda de estacionamiento y el poco poder disuasorio de una tarifa muy baja, apenas R\$ 1,00 (0,34 € al cambio en fecha del presente estudio) por 2 ó 5 horas de estacionamiento. Sin embargo, es eficaz en la distribución del tráfico de la hora punta de la mañana, ya que dirige a los conductores en primer lugar a las plazas más económicas (en este caso, con mayor tiempo de permanencia máxima permitida) en vez de las más próximas a su destino.

En resumen, tanto la ocupación como la rotación de las plazas de estacionamiento regulado en vía pública en el barrio de Recife son muy similares, mostrando un escenario de muy alta demanda de estacionamiento por parte de conductores con necesidades de grandes tiempos de permanencia.

Una imagen muy ilustrativa de esta situación es la recogida en el **Gráfico 14**, que recoge el perfil de ocupación de las plazas de estacionamiento, según el tipo, durante el horario estudiado de 6:00 a 21:00 horas.

Se puede comprobar que las plazas de mayor permanencia máxima permitida (5 horas) son las primeras en ocuparse, corroborando que los conductores que llegan más temprano eligen estas plazas por su tiempo de permanencia mayor con una tarifa idéntica y no por su destino final.

Al ser tan alta la proporción de conductores que van al trabajo y necesitan permanecer estacionados un tiempo en la cantidad total de conductores que estacionan en el barrio, el peso de la tarifa diaria de estacionamiento pesa mucho en la toma de decisiones, siendo en la plaza de mayor permanencia máxima permitida 2,5 veces menor que en la otra.

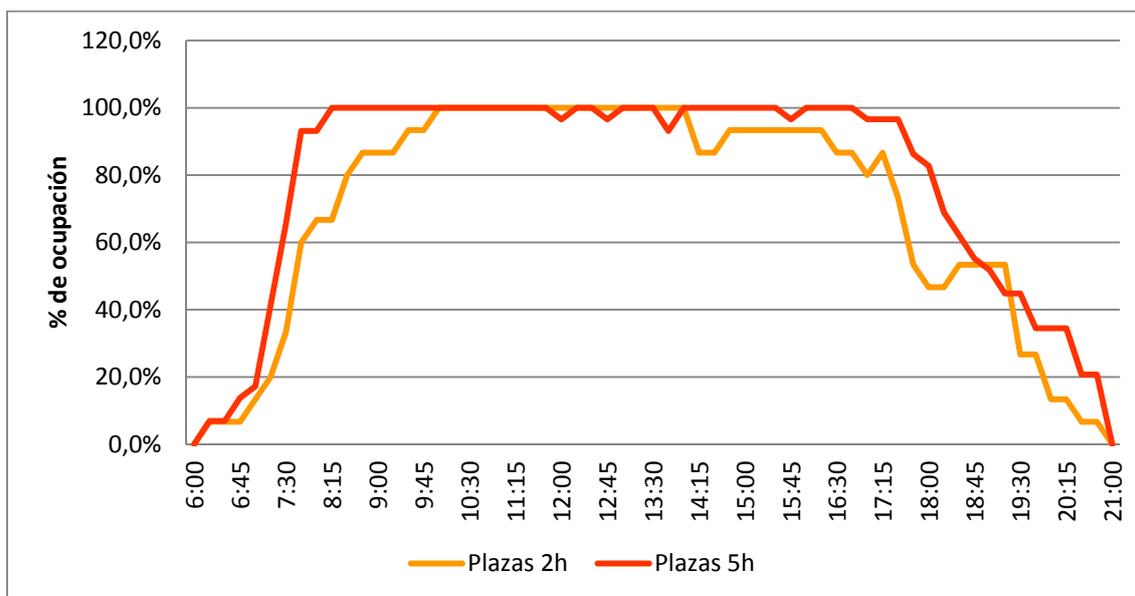


Gráfico 14. Perfil de ocupación de las plazas de estacionamiento del barrio de Recife, según su tipo, a lo largo de un día laborable.

En este escenario, una política de estacionamiento regulado que pretende fomentar la rotación no es eficaz en ese aspecto, ya que las 878 plazas de estacionamiento regulado apenas son utilizadas por 1.602 vehículos durante el horario de pago del estacionamiento, consiguiendo un rendimiento muy bajo del espacio destinado al estacionamiento de vehículos en el barrio y acarreando los problemas relatados en el epígrafe 5.1.3.

