



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
DE CAMINS, CANALS I PORTS DE BARCELONA
(ETSECCPB)**

PROGRAMA DE DOCTORAT EN ENGINYERIA CIVIL



TESIS DOCTORAL

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES QUE INCIDEN EN LA MOVILIDAD EN VEHÍCULOS MOTORIZADOS DE DOS RUEDAS EN LA CIUDAD DE BARCELONA

AUTOR:

FERNANDO PÉREZ DIEZ

TUTOR:

Dr. JOSÉ MAGÍN CAMPOS CACHEDA

BARCELONA, DICIEMBRE DE 2018



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Análisis de las variables que inciden en la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona

Fernando Pérez Diez

ADVERTIMENT La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



Presentación



Los vehículos motorizados de dos ruedas comprenden las motocicletas (motorcycles) y los ciclomotores (mopeds). En inglés son denominados por las siglas PTW (Powered Two-Wheelers). Se trata de un modo de transporte de carácter mayoritariamente individual que, especialmente en entornos urbanos densos, facilita la realización de desplazamientos de modo rápido a un bajo coste, con una elevada flexibilidad, posibilitando la búsqueda de estacionamiento muy próximo al destino final.

Los vehículos motorizados de dos ruedas (PTW) han aumentado en las últimas décadas en todo el mundo, tanto en el número como en la variedad y usos. En los entornos metropolitanos es un fenómeno global en aumento, si bien, a diferencia del automóvil su nivel de uso es más desigual incluso en zonas urbanas geográficamente próximas.

El uso de PTW tiende a aportar beneficios en la movilidad, al reducir costes, emisiones, tiempos de desplazamiento, espacio para la circulación y el estacionamiento, pero a su vez supone algunos inconvenientes en el ámbito de la seguridad por el aumento en el número de accidentes y su severidad.

En España, al igual que en los países de la Unión Europea, se ha constatado un incremento del número de PTW; si bien, su uso varía sustancialmente dependiendo de los entornos urbanos. En este sentido, Barcelona es la ciudad donde más se utiliza la motocicleta y, en cambio, hay ciudades en que su uso es testimonial.

No existen estudios en profundidad que analicen las causas del mayor uso de PTW en la ciudad de Barcelona respecto a otras ciudades del resto de España ni por qué cada vez se utiliza en mayor medida. En este sentido, el carácter original de ésta tesis es el de abordar un tema novedoso, poco analizado, que cada vez reclama mayor conocimiento académico debido a su notable incidencia en la movilidad y en la seguridad del tráfico.

La ciudad de Barcelona es un laboratorio adecuado para estudiar el fenómeno del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. Analizando qué pasa en Barcelona se sientan las bases para avanzar en otros ámbitos de estudio en el resto del estado, en otros estados europeos e incluso en otros ámbitos geográficos. Identificar las variables más significativas que caracterizan el fenómeno permite abordar futuros estudios en otros entornos y, por tanto, extender un campo de investigación actualmente sin un amplio desarrollo.

La original y actualidad de la temática se ve reforzada por los cambios tecnológicos que en la movilidad urbana está suponiendo la progresiva introducción del vehículo eléctrico (V.E.). En este sentido las motocicletas y los ciclomotores eléctricos, por delante de los automóviles, tienen mayor capacidad de penetración y potencial de expansión en los ámbitos urbanos, en los que los desplazamientos tienen cortas distancias, las velocidades son moderadas y hay continuas paradas, características en los que los V.E. evidencian elevadas prestaciones. Conocer las variables que inciden en el uso de PTW tiene por tanto una derivación en el diseño y adecuación de las características de los futuros V.E. en entornos urbanos.

Los retos que plantean las “smart cities” y su concreción en la “smart mobility”, suponen la implementación de tecnologías como la conducción asistida y autónoma, la sensorización, el procesado y uso masivo de datos (Big Data), la geolocalización, los sistemas de navegación, la Inteligencia Artificial (AI), la realidad aumentada y otros ámbitos que hacen que el conocimiento del comportamiento actual de los usuarios de los vehículos motorizados de dos ruedas tenga un gran potencial futuro y abre el camino a un amplio campo de la investigación.

Abstract

MOBILITY provides accessibility to people, goods, services and information, favoring the implementation of socio-economic activities. The more efficient mobility becomes, the greater human development and quality of life tend to be.

Motorcycles and mopeds are powered two wheelers (PTWs). Their lower cost of ownership (acquisition and operating), small dimensions, and low requirements for road and parking space make PTW very versatile vehicles and efficient modes of transport in dense urban areas.

The use of PTWs in metropolitan areas is a growing global phenomenon, especially in congested urban environments and in developing countries. Interestingly, unlike cars, their level of use is more uneven. In Spain, as well as in most European countries, there has been an increase in the number of PTWs, but their frequency varies substantially among cities. Barcelona is the Spanish city with the most PTWs and their use has experienced a boom over the last few decades. Barcelona is a city highly dependent on motorcycles.

Little work has been carried out in the study of PTW ownership. The growing use in urban mobility has brought a demand for knowledge about the subject, which will be useful in transport management, infrastructure planning, road safety, and mobility policies. This information will help provide more accurate solutions to deal with urban transportation issues.

This thesis has been conducted to analyze the variables that affect PTW mobility in the city of Barcelona, identifying the factors underlying modal choice behavior, characterized by the high use of the PTWs. The main objectives of this thesis are to find the factors that have caused Barcelona's increasing use of PTWs, and also identify the variables that explain the greater use of PTWs in Barcelona when compared to other Spanish cities. To achieve those goals two statistical-mathematical models with high goodness-of-fit have been built.

The independent variable that statistically explains the increase in the use of PTW in Barcelona is "the large-scale deployment of the number of on-street pay parking spaces". In Barcelona, congestion pricing has been indirectly introduced by on-street parking taxation schemes. The increase of car parking operational costs has produced a positive effect by reducing the use of the car, as a side-effect, these schemes also cause an increase in the use of PTWs as a cheaper alternative.

The results of a multiple regression model conclude that PTWs are used significantly more in Barcelona due to a comfortable Mediterranean climate (moderate temperatures and scarce meteorological events), favorable morphology (high population density in a moderate urban extension) and the highest rate of female PTW ownership in Spain.

The main conclusions of this thesis are: a better understanding of the PTW mobility patterns, the finding that the implementation of indirect congestion pricing policies in Barcelona unintentionally encourages PTW use; the identification that climate constitutes an important determinant in PTW modal choice, the relevance of the "gender factor" to explain the increase of PTW use, the building of the motorization time series evolution in Spain, which validates the sigmoid curve (Gompertz) shape, the verification of the motorization saturation threshold predictions, the challenging of the Kutnets curve to model the evolution of PTWs; the identification of a range of city size most conducive to the use of PTWs and the finding that the distribution of PTW use is not geographically homogeneous.

Resumen

LA MOVILIDAD proporciona accesibilidad a las personas, bienes, servicios e información, favoreciendo la realización de actividades socioeconómicas. Cuanto más eficiente sea la movilidad, mayor tenderá a ser el desarrollo humano y la calidad de vida.

Las motocicletas y ciclomotores son los “vehículos motorizados de dos ruedas”, en inglés powered two wheelers (PTW). Su menores dimensiones y costes de adquisición y operativos, así como la posibilidad para aparcar en menos espacio y de un modo gratuito hacen que sean muy versátiles y un modo de transporte eficiente en zonas urbanas densas.

El uso de los PTW en las áreas metropolitanas es un fenómeno global en aumento, especialmente en los entornos urbanos congestionados y en los países en desarrollo. En España, al igual que en algunos países europeos, se ha producido un aumento del número de PTW, pero su uso varía sustancialmente entre ciudades. Barcelona es la ciudad española con más PTW y su uso ha crecido en las últimas décadas. La movilidad de Barcelona es altamente dependiente del uso de PTW como modo de transporte interno.

El uso creciente de los PTW en entornos urbanos reclama un mejor conocimiento sobre un ámbito que es útil en la gestión del transporte, la planificación de infraestructuras, la seguridad vial y las políticas de movilidad. Cuanta más información se disponga, mejor se podrá contribuir a buscar soluciones a los problemas del transporte urbano.

En esta tesis se analizan las variables que afectan a la movilidad en la ciudad de Barcelona, identificando los factores que favorecen en la elección del modo PTW. Los objetivos de la tesis son identificar aquellas las variables que, por una parte han incidido en el creciente uso de los PTW en Barcelona, y por otra pueden explicar el mayor uso de los PTW en Barcelona, en relación con el resto de ciudades españolas. Para lograr estos objetivos se han construido dos modelos estadísticos-matemáticos con una alta calidad de ajuste.

La variable independiente que explica el aumento de la utilización de los PTW en Barcelona es la extensión a gran parte de la ciudad de las zonas de aparcamiento de pago en superficie. En Barcelona, la tarificación de la congestión ha sido introducida indirectamente mediante la regulación del estacionamiento en la vía pública. El aumento de los costes operativos del aparcamiento ha producido un efecto positivo al reducir el uso del coche, pero como efecto secundario ha favorecido un aumento en el uso de los PTW como modo de transporte alternativo más económico.

Los resultados de un modelo de regresión múltiple concluyen que los PTW se utilizan significativamente más en la ciudad de Barcelona que en el resto de ciudades españolas debido a un clima mediterráneo confortable (temperaturas templadas y escasos episodios meteorológicos), una morfología favorable (alta densidad de población en una extensión urbana moderada) y la tasa más alta de mujeres propietarias de PTW.

Las principales conclusiones de esta tesis son: una mejor comprensión de los patrones de movilidad en PTW, la constatación de que las políticas de tarificación indirecta de la congestión pueden favorecer el uso de los PTW; la identificación de la relevancia que tiene el clima en la elección del modo PTW, la relevancia del "factor género" para explicar el aumento del uso de los PTW, la elaboración de la gráfica de la evolución de la motorización en España que valida la forma de la curva Gompertz, la verificación de las predicciones del umbral de saturación de la motorización, el cuestionamiento de la curva de Kutnets para modelar la evolución de los PTW; la identificación de un rango de tamaño de ciudad que es más propicio para el uso de los PTW y la constatación de que la distribución del uso de los PTW no es espacialmente homogénea.

A mis padres

Agradecimientos

Esta tesis está dedicada a mis padres y a toda mi familia, a la que tengo tanto que agradecer y envío todo mi cariño.

Una tesis es un trabajo colectivo en el que el autor debe requerir la generosa colaboración de un extenso número de personas cuyas particulares y variadas aportaciones configuran sus contenidos. Me gustaría transmitir mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que, de alguna manera, en mayor o menor medida han hecho que esta tesis sea posible.

Desde el primer día, esta tesis ha estado arropada por la complicidad, el aliento y el apoyo incondicional de Julià Cabrerizo, mucho más que amigo, con el que hace bastantes años emprendimos de la mano el reto de la investigación.

Esta tesis no sería posible sin la apuesta de mi director José Magín Campos, al que agradezco haber aceptado tan generosamente llevar la dirección, un placer y muy enriquecedor trabajar con él.

Debo también agradecer a los dos anteriores directores: Julio García Ramón, que nos animó a iniciar esta aventura y a Francesc Astals cuyas valiosas aportaciones perfilaron su contenido. No puedo dejar de agradecer la continua colaboración de Joan Aragonés que desde siempre ha acompañado al proyecto y cuyos consejos han sido muy valiosos.

Debo agradecer a mis amigos Fulgencio Cabrerizo, Amadeo Buján, Joan Carles Claros, Miguel Ángel Cantarero y Víctor Montolí la cálida y motivadora compañía que han supuesto en este periplo. Mención extensiva para David, Guillem y Miquel Ángel. También tengo muy presentes a Carlos y Borja, por sus inspiradoras conversaciones. Mención especial para Mario Aguiló, cuya capacidad de trabajo, admirable tesón e infinita curiosidad han sido un acicate y referente para mí.

Ocupan un lugar de honor en mis agradecimientos, la buena gente de UPRA: Juan Carlos Arellano, Miguel Ángel Cuerda, Javier Amilibia, Francisco Alcaide, José Tejado, Alex Mercader, Francesc Pol y Francesc Boltà. Recuerdo especial a entrañables personas como Ricard Serveto, Adolfo Ruiz de Conejo, Francisco Martínez y Moisés Morató. Cariñoso reconocimiento a Daniel Campodarve por su inestimable contribución. Enorme agradecimiento ex aequo a los cuatro hermanos Vives: Elisabeth, María, Toni e Ignasi, por su inestimable colaboración, seguro que en su contenido encuentran la apreciable huella que han dejado.

Un caluroso agradecimiento para Roberto Bao, amigo, compañero y referente, con el que de lejos, he compartido tantas complicidades y momentos agradables. Providencial que me pusiese en contacto con Gaëlle Bello, sus aportaciones, consideraciones y consejos han sido enormemente enriquecedores.

Con un cariño entrañable agradecer a Adrià Figuera sus revisiones, entusiasmo y aportaciones, que han sido decisivas en los contenidos del documento.

Agradecer la valiosísima colaboración de Albert Bassols, su generosidad y desinteresada amistad. Enorme su humanidad y contribución a edificar la estructura técnica de esta tesis.

Expresar mi admiración y agradecimiento a Gerard Taulé por sus amplios conocimientos de climatología, su disponibilidad, su entusiasta contribución, capacidad de trabajo y aportaciones que han sido de incuestionable valor.

Afectuoso agradecimiento a David Roche por sus inestimables aportaciones, vastísimo conocimiento, bonhomía, generosidad y disponibilidad de un tiempo, del que no va sobrado. Imborrable el recuerdo de las entrañables sesiones y divertidos momentos de gran complicidad.

Agradecimiento también a Chema Ibáñez, referente por su buen hacer, criterio y por su generosidad para embarcarme en sus proyectos divulgativos.

Gran reconocimiento a la ayuda recibida por parte del personal de la Jefatura Provincial de Barcelona de la Dirección General del Tráfico. Muchas gracias a Lluís y Montse por su eficiencia, paciencia y atenta colaboración. Gracias también al personal de instituciones que han tenido diferentes grados de participación, del Servei Català del Trànsit, del Ajuntament de Barcelona, del Institut Guttmann, Cluster de la Moto y de la Fundació Museu Moto Mario Soler.

Con un cariño entrañable, agradecer a Xavier de la Presa por abrirme las puertas al mundo social de las dos ruedas, Club Impala y especialmente por presentarme a David Román, entusiasta organizador del Festival de “Cinema sobre dues Rodes” cita anual obligada de todo amante del mundo de la moto.

Agradecimiento a Caroline Franks y James Skinner por lo mucho que han contribuido en corregir y mejorar los contenidos.

El tema de esta tesis nació en TMB, en este sentido estoy muy agradecido de haber tenido de jefe a una persona tan espléndida y generosa como Luis Pelaez de Loño. No puedo dejar de nombrar a Mario Armengol compañero con el que tan buenos momentos pasé, un abrazo extensivo para Gemma y Pau. De TMB no puedo tener más que palabras de reconocimiento para Jacinto Soler, Toni Ardanuy, Beni Roman, Hugo, Andreu, Palanques, Campos, Plazas, Ignasi Armengol, Juli Barceló y Josep Mención.

Gran agradecimiento a Kim Boum Hoan, referente, amigo y maestro, extensivo a Kyuing Hee.

También un recuerdo entrañable para Juan Manuel Pérez, Carles Gràcia, Manolo Pineda y Lluís García Olivé.

Muchas gracias a Kevin Gatnor por su multitudinosa aportación.

Gracias al personal administrativo de tercer ciclo de la UPC, especialmente a la inestimable colaboración y eficiencia de Silvia Aranda y al coordinador del programa de doctorado Miguel Cervera.

A todos mi más sincera gratitud porque éste ha sido un trabajo ciertamente colectivo.

Índice

Parte 1: CONTEXTUALIZACIÓN	1
Capítulo 1: Introducción.....	3
1. Planteamiento del problema.....	4
2. Objetivos.....	6
3. Motivaciones.....	7
Capítulo 2: Metodología	9
1. Estructura del trabajo de investigación.....	10
2. Análisis de las variables significativas	12
3. Análisis Exploratorio de Datos (AED)	16
4. Elaboración de los modelos explicativos.....	19
Parte 2: LOS VEHÍCULOS MOTORIZADOS DE DOS RUEDAS (PTW)	23
Capítulo 3: Los vehículos motorizados de dos ruedas (PTW), marco conceptual y estado de la cuestión.....	25
1. Tipología de los vehículos motorizados de dos ruedas.....	26
2. Características de la movilidad de los vehículos motorizados de dos ruedas.....	30
3. Estado de la cuestión	33
4. El fenómeno PTW en el mundo.....	40
Capítulo 4: La evolución de la movilidad, motorización y del uso de PTW en el ámbito de estudio.....	47
1. La movilidad en la ciudad de Barcelona.....	48
2. La evolución de la motorización.....	55
3. Análisis de la evolución reciente del uso de TPW en la ciudad de Barcelona	65
Parte 3: PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 1:	77
Capítulo 5: Análisis y modelización del incremento del uso de PTW en la ciudad de Barcelona	79
1. Presentación.....	80
2. Exploración de las potenciales variables candidatas a explicar el fenómeno	82
3. Modelo de regresión	90
4. Concreción del modelo	105
5. Capacidad predictiva del modelo simplificado.....	107
6. Valoración particular de la variable Norma.....	109

Parte 4: PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 2:	113
Capítulo 6: Modelización del uso de los PTW en Barcelona en relación al resto de ciudades de España.	115
1. Presentación.....	116
2. Exploración de las potenciales variables candidatas a explicar el fenómeno	121
3. Modelo de regresión	132
4. Concreción del modelo	136
Parte 5: CONCLUSIONES	145
Capítulo 7: Conclusiones, aportaciones y futuros trabajos	147
1. Revisión de los objetivos y resultados	148
2. Conclusiones.....	150
3. Principales aportaciones	154
4. Futuros trabajos	157

REFERENCIAS

ANEXOS

Índice de Figuras

Figura 1 Desarrollo de la investigación.....	11
Figura 2 observaciones individuales y rangos móviles (I-MR)	19
Figura 3 Clasificación de los PTW.....	28
Figura 4 Clasificación de los PTW.....	29
Figura 5 Relación entre velocidad y maniobrabilidad.....	31
Figura 6 Evolución parque de PTW en la UE + Suiza y Noruega	42
Figura 7 Vehículos motorizados de dos ruedas por 1000 habitantes	43
Figura 8 Evolución de PTW en diferentes países europeos	44
Figura 9 Parque móvil de motocicletas y ciclomotores en Italia.....	45
Figura 10 Evolución anual del número de motocicletas matriculadas	46
Figura 11 Evolución en España de los PTW/1000 habitantes.....	46
Figura 12 Evolución de vehículos por 1.000 habitantes en Barcelona.....	49
Figura 13: Evolución del número de automóviles y PTW en Barcelona.	50
Figura 14: Evolución del número de automóviles y PTW	50
Figura 15: Reparto de vehículos motorizados en Barcelona.	51
Figura 16 Evolución número de motoristas fallecidos en Barcelona	54
Figura 17 Función Gompertz	57
Figura 18 Evolución de la motorización por áreas mundiales.	58
Figura 19 Función Kuznets.	60
Figura 20 Niveles de automóviles y PTW en un país emergente.....	62
Figura 21 Evolución de la matriculación anual de vehículos.....	63
Figura 22 Evolución del número de automóviles en España.	63
Figura 23 Evolución estimada de la flota de vehículos y motocicletas.....	64
Figura 24 Funciones de modelización de la serie temporal	66
Figura 25 Evolución de la serie	67
Figura 26 Observaciones individuales y rangos móviles	68
Figura 27 Análisis de la tendencia linealizada	69
Figura 28 Análisis de la tendencia	70
Figura 29 Autocorrelación parcial.....	71
Figura 30 Análisis de autocorrelación total.....	71
Figura 31 Niveles de ajuste	73
Figura 32 Pronósticos de evolución futura.....	74
Figura 33 Ciclos, réplicas y proyección.	74
Figura 34 Evolución del número de automóviles y PTW por 1000 hab.	81
Figura 35 Evolución de los PTW per cápita desde el año base 1996.....	82

Figura 36 Serie histórica evolutiva del precio del carburante desestacionalizada.	84
Figura 37 Evolución del número de plazas de estacionamiento en superficie.....	86
Figura 38 Evolución del precio de la tarjeta T-10.....	87
Figura 39 Porcentaje de mujeres del total de la población activa.	89
Figura 40 Evolución número total de automóviles en la ciudad de Barcelona	90
Figura 41 Comparación precio real y precio deflactado T-10.....	98
Figura 42 Comparación precio real y precio deflactado Gasolina	98
Figura 43 Comparación precio real y precio deflactado Diesel	98
Figura 44 Ajuste del modelo: Relación entre los datos reales y la predicción.....	108
Figura 45 Evolución del número de motocicletas y ciclomotores en Barcelona.	111
Figura 46 PTW por 100 habitantes.....	122
Figura 47 Ubicación de las observaciones en los factores primero y segundo.	127
Figura 48 Número de viajes en entorno urbano en función de los viajes.....	129
Figura 49 Resultados del intervalo de referencia.	130
Figura 50 Porcentaje de PTWs cuyo titular es una mujer, por ciudades.....	131
Figura 51 Histograma ratio motos mujeres	132
Figura 52 Histograma y gráfico de dispersión.	137
Figura 53 Ajuste del modelo: Relación entre los datos reales y la predicción.....	141

Índice de Tablas

Tabla 1 % Tiempo dedicado al ocio entre personas entre 15-64 años.....	32
Tabla 2 Evolución del número de usuarios de PTW en los países de la OCDE.....	41
Tabla 3 % PTW en relación con el número de vehículos motorizados.....	52
Tabla 4 Reparto de los vehículos motorizados no comerciales en %	52
Tabla 5 Desplazamientos diarios en PTW por motivo trabajo	53
Tabla 6 Evolución del número de PTW por 1000 habitantes.....	66
Tabla 7 Estadísticos	73
Tabla 8 Relación de variables y datos	91
Tabla 9 Correlación de variables	92
Tabla 10 Variación porcentual de las variables numéricas.....	92
Tabla 11 Resumen del modelo	93
Tabla 12 Resumen del modelo	94
Tabla 13 Resumen del modelo	95
Tabla 14 Resumen del modelo	96
Tabla 15 Precio gasolina y diesel deflactado.....	97
Tabla 16 Relación de variables y datos	99
Tabla 17 Estadísticos del modelo	99
Tabla 18 Resumen del modelo	101
Tabla 19 Resultados del método stepwise	102
Tabla 20 Best Subsets Regresión 1.....	103
Tabla 21 Comparativa de los coeficientes	103
Tabla 22 Resumen del modelo	104
Tabla 23 Valores críticos de la estadística de Durbin-Watson.....	104
Tabla 24 Coeficientes	105
Tabla 25 Ajuste del valor estimado	107
Tabla 26 Test t-student diferencia medias TPW por Norma y test de normalidad.....	110
Tabla 27 Uso de los PTW en diferentes ciudades españolas.....	117
Tabla 28 Volumen de desplazamientos por motivo trabajo en PTW (%).....	119
Tabla 29 Distancias entre las ciudades españolas (km.).....	120
Tabla 30 Correlación distancia entre ciudades y diferentes variables.....	121
Tabla 31 Datos climatológicos de ciudades españolas.....	124
Tabla 32 Correlaciones entre variables	125
Tabla 33 Variancia total explicada	125
Tabla 34 Matriz de componentes rotada.....	126
Tabla 35 Resumen descriptivo.....	127

Tabla 36 Resumen estadístico	128
Tabla 37 Porcentaje de PTW propiedad de mujeres	132
Tabla 38 Resumen del modelo	134
Tabla 39 Resumen del modelo	134
Tabla 40 Correlaciones entre residuos y variables espaciales	135
Tabla 41 Correlación entre residuos y errores y distancias entre ciudades	135
Tabla 42 Coeficientes	136
Tabla 43 ANOVA Motos por habitante	137
Tabla 44 Ajuste de la predicción del modelo	140

PARTE 1

CONTEXTUALIZACIÓN

Capítulo 1

Introducción

1. Planteamiento del problema

En inglés PTW es el acrónimo de Powered Two Wheelers: vehículos motorizados de dos ruedas, que comprende las motocicletas (motorcycles) y los ciclomotores (mopeds). En español también se utiliza la sigla VM2R (Vehículos Motorizados de 2 Ruedas). En el presente documento se utilizará indistintamente la denominación de vehículos motorizados de dos ruedas y la sigla internacional PTW.

Desde finales del siglo XX, la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas está aumentando en todo el mundo, especialmente en entornos urbanos densos, gracias a su comportamiento más eficiente en cuanto a tiempo de desplazamiento, posibilidad de estacionar y menor costo, contribuyendo en parte a aliviar la congestión y contaminación (Rogers, 2008; Jamson y Chorlton, 2009; Kopp, 2011; McCartt, *et al.* 2011; Haworth, 2012, entre otros). En este sentido, en la ciudad de Barcelona se ha constatado un significativo incremento del uso de PTW y cómo, comparativamente con el resto de ciudades españolas, su uso es significativamente mayor.

Como factor negativo, respecto a los automóviles, los PTW son menos estables, menos visibles y ofrecen menor protección y confort a los ocupantes. Los usuarios de motocicletas y ciclomotores están expuestos a niveles mayores de siniestrabilidad y, en caso de accidente, la lesividad tiende a ser de mayor gravedad. En comparación con los automóviles, los PTW están involucrados en un mayor porcentaje de accidentes graves y mortales (Carré, y Filou, 1995; ETSC, 2007; Johnson, *et al.* 2008; Moskal, 2009; ONISR, 2012; Elliott *et al.* 2007; Albalade, y Fernández-Villadangos, 2010).

Barcelona es una ciudad compacta. En sus menos de 10km² viven un millón seiscientos mil habitantes, lo que constituye posiblemente la mayor densidad de una ciudad occidental (15.995 habitantes/km²). Esta elevada densidad unida a su gran atracción, generan una gran cantidad de desplazamientos en un espacio viario cada vez más reducido (en los 10 últimos años ha disminuido en un 10 % la superficie asfaltada) y especializado (las vías se reparten en zonas de estacionamiento regulado, carriles bus, bici, carga y descarga, estacionamiento para motos, estaciones bicing, zonas de tránsito restringido, etc.).

A pesar de su elevada densidad, Barcelona no encabeza los rankings de congestión de zonas urbanas europeas. De acuerdo a Inrix (2015), el tiempo medio perdido en atascos durante el año 2015 fue de 28 horas, muy por debajo de Londres (101 h.), Stuttgart (73 h.), Amberes y Colonia (71 h.). De modo similar, Barcelona aparece en el puesto 43 de la lista de ciudades congestionadas, con un tiempo extra de desplazamiento del 28% en comparación con una situación de circulación sin congestión (free flow); de acuerdo a Tom Tom (2015), se trata de niveles alejados de grandes ciudades europeas como Moscú (54 %), Bucarest (43 %) y Dublín (40 %).

El hecho que a pesar de la elevada densidad y número de viajes, Barcelona no sufra mayores niveles de congestión en el tránsito se explica en parte por el elevado número de desplazamientos en vehículos motorizados de dos ruedas: el 39,4% de los desplazamientos internos, con origen y destino en la ciudad (ATM.EMEF, 2015), y el 26% del total de desplazamientos (internos y externos) en vehículos motorizados privados (Ajuntament de Barcelona, 2016).

La problemática a analizar pasa por estudiar el fenómeno del constante incremento del uso de vehículos motorizados de dos ruedas y cómo dicho aumento tiene un comportamiento dispar en diferentes ámbitos urbanos. El problema queda definido en conocer por qué los vehículos motorizados de dos ruedas se utilizan cada vez más y por qué dicho aumento es

diferente en ámbitos urbanos geográficamente próximos, como es el contexto de un país como el estado español.

Cuanto mejor se conozca el “funcionamiento” de la movilidad en motocicletas y ciclomotores, mejor se podrá planificar el transporte y mejorar su eficiencia. El conocimiento de la movilidad en PTW facilita al planificador la toma de decisiones dirigida a implementar una movilidad más sostenible, segura y eficiente.

Se ha constatado una carencia en el conocimiento científico del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas en entornos urbanos. El efecto conjunto de diferentes variables y de múltiples políticas públicas exige una interpretación fundada en su conocimiento y en la evaluación de su funcionamiento. Es por ello que con esta tesis se pretende contribuir a resolver el problema de ampliar el conocimiento del comportamiento de la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas con el fin de contribuir a diseñar políticas de movilidad más eficaces y eficientes.

2. Objetivos

La presente tesis se marca como objetivo identificar las variables más relevantes que inciden en la elección de las motocicletas y los ciclomotores como modos de transporte. Se busca ampliar los límites del conocimiento científico en el área de la movilidad con vehículos motorizados de dos ruedas.

En este sentido, la presente tesis tiene por objeto el:

”ANÁLISIS DE LAS VARIABLES QUE CARACTERIZAN
LOS DESPLAZAMIENTOS EN VEHÍCULOS
MOTORIZADOS DE DOS RUEDAS (PTW) EN LA MOVILIDAD
DEL ÁMBITO DE LA CIUDAD DE BARCELONA”

Las Preguntas de investigación que se plantean son:

1. **¿Qué variables explican el incremento del uso de vehículos motorizados de dos ruedas en Barcelona?**
2. **¿Qué variables explican el mayor uso de vehículos motorizados de dos ruedas en Barcelona en comparación con las restantes ciudades de España?**

La respuesta a estas dos preguntas de investigación permitirá identificar las variables más relevantes que caracterizan los desplazamientos en vehículos motorizados de dos ruedas, de manera que servirán de base para confrontar con el objeto de estudio.

El conocimiento de las variables relevantes que inciden en la movilidad en PWT amplía el conocimiento del comportamiento de los usuarios de transporte y permite disponer de herramientas que puedan ayudar a comprender los fenómenos relacionados con la movilidad. La formulación de modelos permite identificar variables de un modo ponderado y posibilita la extensión y extrapolación de la información a otros ámbitos de estudio.

3. Motivaciones

La movilidad y el transporte favorecen el bienestar de los individuos, la prosperidad y el crecimiento socio-económico. El sector del transporte es un componente básico de la sociedad que permite el desplazamiento de personas y mercancías. Las mejoras en el conocimiento del comportamiento de la movilidad pueden servir para avanzar en la mejora de la prosperidad global.

En el mundo hay del orden de 313 millones de vehículos motorizados de dos ruedas. (Rogers 2008). En las tres últimas décadas se ha experimentado un incremento mundial, pudiéndose considerar que se trata de un fenómeno en aumento a escala global (Haworth, 2012). Los países asiáticos concentran el mayor porcentaje del parque mundial de PTW. (Amakate, y Gordon, 2009; OCDE, 2015). Especialmente en los ámbitos urbanos, se produce una extensión de los usuarios potenciales, al incorporarse un mayor número de mujeres, usuarias mayoritariamente de scooters (Rogers, 2008).

Los PWT son una alternativa eficiente al automóvil, gracias a que se pueden desplazar en menor tiempo en entornos congestionados y, además, ocupan un tercio del espacio de un turismo, por lo que son más fáciles de estacionar. La movilidad en motocicletas y ciclomotores en entornos urbanos densos reclama un mayor conocimiento debido a su creciente protagonismo en los desplazamientos.

La justificación del presente trabajo de investigación viene determinada por la constatación de la existencia de un déficit de conocimiento sobre la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas, tanto en el ámbito científico como en el divulgativo. Ortúzar y Willumsen en la cuarta edición (2011) de su manual de referencia “*Modelling Transport*”, destacan como: *“sorprende el poco trabajo realizado en la modelización de la posesión de motocicletas. Las motocicletas son un modo de transporte escasamente tenido en consideración a pesar de su importancia en muchos países, incluidos algunos de Europa. Tienen un comportamiento deficiente en seguridad vial, pero son un modo de transporte eficiente y de bajo coste que precisa menos espacio para circular y aparcar que los automóviles. El uso de motores de cuatro tiempos los hace menos contaminantes que los automóviles y su potencial protagonismo como vehículos eléctricos de dos ruedas hace que merezcan una atención considerablemente mayor”*. Esta tesis pretende realizar una aportación en la mejora del conocimiento explorando los diferentes aspectos involucrados en las variables que inciden en el uso de dicha tipología de vehículos.

No existen prácticamente estudios que analicen las variables que puedan explicar el mayor uso de la moto en Barcelona en relación con el resto de ciudades del estado español, ni estudios que hayan analizado en profundidad las causas del incremento del uso de dicho tipo de vehículos en la ciudad de Barcelona, por lo que esta tesis pretende aportar conocimiento en un ámbito científico muy incipiente.