6.3.2. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DERIVADOS DE LOS DATOS DE DEMANDA Y DE UTILIZACIÓN DE LA FORMA DE PAGO DIGITAL

Cruzando los datos de caracterización de la demanda de estacionamiento con los datos de ventas y activación de tickets virtuales, se puede obtener la información que le faltaba al estudio por no haber tenido acceso a los datos de venta de tickets en formato papel.

En primer lugar, para definir el grado de penetración de la venta de tickets a través de la aplicación para telefonía móvil “Zona Azul Recife”, se ha estimado la cantidad de tickets que se deberían haber vendido según los datos derivados del estudio de ocupación y rotación del estacionamiento, es decir, la cantidad de tickets que los conductores deberían haber comprado según el tiempo de permanencia y el tipo de plazas, si hubieran respetado estrictamente las reglas de uso del sistema de estacionamiento regulado. Si se comparan estos datos con los de la venta de tickets virtuales mensual, recogida en la **Tabla 17**, se

comprueba que el grado de penetración de la compra en formato digital de tickets sobre el total teórico que debería haberse vendido es del 27,5%.

Este valor del porcentaje de tickets vendidos a través de la aplicación para telefonía móvil sobre el total indica una penetración relativamente alta de la forma de pago digital en la compra de tickets de estacionamiento regulado en el barrio de Recife.

El valor de la proporción de tickets comprados por los usuarios mediante la plataforma de venta digital se mantiene más o menos constante a lo largo del tiempo de estudio, aumentado ligeramente con el tiempo, de un 25,7% en los siete primeros meses del año 2013 a un 28,1% en los mismos meses del año 2014.

Mes	Tickets teóricos	Tickets virtuales	% Tickets virtuales
ene-13	64.334	14.859	23,1%
feb-13	49.637	11.716	23,6%
mar-13	62.393	14.782	23,7%
abr-13	57.956	17.338	29,9%
may-13	64.334	17.210	26,8%
jun-13	59.620	14.862	24,9%
jul-13	64.334	17.724	27,5%
ago-13	65.166	18.794	28,8%
sep-13	61.561	17.268	28,1%
oct-13	66.275	19.107	28,8%
nov-13	58.788	17.963	30,6%
dic-13	58.788	17.212	29,3%
ene-14	64.334	18.971	29,5%
feb-14	58.788	16.763	28,5%
mar-14	53.242	15.673	29,4%
abr-14	60.729	17.037	28,1%
may-14	62.393	17.805	28,5%
jun-14	61.561	15.646	25,4%
jul-14	67.107	18.439	27,5%
TOTAL	1.161.340	319.169	27,5%

Tabla 17. Grado de penetración de la forma de pago digital en la compra tickets sobre los valores teóricos suponiendo un 100% de respeto

En la interpretación de estos resultados se debe tener en cuenta que la tasa de respeto del estacionamiento regulado en Brasil no es muy alta. De hecho, se considera entre el 40 y el 60% en los pliegos de licitaciones para las concesiones de estos servicios. Si se tienen en cuenta esos datos y se representa el grado de penetración del formato digital en la venta de tickets de Zona Azul con tasa de respeto del 40%, 50% y 60%, cuyos valores se recogen en la **Tabla 18**, se observa como este varía entre el 45,9% y el 68,6%, lo que representa un grado de penetración muy elevado para la forma de pago digital.

Mes	Tasa de respeto 40%	Tasa de respeto 50%	Tasa de respeto 60%
ene-13	57,7%	46,2%	38,5%
feb-13	59,0%	47,2%	39,3%
mar-13	59,2%	47,4%	39,5%
abr-13	74,8%	59,8%	49,9%
may-13	66,9%	53,5%	44,6%
jun-13	62,3%	49,9%	41,5%
jul-13	68,9%	55,1%	45,9%
ago-13	72,1%	57,7%	48,1%
sep-13	70,1%	56,1%	46,8%
oct-13	72,1%	57,7%	48,0%
nov-13	76,4%	61,1%	50,9%
dic-13	73,2%	58,6%	48,8%
ene-14	73,7%	59,0%	49,1%
feb-14	71,3%	57,0%	47,5%
mar-14	73,6%	58,9%	49,1%
abr-14	70,1%	56,1%	46,8%
may-14	71,3%	57,1%	47,6%
jun-14	63,5%	50,8%	42,4%
jul-14	68,7%	55,0%	45,8%
TOTAL	68,6%	55,0%	45,9%