Ampliar el estudio de la movilidad en PTW también aporta conocimiento en un tema tan sensible como la seguridad. Los usuarios de PTW son uno de los colectivos más vulnerables en el tránsito, junto con peatones y ciclistas. La menor estabilidad del vehículo y la falta de protección suponen un incremento del riesgo de sufrir accidentes y que estos sean más severos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2015 los usuarios de PTW representaron el 23 % de las víctimas mortales ocasionadas por accidentes de tránsito en el mundo. En Europa representaron el 9 % de las víctimas mortales. En España también se ha constatado el incremento de la siniestralidad, de manera que los motoristas fallecidos han pasado de representar el 8 % en 2004 al 18% en 2016. En Barcelona las motocicletas y ciclomotores representan el 30 % del parque motorizado, mientras que, en

el año 2015, pilotos y ocupantes suponían el 52 % de las víctimas mortales y heridos hospitalizados.

La mejor interpretación de los patrones de movilidad facilita el estudio de los accidentes en vehículos motorizados de dos ruedas por su mayor prevalencia en la causación de víctimas relativas al tránsito. Las motocicletas son los vehículos que causan más atropellos y además son más lesivos, de modo que en Barcelona representan menos del 30% desplazamientos y causan casi el 40% de los atropellos.

La generalización del uso de vehículos eléctricos supondrá una transformación de la movilidad urbana gracias a factores positivos como la menor contaminación ambiental y acústica. La renovación del parque y la introducción de nuevos modelos de vehículos eléctricos con mayor estabilidad y versatilidad supondrán un cambio en las características de la movilidad que reclaman un mayor conocimiento de la movilidad en PTW debido que la penetración del vehículo eléctrico es más notable en el ámbito de los vehículos de dos y tres ruedas que en los automóviles.

La creciente participación de los PTW en el ámbito urbano ha incrementado la demanda del conocimiento sobre su comportamiento en debates como la conveniencia o no de permitir que las motocicletas utilicen los carriles bus (permitido en ciudades como Valencia) y la restricción de la circulación de las motocicletas más antiguas por el centro de las ciudades en episodios de aumento de la contaminación (norma Euro5). Dicha restricción es relevante si tenemos en cuenta que la antigüedad media del parque de motocicletas en el Estado Español es de 14,7 años.

Capítulo 2

Metodología

1. Estructura del trabajo de investigación

1.1 El proceso de investigación

En este capítulo se explica la metodología a emplear y el proceso de investigación a desarrollar con el fin de conseguir los objetivos formulados (Figura 1).

En términos globales, el proceso de investigación se ajusta al siguiente desarrollo:

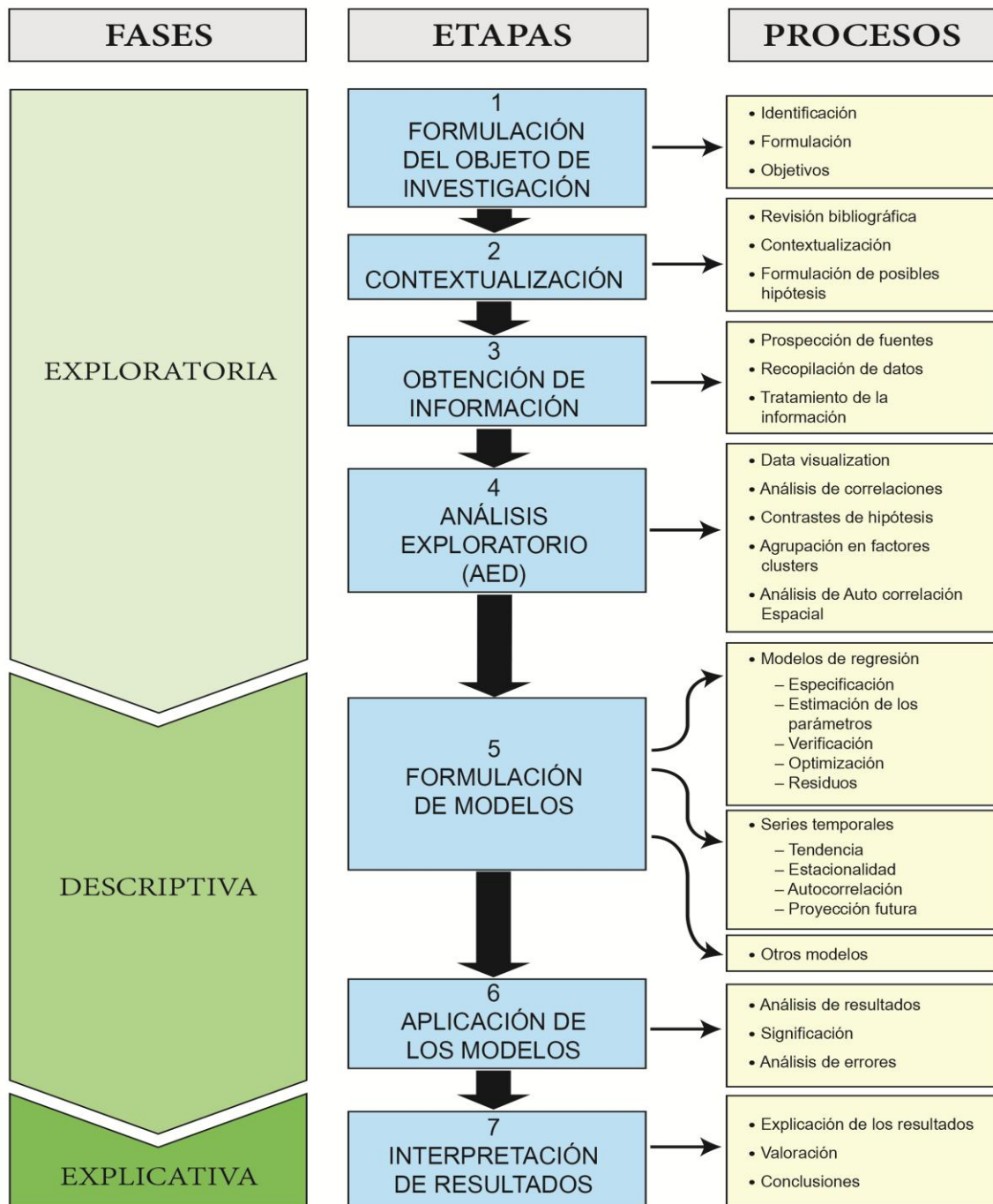


Figura 1 Desarrollo de la investigación

Fuente: Elaboración propia

Todo trabajo de investigación parte de la formulación de un problema objeto de estudio y pretende conseguir a unos resultados y conclusiones explicativas. El proceso de investigación se estructura en diferentes fases secuenciadas que constituyen un conjunto de actividades orientadas a progresar en el conocimiento, para cubrir todas las etapas que culminan con la formulación de unas conclusiones.

Al orientar una investigación se están tomando decisiones epistemológicas y metodológicas que condicionan los resultados (Popper, 1934). Conforme avanza la investigación se pueden alcanzar diferentes ámbitos, dependiendo de los objetivos, la información disponible y los resultados, desarrollando distintas clases de investigación, como son: exploratoria, descriptiva y explicativa (Selltiz *et al.* 1959).

La metodología a seguir se inicia con la determinación del ámbito de la investigación en términos concretos con el fin de que se pueda aplicar la metodología científica que permita identificar un conjunto amplio de variables e indicadores con un cierto nivel de relevancia, susceptibles de participar en un modelo explicativo. Una vez formulado el objeto de investigación, el siguiente paso es contextualizar el fenómeno y proceder a la formulación de posibles hipótesis. Seguidamente se debe obtener la información de base, identificando las fuentes relevantes y obteniendo datos. Una vez identificadas las variables se estará en condición de poder formular modelos que permitan parametrizar el comportamiento y extrapolar el estudio a otros ámbitos y contextos. La fase final de la investigación concluye con la interpretación de los resultados y la elaboración de unas conclusiones.

El trabajo de investigación es un proceso iterativo y circular, de manera que una vez completada la investigación y obtenidos resultados, estos pasan a enriquecer el sistema de investigación, retroalimentándolo y posibilitando definir nuevos objetivos de investigación más afinados. Diversos autores han identificado el “carácter circular” del proceso de investigación (Patten, y Newhart, 1997).

2. Análisis de las variables significativas

2.1 Originalidad de las fuentes y tratamiento de la información

Para poder identificar las variables significativas que pueden explicar el mayor uso de PTW y que pueden ser útiles para parametrizar el fenómeno, es necesario disponer de la mayor cantidad posible de datos de partida, los más variados, desagregados y fiables posible. A partir de una amplia variedad de datos que *a priori* puedan tener alguna vinculación directa o indirecta con el fenómeno, será posible explicar lo más fidedignamente posible su comportamiento.

Un factor relevante en una tesis es el de poder disponer de información novedosa que permita realizar aportaciones originales. En esta tesis se ha hecho un esfuerzo en la búsqueda de fuentes de información y en la recopilación de datos no evidentes, así como en el tratamiento de datos, con el fin de incorporar datos originales que incrementen el componente de investigación del estudio. Se ha podido construir una base de datos relativa a diferentes variables relacionadas con las motocicletas para los municipios de España que ha permitido efectuar un análisis sobre datos originales.

Se ha realizado un amplio trabajo de búsqueda bibliográfica y se han consultado una gran cantidad de documentos, por lo que la tesis tiene un elevado número de referencias.

La tesis se abastece de una gran variedad de fuentes. Se han empleado datos de organismos e instituciones públicas y privadas. Los datos públicos más relevantes proceden del Departament d'Estadística de l'Ajuntament de Barcelona, de la empresa municipal del Ajuntament de Barcelona (B:SM), de la Fundació RACC, de la Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM), de Transports Metropolitans de Barcelona (TMB), de la Entidad Metropolitana del Transporte (EMT), del IDESCAT, de Barcelona Economía, del Ministerio de Industria y del Ministerio de Fomento. También se han utilizado fuentes internacionales de datos como EUROSTAT, ACEM, OCDE, UITP, World Bank, World Economic Forum, BEST, International Transport Forum, Department of Transport y Confindustria. Se han empleado datos de carácter semi-público facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología AEMET, con gran cantidad de variables climatológicas.

Otra fuente original de datos ha sido la obtenida mediante la solicitud al Departamento de Estadística de la Jefatura Provincial de Tráfico de Barcelona de la DGT, base con más de setecientos cincuenta mil registros, con datos de motocicletas y ciclomotores por municipios y provincias de España relativos a marcas, cilindrada, año matriculación, antigüedad del vehículo, género del propietario y rango de edad. La gran cantidad de registros a analizar ha requerido la utilización de software estadístico y de diferentes técnicas para el tratamiento de datos. Entre las técnicas utilizadas o exploradas figuran la estadística descriptiva, el *machine learning*, la inferencia de patrones, el *data cleaning* para su refinamiento, la agrupación y el tratamiento e identificación de *outliers*.

El departamento de documentación de la DGT también ha proporcionado documentación histórica del número de vehículos motorizados de dos ruedas y ha facilitado documentos descatalogados con las matriculaciones de vehículos por provincias desde los primeros años, lo cual ha servido de base a para inferir la serie histórica de evolución de motorización en el estado Español.

En el presente trabajo de investigación se han empleado o explorado técnicas de tratamientos de datos y filtrado novedoso: machine learning, big data (más de 750.000 registros), con el objetivo de tratar la información, discriminar información relevante, identificar patrones de comportamiento y sintetizar la información relevante.

Se han empleado datos de una gran cantidad de fuentes de carácter público y privado de gran variedad de organismos e instituciones. Parte de la información se encuentra en bases de datos de carácter público, a la que es factible acceder para ser consultadas sin restricciones. Otras fuentes de información y bases de datos son de carácter privado y ha sido necesario cursar las correspondientes solicitudes de datos siguiendo una variedad de protocolos. Algunos datos de organismo públicos pueden ser obtenidos previo pago o mediante la acreditación del uso para una finalidad de investigación.

El Departamento de Documentación de la DGT y su Biblioteca también dispone de documentación histórica del número de vehículos motorizados de dos ruedas y documentos descatalogados con las matriculaciones de vehículos por provincias desde los primeros años, información relevante para inferir la serie histórica de evolución de motorización en el estado Español.

A continuación se relacionan las principales fuentes y variables de partida:

<p>Ajuntament de Barcelona</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base de datos de accidentes tráfico en la ciudad de Barcelona: coordenadas para la geolocalización, descripción, día, hora, entorno, descripción y causa. - Censo de vehículos. - El ámbito de influencia de la ciudad de Barcelona - Los municipios y comarcas de influencia en la ciudad de Barcelona - Distribución del espacio en la ciudad (2015) - Evolución de la población censada - Evolución del parque de vehículos - Evolución de las matriculaciones de vehículos en la ciudad de Barcelona - Evolución de población y motorización por distritos. Ciudad de Barcelona - Evolución desplazamientos por etapas en laborable - Evolución del número de etapas en los desplazamientos según modo - Distribución modal de las etapas (laborable) - Evolución etapas en desplazamientos internos - Evolución etapas en desplazamientos de conexión: Evolución - Evolución del número de víctimas en accidente - Evolución de la accidentalidad en función de la localización - Evolución de la accidentalidad por tipo - Evolución de la accidentalidad en función del tipo de vehículo implicado - Evolución de la accidentalidad en función de las causas directas del accidente - Evolución de la accidentalidad en función de las causas indirectas del accidente - Evolución de las etapas en desplazamientos en bicicleta - Evolución del carril bici en Barcelona - Implantación de Zonas 30 en Barcelona - Plano de Implantación de Zonas 30 en Barcelona - El aparcamiento de bicis en Barcelona - Evolución la oferta de Metro y mejoras - Evolución de la oferta de FGC - Evolución de la oferta de Cercanías <p>AEMET</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura media anual. - Temperatura media de las máximas anual. - Temperatura media de las mínimas anual. - Precipitación anual. - Humedad relativa media anual. - Días de precipitación anual. - Días de nieve anual. - Días de tormenta anual. - Días de Niebla anual. - Días de helada anual. - Días despejados anual. - Insolación anual (número de horas de sol). - Longitud, Latitud, Altura <p>ATM</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evolución del número de etapas en Transporte Público (ámbito ATM) - Tipología del parque de vehículos - Motivo desplazamiento. - Modo de transporte. 	<p>Área de Ecología, Urbanismo y Movilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evolución de la oferta de aparcamiento fuera de la calzada - Inventario del aparcamiento en Barcelona fuera de la calzada - Evolución de la oferta de aparcamiento para carga y descarga - Evolución de la oferta de aparcamiento para motocicletas - Aparcamientos de promoción pública - Plazas de aparcamiento para personas con movilidad reducida - Evolución de la intensidad de tráfico en las vías principales - Evolución horaria del tráfico en las vías principales. - Desplazamientos de los vehículos de mercancías - Parque de furgonetas y camiones en la ciudad de Barcelona - Evolución del número de matriculaciones en la provincia - Parque de motos y ciclomotores en la ciudad de Barcelona - Evolución del número de matriculaciones de motocicletas en la provincia de Barcelona - Evolución de la oferta de aparcamiento de turismos en calzada - Evolución de la intensidad de tráfico en los accesos - Evolución histórica del tráfico en los accesos - Evolución horaria del tráfico en los accesos - Evolución de la intensidad de tráfico en las vías principales <p>DGT</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datos por ciudades de marca del vehículo motorizado de dos ruedas. - Datos por ciudades de cilindrada del vehículo motorizado de dos ruedas. - Datos por ciudades año matriculación (frangas 5 años) del veh. motorizado de dos ruedas. - Datos por ciudades edad (frangas 5 años) titulares de veh. motorizados de dos ruedas. - Datos por ciudades sexo titulares por tipología de veh. motorizados de dos ruedas. - Nº motocicletas propiedad hombres 50 capitales de provincia más las poblaciones de Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat y Santiago de Compostela - Nº ciclomotores propiedad hombres 50 capitales de provincia más las poblaciones de Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat y Santiago de Compostela - Nº de automóviles propiedad hombres 50 capitales de provincia más las poblaciones de Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat y Santiago de Compostela - Nº motocicletas propiedad mujeres 50 capitales de provincia más las poblaciones de Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat y Santiago de Compostela - Nº ciclomotores propiedad mujeres 50 capitales de provincia más las poblaciones de Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat y Santiago de Compostela - Nº de automóviles propiedad mujeres 50 capitales de provincia más las poblaciones de Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat y Santiago de Compostela. - Parque de vehículos automóviles por municipios. - Antigüedad media del parque por municipios. - Sanciones de velocidad con detracción de puntos por municipios. - Sanciones de alcohol y drogas según el número de puntos detraídos. - Sanciones por no uso del casco, cinturón o sistema de retención infantil según el número de puntos detraídos por municipios. - Heridos hospitalizados por tipo de veh. y vía (urbana-interurbana). - Heridos no hospitalizados por tipo de veh. y vía (urbana-interurbana) <p>EMEF</p> <ul style="list-style-type: none"> - Número de desplazamientos global para Barcelona - Reparto modal de los desplazamientos para Barcelona - Distribución horaria de los desplazamientos. - Duración mediana de los desplazamientos. - Tipos de flujos de transporte.
---	---

B: SM

- Evolución de la ilegalidad de estacionamiento
- Evolución de la oferta de aparcamiento de turismos

EUROSTAT

- Volumen de desplazamientos diarios por modos en diversas ciudades
- Número de vehículo en diferentes ciudades.
- % desplazamientos diario por trabajo según modo.

I.N.E (Instituto N. de Estadística):

- Población por sexo y edad de las ciudades españolas.
- Población activa por sexo y ciudades españolas.
- Población desocupada por sexo y ciudades de españolas.
- Jubilados por sexo y ciudades españolas.
- Afiliaciones a la SS
- Índice Producción Industrial
- Renta Familiar
- Renta imponible media (por habitante)
- Número de empresas

Ministerio de fomento:

- Parque nacional de vehículos en las capitales de provincia y municipios
- Matriculación de vehículos
- Evolución del parque y matriculaciones según tipo de vehículos
- Censo de conductores
- Parque nacional de vehículos por año de antigüedad
- Víctimas mortales en accidentes de tráfico en la red a cargo del Estado según tipo de vía
- Transporte de viajeros según clase de vehículo y de mercancías

Ministerio industria:

- Precio medio anual ponderado de la gasolina.
- Precio medio anual ponderado diesel.

TMB

- Evolución de la oferta de transporte público en Autobús
- Evolución de la velocidad comercial urbana en Autobús
- Evolución del pasaje.
- Precios títulos de transporte.
- Índice de satisfacción del consumidor.
- Evolución km carril Bus
- Viajeros por líneas y por tipo de día
- Datos de la red.
- Ratios de viajeros-km.
- Evolución recorrido medio.
- Velocidad comercial.
- Parque de vehículos.
- Longitud de la red.
- Datos Característicos de la flota.

- Ratio público/privado según ámbito metropolitano.
- Movilidad según grupo de edad y sexo.
- Movilidad según situación profesional.
- Valoración de los modos de transporte.

UNESPA

- Peso de los tramos de edad en los diferentes tipos de PTW asegurados por compañías de seguros UNESPA
- Distribución por sexos de los conductores de dos ruedas en cada tramo de edad
- Peso de los conductores de dos ruedas por edad
- Distribución de las motos aseguradas por subcategorías y edad de su primer conductor.
- Cilindrada media en PTW, por edades y sexos
- Distribución del parque de dos ruedas asegurado, por tipos de vehículos y provincias
- Peso de los conductores de dos ruedas más jóvenes y mayores, por provincias.
- Cilindrada media de los PTW, por provincias
- Antigüedad media de los PTW, por provincias y tipologías.
- Diez códigos postales con más PTW asegurados
- Diez códigos postales con más motos aseguradas
- Diez códigos postales con más ciclomotores asegurados
- Códigos postales con más escúteres asegurados
- Distribución de los PTW, según su tipología
- Distribución del parque de dos ruedas, según la antigüedad del vehículo
- Distribución de las motos aseguradas, por potencias
- Porcentaje de conductores con motos de más de 100 CV, según la antigüedad de su carné de conducir
- Conductores de motos, según los años de su carné de conducir y la relación peso/potencia de su vehículo
- Frecuencia de siniestros en vehículos dos ruedas, según la cilindrada.
- Gravedad de los siniestros de dos ruedas según la potencia.
- Frecuencias de siniestros de dos ruedas según la antigüedad del vehículo.
- Gravedad del siniestro de dos ruedas según la antigüedad del vehículo.
- Frecuencias de siniestros de PTW, según edad del conductor.
- Gravedad de los siniestros de dos ruedas, según edad del conductor.
- Frecuencias de siniestros de dos ruedas según el sexo y la edad.
- Distribución estimada de los conductores de dos ruedas por sexos
- Gravedad de los siniestros de dos ruedas por sexo y edad.
- Frecuencias de siniestros graves en PTW, según la experiencia.
- Gravedad de los siniestros graves de dos ruedas, según antigüedad del permiso de conducir.
- Frecuencias de siniestros graves en PTW por provincias.
- Gravedad de los siniestros de dos ruedas por provincias.
- Códigos postales con menores frecuencias de siniestros de dos ruedas
- Códigos postales con menor gravedad de siniestros de dos ruedas

ACEM

- Powered-two and powered-three wheelers
- Circulating park
- Moped and motorcycle registrations
- Registrations of electric vehicles in the EU
- Production of powered-two and powered-three wheelers in the EU

3. Análisis Exploratorio de Datos (AED)

3.1 La exploración y tratamiento de los datos

La investigación exploratoria tiene por objeto ayudar a que el investigador identifique las variables más importantes, reconozca otros cursos de acción, proponga pistas idóneas para trabajos posteriores así como ayudar a puntualizar sobre las posibilidades que tienen la máxima *prioridad*; de esta forma se puede obtener una información general, global, que permita poder abrir vías más concretas de investigación.

La información estadística de base proviene de atributos observados sobre una población objeto de estudio, referenciados en un espacio y un tiempo. Cada atributo está asociado con una variable. Una primera aproximación elemental al conocimiento de un ámbito de investigación consiste en aplicar diferentes análisis estadísticos para estudiar las características y obtener unos indicadores descriptivos. La técnica exploratoria inicial consiste en, una vez recogido un amplio espectro de datos de diferentes ámbitos, proceder a analizar de forma descriptiva y visual, las distribuciones de cada una de las variables así como su interrelación 2 a 2 mediante matrices de correlación (en el caso numérico) o tablas de contingencia (en el caso cualitativo). Finalmente también existen técnicas exploratorias para visualizar relaciones multivariantes como el escalado multidimensional. Es un tipo de investigación extremadamente útil como paso inicial en los procesos de investigación.

Los métodos aplicados parten de la prospección de un amplio grupo de variables mediante la aplicación del análisis univariante, bivariante o multivariante, como técnicas adecuadas para identificar posibles relaciones de dependencia o interrelación entre las diferentes variables con las que se efectúa la prospección.

Existe una variada taxonomía de las diferentes perspectivas y técnicas del análisis exploratorio. El análisis exploratorio de datos (AED) es una metodología estadística para estudiar patrones y asociaciones de datos, compuesta por métodos estadísticos que se utilizan con el fin de descubrir patrones de comportamiento en los datos y sugerir hipótesis imponiendo la menor estructura posible *a priori*. Mediante estas técnicas se pretende identificar pautas potencialmente explicativas (Tukey, 1977).

Identificadas las variables potencialmente explicativas, se procede a agrupar aquellas que expliquen conceptos similares o que ayuden a explicar un mismo concepto (análisis de componentes principales); o bien a agrupar observaciones con características similares (análisis *cluster*). Las variables utilizadas pueden ser métricas (numéricas discretas o continuas, procedentes de escalas de Likert) o cualitativas (ordinales, categóricas o dicotómicas).

El AED es la base del componente visual del software estadístico moderno. Aplicaciones como Tableau permiten integrar datos en diferentes salidas y formatos gráficos, así como en mapas que incrementan notablemente el potencial de análisis de los datos. De manera que, de un modo visual, se pueden analizar agrupaciones, interacciones, distancias, evoluciones, puntos de inflexión, curvas de funciones matemáticas... A su vez, de un modo interactivo, el usuario puede actuar sobre los datos, realizando agrupaciones, eliminando outliers, agrupando regiones, etc.

Las principales técnicas exploratorias aplicadas son: *Data visualization*, Matrices de correlación, Contrastes de hipótesis, Análisis factorial, Agrupación de variables y análisis de Auto correlación espacial y se describen someramente a continuación.

3.2 Data visualization

Una vez recopilada la mayor cantidad de variables susceptibles de tener cierto grado de vinculación con el fenómeno, se procederá a filtrar las variables según criterios basados en la idoneidad para ser utilizadas en el estudio.

Una técnica exploratoria inicial de carácter prospectivo es la representación gráfica de los datos y sus relaciones, con el fin de investigar de un modo sinóptico posibles análisis de dependencia. El tratamiento gráfico es una herramienta de partida en el proceso de análisis, previo a aplicar técnicas posteriores como son la elaboración de modelos predictivos y/o explicativos, regresiones, clasificaciones y agrupaciones.

Existen diferentes software libres y comerciales que permiten un tratamiento visual de los datos (Tableau, SPSS, Minitab, Stata, Statgraphics, DJ3...) (Dirksen, 2017; Fisher y Meyer, 2018). El tratamiento gráfico de los datos posibilita, tanto en la fase exploratoria, como en la de presentación de resultados, mostrar relaciones entre variables, de manera que se pueden observar visualmente relaciones de dependencia, proximidad o distancia de los datos, agrupaciones de resultados, tendencias, series, nubes de puntos.

3.3 Análisis de correlaciones

Las variables iniciales de tipo cuantitativo (numéricas) suponen un número elevado de potenciales y diversos indicadores. Se debe proceder a determinar las posibles relaciones de las variables con el volumen de vehículos motorizados de dos ruedas, y entre las propias variables (grados de correlación). En este sentido, puede ocurrir que variables que *a priori* están correlacionadas con el fenómeno objeto de estudio, tengan una significación menor de la esperada en el modelo final, y en cambio, que otras variables intuitivamente menos vinculadas tengan un nivel de interrelación superior al presupuestado.

El análisis de la correlación entre parejas de variables aleatorias tiene por objeto identificar una medida de la dependencia. La técnica exploratoria inicial consiste en obtener y analizar las correlaciones existentes entre múltiples variables, y a continuación, tabulando el conjunto de correlaciones, obtener una matriz de correlación; tabla de doble entrada, que muestra una lista multivariable horizontalmente y la misma lista verticalmente y con el correspondiente coeficiente de correlación. A partir de la diagonalización de la matriz se obtienen los valores propios y a partir de ellos y otros procesos, se puede obtener sus componentes principales con el fin de factorizar variables para intentar reducir su número mediante agrupaciones, especialmente de las que presente mayor correlación.

3.4 Análisis Factorial

Al analizar un grupo amplio de variables es factible aplicar métodos que disminuyen la dimensión del estudio, facilitando la modelización. A su vez, al existir variables con un elevado nivel de correlación, se debe tener en consideración la implementación de medidas de agrupación de variables en factores, los cuales son combinaciones lineales de las variables originales no correlacionadas entre ellas evitando, por ejemplo, un posible problema posterior de multicolinealidad en los modelos de regresión.

Una de las principales técnicas más extendidas del análisis factorial es el Análisis de Componentes Principales (ACP), que permite la condensación de datos para reducir la dimensión del fenómeno, sintetizando la información mediante la agregación en factores.

El método de análisis de componentes principales se utiliza para resumir la información inicial contenida en un conjunto elevado de variables, transformándolas en un número más reducido de factores, intentando que sean lo máximo de representativos posible con el fin de sufrir la mínima pérdida de información. En el caso de esta tesis, estos factores son, después, indicadores explicativos del fenómeno a estudiar.

3.5 Técnica de formación de grupos de datos homogéneos (análisis de conglomerados)

Existen diferentes técnicas y modelos de agrupación de datos en grupos homogéneos. La idea es partir de una matriz de datos con diferentes variables y proceder a agruparlas en base a criterios de clasificación y agrupación. El tamaño de los grupos y tipos de clasificación depende los criterios de clasificación y de las medidas de similitud o disimilitud que se utilice para agrupar. Se trata de técnicas de análisis discriminante que permite reducir el tamaño de las variables a utilizar partir de agrupaciones.

Se ha procedido a usar una técnica de clasificación para agrupar a las ciudades en función de características climatológicas, aplicando la técnica *clúster jerárquico*, mediante el método de agrupación Average-Linkage.

3.6 Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

El fenómeno de la diferente distribución de la propiedad de PTW entre las ciudades hace necesario incorporar al análisis la evaluación de los posibles efectos de la localización. En este sentido, se puede incorporar al análisis una dimensión espacial para determinar si existe algún grado de dependencia, siendo las básicas las relativas a geolocalización, como son latitud, longitud y altura.

Las técnicas de Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (Anselin, y Getis, 1992) sirven para explorar el grado de correlación de las diferentes variables de fenómenos que se ubican próximos. Se parte del concepto que la cercanía entre fenómenos favorece la existencia de similitudes entre ellos. Por lo que con estas técnicas se pueden llegar a realizar agrupaciones regionales, diferencias entre zonas de costa e interior, identificar localizaciones atípicas (outliers espaciales), caracterizar patrones de asociación espacial (cluster espacial), elaboración de mapas sinópticos que permitan identificar diferentes patrones de distribución espacial (Anselin, y Smirnov, 1996).

Un elemento de análisis es la noción de autocorrelación espacial, de manera que a priori, cuanto más próximos se localicen dos fenómenos mayor tendencia existirá a que sus atributos tengan similitudes. El análisis espacial de la ubicación de las ciudades respecto de los resultados del modelo puede permitir identificar agrupaciones de ciudades en función de un criterio de proximidad. También puede hacer aflorar fenómenos como los “outliers espaciales”, o localizaciones con comportamiento inusual que ejercen una influencia en la caracterización del fenómeno.

El uso de PTW tiende a tener similitudes en función de la proximidad entre ciudades, de entrada por la posibilidad de compartir atributos como es la climatología. Siendo dicha circunstancia más evidente que en el caso de los automóviles, en los que existen menor similitud por proximidad espacial.

4. Elaboración de los modelos explicativos

Una vez se ha realizado la exploración previa a través de las técnicas comentadas anteriormente, el siguiente paso es construir los modelos multivariantes que expliquen los fenómenos objeto de estudio.

A grosso modo los principales modelos explicativos utilizados en este estudio son los modelos de regresión y las series temporales. De todas formas se han explorado otras técnicas predictivas como las comentadas anteriormente encontrando que la regresión ha sido una opción con elevada capacidad predictiva.

En todos estos modelos es esencial especificarlos identificando las variables explicativas a tener en cuenta y la fórmula que las relaciona. En nuestro caso las variables explicativas provienen de datos independientes y de posibles agrupaciones de variables en factores.

4.1 Series Temporales

4.1.1 Análisis de la tendencia

Al disponer de una serie histórica de datos suficientemente prolongada, es factible aplicar diferentes técnicas estadísticas con la finalidad de identificar posibles tendencias que pueden servir de base para realizar previsiones futuras.

Mediante la representación gráfica de una serie suficientemente prolongada, se puede interpretar la representación de la tendencia y, por tanto, prolongarla en el tiempo.

Las gráficas de observaciones individuales y rangos móviles (I-MR) (Figura 2) permiten validar la presencia de tendencias y patrones para series históricas, al determinar el carácter evolutivo de los datos. Las observaciones fuera del rango evidencian la existencia de un patrón evolutivo y, al analizar la evolución con rangos móviles, se verifica la consistencia de los datos.

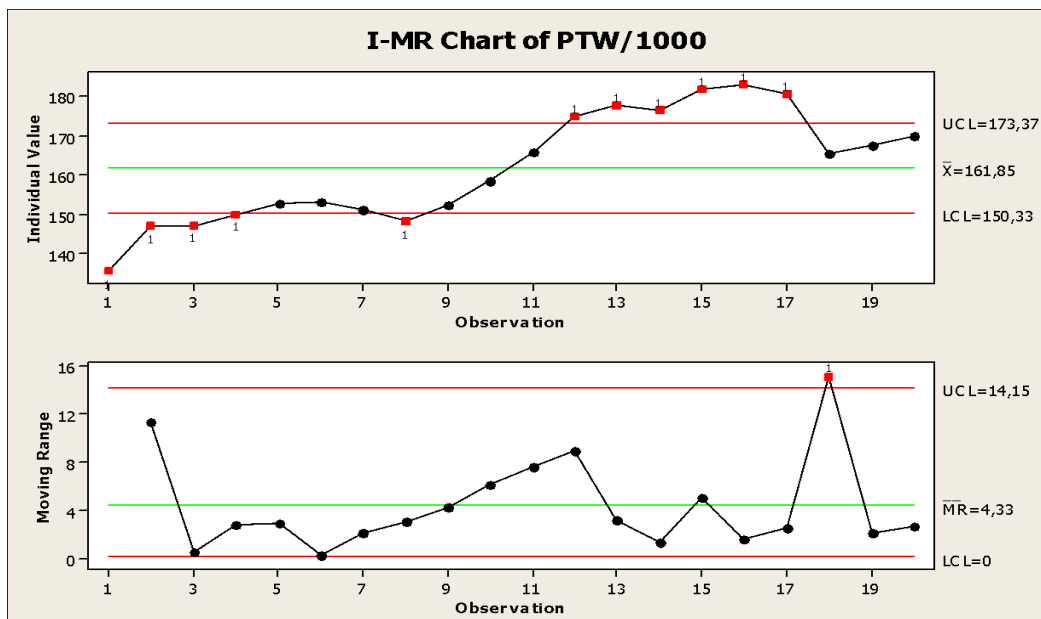


Figura 2 observaciones individuales y rangos móviles (I-MR)

Una variable dependiente del tiempo ($y = f(t)$) puede ajustarse a tres modelos evolutivos del comportamiento de su tendencia, susceptible de ser parametrizada mediante algún tipo de función que sintetice su evolución: Modelo estacionario, modelo con tendencia lineal y modelo con estacionalidad: la variable tiene una evolución no lineal.

4.1.2 Análisis de la estacionalidad

Muchos fenómenos están afectados por continuas variaciones cíclicas (dientes de sierra) que pueden ocultar una tendencia, si bien una adecuada agrupación puede eliminar o suavizar el efecto cíclico y facilitar la identificación de posibles tendencias.

La evolución temporal de una variable puede evidenciar la existencia de patrones que aparecen cíclicamente y, en definitiva, la existencia de fenómenos estacionales. Una de las pruebas para determinar la estacionariedad de una serie temporal, es el test de Dickey-Fuller (Dickey, 1979).

En una serie temporal se pueden observar grados de autocorrelación parcial entre series parciales que muestran la existencia de correlaciones entre conjuntos de pares de datos y que pueden evidenciar la relación entre términos explicativos de la tendencia.

4.1.3 Modelo de proyección futura

Una de las utilidades del análisis de series temporales es la posibilidad de diseñar modelos de proyección de datos futuros. De este modo es factible realizar diferentes tipos de proyección de la evolución futura de la serie temporal.

La base para cualquier valoración de la demanda futura es el conocimiento de la evolución de la demanda actual y pasada (demanda revelada), relacionándola con diferentes variables, a partir de las cuales pueden establecer unos parámetros de comportamiento potencial de la demanda. La extrapolación de la tendencia de una serie temporal, es una manera directa de realizar una previsión. La modelización, en cambio, vincula la evolución de un fenómeno a una serie de variables con las que debe de estar correlacionada. La selección, el tratamiento y procesamiento de variables relevantes para determinar la demanda futura se realiza mediante modelos de previsión de la demanda.

4.2 Modelos de regresión

El análisis de regresión es una herramienta ampliamente utilizada en investigación. El análisis de regresión es una técnica estadística de dependencia utilizada para estudiar la relación entre varias variables explicativas o independientes y una variable respuesta o dependiente, posibilitando modelizar cómo el valor medio de la variable dependiente cambia cuando cualquiera de las variables independientes sufre modificaciones. A continuación se relacionan las fases de elaboración de un modelo de regresión.

El modelo se puede expresar de forma compacta como:

$$y = X\beta + \epsilon \quad [2.1]$$

Dónde:

- y : vector de dimensión (n) de observaciones de la variable Y
- ϵ : vector de dimensión (n) de los residuos o errores
- x : matriz de dimensión $n \cdot (k+1)$ de las observaciones
- β : vector $(k+1) \cdot 1$ de los coeficientes de regresión.

Y los supuestos son:

- **Linealidad:** El supuesto de linealidad $E(\underline{Y}) = \underline{X}\underline{\beta}$, en regresión simple, se interpreta como que las medias de la variable respuesta (\underline{Y}), para cada uno de los valores de la variable explicativa se sitúan en una recta.
- **Homocedasticidad e Independencia:** Estos supuestos implican que para cada punto de valores de las variables explicativas, la variable aleatoria respuesta y en consecuencia los errores aleatorios tienen siempre la misma varianza y son independientes entre ellos.
- **Normalidad:** Este supuesto implica que las variables aleatorias respuesta se distribuyen de forma normal. Este último supuesto se interpreta, dentro del contexto de la regresión, que en el modelo planteado, ninguno de los regresores es combinación lineal perfecta del resto. En caso de serlo, se podría eliminar porque no explicaría nada en relación con la variable respuesta que no pudiese ser explicado por los otros regresores.

En la etapa de estimación de los parámetros, al trabajar matricialmente, todos los resultados serán los mismos que en regresión simple:

$$\underline{\hat{Y}} = \underline{X}\underline{\hat{\beta}} \quad \underline{e} = (\underline{Y} - \underline{\hat{Y}}) = \underline{Y} - \underline{X}\underline{\hat{\beta}} \quad [2.2]$$

Donde:

\underline{Y} : Variable respuesta

$\underline{\hat{Y}}$: Estimaciones de las respuestas mediante la ecuación de regresión, en forma vectorial.

$\underline{\hat{\beta}}$: Estimadores de los coeficientes de regresión.

\underline{X} : Matriz de los valores de las variables explicativas.

\underline{e} : Residuos (diferencia entre los valores de las respuesta y los valores estimados de la respuesta= $\underline{Y} - \underline{\hat{Y}}$)

La siguiente etapa es la verificación del modelo. Recordemos que el objetivo del estudio es conocer si, efectivamente, existe relación lineal entre las medias de la variable respuesta Y , además de las distintas variables explicativas X_1, X_2, \dots, X_k .

En el caso de que se concluya que la relación lineal obtenida en la muestra es estadísticamente significativa, ya se podrá utilizar el modelo para predecir el valor de nuevas observaciones a través de la ecuación del modelo:

$$\underline{\hat{Y}} = \underline{X}\underline{\hat{\beta}} \quad [2.3]$$

$$\underline{\hat{Y}} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_k x_k \quad [2.3a]$$

Donde:

$\hat{\beta}_0$: Estimación del parámetro poblacional del corte con el eje de ordenadas del modelo de regresión.

$\hat{\beta}_i$: son las estimaciones de los coeficientes de regresión (pendientes) de cada variable x_i respectivamente.

k : Número de variables explicativas (o regresores).

x_i : Regresor o variable explicativa i

Para comprobar los supuestos de la técnica se usa la etapa de análisis de los residuos. Este análisis gráfico de residuos tiene como objetivo decidir si los supuestos sobre el término de error, impuestos en la etapa de especificación del modelo, son o no creíbles en base a la muestra obtenida. Si dichos supuestos no fuesen ciertos, las distribuciones de probabilidad obtenidas para los estimadores no serían correctas y, por tanto, no se podrían utilizar para verificar el modelo ni para predecir nuevas observaciones y consecuentemente nuestro modelo no sería válido.

PARTE 2

LOS VEHÍCULOS MOTORIZADOS DE DOS RUEDAS (PTW)

Capítulo 3

Los vehículos motorizados de dos ruedas (PTW), marco conceptual y estado de la cuestión

1. Tipología de los vehículos motorizados de dos ruedas

1.1 Powered Two Wheeler: PTW

Los vehículos motorizados de dos ruedas (VM2R) se definen en la terminología anglosajona con el término: “powered two-wheeler” y el acrónimo PTW. Los franceses los denominan deux-roues motorisés (2RM). Los PTW comprenden a las motocicletas (motorcycles); ciclomotores (mopeds); cuadriciclos ligeros (Quads); bicicletas motorizadas (mofas) que también incluye a las bicicletas eléctricas, excluyendo a las bicicletas con pedalada asistida; y a los vehículos carrozados sobre una base de cualquiera de los anteriores vehículos (scooters, motorinos, etc.) En términos globales, los PTW incorporan la clasificación recogida en la normativa Europea (Council Directive 92/61 EC).

Para identificar el colectivo de usuarios de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona, es necesario previamente identificar y clasificar la gran variedad de vehículos motorizados de dos ruedas, pudiendo distinguirse dos categorías: ciclomotores y motocicletas. También existen los cuadriciclos ligeros, que podrían ser tomados en consideración por sus características de ciclomotores, si bien su poca relevancia actual y características claramente diferenciadas nos llevan a no tenerlos en consideración.

1.1.1 Ciclomotores

El concepto clásico de ciclomotor se ajusta a la etimología de las palabras que componen el término: por “ciclo” se entiende un vehículo de dos ruedas propulsado mediante el esfuerzo muscular de las personas sobre un mecanismo de transmisión de movimiento como pueden ser pedales o manivelas; por “motor” se entiende una máquina que transforma en energía mecánica otra forma de energía.

Los ciclomotores son vehículos casi específicamente diseñados para la circulación en entornos urbanizados. Sus reducidas dimensiones facilitan la maniobrabilidad del vehículo y la movilidad por espacios pequeños y vías congestionadas. El ciclomotor es un vehículo muy utilizado por conductores jóvenes, por tanto, noveles y con escasa experiencia en la conducción. El “Reglamento General de Circulación” restringe la circulación de ciclomotores en entornos interurbanos, determinando normas específicas que “en el caso de que no exista vía o parte de la misma que les esté especialmente destinada, circularán por el arcén de su derecha, si fuera transitable y suficiente para cada uno de éstos y, si no lo fuera, utilizarán la parte imprescindible de la calzada (...).”(art.36).

1.1.2 Motocicletas

La categoría motocicletas queda dividida en los grupos establecidos por el RACC en su “Encuesta sobre la accidentalidad de los motociclistas”(Racc-Honda. 2013)(Figuras 3 y 4):

- **Motocicleta Naked:** Se trata de una motocicleta deportiva que no incorpora carenado frontal, lo cual expone al piloto al contacto con el aire. Al no incorporar carenado frontal se reduce la aerodinámica del vehículo, aunque produce una sensación de mayor contacto con el medio.
- **Motocicleta Scooter:** Es un tipo de motocicleta destinado a un entorno urbano e interurbano. Sus dimensiones reducidas le confieren una buena maniobrabilidad dentro de la ciudad, a la vez que su cilindrada permite su circulación por el ámbito interurbano, así como en vías rápidas o autopistas.

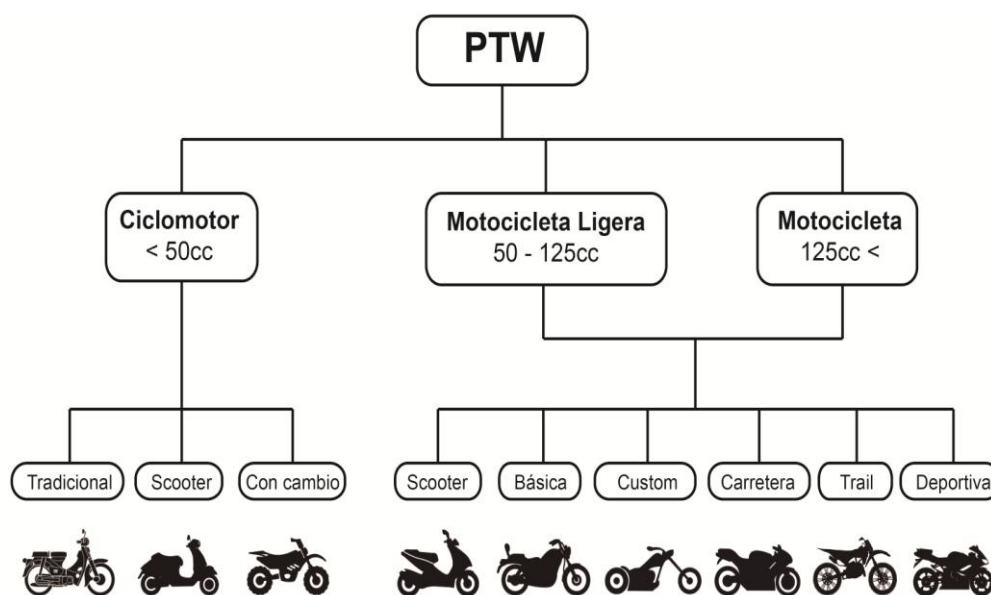


Figura 3 Clasificación de los PTW

Fuente: OCDE-OECD 2015

- **Motocicleta Sport Touring:** Son vehículos que se clasifican dentro de la categoría de motocicletas deportivas destinadas a trayectos de largo recorrido. Dispone de un carenado frontal que permite el acoplamiento del piloto dentro del carenado mejorando la aerodinámica y reduciendo la fricción con el aire.
- **Motocicleta Cruisers.** Motocicletas de grandes dimensiones con estilo clásico, con asiento bajo y manillar alto que confieren una posición de conducción con las extremidades adelantadas y la espalda extendida, con el fin de adoptar una posición cómoda de conducción (representan alrededor del 60 por ciento del mercado estadounidense).
- **Motocicleta Touring:** Motocicletas de alta cilindrada y peso concebidas para hacer viajes de larga distancia. El carenado frontal con visera que permite una posición vertical del cuerpo del piloto. Dotada de un depósito con elevada capacidad y cofres para ubicar equipaje. Motocicleta concebida para tener una conducción estable y cómoda, con asiento amplio para el conductor y un pasajero.
- **Motocicleta Trail (off-road), dual-purpose (Doble uso).** Son vehículos para circular tanto por carreteras de asfalto, como en tramos off-road. Abarcan un amplio espectro de motocicletas híbridas entre vehículo de carretera y off-road. Son vehículos que permiten circular con garantías de *reprise* y estabilidad por el asfalto y tienen buenas prestaciones para circular por pistas no asfaltadas. Vehículo con elementos de carenado, con unas suspensiones de largo recorrido y sistemas de amortiguación adaptados para el paso por tramos irregulares.
- **Motocicletas Sport:** Es un tipo de motocicleta destinada a la conducción deportiva, la localización retrasada de los estribos permite adoptar una posición del piloto acoplada con la motocicleta mejorando la aerodinámica, reduciendo la fricción del aire y facilitando una conducción más agresiva. Las motorizaciones con altas prestaciones de *reprise* y aceleración, y sistemas robustos de frenada, sacrifican el confort, el consumo e incluso la seguridad para incrementar las prestaciones.

- **Motocicleta off-road:** Motocicletas diseñadas para circular por zonas no asfaltadas. Existe una gran variedad de modelos dependiendo del tipo de conducción y entorno, así como gran variedad de disciplinas del motociclismo, entre otras: Moto-cross, Trial, Enduro.
- **Motocicletas Custom:** Se trata de vehículos modificados y personalizados partiendo de un modelo base o de un diseño exclusivo, personal y limitado. Se pretende crear un vehículo único, a gusto del consumidor, Cuando los fabricantes japoneses pusieron en el mercado motocicletas de gran cilindrada del segmento personalizado o “*custom*”, amenazaron seriamente al fabricante americano Harley-Davidson que sufrió problemas similares a la industria europea. (Kitano, 2011; Schemberi, 2009).
- **Motocicletas Cargo:** Motocicletas con la carrocería adaptada o que disponen de elementos que la habilitan para el transporte y reparto de mercancías. Suelen ser de media cilindrada, bajo precio y eminente uso urbano.

















CICLOMOTOR 49 CC	MOTOCICLETAS >49CC	OTROS
1 CICLOMOTOR 	1 NAKED 	8 OTROS 
2 SCOOTER 	2 SCOOTER  	 
3 SPORT  TRAIL  SUPERMOTARD 	3 SPORT TOURING 	
	4 TOURING 	
	5 TRAIL 	
	6 SPORT 	
	7 CUSTOM 	

Figura 4 Clasificación de los PTW
Fuente: RACC 2009

2. Características de la movilidad de los vehículos motorizados de dos ruedas

2.1 El pilotaje de los vehículos motorizados de dos ruedas

El conducir PTW exige al piloto mayor y más continuada concentración, a la vez que determinadas condiciones y habilidades psicofísicas que, contrariamente, no demanda la conducción de un automóvil. Ello obedece a que estos vehículos únicamente disponen de dos puntos de apoyo, lo cual implica que cuentan con menor adherencia y menor estabilidad y, por tanto, un mayor riesgo de sobrepasar los límites de adherencia en frenadas, giros o inercias.

Por todo ello, la conducción de un PTW exige un control continuo, ciertas habilidades de coordinación, reflejos, fuerza, y no todas las personas, especialmente conforme avanza su edad, disponen de dichos atributos de un modo seguro y prolongado. El pilotaje de PWT es un ejercicio aeróbico intenso. La carga física es mayor debido al esfuerzo postural derivado de estar sentado sobre una superficie no envolvente, debiendo mantener una postura estable. Esta posición, implica un esfuerzo muscular estático, es decir, una tensión sostenida de los músculos para que se mantengan contraídos un cierto período de tiempo. Esta posición prolongada, puede convertirse en incómoda y pesada si no se alterna con otras posiciones que impliquen movimiento (Nogareda Cuixart *et al.* 1994). Además de este trabajo estático de los músculos, hay que añadir las posturas forzadas desfavorables debido a un tamaño reducido del asiento o una incómoda colocación. La carga física se ve aumentada por la falta de protección respecto al medio, al estar expuesto a la climatología. Dicha exposición provoca una mayor tendencia a la deshidratación de los pilotos y, por tanto, a la aparición de la fatiga (Haworth, y Rowden, 2006).

La fatiga es un proceso de pérdida de capacidad de respuesta frente a los estímulos, implicando un riesgo de carácter variable conforme se avanza el tiempo de conducción. La aparición de la fatiga depende del tipo de conducción, entorno, condiciones climáticas y características personales de cada individuo (R.T.A. 2005).

Conforme avanza la edad, el piloto pierde condiciones físicas, aumenta el tiempo de reacción, minoran los reflejos y el cansancio aparece antes. La experiencia se ha mostrado fundamental en la reducción del número de accidentes y, en general, cuanto mayor es el kilometraje medio anual menor es el ratio de accidentes por kilómetro recorrido (Taylor, 1990). El total de kilómetros recorridos influye en la reducción del ratio de accidentes por kilómetro, demostrando la importancia de la experiencia en la menor prevalencia del número de accidentes (Massie, 1997).

El uso de vehículos motorizados de dos ruedas tiene un elevado componente emocional, motivacional y social. En muchos casos dichos atributos facilitan un uso lúdico y deportivo de los vehículos. Las personas que optan por estos vehículos para sus desplazamientos, perciben con un cierto componente positivo sensaciones tales como la mayor intensidad en aspectos del pilotaje (aceleración, maniobrabilidad, etc.), teniendo una percepción sesgada que les hace infravalorar la exposición al riesgo (Horswill, 2002).

Asimismo, algunos motoristas conciben el vehículo como elemento de identificación sociocultural que fomenta la percepción de pertenencia a un grupo, de forma que su uso, además de ser un modo de transporte, permite desarrollar actividades de carácter social (Noordzij *et al.* 2001).

La conducción de un vehículo motorizado es una actividad multitarea que requiere la ejecución continua y simultánea de un conjunto complejo de actividades de tipo sensorial, psíquico y motriz, reclamando una atención continuada el procesado dinámico de información en diferentes niveles de cognición, la toma de decisiones y la realización de acciones de un modo secuencial; todo ello en un entorno en continuo cambio dinámico y expuesto a situaciones impredecibles (Figura 5).

Existen dos elementos que marcan la diferencia en las condiciones de conducción de la motocicleta en relación con el automóvil: la necesidad de mantener sobre la motocicleta continuamente el equilibrio –circunstancia que no se da en el automóvil–, y el hecho que las motocicletas no dispongan de carrocería y, por tanto, de un habitáculo que provea seguridad y confort al aislar mejor al piloto de los elementos: lluvia, frío o calor, viento, humedad y condiciones de entorno, tales como, ruido o vibraciones (Robertson, y Porter, 1987).

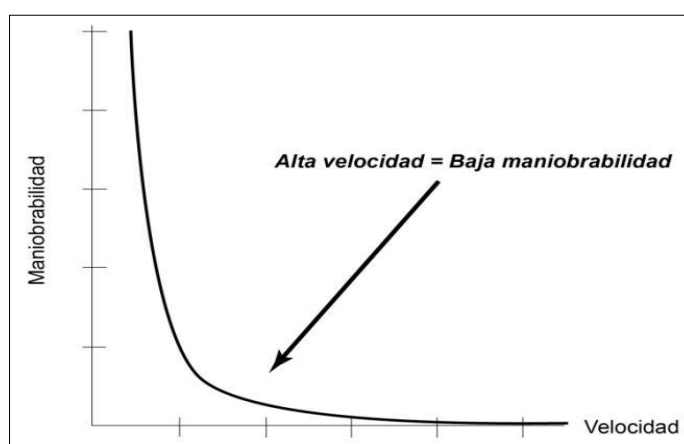


Figura 5 Relación entre velocidad y maniobrabilidad.
Fuente: Elaboración propia

2.2 Categorías de usuarios

Los usuarios de vehículos motorizados de dos ruedas se pueden categorizar de diversas formas. Por ejemplo, Ooi y Venkataraman (2008) proponen dos grupos: el Grupo A, formado por aquellos que utilizan una motocicleta exclusivamente como modo de transporte (que a su vez subdividen en dos grupos A1 y A2) y el Grupo B, compuesto por aquellos que utilizan una motocicleta para el ocio o recreo (también dividido en los grupos B1 y B2).

Conforme aumenta el nivel de vida, reflejado en el mayor poder adquisitivo y la mayor disposición de tiempo para el ocio, se realizan más actividades lúdicas con vehículos a motor. Dicha circunstancia explica por qué Suiza dispone de un parque de motocicletas tan grande o el extenso uso de las motos en Francia. En este sentido, en Francia casi nueve de cada diez motocicletas se utilizan para fines lúdicos y una de cada dos está destinada principalmente para este uso. Una motocicleta de cada cuatro se utiliza principalmente para ir al trabajo, frente a casi la mitad de los ciclomotores. Más de la mitad de las motocicletas se utilizan de uno a tres días a la semana o solo el fin de semana. Conforme aumenta la cilindrada de las motocicletas, mayor es su uso para actividades de recreo y vacaciones.

Jamson, S y Chorlton, K. (2004), categorizando las tipologías de motoristas, los clasifican en tres grupos: a) New Rider: motoristas que han comenzado a usar el vehículo en los

últimos 5 años; b) Long-Term Rider: pilotos que llevan pilotando de manera continuada desde hace más de 5 años, sin haber realizado una interrupción de más de 10 años; c) Returning Rider: pilotos que en los últimos 10 años han vuelto a pilotar después de haber realizado una interrupción de 10 años o más. En el estudio realizado sobre los motoristas de la ciudad de Londres, en el año 2004 el reparto era de: a) New Rider: 34 % b) Long-Term Rider: 52 % c) Returning Rider: 14 %. Posteriormente, en un estudio del año 2009 Jamson y Chorlton (2009) identifican cómo en los países más desarrollados se ha producido un cambio en la tipología de motoristas de manera que aumenta la cilindrada y potencia de las motocicletas, así como su edad promedio, con un transformación de los usos de los vehículos, un componente de uso para la movilidad diaria y también para el ocio. En el estudio, para el conjunto del Reino Unido, establecen las siguientes categorías y su reparto: New Rider: 22%, Long-Term Rider: 56% Returning Rider: 22%.

En las sociedades avanzadas, los elevados ingresos per cápita permiten que las personas tengan más tiempo de ocio (OCDE, 2014) y la oferta de actividades lúdicas es mucho más variada y sofisticada. Una de las opciones consiste en utilizar las motocicletas con fines recreativos (Tabla 1). En EE.UU., por ejemplo, la actividad recreativa es la principal razón para montar en motocicleta (GHSA, 2011). Solo alrededor del 33% de los motociclistas consideran usar su vehículo como medio de transporte principal para conducir hacia y desde el trabajo o la escuela (McCartt *et al.*, 2011). Por contra, en algunos países asiáticos como Taiwán, sólo el 4,9% de los viajes se realiza con fines recreativos (Tien-Pen *et al.*, 2003).

Tabla 1 % Tiempo dedicado al ocio entre personas entre 15-64 años
Fuente: OCDE-OECD 2014.

País	% tiempo ocio	País	% tiempo ocio
Noruega	26,2%	Estados Unidos	20,3%
Finlandia	25,1%	Corea	20,2%
Reino Unido	25,0%	Estonia	19,9%
Alemania	23,5%	Australia	19,5%
Dinamarca	22,8%	Austria	19,5%
Bélgica	22,6%	Italia	19,3%
España	22,2%	Hungría	19,3%
Irlanda	21,9%	Turquía	18,3%
Canadá	21,9%	Portugal	16,7%
Eslovenia	21,6%	Japón	16,3%
Suecia	21,3%	México	15,3%
Nueva Zelanda	20,9%	OECD 26	20,8%
Polonia	20,6%	Sudáfrica	20,2%
Países Bajos	20,5%	India	17,6%
Francia	20,4%	China	15,8%

3. Estado de la cuestión

3.1 Antecedentes

El paso inicial de la investigación requiere la revisión previa de la literatura científica en la materia y conocer el estadio actual, con objeto de contextualizar el problema de investigación a partir de la perspectiva teórica. Para ello se debe proceder a identificar, consultar y obtener referencias y todo tipo de material de potencial utilidad para contextualizar la materia y el objeto de estudio a partir de los cuales ubicar el objeto de la investigación.

En 2009 tuvo lugar en Marsella el simposio internacional sobre análisis de accidentes y prevención, y al analizar el ámbito de los vehículos motorizados de dos ruedas, se constató la falta de trabajos de investigación en dicho ámbito y la necesidad de incrementar notablemente los trabajos de investigación en todos los aspectos de la movilidad en PTW. (Van Elslande, y Elvik, 2012).

Como se ha comentado, Ortúzar y Willumsen (2011) constatan con sorpresa la escasa producción científica en el ámbito de la modelización de la posesión de PTW, a pesar de la importancia que tienen en muchos países, incluidos algunos europeos. Además reclaman una mayor atención al presagiar que en un futuro próximo están llamados a tener un potencial protagonismo como vehículos eléctricos de dos ruedas. Esta tesis pretende realizar una aportación en la mejora del conocimiento explorando los diferentes aspectos involucrados en las variables que inciden en el uso de dicha tipología de vehículos.

El estado de la cuestión a nivel del estudio de las variables que caracterizan los desplazamientos en vehículos motorizados de dos ruedas en ámbitos urbanos no es muy extenso debido a dos condicionantes principales. El primero, es el hecho que históricamente la movilidad en PTW no ha tenido un peso especialmente significativo (salvo determinadas zonas geográficas y entornos metropolitanos) en el conjunto de la movilidad. El segundo condicionante es el hecho que una parte significativa de la investigación relativa a los PTW se ha focalizado en un aspecto que tiene un elevado impacto social como es su elevada accidentabilidad y especial lesividad en las personas implicadas en accidentes.

El ámbito de los accidentes con PTW es especialmente relevante si tenemos en cuenta que el ratio de número de accidentes, respecto a km. recorridos es muy superior que con automóviles, y que los accidentes en PTW tienden a ser de mayor severidad (OCDE-OECD 2015). Además el número de accidentes en vehículos motorizados de dos ruedas está aumentando significativamente con la expansión en el uso de dicho modo de transporte en el mundo (WHO 2013).

Una parte sustancial de la literatura científica en el ámbito de los PTW se centra justificadamente en la accidentabilidad. El resultado es que no abundan estudios relativos a las variables que inciden en uso de los PTW. Un motivo que explica el escaso interés por el estudio es el hecho que los desplazamientos en PTW suponen una aportación poco homogénea a la movilidad global. Frente al automóvil y al transporte público, que representan gran parte de los desplazamientos en entornos urbanos, los vehículos motorizados de dos ruedas tienen una aportación a la movilidad mucho más difusa, ya que varía sensiblemente dependiendo del entorno e incluso, a lo largo del año, evidenciando un cierto grado de estacionalidad.

La anterior circunstancia implica que en el estudio de la movilidad en entornos metropolitanos, el vehículo motorizado de dos ruedas tienda a no tener un tratamiento específico y diferenciado, por lo que en muchos casos, se llega a agregar dentro de la categoría de desplazamientos en vehículo privado el automóvil y el PTW.

Si bien, como antes se indicaba, escasean los estudios relativos a los factores que explican la movilidad en PTW, por el contrario los estudios relativos a la accidentabilidad tienen una larga tradición, abordando perspectivas tan variadas como las causas y la evitabilidad (Taylor, *et al.* 1990; Yates, *et al.* 1992; Haworth, *et al.*, 1997; Sexton, *et al.* 2004; MAIDS 2004; MAIDS 2009; Albalade, y Fernández-Villadangos, 2010).

Los estudios relativos a la accidentabilidad en PTW se han visto potenciado por el hecho que la mayor popularización del uso de vehículos motorizados de dos ruedas, ha llevado aparejado un repunte de la accidentabilidad. Consciente de esta situación, la Comisión Europea ha puesto énfasis en proponer un marco regulatorio que enfatice la introducción de mejoras en la seguridad de los vehículos motorizados de dos ruedas.

La problemática de la accidentabilidad de las motocicletas y ciclomotores ha hecho que tome protagonismo en la agenda política. Entre los siete objetivos estratégicos del programa europeo de seguridad vial para el período 2011 – 2020 (European Commission 2010), se determina que la Comisión se centrará especialmente en las motocicletas y otros PTW, al constatar que la evolución general es la disminución del número de accidentes mortales y de lesiones y, en cambio, en el colectivo de motoristas bajan con menor intensidad e incluso están estabilizadas. Entre las diferentes medidas, se propone regular la introducción de equipos de seguridad funcional, entre otras, la instalación obligatoria de sistemas avanzados de frenado ABS, apoyado por estudios que destacan su efectividad en la mejora de la seguridad. (Rizzi, *et al.* 2009; NHTSA 2013).

En la misma línea la Unión Europea aprobó en el año 2011 el “Libro Blanco” (COM 2011) que identificaba como colectivos especialmente vulnerables a los peatones, ciclistas y conductores de ciclomotores y motocicletas, e instaba en sus recomendaciones a prestarles una atención especial mediante, entre otras cosas, infraestructuras y tecnologías de automoción más seguras.

Ciertamente existe un déficit de estudios de investigación en los variados ámbitos que comprenden la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas.

No existen estudios de las variables que puedan explicar el mayor uso de la moto en Barcelona en relación con el resto de ciudades del estado español, ni estudios que hayan analizado en profundidad las causas del incremento del uso de dicho tipo de vehículos en la ciudad de Barcelona.

3.2 Ámbitos del estado de la cuestión

En Ingeniería del Transporte el estudio de la elección de un modo de transporte entre diferentes opciones corresponde al ámbito de la “teoría de la decisión” (Choice Theory). Intentar estudiar por qué en una ciudad, entre diferentes medios de transporte mecánicos, determinadas personas escoge desplazarse en vehículos motorizados de dos ruedas, es una elección modal que responde al comportamiento del consumidor y que supone un reparto de los desplazamientos entre diferentes modos (Modal Split).

Existe abundante literatura sobre el reparto modal centrada en analizar los mecanismos de elección del modo de transporte. Se han formulado gran variedad de modelos matemáticos que permiten cuantificar volúmenes de reparto de desplazamiento entre diferentes modos

en función de variables como el tiempo de desplazamiento, el coste, la accesibilidad, la comodidad, la seguridad, el estatus, etc. (Ortúzar y Willumsen, 2011).

Uno de los científicos más influyentes en el ámbito de las elecciones de modos de transporte por parte de los consumidores es Daniel L. McFadden que en el año 2000 recibió el Premio Nobel de Economía, entre otros méritos por “su desarrollo de la teoría y métodos para analizar la elección discreta”. El marco teórico o paradigma más extendido para generar modelos de elección discreta es la “Teoría de la Utilidad Aleatoria”, (Domencich, y McFadden, 1975). En la misma obra, los autores plantean el modelo de elección discreta más simple y más extendida: el Multinomial Logit (MNL). La Teoría de la Utilidad Aleatoria se sustenta en las premisas de que para efectuar elecciones los individuos: forman parte de una población homogénea; actúan de modo racional, poseen información perfecta de las alternativas posibles y buscan maximizar su utilidad. La utilidad resultante se puede cuantificar, repartida entre un componente representativo medible, y otro componente aleatorio que refleja las idiosincrasias y gustos particulares de cada individuo, así como los errores de implementación del modelo. De modo que dicho doble componente permite explicar porque dos individuos con los mismos atributos, pueden escoger elecciones diferentes.