Tabla 18. Grado de penetración de la forma de pago digital en la compra tickets para distintos valores de la tasa de respeto

Si se analiza la distribución del grado de penetración de la forma de pago digital en la activación de tickets de Zona Azul a lo largo de un día laborable, representada en el **Gráfico 15** para la cantidad teórica de tickets que debería haberse comprado en cada momento del día, se comprueba que los mayores porcentajes de compra a través de la plataforma digital coincide con las dos puntas diarias de mayor demanda de estacionamiento, y por tanto mayor demanda teórica de tickets.

Este resultado no hace más que reafirmar que los usuarios que utilizan el estacionamiento de forma cotidiana son los que más utilizan el ticket virtual, o lo que es lo mismo, el grado de penetración de la forma de pago digital en la compra de tickets de estacionamiento regulado en el barrio de Recife por parte de usuarios que trabajan en esa zona es significativamente más elevado que en usuarios esporádicos, llegando a ser del 66,0% en la punta de la mañana y del 69,6 % en la punta de la tarde.

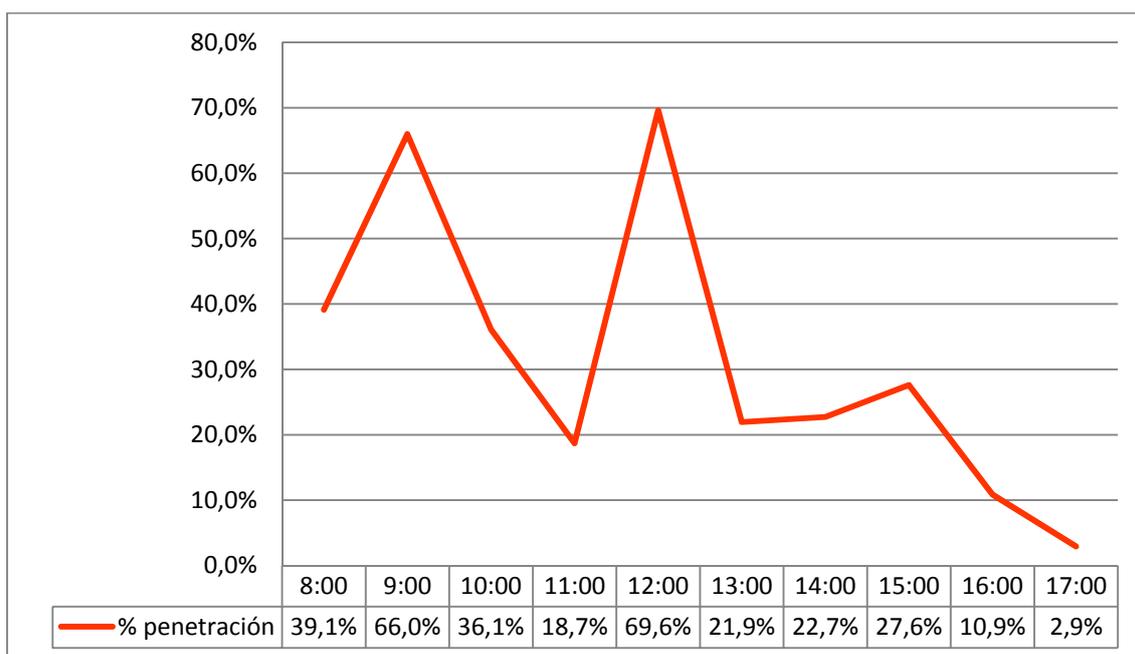


Gráfico 15. Distribución horaria del grado de penetración de la forma de pago digital en la compra de tickets de Zona Azul a lo largo de un día laborable

De esta forma, se tiene un escenario en el que los conductores que trabajan en el barrio llegan durante la punta de tráfico matutina y ocupan en primer lugar las plazas de permanencia máxima permitida mayor, habiendo comprado previamente el ticket virtual y activándolo tras el estacionamiento del vehículo

en una alta proporción de los casos. La mayoría de ellos, en contra de las reglas de uso, no retira el vehículo de la plaza ocupada, sino que activa otro ticket tras haber finalizado la validez del que se ha activado por la mañana, retirando el vehículo al final de la jornada y volviendo a casa en la hora punta vespertina. Se tiene, por tanto, un escenario típico de área con una demanda de estacionamiento y una situación de saturación del espacio destinado a este fin.