Diferentes estudios sobre el comportamiento del consumidor han servido de base para cuestionar que el comportamiento de la elección de las personas se ajuste a criterios de racionalidad absoluta (Allais, 1953). La ciencia dispone de nuevas aportaciones que evidencias como las emociones participan decisivamente en la elección del modo de transporte. La formulación de especialidades como la neuroeconomía con la incorporación de las teorías de la neurobiología, ha permitido ampliar el conocimiento del comportamiento de las personas, dando como resultado mejores predicciones sobre el comportamiento de los consumidores.

El propio D. McFadden en el año 2013 considera como *“los economistas, desde los tiempos de Adam Smith y Jeremy Bentham, tradicionalmente han considerado que los consumidores actúan conducidos por la búsqueda incesante y constante de su propio interés, de modo que las elecciones que realizan de las diferentes opciones proveen los indicadores necesarios para revelar sus preferencias y evaluar su bienestar. Esta teoría de la elección del consumidor es empíricamente exitosa, y proporciona los cimientos para la mayor parte de las políticas económicas. Sin embargo, esta perspectiva tradicional está siendo desafiada por evidencias aportadas por la psicología cognitiva, la antropología, la biología evolutiva, y la neurología”* (Mc Fadden, 2013). En dicho artículo el autor propone el estudio de la elección en el ámbito del transporte incorpore los recientes avances de un amplio conjunto de ramas de la ciencia sobre el comportamiento del consumidor, los mecanismo de elección y la evaluación de su bienestar.

El análisis de la elección de las personas entre diferentes modos de transporte, escogiendo desplazarse en vehículos motorizados de dos ruedas, debe tratarse desde diferentes ámbitos científicos. A la perspectiva de la ingeniería del transporte y de la economía, será necesario incorporar las aportaciones de la *“psicología cognitiva, la antropología, la biología evolutiva, y la neurología”* y de otros ámbitos como son la sociología, la geografía, la politología, la demografía y la climatología, al objeto de incorporar mayor cantidad de información que permita fundamentar una explicación satisfactoria al fenómeno.

Toda investigación tiene cierta similitud a la composición de un puzle sin contar con una imagen de referencia. Conforme se juntan piezas, se va perfilando e identificando la imagen, llegando un momento en el que, aún sin completar totalmente el mosaico, es

posible identificar la figura y dar una respuesta. En nuestro caso, se pretende incorporar el mayor número de piezas que nos permita disponer de la mayor definición del resultado.

Existe un amplio campo de investigación en la elección modal, especialmente entre vehículo privado y transporte público. En el caso específico de la elección del modo vehículo motorizado de dos ruedas las aportaciones son más escasas.

La elección modal está estrechamente relacionada con el concepto de "accesibilidad al transporte", medida por el tipo y número de vehículos que un hogar puede costearse en función de su nivel de ingresos y en relación con los costos directos (poseer y conducir vehículos) y los indirectos (estacionamiento y consumo) y en comparación con la calidad y los costos de los modos alternativos de transporte (Litman, 2008). Diferentes niveles de impuestos sobre los vehículos afectan a la elección del mismo, ya que dependerá de sus niveles de consumo, emisiones, etc. (Birkeland, y Jørgensen, 2001).

3.3 Estudio del fenómeno del uso de la motocicleta

En el último cuarto del siglo XX, en gran número de entornos urbanos, especialmente en países avanzados económica y socialmente, la extensión del uso del automóvil llegó a unos niveles de saturación. Alcanzado dicho umbral, varios factores han incidido en que el uso del automóvil haya llegado a niveles de estancamiento y los PTW haya recuperado cierto interés. Dichos factores han sido las políticas de restricción del uso del automóvil en entornos urbanos congestionados, la diversificación de los usos de la motocicleta y la ampliación de los públicos objetivos a un mayor número de estratos de la sociedad (mujeres y gente mayor). El aumento del uso de motocicletas en zonas urbanas densas se explica por los menores costes operativos, las menores restricciones de tráfico y estacionamiento; la incorporación de las mujeres al uso de PTW y, finalmente, en las zonas con alto poder adquisitivo, ha aumentado el uso recreativo especialmente los fines de semana y durante el tiempo de ocio (Haworth, 2012).

Además de emplearse como modo de transporte, en motocicleta también se realizan un número considerable de desplazamientos relacionados con actividades lúdicas (Rand, 2011). En algunas sociedades, la motocicleta tiene connotaciones culturales como vehículo vinculado a la libertad, el individualismo, el rechazo de las convenciones sociales y la emancipación (Schemberi, 2009). EE.UU., por ejemplo, es un país que ha llegado a determinados niveles socioeconómicos y culturales que conllevan cambios de hábitos en el uso de los modos de transporte, alcanzando incluso a nuevos colectivos que utilizan la motocicleta en actividades de tipo recreativo (Auster, C. J. 2001). En cambio, en los países asiáticos, donde los niveles socioeconómicos se mantienen en rangos inferiores, las motocicletas continúan siendo casi exclusivamente un modo de transporte con escasa orientación a actividades de ocio.

En los países occidentales la expansión del uso de la motocicleta ha sido bastante generalizada. Dicho fenómeno se explica por su mayor utilización en entornos urbanos congestionados como modo de transporte alternativo y más eficiente que el automóvil (vehículos versátiles de baja y media cilindrada), así como por un mayor uso lúdico que explica el incremento de ventas en vehículos versátiles de cilindrada media-alta (Jamson, y Chorlton, 2009). Se ha producido un significativo incremento del número de usuarios, ampliándose a otros segmentos de población, pasando de ser un modo eminentemente masculino y de gente joven, a contar con una mayor aceptación de la mujer y de amplios segmentos de la población por edades y estratos sociales. (Watson, *et al.* 2007).

En los países emergentes de Asia y América, las motocicletas son un vehículo con múltiples usos (taxis, mensajería, reparto...) y un modo de transporte relativamente alternativo en entornos sin una oferta eficiente de transporte público (ESMAP/World Bank 2003); se trata de vehículos de baja y media cilindrada, con una gran expansión del uso del scooter (Rogers, 2008). Además los países asiáticos son los principales productores mundiales de de PTW (Fujita, 1998).

En el continente africano, el crecimiento de las zonas urbanas y de la actividad económica en un entorno con grandes déficits de sistemas de transporte público, ha propiciado la popularización de sistemas no convencionales de transporte público en el que ostentan un especial protagonismo las motocicletas comerciales, que a su vez son un modo de transporte relativamente asequible y propicio en entornos con sistemas viarios deficientes (Kumar, 2011).

3.4 El estudio del riesgo en la movilidad en PTW

El efecto de la percepción del riesgo es un factor fundamental en la conducción de vehículos motorizados de dos ruedas. En términos puramente estadísticos existen más probabilidades de sufrir un accidente por kilómetros recorrido en vehículo motorizado de dos ruedas que en automóvil. Por lo que en el ámbito de puramente de evitar del riesgo, el uso de los vehículos motorizados de dos ruedas debería generar una mayor percepción objetiva del riesgo. En cambio, las personas no tienen una percepción objetiva del riesgo sino que prevalecen elementos subjetivos que soslayan la cuantificación real del riesgo (Yates, Stone, y Eric 1992).

Un parámetro para cuantificar la exposición al riesgo es la distancia recorrida por modo de transporte: vehículos/kilómetro recorrido. Circular en PTW es mucho más arriesgado que hacerlo en automóvil. Los desplazamientos en PTW en el conjunto de los 25 países de la UE, en el año 2006, representaban el 2% de los kilómetros totales recorridos, mientras que los usuarios de PTW representaban el 16 % del total de fallecidos en carretera (ETSC 2007).

En Francia, en el año 2011, los desplazamientos en PTW suponían del orden del 2 % del tráfico rodado y, en cambio, el 23,1% de la mortalidad en carretera (ONISR 2012). Con datos de año 1995, el riesgo de sufrir un accidente en un PTW es entre 7-10 veces mayor que en automóvil. El riesgo de sufrir un accidente en ciclomotor o motocicleta es similar, si bien el riesgo de resultar gravemente herido es entre 1,8 a 2 veces mayor en motocicleta que en ciclomotor (Carré, y Filou, 1995). Diez años más tarde, con datos del año 2005, las estadísticas eran similares: el riesgo de fallecer en motocicleta es 7,3 veces superior que en automóvil; el riesgo de resultar herido gravemente es 8,6 veces superior para los motociclistas en comparación con los automovilistas; para los ocupantes de ciclomotores el riesgo de fallecimiento es 2,7 veces superior y el de lesión grave 5,8 veces superior, en comparación con los automovilistas. La tasa de lesiones es casi equivalente entre ocupantes de ciclomotores y motociclistas, mientras que la severidad es mayor para los motoristas, ya que el riesgo de fallecer es 2,7 veces superior para los motoristas que para los ocupantes de ciclomotor, y el riesgo de resultar gravemente herido era 1,5 veces superior para los motoristas (Moskal, 2009).

En Gran Bretaña, el ratio de fallecimientos para los pilotos es 24 veces superior que para los conductores de automóviles (Department for Transport 2015a). En Australia, las motocicletas suponen el 4.5 % del total de vehículos matriculados y el 0,9% de los vehículos-kilómetro recorridos. Sin embargo, el 15% de los fallecimientos en carretera

están relacionados con los PTW. Por distancia recorrida, el riesgo de fallecer en accidente es 30 veces superior en motocicleta que en automóvil, y 41 veces superior de resultar gravemente herido (Johnson, *et al.* 2008).

En EE.UU. en el año 2005, el ratio de motociclistas fallecidos por kilometro recorrido era 37 veces superior en relación con un pasajero de automóvil (Johnson, *et al.* 2008). En el año 2011, por kilómetro, recorrido los motoristas tenían una probabilidad 30 veces mayor de fallecer en accidente que los ocupantes de automóviles (24,93 motoristas fallecidos por cada 0.80 ocupantes de automóvil fallecidos). Las motocicletas suponían sólo el 0,6 % de los kilómetros/vehículo recorridos, sólo ligeramente por encima del 3% de los vehículos registrados; en cambio, representaban el 14% de los fallecimientos de tráfico (National Center for Statistics and Analysis 2013).

En Suecia, el riesgo de muerte en accidente de motocicleta en función del kilometraje es del orden de veinte veces más alto para un ocupante de una motocicleta que para el ocupante de un automóvil. A su vez, el riesgo de fallecimiento o de resultar gravemente herido en accidente se ha mantenido constante desde 1980 para los conductores de motocicletas, mientras que para los ocupantes de automóviles se ha reducido del orden de un 75% (Swedish Road Administration Consulting Services, 2008, citado en Rizzi, *et al.* 2009).

Australia es un país-continente que tiene ratios muy positivos de de seguridad en la conducción, si bien, al igual que en Suecia, dichos ratios varían sustancialmente en función del tipo de vehículo. Así, el riesgo de fallecimiento en accidente de motocicleta en función del kilometraje es 12 veces superior (13,96/1.13 fallecidos por cada 100 millones de km. recorridos) en este país (ATSB (1997).

Si bien la circulación en PTW comporta más riesgos de sufrir accidentes que circulando en automóvil, también se ha constatado que los PTW en zonas urbanas suponen mayores riesgos para los peatones. Así, la interacción entre PTW y viandantes supone un incremento de la exposición al riesgo para estos últimos, de manera que por kilómetro recorrido en área urbana el riesgo que un PTW lesione de gravedad a un peatón es 2.02 veces superior que para un automóvil (Paulozzi, 2005; Clabaux, *et al.* 2014). En este sentido, en los países en vías de desarrollo donde se produce un significativo incremento del uso de motocicletas en zonas urbanas, se evidencia un elevado incremento de atropellos, de modo que del orden de la mitad de las víctimas por accidente de tráfico son peatones o ocupantes de PTW (WHO, 2013).

Algunos estudios han constatado como a medida que aumenta la renta, los gobiernos y los individuos dedican más recursos a invertir en vehículos más seguros y en seguridad vial, lo que lleva a una disminución de la tasa de mortalidad (Van Beeck, *et al.* 2000; Kopits, y Cropper, 2005).

El consumo de alcohol favorece la asunción de riesgos en el pilotaje, llevando a circular con exceso de velocidad, pilotar sin licencia e incluso sin usar casco, constatándose que en los accidentes en los que sólo se ve implicado un vehículo, es más común la presencia de alcohol y velocidad inadecuada (Haworth, *et al.* 2009).

El factor riesgo estimula el cambio de la motocicleta a la propiedad y el uso del automóvil en muchos países desarrollados. Los PTW son una forma de transporte relativamente arriesgada. La protección limitada de las motocicletas implica que son menos seguras que los coches, es por ello que los ocupantes de PTW tienen más probabilidades de resultar heridos o de fallecer en accidentes.

El premio nobel de economía Daniel Kahneman (2007) pone énfasis en las limitaciones de la racionalidad, al plantear como en la mente humana interactúan simultáneamente dos sistemas que guían la toma de decisiones y la forma de pensar. El sistema 1 siempre está activado, no se puede desconectar y produce el pensamiento rápido, intuitivo, asociativo y actúa sin apenas esfuerzo mental. El sistema 2 no siempre está activado y es lento, lógico y deliberativo, permite efectuar cálculos complejos ajustándose a reglas y efectuar elecciones comparativas y optimizadas.

Ambos mecanismos trabajan simultáneamente en una división del trabajo eficiente en función de la premura en la toma de decisiones y la relevancia de las mismas. Por su capacidad de razonamiento lógico y por su mayor precisión en los resultados, *a priori* debería ser el sistema 2 el encargado de las decisiones, pero realmente estas son tomadas por el sistema 1 que, como hemos dicho, es rápido, intuitivo y toma las decisiones por impulsos. La preponderancia del sistema 1 rápido, emocional e impulsivo explica la dificultad que tienen las personas para percibir sus propios errores, resultándoles más fácil detectar los ajenos. En este sentido, los conductores de vehículos tienden a percibir que conducen mejor y de manera más segura que el resto de los usuarios (Svenson, 1981). Los pilotos tienden a percibirse sobrecualificados en sus habilidades de conducción en general y de control del vehículo, existiendo una tendencia sesgada a calificar sus cualidades en un rango superior a la de sus compañeros. (Horswill, *et al* 2002). Dicha percepción sesgada incrementa la percepción subjetiva del riesgo favoreciendo la asunción de riesgos de conducción.

Existen diferentes factores que influyen no sólo en la percepción sino en la aceptación del riesgo que favorecen el uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. Un factor es la denominada “ilusión de control” que lleva a los individuos a sobreestimar su capacidad de dominio sobre la conducción y las potenciales situaciones de riesgo (Rheinberg, *et al* 1986).

La “ilusión de invulnerabilidad” lleva a considerar más factibles los accidentes de terceros que los de uno mismo (Weinstein, 1989) y se retroalimenta de la experiencia, de modo que las personas que acumulan experiencias, alimentan la ilusión de que pueden predecir y controlar el futuro (Kahneman, 2007). De este modo, pilotos experimentados desarrollan una ilusión de su aptitud algo mejorada, lo que hace que tengan un exceso de confianza, ya que la seguridad en los desplazamientos depende también de factores exógenos incontables, así como la percepción de los riesgos (Slovic, 1987), incluso factores culturales (Kleinhesselink, y Rosa, 1991). A su vez, la falta de experiencia implica una menor cantidad de información y referencias relativas a los riesgos reales de la conducción y sus consecuencias, teniendo incidencia en la actitud de los pilotos más jóvenes, en los que la actitud ante la conducción es más determinante que la posible falta de experiencia o desarrollo de habilidades en la conducción. La percepción del riesgo es un factor fundamental para interpretar un gran número de conductas en la utilización de los vehículos motorizados de dos ruedas como modos de transporte; la percepción del riesgo de sufrir un accidente explica el porqué los individuos se implican en la realización de conductas en las que su salud puede verse seriamente afectada (Cvetkovich, y Earle, (1988); Harré, (2000).

4. El fenómeno PTW en el mundo

En el mundo hay del orden de 313 millones de vehículos motorizados de dos ruedas. En las tres últimas décadas se ha experimentado un incremento mundial del uso de los PTW, pudiéndose considerar que se trata de un fenómeno en aumento a escala global (Rogers, 2008).

Los países asiáticos concentran el mayor porcentaje del parque mundial de PTW. El 65 % de los vehículos motorizados de dos ruedas que hay en el mundo se localizan en dicho continente, siendo China e India los países con mayor número de PTW. (Amakate, y Gordon, 2009; OCDE-OECD 2015).

A su vez, especialmente en los ámbitos urbanos, se produce una extensión de los usuarios potenciales, al incorporarse un mayor número de mujeres, usuarias mayoritariamente de scooters (Rogers, 2008). En los países industrializados más avanzados, se ha intensificado el uso lúdico de los vehículos motorizados de dos ruedas, que también ha contribuido a extender el uso de este tipo de vehículos (Auster, 2001; Rand, 2011; Van Elslande, y Elvik, 2012).

En el periodo de cinco años, del 2007 al 2012, la producción mundial de PTW aumentó de 42,9 millones de unidades a 59,7 millones, suponiendo un incremento del 39%, concentrado especialmente en los países asiáticos, liderados por China, India e Indonesia, que en conjunto representan el 80,3% de las unidades producidas en el mundo y el 61 % del valor. (Ambrosetti- The European House 2014).

En la mayoría de los países avanzados que integran la OCDE, durante el periodo (2001-2010), creció a mayor ritmo la flota de motocicletas que la de automóviles (Van Elslande, P. *et al.* 2014). Las tendencias apuntan que en el horizonte del año 2015 en la zona del Sudeste Asiático (ASEAN) se incrementará en un 80% el uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. (Ambrosetti- The European House 2014).

En muchos países desarrollados las motocicletas son un modo primario de transporte, especialmente en áreas urbanas. En 1996, el número total de PTW registrados en la India representó el 69% del total de vehículos de motor. En cambio en países avanzados como en Alemania (5%), Estados Unidos (1,8%) es significativamente menor. Por contraste, un país altamente avanzado como Japón los PTW representan un 18% de los vehículos motorizados (Mohan, 2002). En esta etapa, se produce una alta elasticidad entre la propiedad del vehículo y los ingresos. Así, Gakenheimer (1999) observó que los coches por cada 1000 habitantes se correlacionan muy bien ($R^2 = 0,71$) con el ingreso anual del 20% más alto de la población, en un gran grupo de países en desarrollo con bajos ingresos (Bangladesh, India, Pakistán, Ghana, Sri Lanka, Indonesia, Filipinas, Costa de Marfil, Guatemala, Marruecos, Perú y Colombia).

La siguiente tabla muestra la evolución del número de usuarios de PTW en diferentes países del mundo OCDE-OECD (2015). Se constata un fuerte incremento de los usuarios de motocicletas, a la vez que una desigual evolución en el uso del ciclomotor.

Tabla 2 Evolución del número de usuarios de PTW en los países de la OCDE.
Fuente: OCDE-2015

PAIS	PTW evolución 2001-2010	
	% Motocicletas	% Ciclomotores
Australia	88%	
República Checa	35%	10%
Francia	48%	-22%
Gran Bretaña	28%	-27%
Grecia	76%	-14%
Japón	14%	-20%
México	311%	
España	82%	27%
Suecia	91%	84%
Estados Unidos	67%	

Varios son los fenómenos que han contribuido al incremento del uso de PTW en el mundo. De entrada, la mayor urbanización global, producto de la industrialización y de la emigración de poblaciones agrícolas a las ciudades, favorece la expansión de los entornos urbanos. Conforme aumenta la densidad y extensión de las ciudades, se incrementan problemas como la congestión y la escasez de estacionamiento. En estos entornos, los PTW se presentan como vehículos que permiten realizar desplazamientos con mayor rapidez, gestionando más eficientemente la congestión y con mayores posibilidades de estacionamiento a un coste comparativamente más reducido que los automóviles. Dichos factores favorecen, lógicamente, el incremento del uso de PTW en entornos urbanos.

Un factor que ha influido en la expansión del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas en los últimos 25 años, ha sido el hecho de que han sufrido una profunda transformación. Han pasado de ser unos vehículos ruidosos, vibrantes, poco eficientes, escasamente ergonómicos, sucios, olorosos, y en algunos casos de conducción compleja y poco manejable, a ser vehículos de más fácil pilotaje, de más cómoda y ergonómica conducción, más eficientes, menos ruidosos, más funcionales y, además, más económicos. En un futuro inmediato, la incorporación del vehículo eléctrico profundizará en todas estas mejoras, convirtiéndose en un modo de transporte con un gran potencial de desarrollo y de transformación de la movilidad, especialmente en el ámbito urbano.

Las mejoras tecnológicas, en diseño y costes, han contribuido a ampliar el mercado de usuarios potenciales, penetrando en el segmento de las mujeres y las personas de edad más avanzada. La seguridad y las condiciones de conducción de los vehículos han evolucionado muy rápidamente. La incorporación de las nuevas tecnologías ha hecho evolucionar la seguridad, disminuyendo sensiblemente el riesgo de conflicto de un vehículo con el resto de usuarios de la vía y con los objetos de su entorno. La mayoría de las mejoras en seguridad se basan fundamentalmente en la incorporación de sistemas electrónicos que regulan automáticamente la estabilidad del vehículo, la tracción, la iluminación, etc.

Los vehículos motorizados de dos ruedas, tanto ciclomotores como scooters de baja cilindrada, han incorporado mejoras tecnológicas que facilitan el manejo y reducen los consumos. Las principales mejoras han sido: el encendido eléctrico que simplifica y facilita el arranque; la transmisión y el cambio automático, que evita tener que engranar las

marchas de manera manual o con el pie mediante una palanca; sistemas anti-detención del motor, mediante el control electrónico de las proporciones adecuadas de mezcla de aire-gasolina en el carburador en función del régimen de vueltas de motor. La incorporación de nuevos materiales y criterios de diseño, hacen más funcionales y atractivos los vehículos. Se han incorporado nuevos elementos como son los polímeros, fibras, plásticos y metales más ligeros, que han reducido el peso de los vehículos, mejorando la eficiencia en los rendimientos.

4.1 Los vehículos motorizados de dos ruedas en Europa

En el conjunto de Europa, la tendencia durante los últimos años ha sido de continuo incremento del número de vehículos motorizados de dos ruedas (Figura 6). En el año 2002, en toda Europa, el parque era de 30.350.983 de unidades pasando en 10 años a 36.768.274, lo que representó un incremento del 8 % (ACEM 2013). Es necesario significar que el peso del incremento lo soporta el aumento del volumen de motocicletas, al crecer un 47 % en diez años (de 17.453.495 a 25.6.002 unidades); mientras que los ciclomotores en ese mismo periodo, descienden del orden del 13 % (de 12.897.488 a 11.168.272 unidades).

Según datos de la Asociación Europea de Fabricantes de Motocicletas (ACEM) en Europa hay más de 37 millones de PTW, repartidos de manera que los ciclomotores copan el 36% del mercado y las motos y *scooter* de más de 50cc representan el otro 64% (ACEM, 2013). Francia, con 296.315 unidades es el país europeo que lidera las ventas de motos. En ese mismo periodo, las ventas de vehículos de pasajeros en Francia fueron de 1.742.008 unidades, de la que se infiere una proporción del orden de 5,9 veces mayor en favor de los vehículos de pasajeros, circunstancia que evidencia claramente el orden de magnitud por tipología de vehículos. En el ranking por países, Italia (257.908) se sitúa en segunda posición, Alemania (178.087), en tercera, y España (115.447) en la cuarta plaza, justo por delante de Gran Bretaña (93.450).

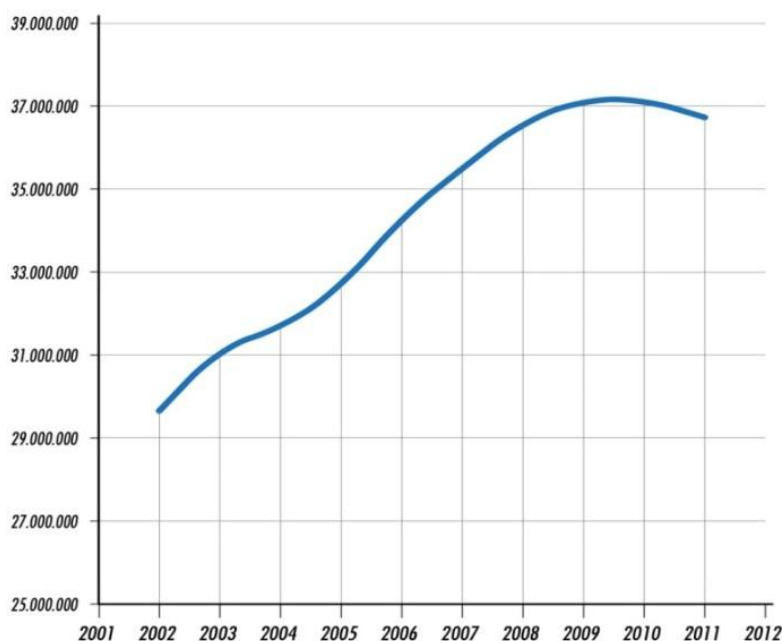


Figura 6 Evolución parque de PTW en la UE + Suiza y Noruega
Fuente: ACEM 2013

En los países europeos, la utilización de los vehículos motorizados de dos ruedas es poco homogénea, existiendo significativas disparidades. Así, los países del sur de Europa tienen, en general, tasas elevadas de motocicletas e incluso superiores de ciclomotores (Figura 7).

Existe una gran diversidad de preferencias en cuanto a la tipología de vehículos por países. Mientras que en los países mediterráneos los modelos más populares son del tipo *scooter*, en Alemania tienen una presencia muy residual. Grecia está a la cabeza con 150 ciclomotores y 100 motocicletas por cada 1.000 habitantes. Por contra, Portugal, a pesar de estar entre los de los países del Sur, posee una tasa de 40 ciclomotores y 14 para motocicletas, que se puede considerar baja, pero no en relación con los países occidentales y del norte de Europa.

En el lado opuesto en relación con los ciclomotores tenemos a Gran Bretaña con sólo dos ciclomotores por cada 1.000 habitantes. Para el resto de los países, las tasas medias son aproximadamente de 20 ciclomotores y 30 motocicletas por cada 1.000 habitantes. (Eurostat 2014).

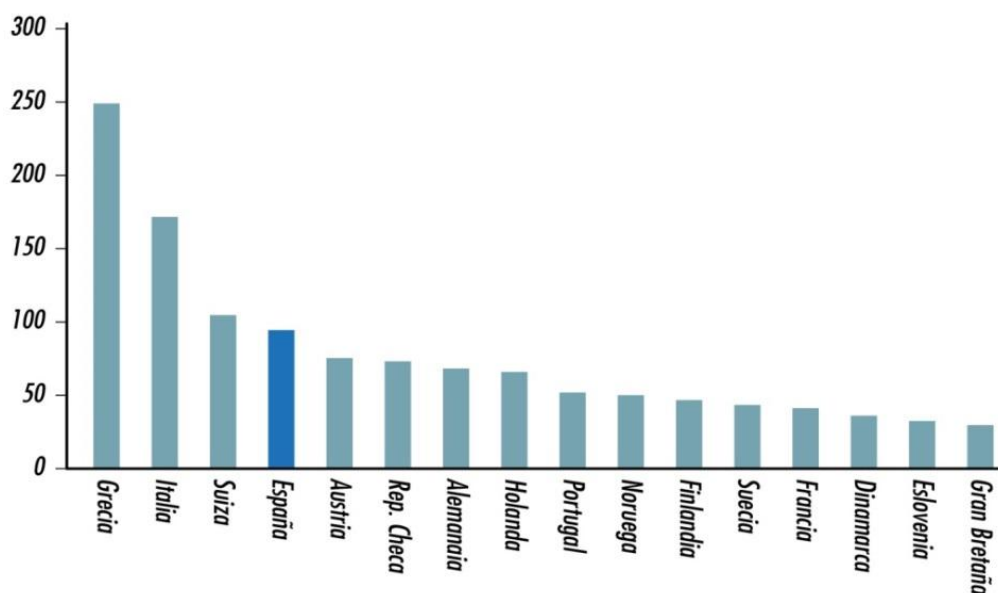


Figura 7 Vehículos motorizados de dos ruedas por 1000 habitantes
Fuente: Eurostat 2014

El aumento del uso de PTW es un fenómeno común en las principales ciudades europeas. Desde mediados de la década de los 90, se ha producido un incremento continuo de la propiedad de PTW y su uso se ha extendido en las grandes ciudades europeas. En París, en el período 2000-2007, los PTW han experimentado un aumento del 36% mientras que los coches privados un descenso del 23% (Kopp, 2009). Del mismo modo, el tráfico de motocicletas parece haber aumentado notablemente en el Gran Londres desde la introducción en 2003 de un plan de precios (tarifación vial) que ha concedido exención a los PTW y ello ha provocado un notable aumento del uso y posesión de PTW en el área de Londres. En Roma, las motocicletas representan el 16% de los vehículos en circulación y han aumentado un 60% entre 2002 y 2014 (Automóvil Club d'Italia (2014)).

El incremento del uso del vehículo motorizado de dos ruedas en el ámbito europeo es relativamente reciente (Figura 8). El mayor uso de PTW en los países del sur de Europa se ha traducido en que, tradicionalmente, el estudio de las variables que inciden en su movilidad no ha sido de un elevado interés en el norte de Europa. No obstante, existe una

tradición de estudios de promoción del uso fomentados especialmente por *lobby* de la industria de fabricantes de motocicletas: ACEM (Association des Constructeurs Européens de Motocycles).

Países con condiciones climáticas poco favorables para la circulación de vehículos motorizados de dos ruedas han experimentado tendencias ascendentes. En el Reino Unido, entre los años 1994 y 2012, el número de licencias de motocicletas aumentó en un 70%; en cambio, las de automóviles lo hicieron a un ritmo significativamente inferior: 35% durante el mismo período (MCIA 2012).

El incremento del uso de la motocicleta se ha producido al ampliarse significativamente el número de usuarios de motocicletas de baja cilindrada: del orden de 125cc; mientras que descendían las ventas de motocicletas de gran cilindrada y de ciclomotores. Algunos estudios constatan dicha tendencia e identifican como factores explicativos el incremento del precio del carburante y especialmente el permiso administrativo para pilotarlos sin licencia, esto es, solo disponiendo del carnet de coche (MCIA, 2012).

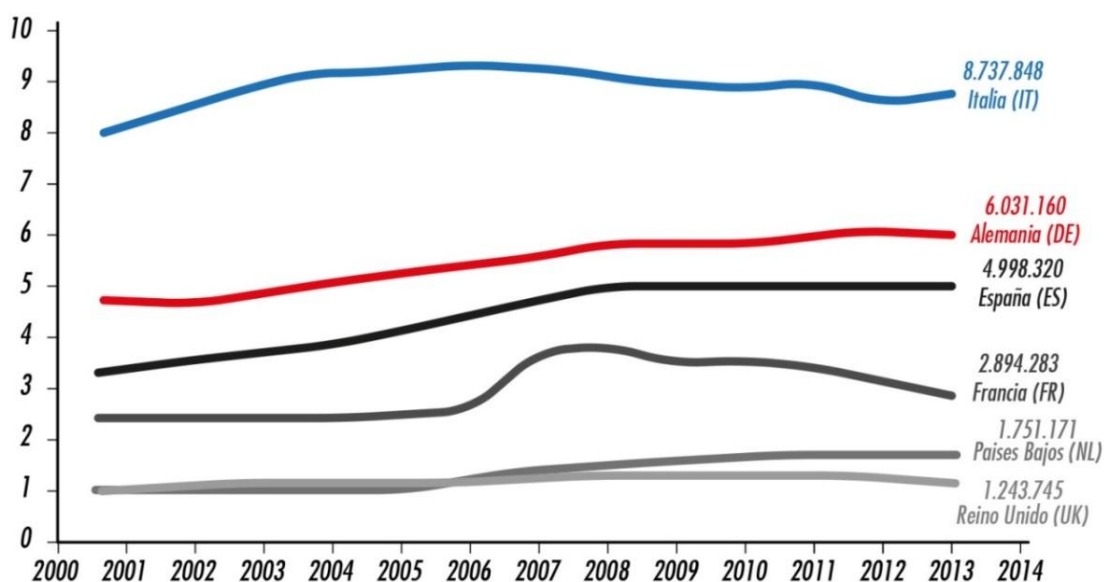


Figura 8 Evolución de PTW en diferentes países europeos
Fuente: Eurostat 2014

Italia es el país europeo con mayor número de motocicletas y su mercado está dominado por scooters de distintas cilindradas (Figura 8).

En Francia, en el periodo 2001-2011 el volumen de kilómetros anuales recorridos en PTW se incrementó en un 30 %, al pasar de 8.800 a 11.000 millones, suponiendo el 2 % de la circulación vial (SOES, 2013). En ciudades como París el incremento del uso de PTW se percibe claramente a partir del año 2000 en que el porcentaje de su peso en la composición del tránsito sube del orden de 36% entre 2000 y 2007 (Kopp, 2011).

A pesar de la crisis económica, las principales ciudades italianas como Roma, Milano, Bolonia, no han dejado de experimentar un incremento del número de vehículos desde al año 2000 (Figura 9). En la ciudad de Roma los PTW representan el 16% del total de vehículos en circulación (Roma Capitale, 2011).

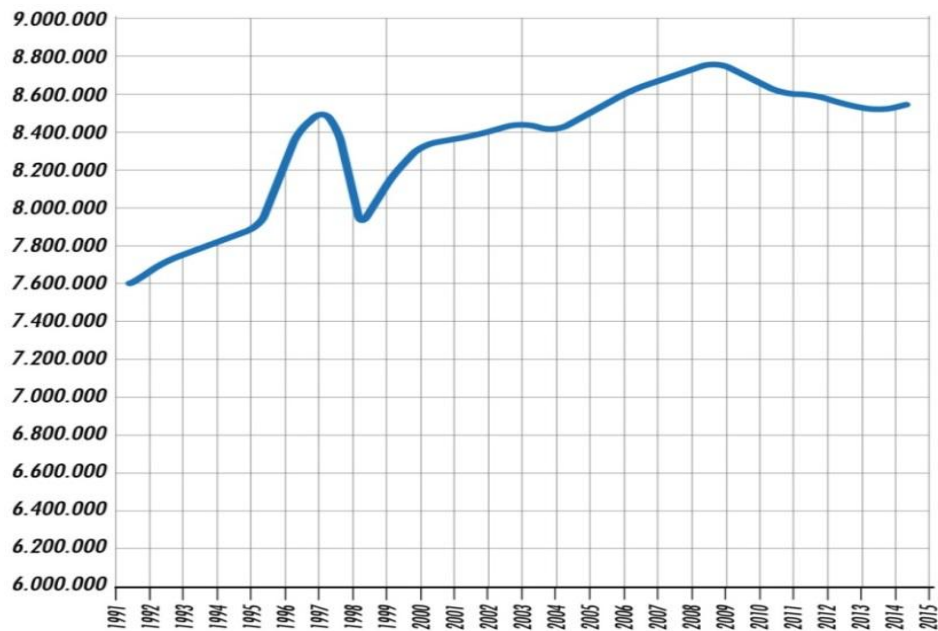


Figura 9 Parque móvil de motocicletas y ciclomotores en Italia.
Fuente: ANCMA-Confindustria 2017.

4.2 El fenómeno de la motocicleta en España

Históricamente el uso de la motocicleta en España ha tenido diferentes etapas de expansión y contracción, en la que ha predominado una tendencia global ascendente.

La figura 10 muestra la evolución histórica anual del número de motocicletas matriculadas anualmente. Hasta el año 1987 no consta el número de ciclomotores, ya que solo en ese año la Dirección General de Tráfico (DGT) inició el registro. Durante la primera mitad del siglo XX el número de motocicletas era superior al de automóviles. No fue hasta el año 1967 en que el número de automóviles superó al de motocicletas. El factor renta acaba determinando la prevalencia del automóvil sobre la motocicleta (Tanner, 1983, Button, *et al.* 1993; Dargay, y Gately, 2009). El periodo de expansión del automóvil frente a la motocicleta se atenúa a partir de mediados de la década del 2000, en que con el efecto combinando de la crisis y la saturación del uso del automóvil en las zonas urbanas, los vehículos motorizados de dos ruedas vuelven a ganar protagonismo, evidenciándose una clara expansión durante el siglo XXI.

Desde finales de los años 1960 el automóvil ha experimentado una significativa expansión, siendo preferido a la motocicleta por su mayor versatilidad. Dicha tendencia ha revertido desde finales del siglo XX y a lo largo del siglo XXI, en que se ha producido un incremento del uso de la motocicleta, asociado principalmente al incremento de los costes del uso del automóvil y la extensión de restricciones de su uso las zonas urbanas densas.



Figura 10 Evolución anual del número de motocicletas matriculadas
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGT.

La crisis económica iniciada en el periodo 2007-2008 en España redujo el número de matriculaciones de motocicletas en España que pasaron de 285.594 motocicletas matriculadas en el año 2007 (mayor número en el registro histórico) a 112.498 en el año 2014, con un descenso del 60 %. A continuación el volumen de matriculaciones ha experimentado una cierta recuperación con 180.367 vehículos matriculados en 2016, que sitúan el descenso desde máximos en un 37 % (ANESDOR, 2017) (Figura 11).

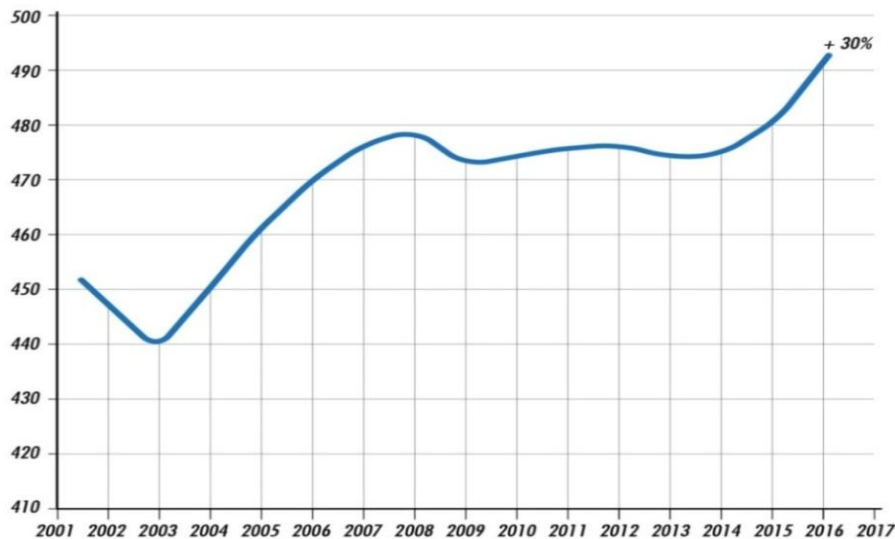


Figura 11 Evolución en España de los PTW/1000 habitantes
Fuente: DGT 2016

El descenso de matriculaciones no implicó una reducción del parque de vehículos motorizados de dos ruedas, que muestra una larga tendencia de incremento, que sin embargo se vio frenada durante la crisis, recuperándose a partir del 2015, con un aumento en 15 años del 30%. La reducción de matriculaciones mientras se incrementa el parque de vehículos acaba suponiendo un envejecimiento de parque con un alargamiento de la vida útil y mayor dinamismo en el mercado de segunda mano.

Capítulo 4

La evolución de la movilidad, motorización y del uso de PTW en el ámbito de estudio

1. La movilidad en la ciudad de Barcelona

La evolución histórica del número de turismos en la ciudad de Barcelona inició una etapa de fuerte expansión en los años 60 con un continuo crecimiento, hasta alcanzar en 1992 los 719.356 turismos que representaban 441 automóviles por cada 1.000 habitantes, ratio que se repetiría en 1995. A partir de esa fecha se inicia una tendencia de descenso continuado, en cambio, el número y peso relativo de los vehículos motorizados de dos ruedas no ha dejado de aumentar. En 1975, el 89% de los vehículos privados no comerciales (turismos y PTW) eran automóviles, mientras que en 2015 el porcentaje es más equilibrado: 68% automóviles y 32% PTW. De manera que, en 1975 había ocho veces más turismos que motocicletas, mientras que en 2015 la proporción es de 2 turismos por cada PTW.

En las ciudades altamente densificadas como Barcelona, o de escaso tamaño, el caminar puede suponer un elevado número de desplazamientos (Marquet, y Miralles (2015)).

La siguiente figura muestra la evolución de la tasa de motorización (vehículos por 1.000 habitantes) en la ciudad de Barcelona (Figura 12). De 1996 a 2001 el número de vehículos se incrementó en una tasa de 6.000 vehículos por año: aumentando de 900.000 a 980.000. Durante el periodo 2001-2003 se produjo una pequeña disminución en la flota, seguida de una recuperación. En 2007 se alcanza el número máximo de vehículos (991.151). En 2009 comienza la estabilización a la que sigue una sostenida disminución de la flota. Es posible identificar la estabilización en el rango de 600-620 vehículos por 1000 habitantes, luego se observa una clara disminución (Ajuntament de Barcelona, 2016).

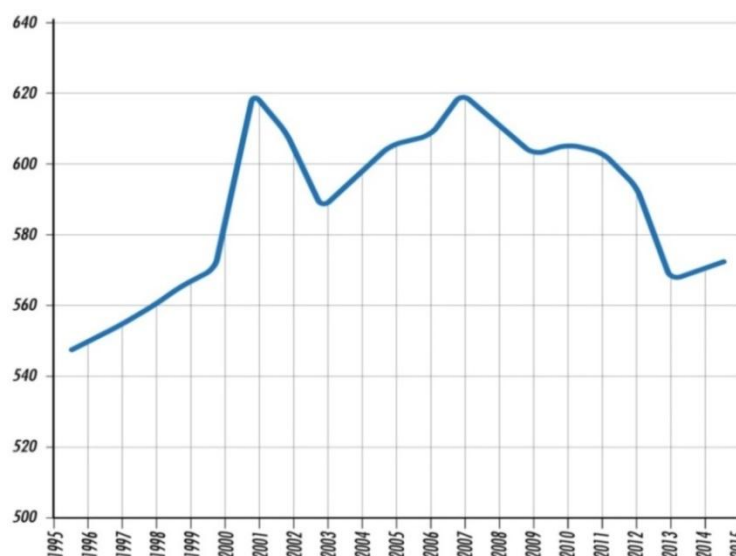


Figura 12 Evolución de vehículos por 1.000 habitantes en Barcelona
Fuente: Ajuntament de Barcelona 2016

A pesar de su alta densidad, Barcelona no lidera la clasificación de las zonas europeas de congestión urbana (TOMTOM 2015). Uno de los factores que permiten un volumen diario significativo de viajes de vehículos a motor en un espacio tan denso es que un gran porcentaje de los desplazamientos internos se realizan en vehículos motorizados de dos ruedas. Los PTW representan el 17,4% de la movilidad en vehículos privados en la ciudad de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2012).

En los últimos 40 años (1975-2015), el número de automóviles ha aumentado un 27%, mientras que el de la motocicleta ha crecido a un ritmo notablemente superior: un 413%

(Figura 13). En la actualidad el número de vehículos privados, muestra una tendencia de disminución de la flota de automóviles, mientras que los PTW tienden a aumentar. La gente viaja menos en automóvil y aumenta la utilización de PTW.

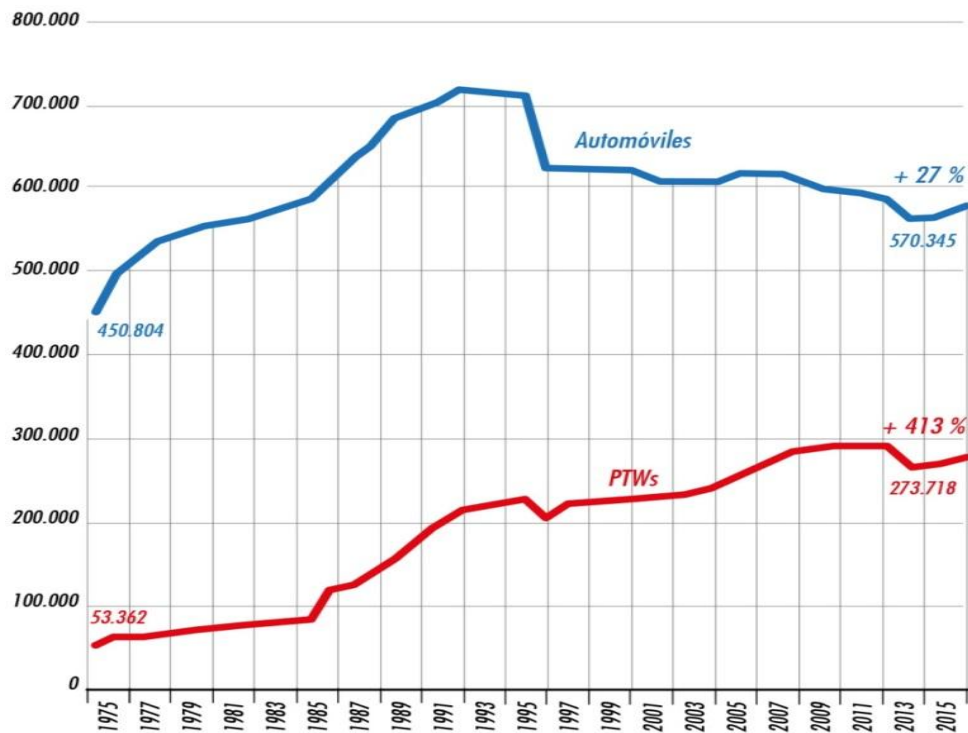


Figura 13: Evolución del número de automóviles y PTW en la ciudad de Barcelona. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ajuntament de Barcelona 2016.

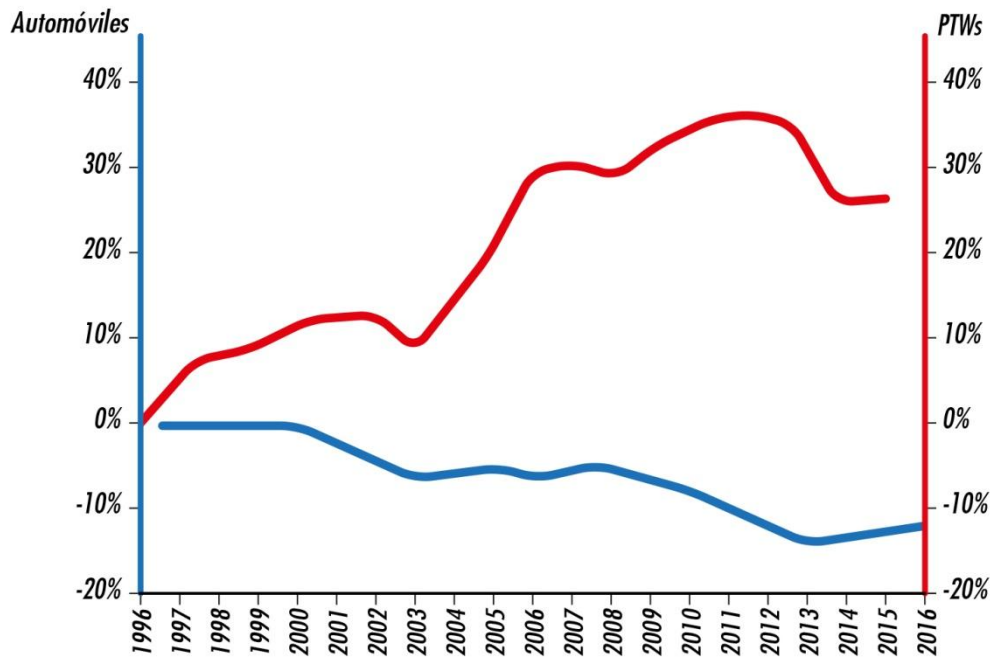


Figura 14: Evolución del número de automóviles y PTW (% año base 1996) Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ajuntament de Barcelona 2016

Durante el periodo 1995-2015 el número de PTW por cada 1.000 habitantes ha aumentado en un 24 %, mientras que los coches han disminuido en un 15%. En el año 2012, el 34% de los vehículos no comerciales en Barcelona eran vehículos motorizados de dos ruedas (Figura 15).

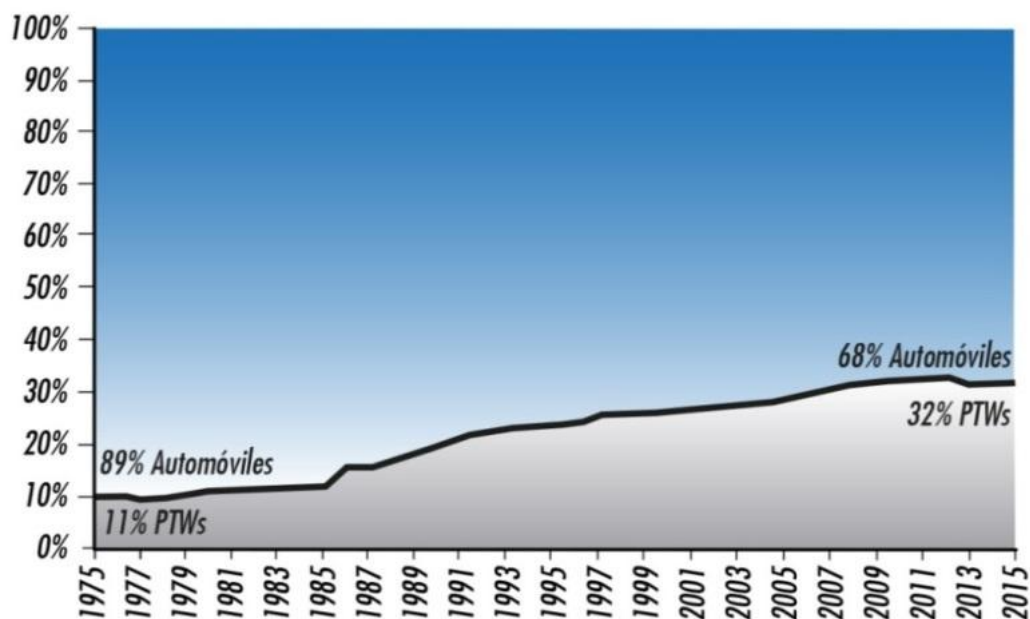


Figura 15: Reparto de vehículos motorizados en Barcelona. (% automóviles-PTW).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ajuntament de Barcelona 2016

Al igual que muchas zonas metropolitanas europeas, Barcelona experimenta una doble tendencia: la mayor tercerización del centro de la ciudad, unida a la creciente atracción turística y la descentralización de la población desde el centro de la ciudad hasta las periferias. Todo ello implica que la población principal que vive a una cierta distancia de los centros de trabajo evidencia una mayor dependencia del automóvil para acceder a su trabajo (Matas, *et al.*, 2009). Del mismo modo, un gran número de viajes por el centro de la ciudad congestionada, propicia el que Barcelona tenga una alta dependencia de las motocicletas. El pequeño tamaño y la alta maniobrabilidad hacen que los PTW sean más adecuados para los viajes por el interior de la ciudad, especialmente durante los períodos de congestión del tráfico.

Barcelona se encuentra en una etapa de madurez en el ámbito de las políticas de transporte urbano. Los indicadores de posesión de vehículos son similares a otros países altamente desarrollados, habiendo alcanzado un nivel de saturación en el número de automóviles per cápita. La ciudad tiene altas tasas de motorización y también un alto número de viajes en vehículos privados, a pesar de tener una buena y eficiente oferta de transporte público.

En relación con el parque de vehículos motorizados, el 28,9% de los vehículos motorizados de la ciudad de Barcelona son motocicletas o ciclomotores, configurándose como la ciudad española con mayor porcentaje de este tipo de vehículos (Tabla 3).

Tabla 3 % PTW en relación con el número de vehículos motorizados. Fuente: DGT 2016

CIUDAD	% PTW
Barcelona	28,9%
Granada	24,4%
Donostia/San Sebastián	24,2%
Málaga	22,4%
Almería	21,3%
Alicante	20,4%
Girona	20,4%
Sevilla	20,2%
Murcia	20,1%
Córdoba	18,7%
Albacete	18,5%
Tarragona	17,8%
Palma de Mallorca	17,4%
Valencia	16,3%

Los principales vehículos motorizados no comerciales son los turismos y los PTW (motocicletas y ciclomotores) que se utilizan principalmente para desplazamientos de carácter privado. En este sentido, cabe significar que el 34 % de los vehículos privados no comerciales de la ciudad de Barcelona son PTW, por lo que Barcelona es también la capital de provincia de España que tiene un mayor porcentaje de PTW en relación con el número de vehículos motorizados no comerciales (Tabla 4).

A su vez, por detrás de Granada, Barcelona es la ciudad española que cuenta con más vehículos motorizados de dos ruedas por habitante, casi cuatro veces más que Burgos que es la ciudad que menos tiene (DGT 2016).

Tabla 4 Reparto de los vehículos motorizados no comerciales en % Fuente: DGT 2016.

CIUDAD	VEHÍCULOS MOTORIZADOS NO COMERCIALES	
	% PTW	% TURISMOS
Barcelona	34%	66%
Donostia/San Sebastián	29%	71%
Granada	28%	72%
Málaga	26%	74%
Almería	25%	75%
Girona	25%	75%

Según los datos de la EU del año 2004, Barcelona también encabeza la lista de ciudades españolas donde la motocicleta se utiliza en mayor porcentaje para realizar desplazamientos relacionados con el trabajo (Tabla 5).

Tabla 5 Desplazamientos diarios en PTW por motivo trabajo. Fuente: Eurostat 2004

CIUDAD	% viajes en PTW
Barcelona	7,78
Málaga	7,13
Murcia	6,52
Alicante	6,37
Sevilla	5,76
Palma de Mallorca	5,28
L'Hospitalet de Llobregat	5,01
Córdoba	4,89
Badajoz	4,06
Valencia	3,7
Las Palmas	3,1
Santander	2,93

Las políticas de movilidad son un elemento característico de las sociedades avanzadas, orientadas a promover el transporte público y los desplazamientos en bicicleta, así como, desalentar el uso de vehículos privados, especialmente los automóviles y algo menos los PTW. En los últimos años, se han implementado esquemas de calma de tráfico en Barcelona, se han ampliado las zonas peatonales y de velocidad lenta y se ha promovido el uso de la bicicleta. La ciudad cuenta con un exitoso sistema público de alquiler de bicicletas (Bicing) y se ha planificado un horizonte de tres años (2015 a 2018) para triplicar la longitud de los carriles de bicicleta de 118 a 308 km, tratando de incrementar el modo de uso de la bicicleta de 1,5 a 2,5% (Ajuntament de Barcelona, 2015).

Como en Barcelona, muchos gobiernos locales en las principales ciudades europeas, implementan políticas para inhibir y reducir el uso del automóvil, destinadas a aliviar la congestión y la emisión de gases de efecto invernadero. En este sentido, han implementado acciones para restringir el uso del automóvil que -intencionadamente o no- han favorecido tanto los PTW como el uso de la bicicleta, dado que el pequeño tamaño y la agilidad de estos vehículos contribuyen a reducir la congestión. Para favorecer el transporte público en autobús, se han implementado algunas medidas para escapar a la congestión provocada por la presencia masiva de automóviles, separando la circulación de los mismos en carriles independientes. En Barcelona, los carriles de tránsito reducen el espacio de circulación del vehículo privado y tienden a aumentar la congestión, hecho que también favorece el cambio del uso del automóvil a los PTW.

Estas tendencias apuntan a un continuo crecimiento futuro del uso de PTW en zonas urbanas congestionadas, mostrando una relevante elasticidad de la demanda de motocicletas y un claro efecto de sustitución de automóviles e incluso del transporte

público a PTW en periodos de altos niveles económicos. El uso cada vez mayor de PTW en países desarrollados con áreas urbanas congestionadas puede contradecir los modelos que interrelacionan el crecimiento económico y el uso de motocicletas.

El uso creciente de PTW implica también externalidades negativas. En Barcelona, los motociclistas son los usuarios de carretera más vulnerables, siendo el grupo con mayor número de lesiones graves y fallecimientos. En 2015, el 63% de los muertos en accidentes en la ciudad de Barcelona eran motociclistas. La probabilidad de tener un accidente fatal en Barcelona para quien viaja en PTW es 12,5 veces mayor que para quien se desplaza en coche, y para el caso de lesiones graves es veinte veces mayor (Ajuntament de Barcelona 2016b). Por contra, cabe señalar que la alta densidad de la ciudad de Barcelona y las calles saturadas aumentan las condiciones de seguridad, ya que la congestión disminuye la probabilidad de sufrir lesiones graves, encontrando una relación negativa entre el flujo de tráfico (congestión) y la gravedad de la lesión de PTW (Albalate, y Fernández-Villadangos, 2010).

Una problemática que rodea los PTW es la elevada prevalencia de accidentes. Aunque el número de PTW ha aumentado progresivamente en la ciudad de Barcelona, los datos revelan que los accidentes mortales se han reducido (Figura 16). En 1990 en Barcelona se registraron 88 accidentes mortales, esta cifra ha ido disminuyendo de tal manera que en 2013 sólo se registraron solo 22 muertos, si bien en el año 2014 se ha producido un repunte a 31 fallecidos. El descenso de accidente mortales por otro lado ha ido acompañando de un incremento de accidentes con heridos graves.

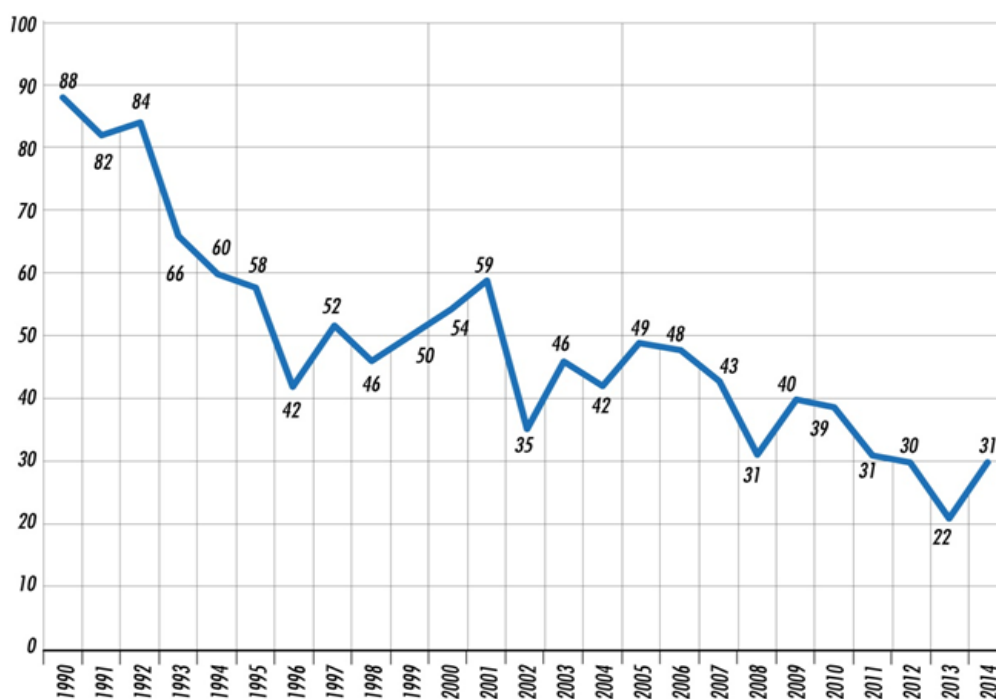


Figura 16 Evolución número de motoristas fallecidos en la ciudad de Barcelona
Fuente: Ajuntament de Barcelona 2015

2. La evolución de la motorización

2.1 Patrones de la evolución de propiedad de vehículos privados

La evolución histórica de la propiedad de vehículos privados, está determinada por diferentes variables que tienen una importancia relativa en función de la etapa evolutiva. Existen varios patrones que permiten estudiar, modelar e incluso pronosticar la evolución histórica del automóvil y de la motocicleta, principalmente relacionadas con factores socioeconómicos (de Jong, *et al.*, 2004).

Los factores económicos y la evolución de la renta per cápita están estrechamente asociados con un aumento en los volúmenes de tráfico y con la posesión y uso de vehículos. En la literatura sobre modelos de elección de modos, varios estudios han enfatizado la influencia de los ingresos respecto a la propiedad de automóviles y motocicletas. El nivel de ingresos altera las preferencias de los consumidores en relación con los modos de transporte, un aumento en los ingresos está vinculado a la evolución hacia la utilización de medios de transporte más rápidos y eficientes (Schafer, y Víctor, 2000; (Pongthanaisawan, y Sorapipatana, 2010).

Un factor que también afecta a la evolución histórica de la propiedad de vehículos privados es la cantidad de PTW motorizadas que participan en la movilidad. En algunos países (especialmente en Asia oriental), se observa que mientras que la renta per cápita permanece en niveles bajos, la posesión de motocicletas aumenta con una mayor asequibilidad, superando en número a la propiedad de automóviles. En estos países, PTW son útiles especialmente en áreas urbanas por el estacionamiento conveniente, los precios bajos y los costes de funcionamiento competitivos (Hsu, 2005).

La propiedad del automóvil tiende a aumentar a medida que crece el PIB per cápita. Los ingresos son un factor relevante en la evolución de la propiedad del automóvil, especialmente en las primeras etapas, disminuyendo sensiblemente cuando se alcanzan niveles más altos de propiedad del automóvil. (Schafer, 2007; Dargay, y Gately, 2009).

Existen tres fenómenos importantes al analizar el comportamiento de la evolución de la propiedad del automóvil: la elasticidad a niveles de bajos ingresos, la inelasticidad cuando se alcanzan altos niveles de ingreso y socioeconómicos (techo de saturación) y, finalmente, un bucle de histéresis. La propiedad no responde simétricamente al aumento y la caída de los ingresos (Dargay, 2001).

El crecimiento económico tiende a estimular mayores niveles de consumo. Cuando el aumento gradual en el ingreso per cápita alcanza un determinado umbral, un automóvil representa un activo que la gente quiere adquirir una vez que tiene cubiertas sus necesidades básicas. Así, los mayores ingresos se correlacionan con una mayor propiedad y uso del automóvil. La asequibilidad de la compra de automóviles propicia un cambio de uso de las motocicletas a los coches. El efecto de sustitución que se produce de las motocicletas a los automóviles, obedece a un aumento de los ingresos generales que reduce los costos de compra y funcionamiento de un automóvil (Law, *et al.*, 2015).

El incremento de los ingresos favorece el cambio de los PTW a los automóviles. Cuando el crecimiento del ingreso per cápita traspasa un cierto nivel sobre el umbral de propiedad del automóvil, se espera una disminución en la propiedad de la motocicleta. Nishitaten. y Burke (2014) analizaron datos de 153 países para el período 1963-2010 y encontraron que el número de PTW per cápita aumenta a medida que el ingreso per cápita crece hasta alcanzar un umbral en torno a \$ 8,000 por persona al año. A partir de este umbral, a pesar

del aumento de los ingresos, la posesión de PTW disminuye. Los automóviles tienden a ser preferidos por su mayor capacidad, seguridad, versatilidad, conveniencia, comodidad y porque los coches son considerados como un símbolo de estatus o una insignia de bienestar social (Goodwin, 1997; Stradling, *et al.*, 1999, Steg, *et al.*, 2001, Steg, 2005). Su gran utilidad y atractivo simbólico estimulan la propiedad del automóvil, incluso si el transporte público está bien preparado como alternativa (Wu, *et al.*, 1999, Steg, 2003).

En etapas avanzadas de desarrollo, la tasa de motorización tiende a alcanzar un nivel de saturación, pasando de un mercado en expansión a uno maduro. Cuando esta etapa se manifiesta en zonas urbanas densas, la división modal se incrementa y la motorización se estabiliza mientras que la propiedad del automóvil se reduce (Mogridge, 1967). El nivel de saturación se puede medir por el número de automóviles por cada 1.000 habitantes y varía sensiblemente según el tipo de sociedad, el nivel de desarrollo y los factores geográficos y de urbanización. Whelan y al. (2000) analizaron los límites al crecimiento de la propiedad de automóviles. Otros estudios consideran que los niveles de saturación de los vehículos pueden diferir según los países y en función de la densidad de población; en consecuencia, es posible estimar empíricamente la tasa de saturación para diferentes países, considerando la elasticidad del ingreso (Dargay, y Gatley, 2001, Dargay, *et al.*, 2007).

El desarrollo urbano ha sido un proceso contemporáneo caracterizado por la migración desde las zonas rurales a las urbanas. La suburbanización está relacionada con un aumento en la propiedad de automóviles en áreas periféricas donde la oferta de transporte público resulta escasa. Estas áreas tienden a tener menores densidades y menos congestión, de manera que a pesar de que los viajes resultan más largos, la velocidad media de desplazamiento es más rápida, favoreciendo así el uso de automóviles (Monclús, 1998, Galster, *et al.*, 2001, Fishman, 2008, Guerra, 2015).

2.2 Modelización de la evolución de los índices de motorización

La evolución de los modelos de propiedad de vehículos, utiliza para relacionar una variable dependiente como los volúmenes de vehículos en función de una variable independiente de tipo económico como el ingreso per cápita, el producto interno bruto (PIB) o el PIB per cápita. El modelo es utilizado para representar un crecimiento a largo plazo con varios períodos, en su mayoría vinculados con diferentes etapas de la evolución económica.