El hecho de que la mayoría de estos usuarios-tipo utilice el ticket virtual para la compra del ticket de estacionamiento regulado en el barrio supone una ventaja muy importante a la hora de utilizar la tarifa dinámica como una herramienta de gestión de la demanda de tráfico o de estacionamiento, ya que cualquier cambio en la tarifa o en las reglas de uso de un área del barrio, sería conocida inmediatamente por los conductores que adaptarían su comportamiento a la nueva situación haciendo más sensible la demanda de tráfico y de estacionamiento a la variación de la tarifa que si la forma de pago fuese sólo a través de compra directa de ticket en formato papel en los puntos de venta autorizados.

7. CONCLUSIONES

El diseño, la implantación y el análisis de un sistema de gestión dinámica del estacionamiento regulado en vía pública en el barrio de Recife, en la ciudad brasileña de Recife (Pernambuco) ha permitido extraer conclusiones interesantes, siendo la primera de ellas la confirmación de la viabilidad técnica y económica del mismo.

La viabilidad técnica viene definida por dos aspectos fundamentales, el primero es el buen funcionamiento y alto grado de penetración de la herramienta de compra digital desarrollada, consistente en una aplicación para telefonía móvil que permite la compra y activación del derecho de estacionamiento en el barrio, estimándose que entre el 45,9% y el 68,6% de las compras de tickets de Zona Azul son realizadas por este medio de pago.

El segundo aspecto que define la viabilidad técnica del sistema de gestión dinámica del estacionamiento regulado es el buen grado de desempeño del sistema de detección de plazas de estacionamiento disponibles en la vía pública a través de una red de cámaras y un software de lectura e interpretación de imágenes.

La viabilidad económica viene definida, fundamentalmente, por el bajo coste por plaza al que se ha reducido la implantación del sistema de gestión del estacionamiento estudiado al introducir ciertas mejoras, sobre todo en el

sistema de detección de plazas libres de estacionamiento, que ha pasado de cubrir apenas 9,5 plazas de estacionamiento por cada cámara instalada a cubrir casi 20 (exactamente 19,7) con la introducción de las cámara tipo “ojo de pez” y las modificaciones en el software necesarias para su lectura. De esta forma, el coste por plaza de estacionamiento se ha reducido hasta un nivel más que aceptable, y mucho más en concesiones a largo plazo, que es la forma de gestión más común en el estacionamiento regulado.

A este hecho, hay que añadirle el fenómeno observado del aumento de la venta de tickets a través de la aplicación para telefonía móvil tras la implantación del servicio de información de plazas de aparcamiento disponibles, accesible en la misma aplicación; sin mayor estudio de existencia de correlación entre ambos hechos.

A pesar del enorme interés de estos resultados, desde el punto de vista científico la situación definida durante el estudio en el barrio de Recife permite establecer otras conclusiones de un enorme interés.

En el escenario estudiado, la mayoría de los conductores que llegan y estacionan en el barrio son personas que trabajan allí, de modo que tienen necesidades de largas permanencias en la misma plaza. Los conductores que llegan más temprano, durante el periodo de punta matutino, estacionan primero en las plazas de mayor permanencia máxima permitida, que son las de 5 horas, independientemente de su destino, lo que pone en evidencia el potencial de la tarifa de estacionamiento para producir alteraciones en la demanda de tráfico. De hecho, en el barrio, a las 8:00 horas, instante en el que comienza a ser cobrado el estacionamiento regulado, prácticamente la totalidad de las plazas de 5 horas de permanencia máxima permitida están ocupadas, mientras que un tercio de las de 2 horas están desocupadas todavía. Esto es debido a la diferencia de tarifa existente, siendo el valor por hora de la menor de R\$ 0,20 (lo que equivale a 0,07 € al cambio a fecha del presente estudio) y el de la mayor de R\$ 0,50 (0,17 € a la misma tasa de cambio), es decir 2,5 veces más barata, lo que implica un ahorro considerable para conductores que suelen permanecer estacionados durante toda la jornada laboral.