Existen diferentes enfoques de modelos, entre otros: métodos agregados, desagregados, heurísticos, discreto-continuos, pseudo-panel y dinámicos (de Jong, 2004). Los modelos agregados han sido empleados para elaborar diferentes modelos tomando como variable dependiente el número de vehículos y como variables independientes datos sociodemográficos, económicos, de transporte y de usos del suelo. (Tanner, 1962 y 1983; Beesley, y Kain, 1964; Button, *et al* 1993, Whelan *et al.*, 2000; Dargay, y Gatley, 1999) .

La relación entre los valores económicos medidos y las variables de propiedad del automóvil es no lineal a largo plazo. Normalmente se supone que la ecuación que describe los datos es una función de forma sigmoide, una curva en forma de S. (Tanner, 1958, Mogridge, 1967). La curva de Gompertz es una función sigmoide utilizada para modelar sistemas que tienden a evolucionar en el tiempo hasta un valor asintótico que muestra saturación cuando la variable explicativa alcanza grandes niveles. La función flexible de Gompertz permite relacionar la relación vehículo / población con una variable económica (Zachariadis, *et al* 1995, Talukdar, 1997, Ingram y Liu 1997). Ejemplos son los estudios realizados en el Reino Unido y en 18 países industrializados desde 1958 a 1980, identificando una fuerte relación entre la propiedad del automóvil y la tasa de ingresos y el

nivel de ingresos sobre el número de automóviles. Aumento de los ingresos (Tanner, 1983). Los modelos de propiedad de vehículos en los países de bajos ingresos evidencian similitudes con los estados industriales, lo que refuerza la importancia del ingreso en la propiedad de automóviles y en la expansión del volumen de tráfico a medida que los países prosperan (Button, *et al.*, 1993).

Dargay. y Gatley llevan a cabo estudios comparativos internacionales que analizan la relación entre la propiedad del vehículo motorizado y los niveles de ingreso usando datos de un estudio previo de 26 países (1999) y ampliando el rango a 82 países (2001). Utilizaron una función de Gompertz para representar el nivel de equilibrio a largo plazo de la relación entre vehículos y población V_t^* (propiedad del vehículo en el año t) en función del PIB per cápita (*GDP*), permitiendo predecir la tasa de motorización (el número de vehículos por 1.000 Personas).

La ecuación puede escribirse como:

$$V_t^* = \gamma e^{\alpha e^{\beta GDP}} \quad [4.1]$$

Donde el parámetro γ es el nivel de saturación que no puede ser igual a 0. Los parámetros α y β son dos valores negativos que determinan la definición de la forma o curvatura, de la función en S de la propiedad del vehículo sobre el crecimiento económico (Figura 17).

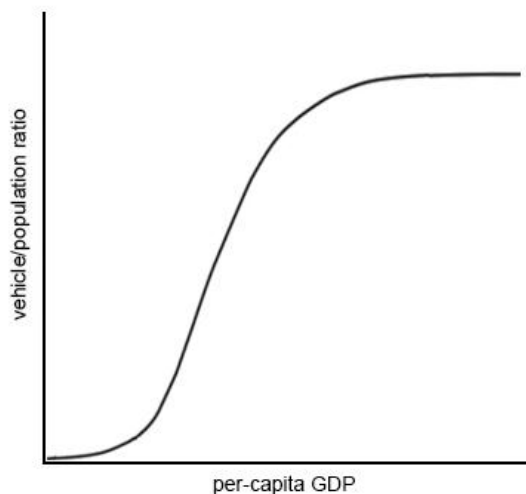


Figura 17 Función Gompertz

Inicialmente Dargay, y Gatley (1999) suponen que, dentro de un determinado nivel de ingresos, la propiedad del automóvil permanecerá similar entre países. Posteriormente, Dargay y Gatley (2011) consideraron que los niveles de saturación vehicular no deben ser similares para todos los países, debido a que las diferencias entre ellos hacen probable que se alcance la saturación en diferentes niveles de ingreso. Ello es así porque no solo es relevante la variable económica sino también la influencia de las políticas de transporte y las formas de urbanización que varían de un país a otro y de unas zonas geográficas a otras.

El modelo debe representar tres períodos: un período inicial de crecimiento bastante estable que se manifiesta mediante un lento crecimiento económico hasta alcanzar un umbral que permite iniciar un período de auge en el que los ingresos evidencian que la compra de automóviles puede verse favorecida por un cambio abrupto. A continuación,

durante un corto espacio de tiempo, se alcanza un nivel de saturación. Desde este punto se da paso a un tercer período de meseta donde apenas se observa crecimiento en el número de vehículos per cápita (e incluso se ve desalentado su uso) y la tendencia viene marcada por una estabilización con un crecimiento suave o incluso una ligera recesión. La función tiene dos puntos de inflexión: el primero muestra el inicio del nivel de expansión y el segundo el nivel de saturación asintótica de la propiedad del vehículo. La forma se ajusta en parámetros ajustables.

Al analizar el comportamiento de la evolución de la propiedad del automóvil, es importante destacar dos fenómenos: la inelasticidad de la propiedad del automóvil en los niveles de ingresos altos (umbral de saturación) y un fenómeno de histéresis en la forma en que la propiedad del automóvil no responde simétricamente al aumento y a la reducción.

Los países con gobiernos democráticos y avanzados tienden a ser más efectivos en la canalización de los recursos hacia la eficiencia de los sistemas de transporte, lo que implica restringir el uso de vehículos privados en las áreas urbanas. Cuando en los países en desarrollo los ingresos crecen, si no se promueve el transporte público mediante una política de intervención, el uso del automóvil aumenta sin que existan alternativas reales de transporte público, lo que se traduce en una mayor congestión del tráfico. La disponibilidad de transporte público está estrechamente relacionada con la propiedad del automóvil (Kutzbach, J. 2009, Button, *et al.*, 1993).

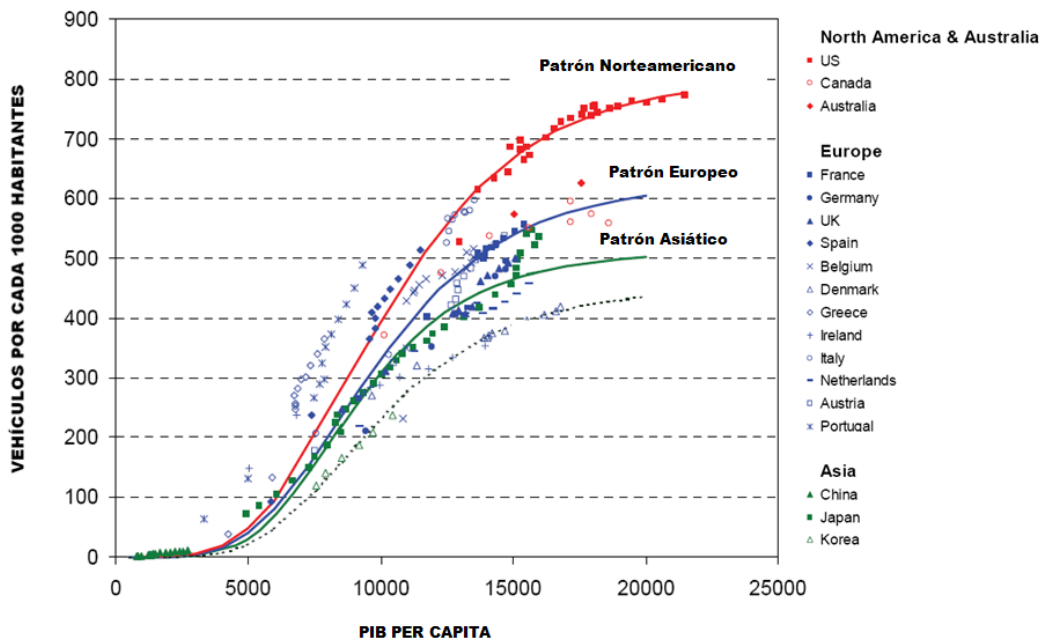


Figura 18 Evolución de la motorización por áreas mundiales.

Fuente: Huo, *et al.*, 2007

Debe tenerse en cuenta la relevancia de la elasticidad del ingreso según la densidad de población, la estructura urbana y las políticas de transporte. A medida que aumenta la densidad de la población, tienden a disminuir los niveles de saturación de vehículos per cápita. La curva tiene una forma similar, pero hay cuatro patrones diferentes (Figura 18), dependiendo del área geográfica: Norteamérica y Australia, Europa, Asia y Países con menor propiedad de vehículos (Huo, *et al.*, 2007). La forma sigue siendo particularmente común durante el período inicial previo a alcanzar el umbral de la transición.

Uno de los factores que pueden explicar las variaciones en la evolución de los índices de motorización es el diferente proceso, intensidad y rasgos con los que los países han hecho la transición de una sociedad rural a una sociedad urbana. En América del Norte, ha sido un paso muy progresivo sin prácticamente ninguna megaciudad y grandes áreas urbanas con baja densidad. Sin embargo, en los países del sudeste asiático (Japón, Corea del Sur, Taiwán, Tailandia, Malasia y más tarde China, Vietnam y Filipinas) han desarrollado una rápida transición de zonas rurales a zonas urbanas densas. Después de la Guerra Civil, hace sesenta años, Corea del Sur era uno de los países más pobres del mundo, con gran parte de la población viviendo en comunidades agrícolas, pero, hoy en día, el 90% de la población vive en zonas urbanas (Chang, H. 2007). Las áreas urbanas se han experimentado una expansión de tamaño, población y densificación, con grandes desequilibrios y problemas de movilidad con elevados índices de congestión en la circulación (Tokunaga y Takahashi 2003).

Khan y Willumsen (1986) consideran que en los países en desarrollo el crecimiento del número de automóviles además de la evolución del PIB, está condicionado por las inversiones públicas en infraestructuras, considerando como determinante la variable política en ámbitos como los impuestos y tasas.

2.3 Modelización de la propiedad de PTW

Desde una perspectiva a largo plazo, la relación entre la prosperidad económica y la posesión de la motocicleta es menos determinante que respecto a la propiedad del automóvil. El uso de la motocicleta se ve influenciado por numerosos factores diferentes al del uso del coche, lo que implica un diverso tipo de evolución de las propiedades. La relación entre los ingresos y la posesión de PTW parece ser no lineal: al principio, el crecimiento económico conduce a un número creciente de PTW pero, más adelante, más prosperidad tiende a traducirse en menos motocicletas y más automóviles.

En algunos países avanzados, la conducción de motocicletas tiene un cierto componente recreativo, influenciado más que por factores económicos por otros como la cultura, el tiempo libre, el clima, la percepción del riesgo y la estructura demográfica. Este hecho sustrae el peso a las variables puramente económicas y añade una gama más amplia de variables explicativas. Desde mediados de la década de los 90, el notable aumento del uso del motociclismo en los países desarrollados, está relacionado con una amplia gama de actividades para desplazamientos y recreación (Jamson, y Chorlton, 2009, McCartt, y Haworth, 2012).

La evolución de la posesión de PTW en relación con el ingreso per cápita, muestra cómo a medida que un país se desarrolla, las personas que tienen un ingreso más alto quieren mejorar su movilidad adquiriendo modos mecánicos que permitan una mayor accesibilidad a precios más bajos. Los vehículos de motor más baratos son los ciclomotores y las motocicletas de energía baja. Los PTW son una forma de transporte personal que puede proporcionar a los individuos un medio de desplazamiento asequible por coste de adquisición, de operatividad y por precios de estacionamiento (Lee, *et al.*, 2011).

La función de Gompertz en forma de S resulta válida para representar la evolución del automóvil, pero no proporciona una representación estadísticamente adecuada de la relación entre la evolución del GPD per cápita y el número de PTW; especialmente para países con economías de rápido crecimiento como los países de Asia Oriental (China, Japón, Malasia, Taiwán y Vietnam). En Australia, Nueva Zelanda y Japón, el nivel de

propiedad de motocicletas crece con la economía y luego declina cuando el ingreso alcanza cierto nivel (Sillaparcharn, 2007).

Diferentes estudios sugieren que la relación entre la propiedad de la motocicleta y el crecimiento del ingreso per cápita, sigue una curva en forma de U invertida a largo plazo. La función fue formulada por Simon Kuznets (1955). La forma invertida pretende mostrar cómo en las primeras etapas del crecimiento económico los PTW tienen atributos positivos pero, a partir de las transformaciones de la sociedad que el progreso genera, disminuye la tolerancia de externalidades negativas de PTW. Este doble y opuesto efecto, puede explicarse porque los cambios estructurales que ocurren en la sociedad y en las formas urbanas cuando crece la economía, conducen a cambios en las presiones del modelo de transporte a largo plazo. Con el tiempo, la escala de la actividad socioeconómica conlleva impactos negativos de los PTW (principalmente un aumento de los accidentes) y tal transformación estructural urbana puede invertir la relación positiva esperada entre el desarrollo económico y el uso de PTW (HSU, 2005).

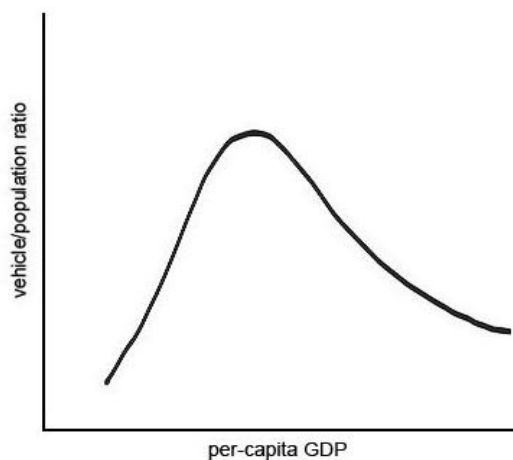


Figura 19 Función Kuznets.

Se han formulado diferentes modelos de propiedad de PTW con algún tipo de curva inversa en forma de U (Figura 19). Sillaparcharn, P (2007) formuló para Tailandia un modelo en el que las licencias de motocicletas por regiones, que aumentan hasta que alcanzan un umbral, posteriormente la propiedad de la motocicleta declina sustituida por la propiedad del automóvil. Teniendo en cuenta el modelo anterior, Pongthanasawa y Sorapipatana (2010) consideran que Sillaparcharn, (2007) subestimó la propiedad de la motocicleta después de traspasar el pico.

Nishitaten y Burke (2014) observaron una relación en forma de "U" invertida de Kuznets entre los niveles medios de ingresos y la propiedad de la motocicleta. De manera que, en los niveles de bajos ingresos, la posesión de motocicletas crece hasta llegar a un nivel de ingresos desde el que se produce una inflexión para, a continuación, iniciar un descenso progresivo a medida que aumenta el ingreso. La forma de la curva tiende a ser más pronunciada en los países densamente poblados.

Law y al. (2015) han realizado un análisis estadístico a partir de datos muestrales de 80 países con varios niveles de crecimiento y desarrollo económico durante un período de 48 años (entre 1963 y 2010). El análisis tiene en cuenta la interacción entre las motocicletas y la propiedad del automóvil y la influencia de la proporción asociada al crecimiento del desarrollo económico en dichos países. El objetivo era determinar la relación entre la proporción de propiedad de la motocicleta, el automóvil y el Producto Interno Bruto (PIB)

per cápita. El estudio encontró una relación en forma de "U" invertida entre la proporción de propiedad de motocicleta o automóvil (MPC) y el Producto Interno Bruto per cápita (PIB). En general, la proporción de propiedad MPC aumentó con los ingresos a un nivel inferior y disminuyó con los ingresos a un nivel superior.

Duffy y Robinson 2004 realizaron un análisis econométrico de la propiedad de motocicletas en el Reino Unido y concluyeron que el uso de motocicletas no disminuirá a largo plazo, al contrario, las perspectivas de crecimiento futuro pueden ser bastante optimistas. En las zonas urbanas densas, los automóviles experimentarán un aumento en el coste de funcionamiento debido al mayor número de peajes, impuestos y restricciones ambientales, lo que propiciará un efecto de sustitución del automóvil a las motocicletas. La conclusión del análisis implica cuestionar el que, a largo plazo, los altos ingresos están relacionados con el declive en el uso de las motocicletas y, por lo tanto, que el modelo de propiedad de PTW se adapta a una U-Shape invertida.

2.3 Interacción entre la propiedad del automóvil y PTW

La evolución de la propiedad del automóvil no necesariamente debe considerarse de forma aislada y debe interrelacionarse con la evolución de la propiedad de los PTWs ya que dependiendo del estadio de evolución socioeconómico se producen efectos de sustitución entre modos de transporte privados.

Las preferencias de los consumidores sobre los modos de transporte cambian según la etapa de evolución del desarrollo socioeconómico y por tanto los niveles de poder adquisitivo que finalmente inciden en la capacidad de adquisición y uso de los vehículos. La elasticidad entre PTWs y la propiedad del automóvil, evoluciona a partir de diferentes niveles de ingreso: en los niveles bajos, la motorización aumenta por la adquisición de PTWs. Cuando los ingresos alcanzan el umbral en el cual la gente puede permitirse comprar vehículos más caros, se produce un efecto de sustitución de PTWs a automóviles. La última etapa se presenta cuando las sociedades poseen elevados ingresos y disfrutan de un nivel socioeconómico avanzado, es entonces cuando tasa de motorización tiende a alcanzar un nivel de saturación y se produce el tránsito de un mercado en expansión a uno maduro, donde la demanda de automóviles deja de crecer, aunque sigan aumentando el poder adquisitivo.

En el estadio de saturación pueden aparecer efectos de sustitución entre automóviles y motocicletas, especialmente en áreas urbanas densas en las que el uso masivo de automóviles está relacionado con la congestión, contaminación, problemas en las interacciones entre vehículos y peatones y restricciones de estacionamiento. Para atenuar estos problemas se implementan varios tipos de políticas para desincentivar el uso del automóvil. Así, por ejemplo, se tiende a restringir el tráfico en el centro donde se crean grandes zonas peatonales, nuevas tasas gravan al automóvil y también el acceso a diferentes áreas urbanas suponiendo en conjunto un incremento en el coste operativo (Birkeland y Jørgensen, 2001).

La restricción y el gravamen del uso del automóvil, tiende a incrementar el atractivo de los PTW (Chin y Smith. 1997). El aumento del uso de PTW en zonas urbanas densas se basa en tres factores: Sus menores costes en las zonas urbanas con restricciones de tráfico y aparcamiento; sociológicamente la incorporación de mujeres aumenta el uso de PTWs; y finalmente, en áreas con alto poder adquisitivo y suficiente tiempo de ocio, tiende a aumentar el uso recreativo de las PTW (Haworth, 2012).

El nivel de saturación se puede medir por el número de vehículos por cada 1.000 habitantes y varía según el tipo de sociedad, los factores geográficos y de urbanización. Ortúzar y Willumsen (2011), sugieren que existe un grado de sustitución entre la propiedad de la motocicleta y el automóvil, considerando que la modelación de la propiedad de PTW debe realizarse conjuntamente con la de los automóviles, teniendo en cuenta que el nivel de saturación de la propiedad de PTW debería estar relacionado con el nivel real de propiedad del automóvil de modo que cuanto mayor sea la propiedad el automóvil, menor será el nivel de saturación de la propiedad de la PTW. La gráfica continuación muestra la modelización de los niveles de vehículos realizada por los autores para un país emergente.

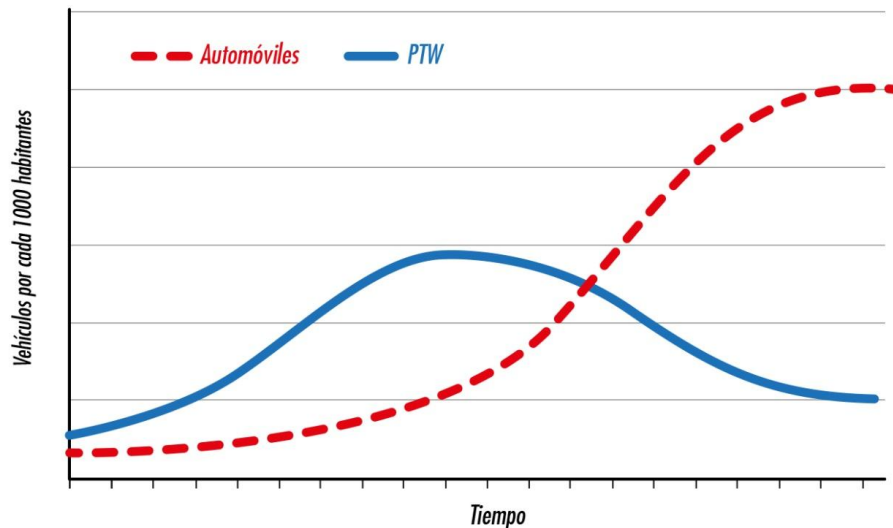


Figura 20 Niveles de automóviles y PTW en un país emergente.
Fuente: Ortúzar y Willumsen 2011

2.4 La evolución de la propiedad de vehículos privados en España

El primer vehículo de motor matriculado en España data del 31 de octubre de 1900. A continuación se muestra gráficamente la evolución de las matriculaciones anuales (turismos y motocicletas, excluidos los ciclomotores) desde 1900 hasta 2014 (Figura 21). No obstante, los registros de los ciclomotores sólo están disponibles desde 1987 hasta 2015. Es posible encontrar algunas similitudes entre el modelo de evolución de la propiedad privada y el proceso de motorización español identificando las grandes etapas del modelo: un largo período inicial desde el comienzo que concluye con la Guerra Civil española y la posguerra. Dicho periodo se caracteriza por un aumento lento con clara prevalencia de las motocicletas sobre los coches. A continuación, se observa un período de rápida expansión impulsado por la popularización del uso de coches, Y, finalmente, un tercer período de estabilización y saturación en el uso del coche.

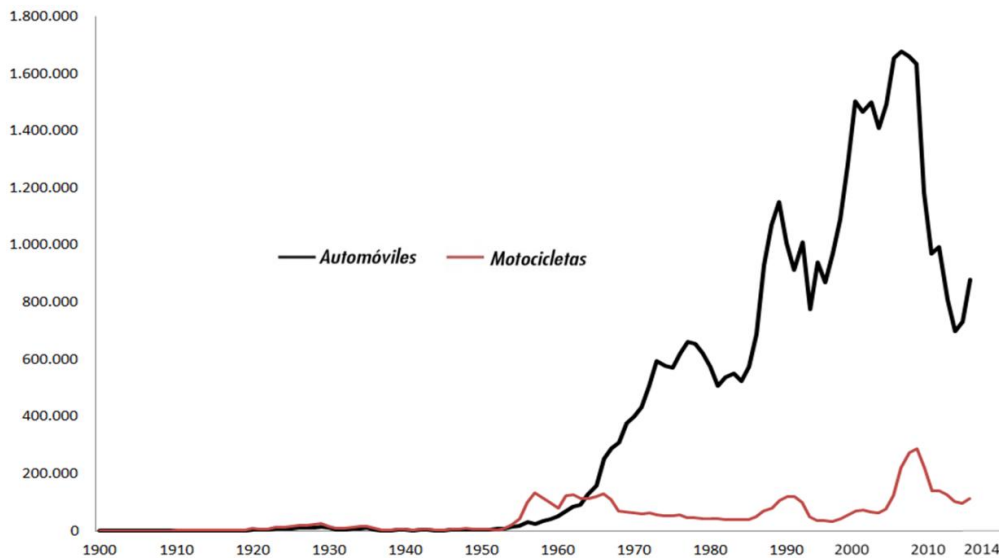


Figura 21 Evolución de la matriculación anual de vehículos (automóviles y motocicletas).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGT

Al analizar toda la evolución de la propiedad privada de vehículos en España, las motocicletas representan una fuerte proporción en sus inicios, pero la propiedad de automóviles ha ido ganando predominio de forma gradual hasta superar a las motocicletas en 1967. En 1966 se contabilizaban 1.210.496 motocicletas registradas frente a 1.052.506 coches. En 1963, las motocicletas representaron el 53,7% de la flota de vehículos y tres años más tarde el 44,3%.

Otro patrón en la evolución de la propiedad de vehículos privados en España es que está estrechamente vinculado con el crecimiento económico, de acuerdo con teorías y modelos convencionales (Figura 22). Varios estudios han encontrado una alta correlación entre la motorización y el desarrollo económico. Serrano (1987) analiza las tasas provinciales de motorización y encuentra correlación entre flota y PIB per cápita, siendo menor en áreas rurales que en áreas urbanas. Gadea y Montañés (2009) formulan este modelo explicativo de la evolución del volumen de matriculaciones de vehículos basados en GPD corregido por la tasa de interés como variable explicativa.

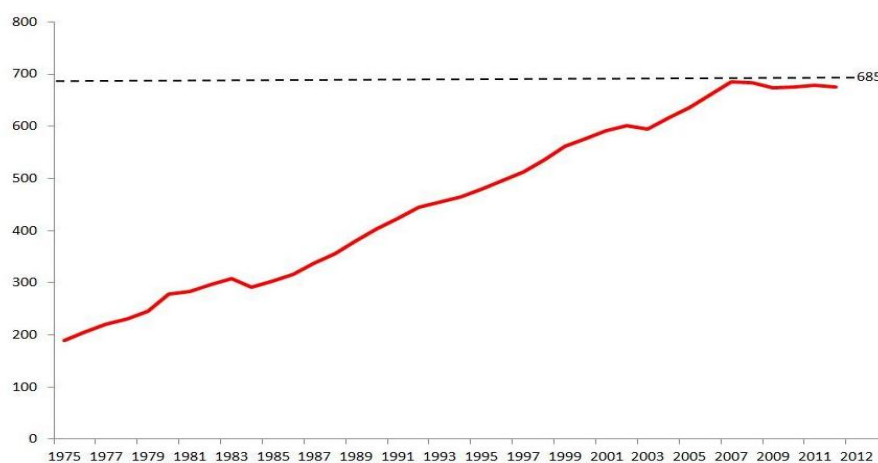


Figura 22 Evolución del número de automóviles en España (vehículos 1.000 hab).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGT

El modelo de evolución de la propiedad del automóvil utilizando la función de Gompertz, implica elasticidad en niveles de bajos ingresos e inelasticidad cuando son altos. Matas y Raymond (2008) consideran que en España la elasticidad del ingreso no es constante y disminuye a medida que aumenta la propiedad del automóvil.

La evolución de los coches se ajusta a una curva en forma de S Gompertz. Es posible establecer una zona de saturación a 670 vehículos / 1000 habitantes; muy similar al número predicho por Dargay. y Gatley (1999).

Seguidamente se muestra gráficamente la evolución histórica del total de automóviles y motos (Figura 23). Desde 1962 existen datos actuales, ya que en el pasado se han utilizado datos simulados de registros de vehículos.

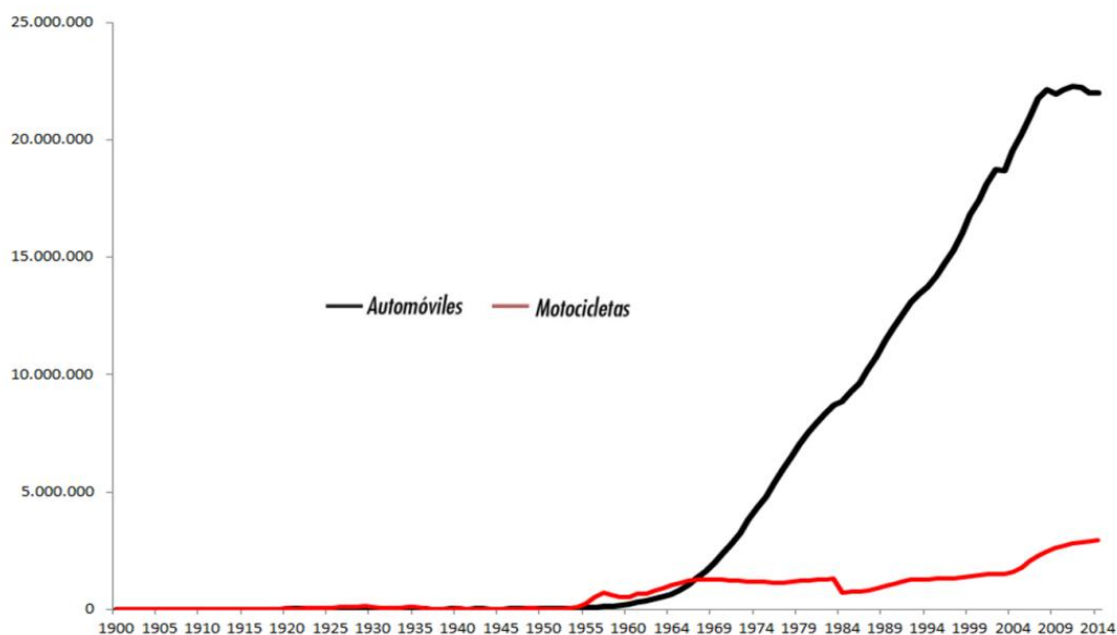


Figura 23 Evolución estimada de la flota de vehículos y motocicletas (vehículos).
Fuente: Elaboración propia partir de datos de la DGT

La evolución de la propiedad de la motocicleta durante el periodo inicial y el posterior de expansión, forma una curva inversa en U (es decir, Kutznet). Sin embargo, durante el período posterior a la expansión no se mantiene la disminución en el uso de motocicletas, experimentando picos y valles continuos con tendencia al alza. Ello obedece a que los automóviles han alcanzado un período de saturación y el aumento en el uso de motocicletas denota efectos de sustitución entre automóviles y motocicletas, especialmente en áreas urbanas densas donde el coste de uso de los automóviles ha aumentado significativamente. El resultado es que la evolución no encaja bien en una curva U-inversa.

3. Análisis de la evolución reciente del uso de TPW en la ciudad de Barcelona

3.1 Caracterización de la serie temporal

El conocimiento de los patrones de la evolución de propiedad de vehículos privados tiene por objeto la contextualización del fenómeno de estudio. Es necesario relacionar las etapas de la evolución de la motorización ya que, dependiendo del estadio en que se encuentre el ámbito de estudio, el enfoque a aplicar debe variar.

Es relevante identificar que la movilidad en la ciudad de Barcelona se encuentra en un estadio “muy maduro”. De modo que la sociedad española en general y la ciudad de Barcelona en particular han superado una primera etapa de lento incremento de la motorización, un periodo de inflexión, para alcanzar un último estadio de saturación en que, aunque aumente la renta no se incrementa la motorización, e incluso se reduce la posesión del automóvil.

La ciudad de Barcelona se encuentra en un estadio de saturación que ya ha sido alcanzado con anterioridad por otras metrópolis de entornos económicos más desarrollados. En ese contexto debe interpretarse el fenómeno objeto de estudio: un área metropolitana en la que los niveles de motorización han alcanzado un umbral y las políticas de movilidad desincentivan el uso del automóvil, configurándose los PTW como una alternativa.

El estudio del comportamiento en la elección, sirve para entender el cómo y el porqué de las opciones que las personas realizan en el pasado (preferencias reveladas), parametrizando sus preferencias y, por tanto, su comportamiento, de manera que sea posible construir modelos que permitan interpretar comportamientos futuros ante cambios en alguno de los factores del sistema.

El análisis de la evolución de un fenómeno consiste en analizar su dimensión temporal, aplicando modelos basados en datos cronológicos que permiten identificar tendencias, cambios, patrones evolutivos, eventos y posibles sesgos. La finalidad es llegar a formular modelos que expliquen los patrones de cambio temporal y que incluso permitan llegar a hacer predicciones y pronósticos.

Cuando se procede a comparar la forma del gráfico con las formas de los gráficos aditivo y multiplicativo, se observa como sinópticamente se ajusta más a un esquema multiplicativo en que la amplitud de las fluctuaciones varía a lo largo de la serie, en contra del esquema aditivo en que la amplitud es regular a lo largo del tiempo (Figura 24). Se ha procedido a indexar la evolución de los 20 últimos años, tomando como referencia el año base 1996 (Tabla 6).