Sin embargo, una tarifa tan baja no tiene el suficiente poder disuasorio para la demanda de estacionamiento, por lo que en el escenario estudiado las plazas de estacionamiento regulado se encuentran ocupadas prácticamente la totalidad del tiempo, presentando tasas de ocupación del 91% las plazas de 2 horas de permanencia máxima permitida y del 95% las de 5 horas.

A esto hay que añadirle el hecho de que el grado de penetración de la forma de pago digital es significativamente mayor entre los conductores que habitualmente estacionan en el área de estudio, o, dicho de otro modo, los conductores que siguen el patrón de estacionamiento de larga duración por

motivo trabajo suele realizar las compras y las activaciones del ticket a través de la plataforma digital desarrollada de forma mayoritaria. Este tipo de usuario-patrón, por lo que se ha constatado con la experiencia, estaciona su vehículo durante la hora punta de la mañana y en vez de retirarlo una vez se agota el tiempo máximo de permanencia, como establecen las reglas de uso de la Zona Azul de Recife, activan un ticket de nuevo que les permite continuar estacionados hasta el final de la jornada laboral, momento en el que retiran su vehículo para la vuelta a casa durante la hora punta vespertina.

Este alto grado de penetración de la forma de pago digital entre los usuarios habituales del estacionamiento regulado representa una importante ventaja a la hora de utilizar un sistema de tarifa dinámica como herramienta de gestión de la demanda de tráfico y de estacionamiento, debido a que cualquier cambio en la tarifa o en las reglas de uso de un área del barrio o de su totalidad sería conocido inmediatamente por la mayoría de los conductores que se dirigen hacia dicha área, adaptando su comportamiento al nuevo escenario. Esta rapidez en la variación del comportamiento de los conductores inducida por cambios en la tarifa o reglas de uso de un área de estacionamiento regulado hacen más sensible la demanda de tráfico y de estacionamiento a la variación de tarifa que si la forma de pago fuese sólo a través de compra directa de ticket en formato papel en los puntos de venta autorizados.

Otra ventaja de la utilización de la forma de pago digital es el ahorro de tiempo que supone para el usuario el no tener que hacer el doble recorrido desde el vehículo hasta el punto de venta autorizado, para la compra del ticket, y posterior vuelta al vehículo para depositarlo en lugar visible, que debe ser realizado en la compra del ticket en formato papel. Si a esta acción se añade el hecho de que no todos los conductores conocen la localización de los puntos de venta, habría que adicionar a la ineficiencia del método de compra directa la búsqueda del punto de venta.

Este ahorro de tiempo supone un importante aumento de la productividad, y más aún en un escenario en el que el destino del viaje es mayoritariamente por motivo de trabajo.

Al potencial existente de la tarifa dinámica como herramienta de la gestión de la demanda de tráfico y de estacionamiento hay que añadirle el hecho del completo monitoreo tanto de la ocupación de todas las áreas del barrio donde existe estacionamiento regulado como de la intensidad de tráfico en todos los accesos al este. De esta forma, el establecimiento de la tarifa podría estar directamente asociado con la situación existente o prevista del estacionamiento en un área determinada o del estado del tráfico en un acceso en concreto, permitiendo una gestión mucho más eficiente.

Por todos estos motivos, se dan las condiciones idóneas en el área diseñada para la realización de experimentos de potenciales estudios de investigación en el campo del estacionamiento y su regulación, ya que se tiene un escenario de alta demanda de estacionamiento en un espacio que se tiene controlado y monitoreado de forma continua y en tiempo real.

De esta forma la toma de datos en cualquier experimento, bien sea de demanda de tráfico, con las cámaras OCR en los accesos al barrio, o de demanda de estacionamiento, con el sistema de detección de plazas disponibles, o se realiza de forma automática, quedando registrados los datos en el sistema central, o se facilita la toma de datos manual, pudiendo utilizarse los archivos de video registrados por las cámaras.

Además, cualquier alteración a incluir en el escenario original podría realizarse a través de la aplicación para telefonía móvil desarrollada, que es usada cotidianamente por la mayoría de los conductores que habitualmente utilizan el estacionamiento regulado en el barrio.

8. PROPUESTA DE MEJORAS DEL SISTEMA

A la luz de los resultados obtenidos con anterioridad, se pueden plantear diversas mejoras en el sistema de gestión del estacionamiento regulado en vía pública diseñado e implantado.

Cabe diferenciar estas mejoras en mejoras operacionales, mejoras en el sistema o en la propia gestión del estacionamiento regulado.

Como mejoras operacionales, se plantean fundamentalmente dos: la primera sería el aumento del horario de funcionamiento de la regulación del estacionamiento en vía pública en el barrio de Recife. Según los resultados obtenidos en el estudio de caracterización de la demanda de estacionamiento, se ha comprobado que a las 7:30 horas más de la mitad de las plazas de estacionamiento están ocupadas, concretamente el 59,2% de ellas, y que a las 19:00 aún están ocupadas el 52% de las mismas. De esta forma, se propone un nuevo horario de funcionamiento los días laborables que se extienda entre las 7:00 y las 19:00 horas.

La segunda mejora operacional que se propone es un refuerzo en el control del pago y el cumplimiento de los tiempos máximos de permanencia, y de la multa asociada a la falta de observancia de las reglas de uso. En este caso, el control del estacionamiento regulado es realizado directamente por funcionarios de la administración pública, sin que exista un control previo de trabajadores de la empresa operadora del servicio. De esta forma, el control es demasiado laxo, situación común en todo el país, presentando tasa de respeto relativamente

bajas. Para mejorar esta situación se propone el control del estacionamiento por parte de trabajadores de la empresa operadora que comprobarían visualmente la presencia de ticket en formato papel en el interior del vehículo o de ticket virtual activo asociado a la matrícula a través de un terminal portátil conectado con la base de datos. Ese terminal puede llevar asociado una impresora de forma que ante una situación de impago, el trabajador pueda emitir un aviso de irregularidad que dejaría en el vehículo, reduciéndose la tarea de los agentes de tráfico a la emisión de la correspondiente multa por la irregularidad, lo que liberaría de una gran parte de la carga de trabajo a la administración pública, aumentando la eficacia del control y, por tanto, creciendo la tasa de respeto.

Aumentando un grado el nivel de mejora, se podría pensar en un equipamiento de lectura automática de matrículas que, en el caso de servicios con forma de compra exclusivamente vía digital, pudiese realizar un barrido por la franja de estacionamiento (por ejemplo, montado sobre un vehículo) detectando automáticamente las irregularidades existentes, por consulta con la base de datos, y asociándoles unas coordenadas, de forma que la administración pública recibiera solamente una ruta con dichas irregularidades, o incluso, que fuese homologado por el DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito do Brasil) y los agentes de tráfico sólo tuviesen que formalizar la multa.

Como mejoras en el sistema de gestión se plantean también principalmente dos, que serían la instalación cámaras tipo “ojo de pez” en toda la red de cámaras implantadas, dado que los test con este tipo de cámaras se han reducido a algunas áreas, y la desaparición del ticket en formato papel, quedando como única forma de compra el ticket virtual.

De esta forma, todos los conductores tendrían que realizar las operaciones de compra y activación de ticket a través de la plataforma digital, quedando registrados en la base de datos y permitiendo el control en tiempo real al cruzar estos datos con los de ocupación registrados por la cámaras. De esta forma, si se conoce el número de plazas ocupadas y el número de tickets activos, se conoce la cantidad de vehículos en situación irregular que hay en cada momento.

Si a esto se le añade la obligación de informar del lugar de estacionamiento (bien sea mediante plazas numeradas o mediante áreas predefinidas e identificadas) se puede tener, no sólo el número de vehículos irregulares sino también la posición de estos. Esta obligatoriedad de informar el lugar de estacionamiento puede ser la tercera mejora propuesta en el sistema de gestión.