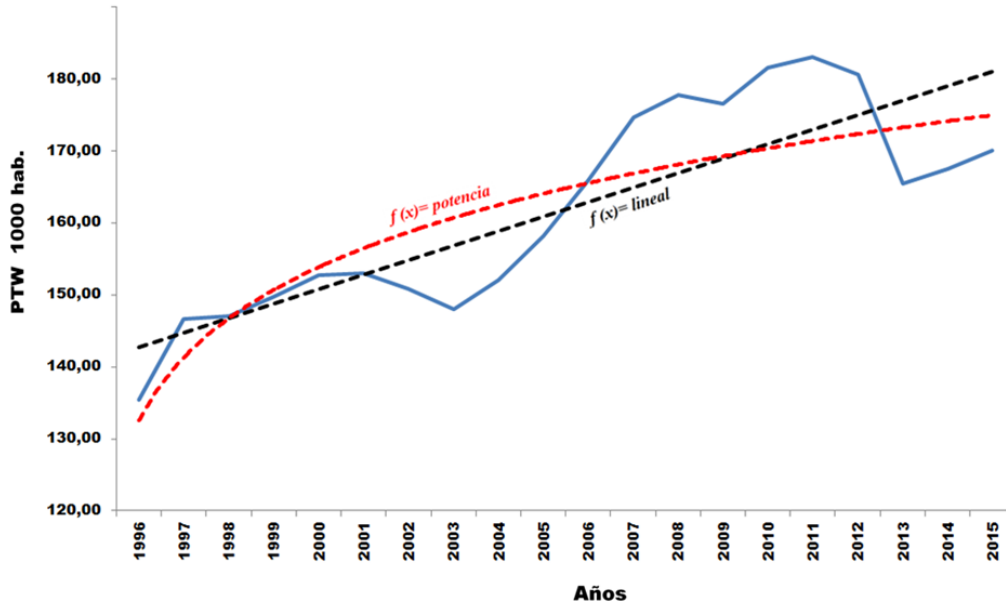


Figura 24 Funciones de modelización de la serie temporal

Se ha aplicado un índice simple que permite identificar claramente la tendencia de la serie temporal de 20 años (m):

$$I_b^m = \frac{X_m}{X_b} (100) \quad [4.2]$$

Donde:

I : Índice simple de tendencia

X_m : el número total de PTW en la serie temporal de 20 años.

X_b : el número total de PTW en el año de referencia (1996).

Tabla 6 Evolución del número de PTW por 1000 habitantes.

Año	PTW/1000 habitantes
1996	135
1997	147
1998	147
1999	150
2000	153
2001	153
2002	151
2003	148
2004	152
2005	158
2006	166
2007	175
2008	178
2009	177
2010	182
2011	183
2012	181
2013	165
2014	167
2015	170

Las series temporales pueden ser analizadas aplicando diferentes métodos de análisis de tendencia, correlación, pronóstico y suavización de dientes de sierra (Figura 25). Todo ello con el fin, por una parte, de identificar las características de la estructura probabilística subyacente, y por otra, de realizar proyecciones y previsiones futuras.

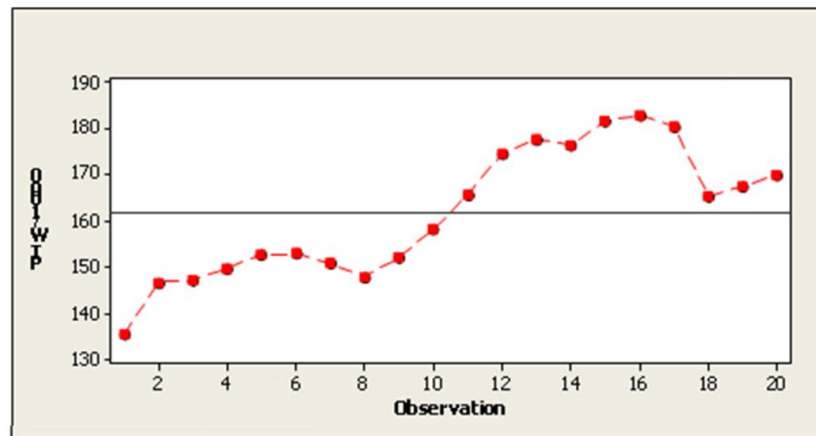


Figura 25 Evolución de la serie

Sinópticamente se observa una clara tendencia ascendente que es verificada por un *p-value* muy bajo para tendencias (0,000). El hecho de que la línea únicamente cruce la mediana por un punto, verifica la claridad de la tendencia sobre los efectos estacionales que cuanto más evidentes, mayor tendencia a intersectar la mediana.

La no aleatoriedad de la tendencia y, por tanto, de los indicadores de su carácter no estacionario, viene determinada por los patrones relativos a:

- Patrones de mezcla. El *p-value* para “mixtures” es superior a 0,05, evidenciando cómo los datos tienen procedencia relacionada con el proceso evolutivo sin “mezclas” o combinaciones de poblaciones o procesos evolutivos diversas.
- Patrones de conglomerados. El *p-value* para “clusters” de 0 muestra la ausencia de agrupación de datos por niveles y, por tanto, evidencia la progresión equilibrada de la tendencia.
- Patrones de oscilaciones. El *p-value* de oscilaciones es superior a 0,05 evidenciando la ausencia de fluctuaciones, reforzando así el carácter equilibrado de la evolución, sin grandes oscilaciones.
- Patrones de tendencias. El *p-value* para la tendencia (trend) es 0, por tanto, claramente por debajo del umbral de 0,05 que delimita el carácter estacionario de la tendencia, poniendo de relieve la existencia de una tendencia clara en la evolución.

La verificación del carácter no estacionario de la serie evolutiva, unido a que los diferentes indicadores verifican la no existencia de factores de aleatoriedad, permite avanzar en la búsqueda de las variables que pueden explicar la evolución de la serie y, por tanto, elaborar un modelo explicativo.

3.2 Análisis de la tendencia

Al disponer de una serie histórica de datos suficientemente prolongada, es factible aplicar diferentes técnicas estadísticas con la finalidad de identificar posibles tendencias que pueden servir de base para realizar previsiones futuras.

Una variable puede ajustarse a tres modelos evolutivos del comportamiento de su tendencia, susceptible de ser parametrizada mediante algún tipo de función que sintetice su evolución modelo estacionario, modelo con tendencia línea, modelo con estacionalidad: la variable tiene una evolución no lineal:

Cuando la variable observada muestra una tendencia temporal durante el período (t), la función resultante de su parametrización temporal (y_t) deben identificar dos componentes: la tendencia parametrizada (T_t) en forma de regresión lineal, exponencial, polinómica, potencia, logarítmica y, en segundo lugar, el residuo, perturbación aleatoria o error respecto a la realidad (ε_t), al que se debería aplicar un filtrado de la tendencia, de manera que: $f(y_t) = T_t + \varepsilon_t$

La suavización simple de la evolución temporal de una variable, se basa en la descomposición de los datos en las partes que lo integran, con el fin de llevar a cabo una proyección que permita realizar pronósticos futuros. Los métodos de análisis de tendencias pueden ser estáticos (con patrones que se mantienen fijos en el tiempo) o dinámicos (con patrones variables) de promedio móvil.

Las gráficas de observaciones individuales y rangos móviles (I-MR) permiten validar la presencia de tendencias y patrones para series históricas, al determinar el carácter evolutivo de los datos (Figura 26). Las observaciones fuera del rango evidencian la existencia de un patrón evolutivo y, al analizar la evolución con rangos móviles, se verifica la consistencia de los datos.

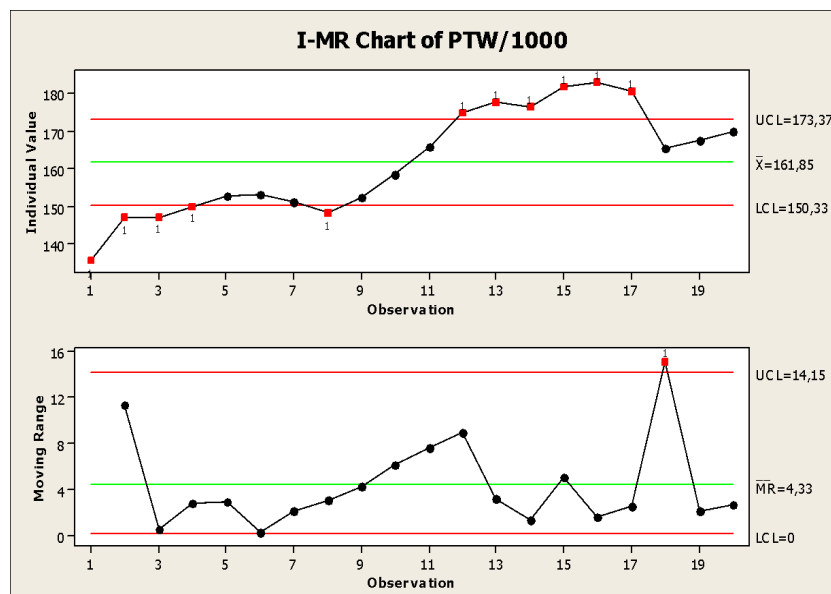


Figura 26 Observaciones individuales y rangos móviles

Mediante la representación gráfica de una serie suficientemente prolongada, se puede interpretar la representación de la tendencia y, por tanto, prolongarla en el tiempo. Mediante esta técnica matemática, se pueden evaluar tendencias de comportamiento futuro

de diversas variables. Si representamos los datos recogidos desde el año 1996 hasta 2015, se obtiene una gráfica que se puede proyectar hacia el futuro. Esto se realiza a partir de la gráfica de los datos de la función de Taylor que más se ajusta. A continuación, se representan los valores que dicha función proporciona en relación con los meses siguientes.

La identificación de una tendencia que se pueda ajustar a una función lineal o no lineal, es la base para poder desarrollar técnicas de predicción y, por tanto, elaborar pronósticos de valores futuros de una serie temporal, a partir de los datos históricos contenidos en la serie analizada.

Se ha analizado la evolución de la tendencia, observando cómo la tendencia lineal es evidente:

$$f(y_t) = a + b t \quad [4.3]$$

$$f(y_t) = 140,67 + 2,0171 t$$

$$R^2 = 0,70$$

Se consigue una mayor restitución del fenómeno con una función potencial:

$$f(y_t) = a' + b' t + c' t^2 \quad [4.4]$$

$$f(y_t) = 131,78 + 4,44 t - 0,1154 t^2$$

$$R^2 = 0,7312$$

Se trata de una función más apropiada para reflejar un nivel de saturación con comportamiento asintótico y, por tanto, reflejar mejor el fenómeno ante la evidencia de que el incremento del uso de la motocicleta no puede ser indefinidamente lineal (Figura 27 y 28).

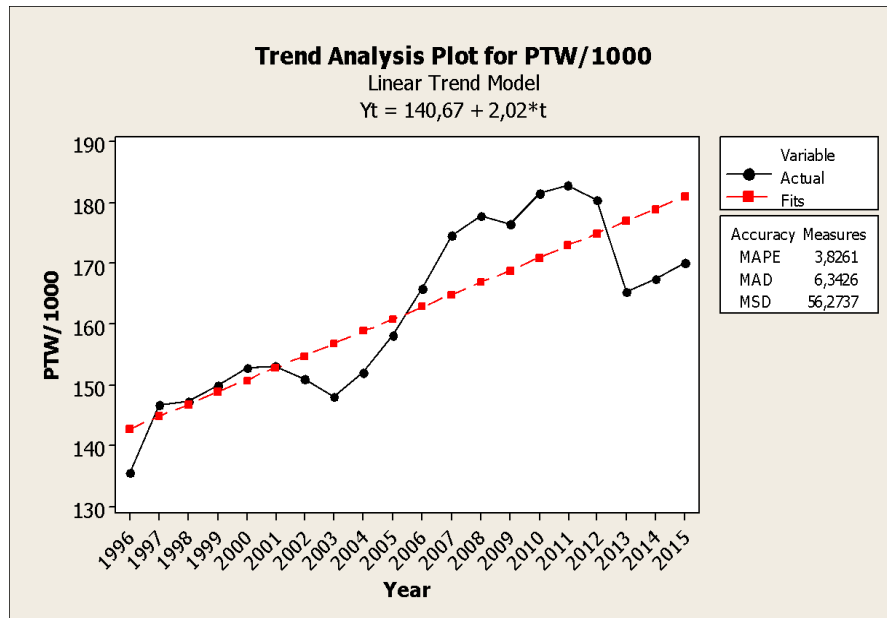


Figura 27 Análisis de la tendencia linealizada

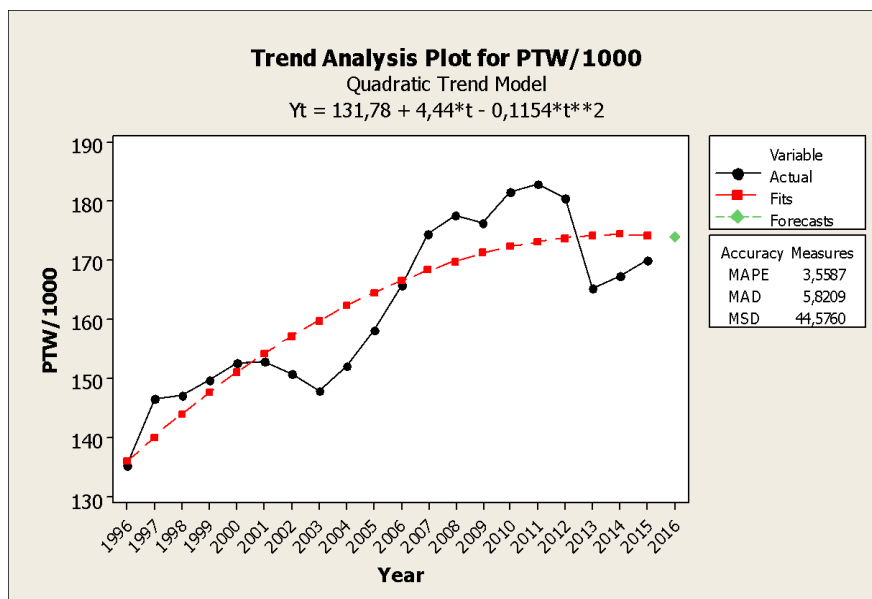


Figura 28 Análisis de la tendencia

3.3 Análisis de la estacionalidad

Muchos fenómenos están afectados por continuas variaciones cíclicas (dientes de sierra) que pueden ocultar una tendencia, si bien una adecuada agrupación puede eliminar o suavizar el efecto cíclico y facilitar la identificación de posibles tendencias.

La evolución temporal de una variable puede evidenciar la existencia de patrones que aparecen cíclicamente y la existencia de fenómenos estacionales. Una de las pruebas para determinar la estacionalidad de una serie temporal, es el test de Dickey-Fuller (Dickey, y Fuller, 1979).

Analizando sinópticamente la tendencia se observa como el componente estacional tiene carácter aditivo con la tendencia.

Cuando en una serie temporal se observa tendencia y un comportamiento cíclico de cierta estacionalidad, un paso previo de análisis es el suavizado de los datos mediante el método exponencial de Holt-Winters que realiza estimaciones dinámicas para componentes de nivel, de tendencia y estacional.

3.4 Análisis de la autocorrelación (AC)

En una serie temporal se pueden observar grados de autocorrelación parcial entre series parciales que muestran la existencia de correlaciones entre conjuntos de pares de datos y que pueden evidenciar la relación entre términos explicativos de la tendencia.

La función de autocorrelación (ρ_j) vendrá definida por los valores que durante el lapso temporal entre observaciones toma la covarianza, respecto a la varianza de la función y, analíticamente, se expresa del siguiente modo:

$$\rho_j = \frac{cov(y_t, y_{t-j})}{\sqrt{var(y_t)} \sqrt{var(y_{t-j})}} \quad [4.5]$$

Se puede estimar la función de autocorrelación de la serie temporal generando las siguientes gráficas (Figura 29 y 30). Cuando las líneas verticales sobrepasan la línea roja discontinua, evidencian la existencia de una elevada correlación.

Se puede observar como la autocorrelación para los datos en el primer desfase es elevada, mientras que para los demás desfases (lag) está próxima a 0. La mínima longitud evidencia la ausencia de autocorrelación parcial y total en la función.

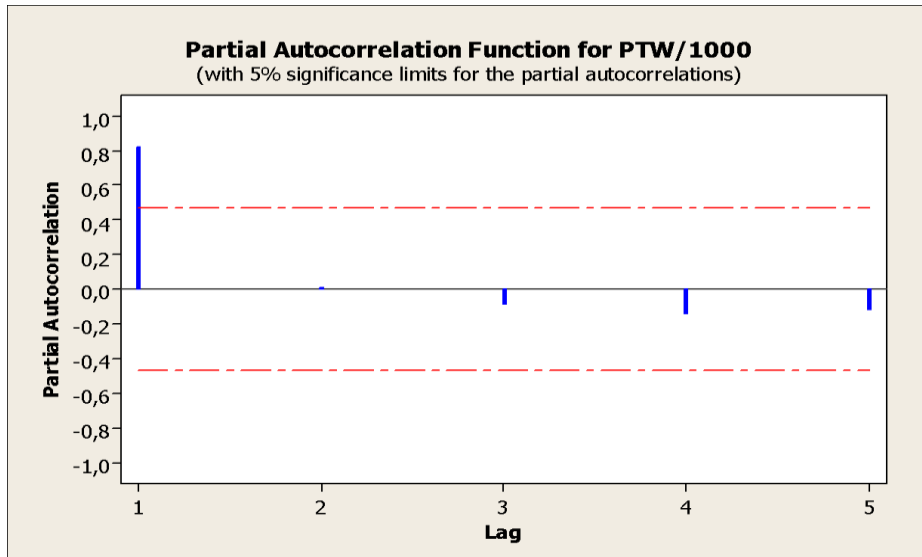


Figura 29 Autocorrelación parcial

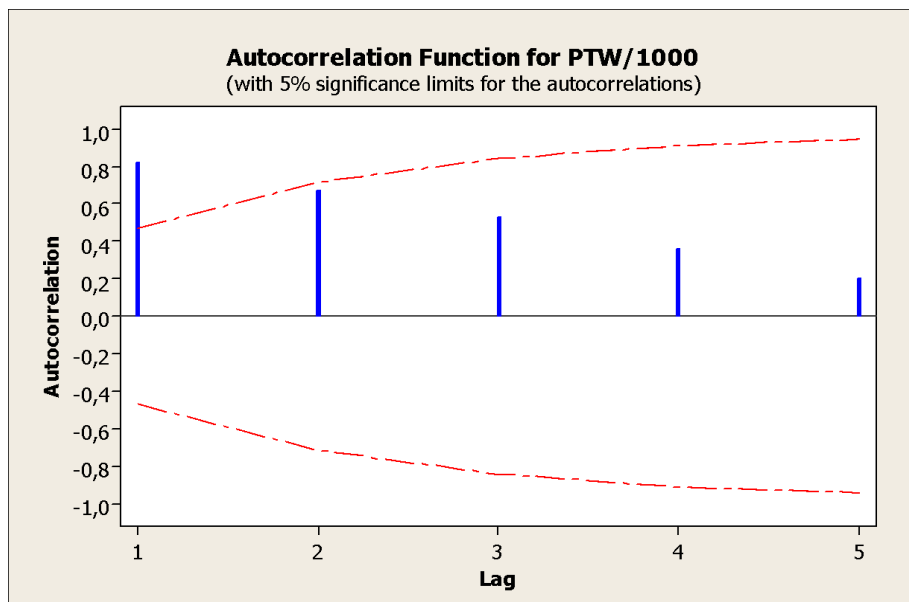


Figura 30 Análisis de autocorrelación total

3.5 Proyección futura

Una de las utilidades del análisis de series temporales es la posibilidad de diseñar modelos de proyección de datos futuros. De este modo es factible realizar diferentes tipos de proyección de la evolución futura de la serie temporal.

Los métodos econométricos utilizados en la proyección de datos de series temporales son los modelos autorregresivos (*AR: Auto Regressive Model*) de medias móviles (*MA: Models Average*), el modelo resultante es la combinación de ambos (*ARMA*); siendo uno de los métodos de proyección de datos más empleado el denominado *ARIMA* (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles).

Los modelos *ARIMA* fueron formulados en la década de los años 30 por Norbert Wiener para el filtrado de tiempos discretos en electrónica. A partir de 1970 fueron adaptados a modelos económicos (Box, 2015), por lo que los modelos *ARIMA* también se denominan modelos de Box-Jenkins. Los modelos pueden incluir términos autorregresivos (modelo *AR*) y términos de media móvil (modelo *MA*). Se trata de modelos en los que la evolución de la variable de la serie temporal $f(y_t)$, en este caso, $PTW/1.000hab.$ Puede ser pronosticada a partir de la parametrización de los datos de periodos pasados (T_t) con un modelo subyacente que explica los cambios en el proceso proyectados hacia el futuro e incorporando un término de error incremental (ϵ_{t+1}), conforme se avanza en la proyección.

De manera que:

$$f(y_{t+1}) = f(y_t) + T_{t+1} + \epsilon_{t+1} \quad [4.6]$$

El proceso para la construcción de un modelo *ARIMA* que permita aproximar la parametrización del componente estocástico de una serie temporal parte de la estimación de una función con los coeficientes de ajuste del modelo. El proceso autorregresivo de primer orden *AR(1)*, en el que y_t es una función lineal de los valores de y en un periodo previo (y_{t-1}), supone que:

$$y_t = \delta + \varphi y_{t-1} + \epsilon_t \quad [4.7]$$

Donde δ y φ ($|\varphi| \leq 1$), son valores constantes a determinar y ϵ es el error o perturbación aleatoria o ruido blanco, valor normal e independientemente distribuido con media 0 y varianza constante.

Tomando como referencia un modelo con dos términos autorregresivos *AR(2)*, en el que y_t es una función lineal de los valores de y en dos periodos anteriores (y_{t-1} , y_{t-2}):

$$y_t = \delta + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \epsilon_t \quad [4.8]$$

El rango de observaciones son los valores de la serie de n datos, que pueden ser utilizados para hacer predicciones estimadas de dos intervalos futuros *AR(2)*: y_{n+1} ; y_{n+2}

Las ecuaciones para estimar los valores esperados y_t son:

$$y_{n+1} = \delta + \varphi_1 y_n + \varphi_2 y_{n-1} + \epsilon_{n+1} \quad [4.8a]$$

$$y_{n+2} = \delta + \varphi_1 y_{n+1} + \varphi_2 y_n + \epsilon_{n+2} \quad [4.8b]$$

En la primera ecuación el valor del error, ruido blanco independiente ϵ_{n+1} se asume que es 0 (como valor medio de los errores). En la segunda ecuación de previsión, el valor $n + 2$

debe incorporar el resultado previo de la primera ecuación (y_{n+1}). Debiendo cumplirse que $|\varphi_2| < 1$, $\varphi_1 + \varphi_2 < 1$ y $\varphi_2 - \varphi_1 < 1$.

Aplicando el modelo mediante un paquete estadístico obtenemos los siguientes resultados (Tabla 7):

Tabla 7 Estadísticos

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,1878	0,4237	0,44	0,665
SAR	2	0,1503	0,4161	0,36	0,724
MA	1	-0,1454	0,4796	-0,30	0,767
MA	2	0,1287	0,5067	0,25	0,803
MA	3	0,7777	0,3301	2,36	0,035
Constant		1,5075	0,3333	4,52	0,001

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 20, after differencing 19
 Residuals: SS = 323,272 (backforecasts excluded)
 MS = 24,867 DF = 13
 Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	7,1	*	*	*
DF	6	*	*	*
P-Value	0,309	*	*	*

Se observa que como modelo se puede tomar en consideración, al ubicarse por debajo del nivel de significancia del 5% el coeficiente autorregresivo de tercer orden (MA 3). Los valores de T se sitúan por encima de 2. A su vez, los estadísticos Chi-Cuadrado evidencian la falta de auto-correlación entre puntos en márgenes de 12 desfases. El modelo se valida al comprobar cómo los residuos son Ruido Blanco.

La siguiente gráfica muestra visualmente el nivel de ajuste entre el modelo y la serie temporal (Figura 31).

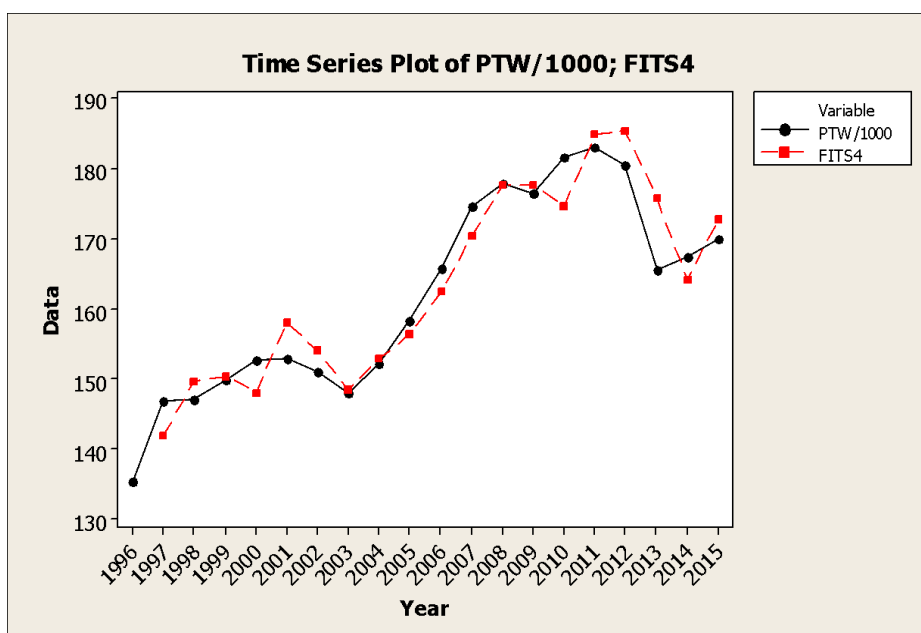


Figura 31 Niveles de ajuste

A partir del modelo, es factible realizar una proyección futura estimando la serie estacionaria con valores de la serie temporal y con predicciones en base a tres funciones con un 50% de límites de probabilidad (Figura 32).

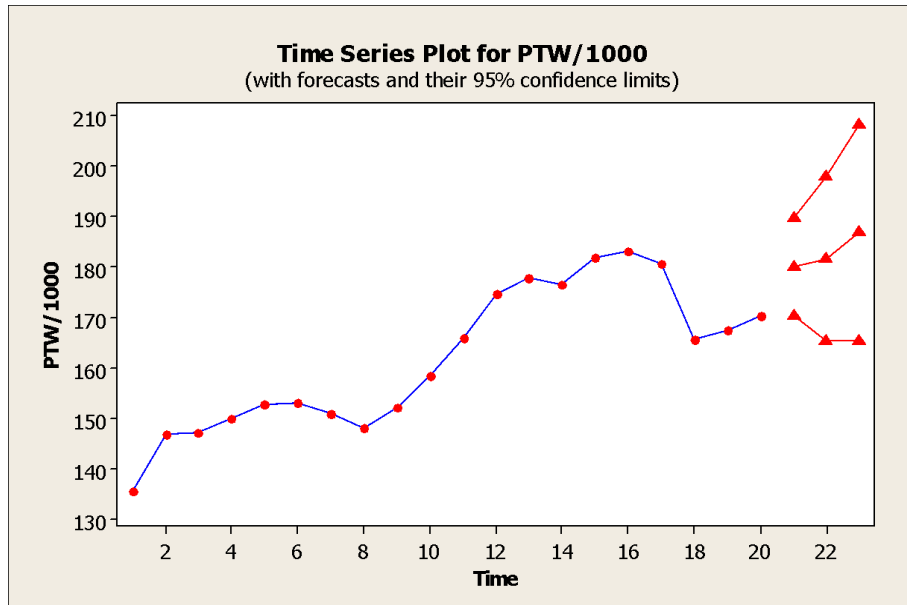


Figura 32 Pronósticos de evolución futura.

En la elección de las tres proyecciones se deben emplear elementos de análisis propios del fenómeno como puede ser la identificación de patrones cíclicos. En la serie temporal se pueden identificar ondas que permiten ver patrones propios que caractericen ciclos (Figura 33). Los ciclos tienen cotas máximas y mínimas, que perfilan canales, que pueden ser perforados. Existen diferentes teorías de la expansión de las ondas, siendo habitual identificar réplicas en el tiempo.

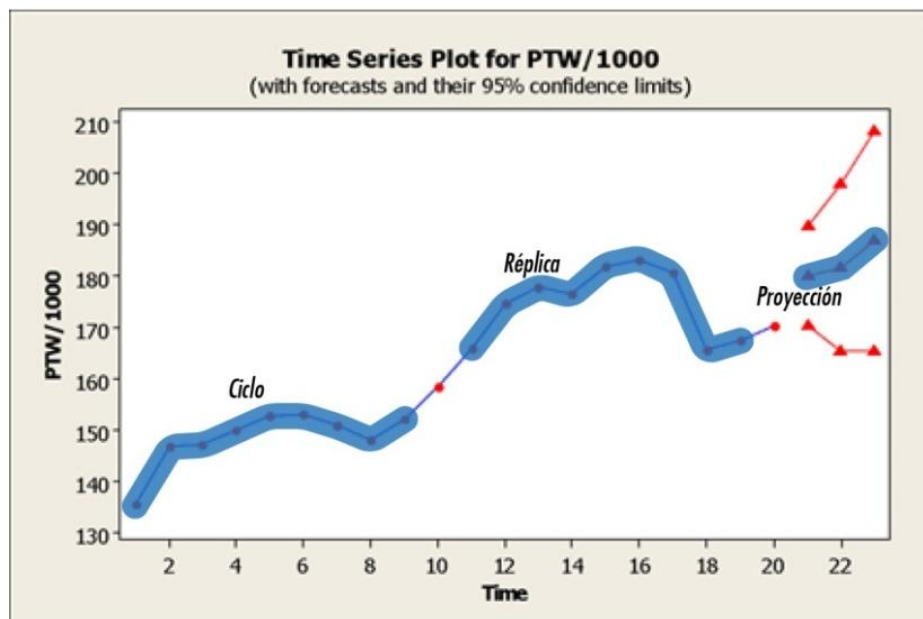


Figura 33 Ciclos, réplicas y proyección.

Las réplicas de las ondas pueden servir de base para la realización de proyecciones futuras, pudiendo ser más fidedigna la proyección de una serie de ondas previas, que la proyección de una tendencia o de los canales de la serie. Por lo que es un criterio válido para escoger entre las tres opciones de evolución futura.

Si consideramos que la evolución histórica muestra que toda fase de expansión experimenta algún tipo de fatiga que se traduce en una recesión temporal, a partir de la cual, se recupera para atacar y superar cotas anteriores, entonces la protección posiblemente se ajustará a una tendencia ascendente. En el periodo expansivo previo, se observaba una finalización en punto de descenso desde el que volvía a atacar y superar las cotas precedentes. De replicar el comportamiento, la tendencia debería ser ascendente a la búsqueda de los niveles anteriores.

PARTE 3

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 1:

**El porqué del incremento del uso de
PTW en la ciudad de Barcelona**

Capítulo 5

Análisis y modelización del incremento del uso de PTW en la ciudad de Barcelona

1. Presentación

En este capítulo se desarrolla y analiza un modelo para explicar el incremento del número de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona. En este primer apartado se contextualiza el fenómeno describiendo la evolución en el uso de este tipo de vehículos. Posteriormente, en un segundo apartado, se exploran las variables potencialmente explicativas las razones por las que estas variables se relacionan con el uso de los PTW. Seguidamente, en el tercer apartado, se presenta un modelo de regresión para, a partir de las variables explicativas exploradas en el apartado anterior, explicar el fenómeno del incremento del uso de PTW. Este modelo permite valorar la influencia o efecto de estas variables además de determinar el poder predictivo de las variables explicativas. Finalmente, en el cuarto y último apartado se resumen las principales conclusiones.

Los datos estadísticos muestran como desde las últimas décadas del siglo XX hasta la actualidad se ha producido un incremento del uso de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona. Por el contrario el número de automóviles ha sufrido un menor crecimiento y en los últimos tiempos se constata una disminución.

En 20 años (1995-2015) el número de PTW por cada 1.000 habitantes ha aumentado en un 24 %, mientras que los coches han disminuido en un 15% (Figura 34). En el año 2012, el 34% de los vehículos no comerciales en Barcelona eran vehículos motorizados de dos ruedas.