Respecto a la gestión en sí del estacionamiento regulado, se propone una primera mejora basada en el establecimiento de una tarifa dinámica

relacionada con el nivel de ocupación de las distintas áreas del barrio. Para eso hay que definir primero áreas que presenten un comportamiento similar e identificarlas de la misma forma. Posteriormente se debe estimar, y calibrar después, un plan de tarifas que permita tener siempre una cantidad mínima de plazas disponibles en cualquier área del barrio, de forma que disminuya el tráfico de agitación en busca de estacionamiento, se reduzca la indisciplina, así como el resto de ineficiencias asociadas a una demanda de estacionamiento tan alta.

Para terminar, y también como mejora de la gestión en sí del estacionamiento regulado, se propone el establecimiento de una serie de indicadores, y la definición de sus valores recomendados, para el seguimiento y la evaluación de las medidas tomadas en cuestión de gestión del estacionamiento. Se recomiendan los siguientes parámetros y valores, recogidos por la bibliografía, cuyo seguimiento requerirá una toma de datos constante o periódica:

- Indisciplina del estacionamiento $< 0,1$ ilegales / 100 m.
- Tasa de rotación > 6 vehículos / plaza.
- Tarifa Zona Azul / Tarifa Transporte público > 1 .

De esta forma se puede saber si se cumplen o no los objetivos previstos para una medida determinada, o si esta es adecuada o necesita de algún ajuste. También permitirá establecer nuevos planteamientos ante nuevas demandas fruto de la evolución de la sociedad.

9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tanto el diseño, la implantación y el análisis de un sistema de gestión dinámica del estacionamiento regulado en vía pública en el barrio de Recife como los resultados obtenidos de su estudio y de la caracterización de la demanda de tráfico y de estacionamiento del área, dan pie a varios trabajos como posibles líneas de investigación.

El principal es el de la constatación experimental de las hipótesis hasta ahora demostradas apenas con modelos económicos y de consumo de toma de decisiones, así como modelos de simulación y asignación de tráfico, de la eficacia de la tasa de estacionamiento como herramienta de la gestión de la demanda de tráfico, consiguiendo una redistribución de los viajes en la hora punta de la mañana (y la de su correspondiente vuelta en la hora punta de la tarde) que llega incluso a eliminar las congestiones en los accesos al área de estudio.

Para este estudio debería aprovecharse la posibilidad de replicar la mayoría de modelos de tráfico utilizados en la bibliografía para el estudio de la regulación del estacionamiento. Ya que son conocidas en el barrio de Recife, y en sus alrededores, tanto la capacidad de sus accesos y de estacionamiento como la demanda de tráfico existente y las potenciales áreas a destinar a estacionamientos más alejados del lugar de trabajo, así como sus costes de desplazamiento asociados. También cabe destacar la facilidad con la que se pueden introducir cambios en la tarifa o en las reglas de uso a través de la aplicación para telefonía móvil.

De esta forma, se podría establecer empíricamente la percepción real de los costes sociales totales por parte de los usuarios en la toma de decisiones respecto al lugar donde estacionar su vehículo.

Aprovechando la idoneidad del escenario para la realización de experimentos, se proponen futuras líneas de investigación que permitan establecer relaciones de correlación entre:

- Reducción de los costes sociales asociados a la reducción de tráfico de agitación en busca de aparcamiento con la implantación de un sistema de guiado hasta las plazas disponibles.
- Influencia en el control de la observancia de las reglas de uso en la tasa de respeto del estacionamiento regulado.
- Relación de fomento del estacionamiento en la vía pública por parte de las herramientas que facilitan el aparcamiento a través del guiado o de formas de compra más cómodas y rápidas y la utilización.

10. CONCLUSIÓN

Con el trabajo realizado y debidamente recogido en este documento, se consideran cumplidos los objetivos pretendidos por el presente estudio. En él se ha caracterizado el problema del estacionamiento en vía pública y definido el estado del conocimiento de la regulación como solución a dicho problema. Posteriormente se han definido los objetivos, detallando posteriormente la metodología seguida, así como los resultados obtenidos. Finalmente se han establecido las conclusiones correspondientes, así como se han propuesto diversas mejoras para el sistema de gestión del estacionamiento regulado implantado, como parte de este trabajo, y futuras líneas de investigación, con lo que se da por concluido el presente estudio.

Valencia, a 5 de septiembre de 2014

El Ingeniero Autor del Trabajo



Mariano Pérez Miñano

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IBM Global Parking Survey 2011: Drivers Share Worldwide Parking Woes.
- [2] Shoup, D. (2006) "Cruising for Parking". *Transport Policy*, vol. 13, no. 3.
- [3] Pineda M. y Abadia X. (2011) "Criterios de movilidad. El estacionamiento urbano en superficie". Fundación RACC.
- [4] HEATCO Project. Deliverable D5 Proposal for Harmonised Guidelines (2006) EU.
- [5] Shoup, D. (2005) "The High Cost of Free Parking". Chicago Planners Press.
- [6] Thompson, R.G., Takada, K., Kobayakawa, S., (1998). "Understanding the demand for access information". *Transportation Research Part C* 6 (4), 231–245.
- [7] Vianna, M.M.B., da Silva Portugal, L., Balassiano, R., (2004). "Intelligent transportation systems and parking management: implementation potential in a brazilian city". *Cities* doi:10.1016/j.cities.2004.01.001 (2).
- [8] Habib, K.M.N., Morency, C., Trepanier, M., (2012). "Integrating parking behaviour in activity-based travel demand modelling: investigation of the relationship between parking type choice and activity scheduling process". *Transportation Research Part A* 46 (1), 154–166.
- [9] Van Ommeren, J.N., Wentink, D., Rietveld, P. (2012). "Empirical evidence on cruising for parking". *Transportation Research Part A* 46 (1), 123–130.
- [10] Button, K. (2006) "The political economy of parking charges in "first" and "second-best" worlds". *Transport Policy*, Elsevier, vol.13, no. 6, pp.470–478.
- [11] Bifulco, G.N. (1993). "A stochastic user equilibrium assignment model for the evaluation of parking policies". *European Journal of Operational Research* 71 (2), 269–287.
- [12] Glazer, A. (1992). "Parking fees and congestion". *Regional Science and Urban Economics* 22 (1), 123–132.
- [13] Verhoef, E., Nijkamp, P., Rietveld, P. (1995). "The economics of regulatory parking policies: the (im)possibilities of parking policies in traffic regulation". *Journal of Public Economics*. *Transportation Research Part A* 29 (2), 141–156.
- [14] Arnott, R., Rowse, J. (1999). "Modeling parking". *Journal of Urban Economics* 45 (1), 97–124.

- [15] Anderson, S.P., de Palma, A. (2004). "The economics of pricing parking". *Journal of Urban Economics* 55 (1), 1–20.
- [16] Qian Z., Xiao F., Zhang H.M. (2012). "Managing morning commute traffic with parking". *Journal of Public Economics. Transportation Research part B-Methodological*. Volume: 46. Issue: 7. Pages: 894-916.
- [17] Vickrey, W. (1969). "Congestion theory and transport investment". *American Economic Review* 59 (2), 251–261.
- [18] Arnott, R., de Palma, A., Lindsey, R. (1991). "A temporal and spatial equilibrium analysis of commuter parking". *Journal of Public Economics* 45 (3), 301–335.
- [19] Zhang, X., Huang, H.-J., Zhang, H.M. (2008). "Integrated daily commuting patterns and optimal road rolls and parking fees in a linear city". *Transportation Research Part B* 42 (1), 38–56.
- [20] Zhang, X., Yang, H., Huang, H.-J. (2011). "Improving travel efficiency by parking permits distribution and trading". *Transportation Research Part B* 45 (7), 1018– 1034.
- [21] Arnott, R., Palma, A.D., Lindsey, R. (1990). "Departure time and route choice for the morning commute". *Transportation Research Part B* 24 (3), 209–228.
- [22] Albert, G. Mahalel, D (2006). "Congestion tolls and parking fees: A comparison of the potential effect on travel behavior" *Transport Policy* 13. 496–502.
- [23] Fosgerau, M. de Palma A. (2013). "The dynamics of urban traffic congestion and the price of parking". *Journal of Public Economics* 105. 106–115.
- [24] Millard-Ball A., Weinberger R. R., Hampshire R.C. (2014) "Is the curb 80% full or 20% empty? Assessing the impacts of San Francisco's parking pricing experiment". *Transportation Research Part A* 63 (2014) 76–92.