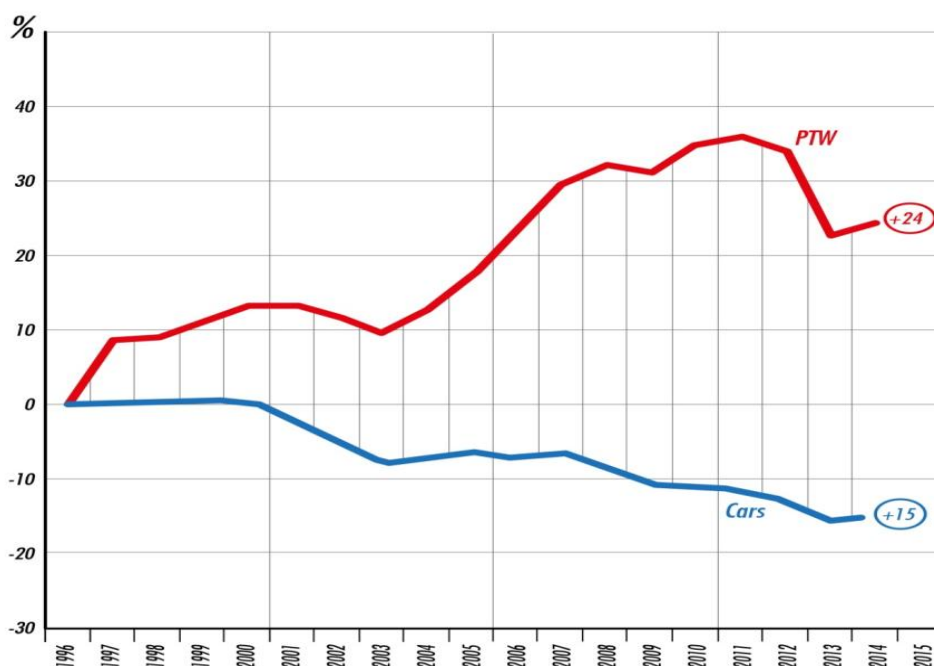


Figura 34 Evolución del número de automóviles y PTW por 1000 hab. (año base 1996)

Fuente: Elaboración propia a partir datos del Ajuntament de Barcelona 2016

Se constata cómo a partir de 1995 se produce un cambio en la tendencia ascendente en el número de turismo en la ciudad de Barcelona, manteniéndose en continuo descenso hasta la actualidad. Por el contrario, el número de PTW continúa e incrementa su tendencia ascendente.

La evolución del número de vehículos privados (automóviles y motocicletas), según el tipo de vehículos, muestra una tendencia de disminución de la flota, mientras que los PTW

tienden a subir. Se realizan menos desplazamientos en automóvil, en cambio, se incrementa la utilización de PTW.

Analizada la evolución del número de PTW por cada 1000 hab. tomando 1996 como año base, se puede observar una tendencia estable desde 1997 hasta 2004 que es cuando se constata una inflexión (Figura 35).

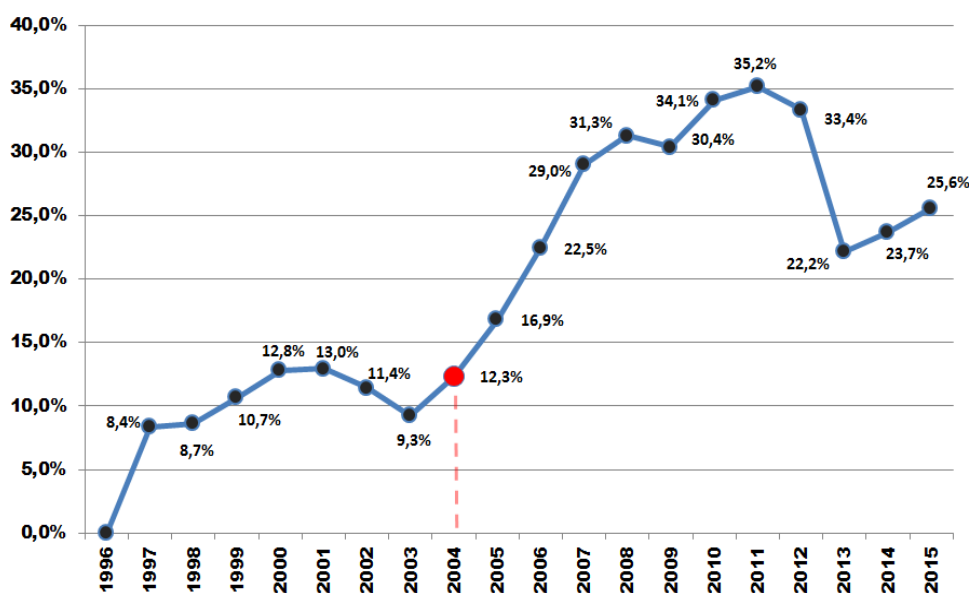


Figura 35 Evolución de los PTW per cápita desde el año base 1996.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ajuntament de Barcelona 2016

2. Exploración de las potenciales variables candidatas a explicar el fenómeno

Para formular un modelo se debe disponer de una serie de variables explicativas. Para que el modelo sea contrastable y extrapolable a otros ámbitos es importante que las variables seleccionadas sean fáciles de identificar, medir y cuantificar.

Después de un trabajo de prospección se han podido obtener una serie de variables de partida para proceder a analizar el incremento del uso de los PTW en Barcelona. Cabe destacar que al provenir de diferentes fuentes, no existía, anteriormente, una recopilación completa de estas variables en su conjunto. Una vez recopiladas las variables susceptibles de tener cierto grado de significación con el objeto de estudio, se ha filtrado según criterios basados en su idoneidad.

Se ha centrado el estudio en el análisis del conjunto de variables que pueden tener una incidencia en la evolución del número de motocicletas, como son:

- **Coste de los carburantes.** El coste de carburante tiene una relevancia elevada en la formación de la función de costes totales de los desplazamientos en vehículo privado. La variable Precio diesel tiene una incidencia directa en los desplazamientos en automóvil, al ser el carburante más utilizado, y en cambio no tiene efecto en los PTW al no emplearse en éste tipo de vehículo. Es de suponer que un incremento del precio del Diesel encarece los desplazamientos en automóvil

y por tanto favorece la aparición de intercambio modal del automóvil a PTW, por lo que es una variable de la que se espera un signo positivo. En relación con la variable gasolina, al ser el carburante empleado en los PTW, es de suponer que los incrementos en su coste suponen un aumento de coste operativo de los desplazamientos en PTW y por tanto existirá un factor desincentivador, esperándose un signo negativo. **Variables: Precio Diesel (signo esperado positivo); Precio Gasolina (signo esperado positivo).**

- **Coste de estacionamiento regulado en superficie.** El coste de estacionar se incrementa conforme se reduce el estacionamiento en superficie gratuito a costa de aumentar el número de plazas tarifadas en oferta. Se trata de una variable que incide directamente en los costes operativos del automóvil al grabar el estacionamiento en la vía pública, por lo que su incremento tendrá una incidencia directa en la reducción del uso del automóvil con efecto sustitución hacia los PTW. **Variable: número de plazas de Estacionamiento Regulado en Superficie (signo esperado positivo).**
- **Coste del transporte público.** El coste del transporte público tiene una incidencia en la elección del modo. Se toma como referencia el abono (ticket, boleto) de transporte más utilizado denominado: T-10. Se trata de una variable que incide directamente en el coste del uso del transporte público, por lo que su incremento tendrá una incidencia directa en la reducción del uso de dicho modo, y posiblemente fomentará el uso de PTW como alternativa. **Variable: Precio T-10 (signo esperado positivo).**
- **Número de automóviles.** Se toma como referencia la evolución del número de automóviles con el fin de validar si tiene incidencia o vinculación con el número de PTW. Es de suponer que de producirse efectos de sustitución entre modos de aumentar el número de automóviles tienda a reducirse el de PTW. **Variable automóviles (signo esperado negativo).**
- **Regulación administrativa de los requisitos de obtención de permiso de conducción motocicletas.** Las restricciones o facilidades para obtener licencias de conducción de vehículos inciden en su nivel de acceso al modo y por tanto en sus niveles de utilización. **Variable: NORMA. (signo esperado positivo).**
- **Participación de la mujer en el mercado laboral.** La proporción de mujeres que trabajan supone un incremento en los desplazamientos globales por motivos laborales y tiene incidencia en los niveles de uso de los modos de transporte público y privado. Según datos de la encuesta de movilidad en España, Mobilia realizada por el Ministerio de Fomento (2001), el colectivo de población activa con 2,5 desplazamientos diarios de media es el que más influye en la intensidad de la movilidad, mientras que las personas dedicadas al hogar (mayoritariamente mujeres) solo realizan del orden de 1,4 desplazamientos diarios. El colectivo de varones tiene una mayor proporción de ocupación y por tanto aporta un mayor volumen de viajes. Por tanto cuanto más participe la mujer en el mercado laboral, más aumentará el número de desplazamientos en modos mecánicos, pudiendo por tanto tener una incidencia en el número de PTW. **Variable: % mujeres Población activa. (signo esperado positivo).**

2.1 Variables relacionadas con el coste del carburante

Variables: Precio diesel y Precio gasolina

El coste del carburante es una variable que tiene un efecto totalmente directo en relación con la distancia del desplazamiento. Otros costes están desligados de la distancia: el coste de mantenimiento, el de aparcamiento en origen o el valor de adquisición del vehículo, dado que pueden estar desvinculados de la cantidad de kilómetros que se acaben recorriendo con el vehículo. Diferentes estudios han constatado cómo los desplazamientos en auto son sensibles al precio del combustible (Copley y Lowe, 1981).

La circulación en entornos urbanos implica avanzar según la regulación semafórica y de prioridades en intersecciones, lo que se traduce en continuas arrancadas y paradas del vehículo. Dicha circunstancia, unida a la tendencia a mayores niveles de congestión, propicia una circulación a velocidad reducida en la que se suceden aceleraciones y detenciones. El resultado es que la circulación en zonas urbanas supone mayores consumos de carburante. Circunstancia que incrementa la importancia del coste del carburante, como variable relevante a considerar.

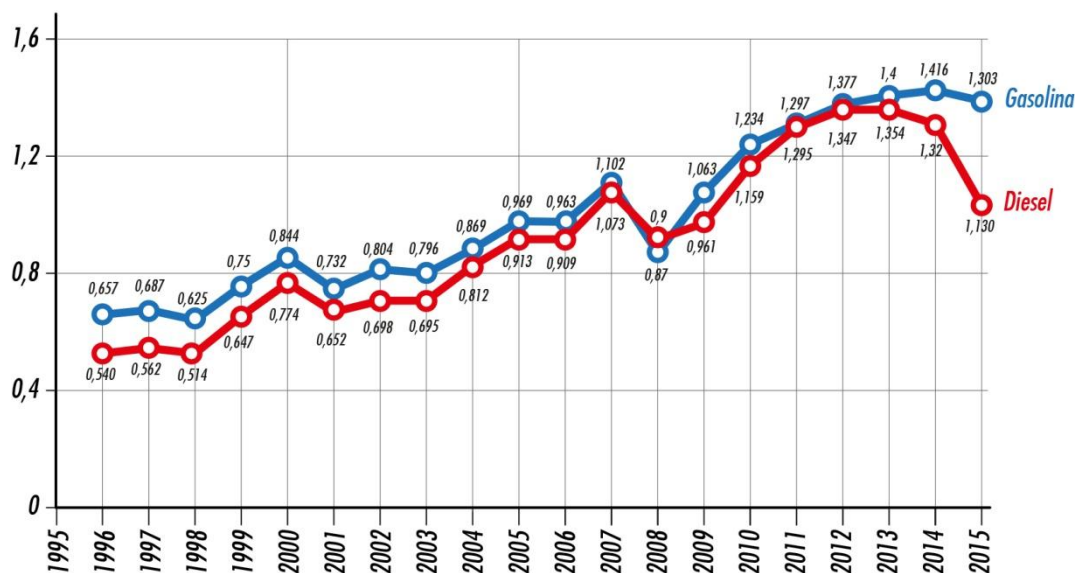


Figura 36 Serie histórica evolutiva del precio del carburante desestacionalizada.

Fuente: Ministerio de Industria.

El precio del carburante en el Estado Español ha mantenido una continua tendencia al alza. La evolución histórica desde el año 1998 hasta el 2014 del precio de los carburantes (gasolina y diesel) pone de manifiesto una continua tendencia ascendente de los precios (Figura 36). El precio en menos de 15 años se ha incrementado en + 140 %, pasando la gasolina de 0,62 €/litro a 1,41 y el diesel de 0,51€/litro a 1,32 €/l. La crisis económica que se inició a finales del 2007, provocó una brusca caída de la demanda de carburantes y se tradujo en un descenso del precio del combustible en 2008 para, a partir del año 2009, iniciar una paulatina recuperación, llegando en 2011 a igualar los niveles anteriores a la crisis.

2.2 Variable relacionada con el precio del estacionamiento

Variable: Estacionamiento regulado en superficie

El coste de estacionar tiene dos componentes: el coste de estacionar en origen, que sería donde se estaciona habitualmente el vehículo (concepto de pupilaje), y el coste de estacionamiento en destino. La gran ventaja que tiene el vehículo motorizado de dos ruedas es que habitualmente en destino estaciona en la vía pública (calzada o acera), normalmente sin coste de estacionamiento. Dicho ahorro es muy relevante, especialmente si el desplazamiento se ha realizado en una distancia corta y, por tanto, el tiempo de desplazamiento tiene potencialmente un peso muy reducido en relación con el tiempo de desplazamiento total.

El volumen de operaciones de estacionamiento está en función directa del volumen de desplazamientos. Cuando más fácil y económico resulta aparcar en destino, mayores son las probabilidades de realizar desplazamientos. En cambio, las dificultades para estacionar y su coste, reducen el número de viajes. El incremento de la densidad supone una elevada concentración de vehículos en un espacio público reducido, exigiendo una optimización en su uso. Las actuaciones sobre el aparcamiento han supuesto un encarecimiento del coste del estacionamiento en superficie que se ha trasladado al coste de desplazarse en automóvil (sin efecto sobre la motocicleta), transformado los hábitos y pautas de movilidad en el vehículo privado y produciéndose una transferencia de usuarios del automóvil a la motocicleta.

La regulación del estacionamiento en superficie se denomina Zona Área y se implantó en Barcelona por primera vez en el año 1983 con 231 plazas. Dicha regulación ha supuesto una transformación en el ámbito del estacionamiento en superficie en la ciudad de Barcelona. Inicialmente se implantó la Zona Azul de regulación del estacionamiento en superficie en el centro de la ciudad y progresivamente se ha ido ampliando hacia la periferia. Las autoridades de Ajuntament de Barcelona reconocen que la regulación del estacionamiento en superficie se implementó como un peaje urbano indirecto. Joan Torres, el que fuera Teniente de alcalde del Ámbito de la Vía Pública de la ciudad de Barcelona durante el periodo 1983-1995, recoge en el libro *“La mobilitat: quasi un model”* el estacionamiento regulado en superficie (Zona Blava) fue concebido como el primer peaje urbano, considerando que *“es necesario acostumbrar a la movilidad privada al coste que representa acceder al interior de la ciudad, mediante peajes directos e indirectos. El precio del aparcamiento regulado en superficie puede representar este peaje”* (Torres, et al. 2004). La Sociedad Municipal de Aparcamiento (antigua SMASSA, actual B:SM), recoge que *“La preocupación ante la creciente tendencia a la congestión de las vías de la ciudad, (...) llevaron a proponer un nuevo sistema que asegurara la reducción del número de viajes con vehículo privado realizados por el centro de la ciudad. Este sistema, a diferencia de los de ciudades como Londres, no se basaba en un peaje urbano, sino sencillamente en la aplicación de un coste a toda operación de aparcamiento en el centro. Así nació el Área Verdad, un sistema que compite perfectamente con otras medidas paliativas de la congestión instauradas en otras ciudades de todo el mundo”*.

Por lo que la generalización de la regulación tiene por finalidad actuar como un peaje urbano indirecto. En la ciudad de Barcelona se ha llevado a cabo mediante la introducción de la Zona Verde en el año 2005, pasando a más de 44.000 plazas en el año 2010 (más del 30% de las plazas de estacionamiento en superficie han pasado de gratuitas a estar reguladas y, por tanto, tener un coste) (Figura 37).

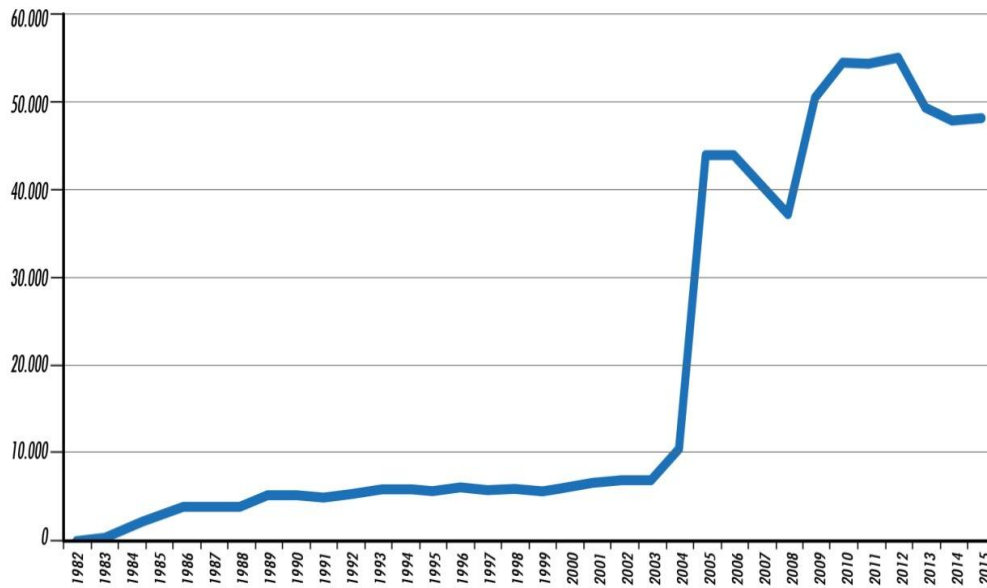


Figura 37 Evolución del número de plazas de estacionamiento en superficie de pago.

Fuente: Ajuntament de Barcelona 2016.

Como se puede observar en la gráfica, la generalización de la regulación del estacionamiento en superficie en el conjunto de la ciudad ha supuesto un fuerte incremento de la cantidad de plazas de estacionamiento de pago en la calle, por tanto un coste directo de los desplazamientos en vehículo privado en la ciudad de Barcelona.

2.3 El coste del transporte público

Variable: Precio de la T-10

Los desplazamientos en transporte público (TP) tienden a mantener cierta estabilidad en la demanda (Copley, y Lowe, 1981). Ello es parte debido a que existe una elevada cautividad de los usuarios de transporte público, ya que en un porcentaje elevado no tienen acceso a otro modo de transporte alternativo, especialmente colectivos como las mujeres o los menores. A pesar de lo anterior sí que acaba existiendo una cierta sensibilidad a los precios, de modo el coste del desplazamiento también acaba incidiendo en el uso y la búsqueda de alternativas. Por lo que la variable precio del TP tiene que ser tenida en cuenta a la hora de elaborar un modelo.

Barcelona presenta un sistema de tarificación de los títulos o boletos de viaje integrado que permite hacer uso de todos los modos de transporte público integrados en el Área Metropolitana de Barcelona (Metro, Bus, Tramvia, FGC, Rodalies, etc.) EL título T-10 es un abono multipersonal válido para realizar 10 desplazamientos integrados de 1 a 6 zonas, con el que se permite, dentro de un intervalo de tiempo el transbordo entre los diferentes modos de transporte.

El precio de la tarjeta T-10 ha subido un 71% en diez años y, desde 2010, cuando costaba 7,95€, se ha incrementado un 29,5% (Figura 38). El encarecimiento de la tarjeta T-10 destaca por encima del resto, ya que, según los datos la ATM (Autoritat Metropolitana del Transport), datos extraídos de la Memoria de Actividad del año 2015, la T-10 es, con diferencia, el título o abono integrado más utilizado por los usuarios de TMB, representando el 59,5 % de todos los viajes realizados con los transportes metropolitanos de Barcelona. En segunda posición se encuentra la T-50/30 que, lejos de la T-10,

representa el 15,55% de los viajes realizados. Se puede considerar, en términos globales, que la evolución del precio del título integrado T-10 conforma la representación de la evolución del precio del transporte público.

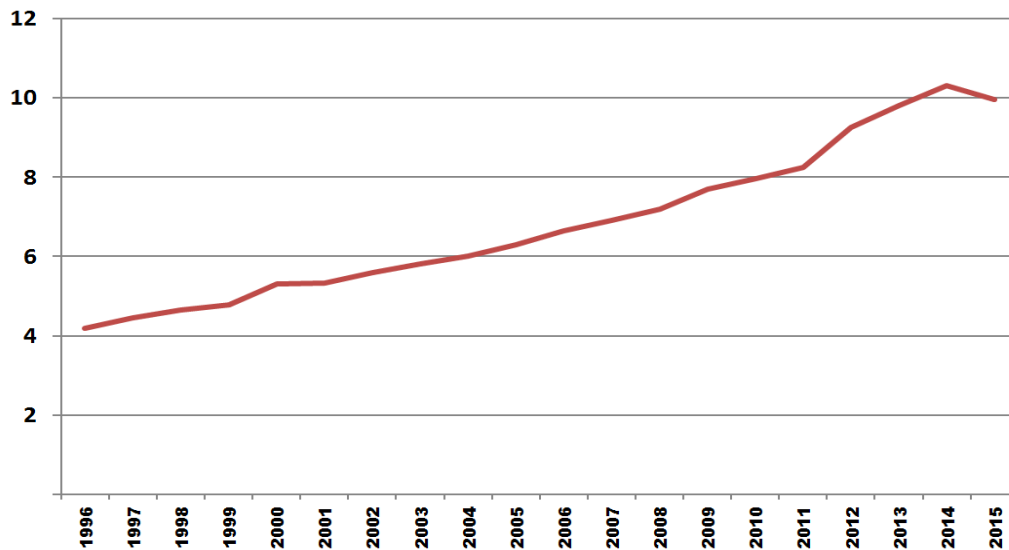


Figura 38 Evolución del precio de la tarjeta T-10.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de TMB

2.4 Introducción de una variable dicotómica: La atenuación en los requisitos administrativos para la conducción de motocicletas

Variable Norma

A nivel de acceso a la conducción, en el año 2004, en España se aprobó un cambio de normativa que permitió a las personas que disponían del carnet B (de automóvil) con tres años de experiencia, poder pilotar motocicletas de hasta 125 centímetros cúbicos sin tener que obtener una nueva licencia. El Reglamento General de Conductores fue modificado. El propósito enunciado de la norma es el de *“mejorar la fluidez de la circulación, reduciendo el número de automóviles de turismo que circulan ocupados solamente por una persona”*.

Se trata de un cambio normativo que *a priori* incentiva el uso de la motocicleta frente al automóvil. Dicha medida, ha favorecido el acceso al uso de la motocicleta a un amplio colectivo de conductores con licencia de automóvil. Por tanto, se puede considerar que dicha medida ha tenido un efecto incentivador en el incremento del número de motocicletas (Perez, et. al. 2009; Marquet, y Miralles-Guasch, 2016).

En cuanto a la posible importancia de la variable Norma, ciertamente dicha variable puede dar la impresión de que sea relevante, pero en la ciudad de Barcelona su importancia es relativa y matizable. El cambio de la norma no facilita el acceso a pilotar PTW, ya que quien precise una PTW en un entorno urbano puede pilotar un ciclomotor. Además, la oferta de ciclomotores en un entorno urbano es muy amplia, por lo que una persona que quiera pilotar una PTW puede escoger entre una amplia gama de ciclomotores, la mayoría de ellos con apariencia de motocicleta. Existen incluso modelos en los que únicamente varía el cubicaje pero no el diseño.

Por tanto, no se trata de una medida que facilita el acceso a todas las PTW sino a un segmento de estas. La incidencia sobre el volumen total de PTW en entorno urbano puede

no ser significativa, ya que muchas personas con carnet de auto que querían hacer uso de PTW ya podían pilotar vehículos de baja cilindrada. Con la norma pasan a poder pilotar vehículos más potentes. Además en un entorno urbano la potencia del PTW no es tan relevante como en un entorno interurbano, ya que por ciudad no se puede circular a más de 50 km/h., y en extensas zonas de Barcelona existen áreas con restricción 30 km/h. En cambio, en entornos interurbanos la potencia y velocidad de la PTW sí que es relevante.

Analizada en detalle, el efecto de la variable norma se debe valorar dependiendo del entorno geográfico: en metrópolis densas con muchos desplazamientos urbanos, relativamente cortos a velocidad máxima de 50 km/h. su efecto es relativo, mientras en que zona extensas y rurales, con muchos desplazamientos interurbanos su efecto sí que puede ser considerable. En la ciudad de Barcelona, el efecto de la Norma sí ha incidido en el reparto dentro del mercado, ya que ha inducido un cambio en la relación entre ciclomotores y motocicletas.

A nivel de modelización se trata de una variable dicotómica que en el modelo tomará valores de 0 (antes de la norma), 1 (con posterioridad a la norma).

2.5 La participación de las mujeres en los desplazamientos

Variable: % mujeres población activa

Un indicador a que puede aportar un incremento en el uso de vehículos motorizados de dos ruedas en entorno urbano es la progresiva incorporación de la mujer al mercado laboral, pasando de un rol de desempeño de actividades domésticas, a la realización de un trabajo que implica desplazamientos por motivo trabajo, en el que una alternativa es la utilización de vehículos motorizados de dos ruedas para efectuar los desplazamientos. En el ámbito de la movilidad, se constata el aumento del número de mujeres que conducen vehículos a motor y como tienen patrones de movilidad diferenciados (Rosenbloom y Raux, 1985; Rosenbloom, 1995).

Los niveles de participación de la mujer en el mercado laboral tienen incidencia directa sobre el volumen total de viajes. Cuanto más participe la mujer en el mercado laboral, más aumentará el número de desplazamientos, ya que el trabajo fuera del ámbito doméstico incrementa los viajes en modos mecánicos. La mayor participación de las mujeres en el mercado laboral implica el incremento en el número de desplazamientos diarios fuera del ámbito doméstico, y por tanto un mayor uso de modos mecánicos entre los que las motocicletas y ciclomotores pueden ser una alternativa atractiva debido a su bajo coste y alta versatilidad (ACEM 2004).

La industria de la motocicleta ha intentado ampliar sus mercados, tradicionalmente de género masculino con una demanda de motocicletas de mediana y alta cilindrada, con un cierto componente de ocio, a un mercado femenino, que en un entorno urbano busca un vehículo de baja cilindrada, bajos costes, fácil manejo y reducidas dimensiones, configurándose el scooter como un modelo con alta captación del público femenino.

El caso inverso lo tenemos en algunos países donde hay restricciones al trabajo femenino, e incluso en algunos no tenían permitido conducir. Dicha limitación reduce el agregado de desplazamientos. A partir de la abolición de la prohibición, se podrá constatar un incremento de la movilidad al ampliar la base de conductores potenciales.

Un mayor porcentaje de mujeres participando en el mercado laboral está relacionado con una mayor movilidad por motivos de trabajo que favorece el incremento de posesión de

motocicletas por parte de las mujeres. En Barcelona, en el año 1992, el 42 % de la población activa eran mujeres y en el año 2014 se llegó a que el 50 %. Un incremento notable que necesariamente está ligado a un aumento de la movilidad y al mayor uso potencial de PTW.

Se ha constatado la existencia de una correlación positiva (65 %) entre la evolución del porcentaje de población activa femenina sobre el total de la población activa y número de PTW. Circunstancia que puede ser interpretada que un aumento del número de mujeres trabajando puede llevar asociada una mayor utilización de motocicletas y ciclomotores. Aspecto que vuelve a incidir sobre la posible relevancia del factor mujer en el uso de la moto.

La siguiente gráfica muestra la evolución del peso de la participación de las mujeres en el mercado laboral en la ciudad de Barcelona (Figura 39). Se constata la existencia de una continua tendencia ascendente, habiendo llegado incluso a representar del orden del 50 % de la población activada.

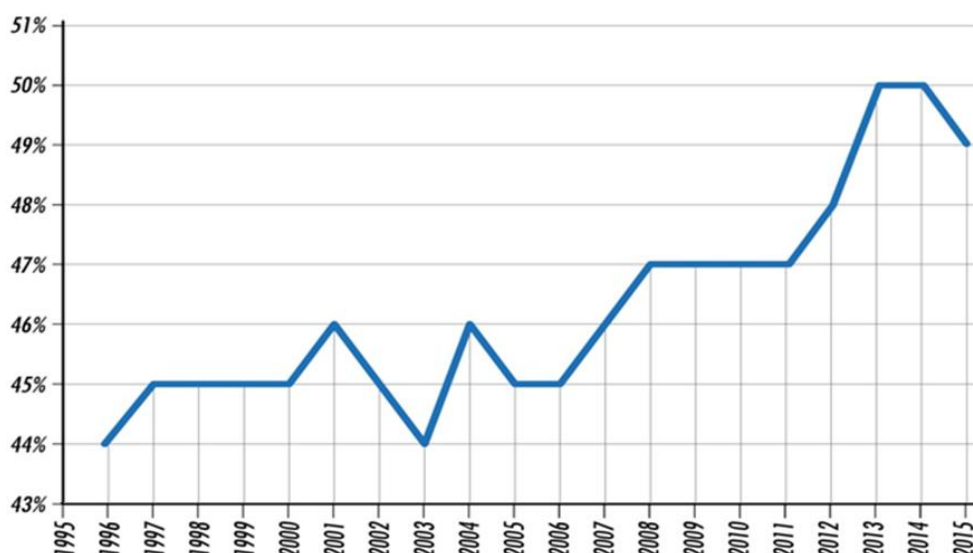


Figura 39 Porcentaje de mujeres del total de la población activa.
Fuente: INE 2016

2.6 Número de automóviles

Variable: Automóviles

El número de automóviles es una variable que puede tener cierta relevancia en relación con la evolución del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. Ello es debido a que, especialmente en entornos urbanos densos existen efectos de sustitución entre ambos modos, de manera que conforme aumenta la congestión, los costes de estacionamiento e incluso de carburantes, parte de los usuarios de automóviles pueden valorar como alternativa utilizar los vehículos motorizados de dos ruedas por su mayor eficiencia, economías y por el moderada coste de adquisición de algunos modelos.

La restricción del uso del automóvil favorece el uso de vehículos menos voluminosos como los vehículos motorizados de dos ruedas. Las políticas de las principales ciudades de los países avanzados tienden a limitar el uso de automóviles en las zonas urbanas y presionar en la disminución de uso, como se evidencia en la ciudad de Barcelona (Figura

40). En zonas urbanas densas, el atractivo de las motocicletas aumenta gracias a su mayor facilidad de desplazamiento, menos restricciones de estacionamiento y menor consumo (Chin, y Smith, 1997).

Ortúzar y Willumsen (2011) constatan como algunos autores han argumentado que la propiedad del automóvil no debe considerarse de forma aislada y debe interrelacionarse con la evolución de la propiedad de la motocicleta.

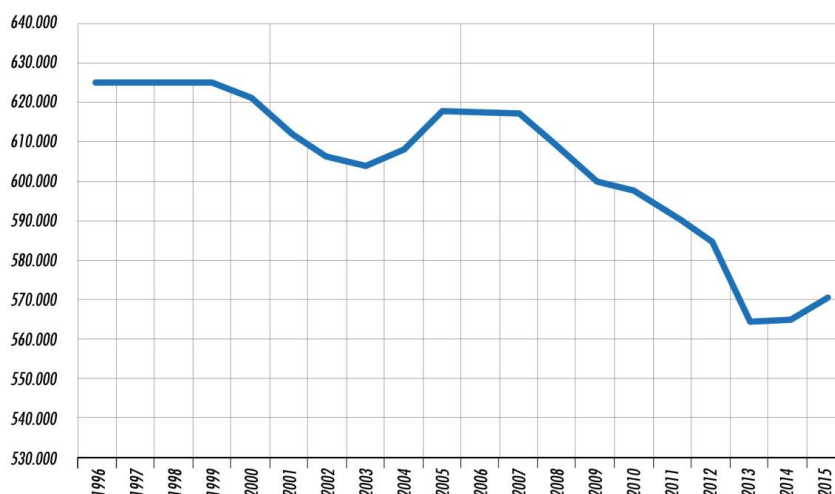


Figura 40 Evolución número total de automóviles en la ciudad de Barcelona
Fuente: Ajuntament de Barcelona. 2016

3. Modelo de regresión

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística de dependencia utilizada para estudiar la relación entre diferentes variables explicativas y una variable explicada o dependiente, posibilitando dos objetivos independientes: entender la relación y predecir la variable respuesta. Por un lado permite cuantificar el efecto de las variables explicativas respecto la explicada. Por otro lado, permite predecir la variable respuesta a partir de un escenario construido a partir de las variables explicativas.

La selección de las variables explicativas es crucial y determinante sobre el modelo resultante. Deben considerarse todas las variables que afectan a la variable respuesta a la vez que deben omitirse todas las variables no relevantes.

Por lo tanto, el criterio más preciso y común es considerar todas las variables que la literatura científica sobre el fenómeno considera relevantes ya sea por aspectos teóricos o por estudios empíricos anteriores donde ya ha quedado demostrado su efecto o relación. En nuestro caso, no habiendo estudios anteriores sobre el fenómeno concreto en el ámbito de estudio, debemos considerar las variables que intuitivamente pueden tener relación y seleccionar variables significativas y que no produzcan multicolinealidad para evitar también las variables confusoras.

3.1 Variables del modelo

Las variables que se incluyen como candidatas a explicar el incremento en el uso de los PTW en Barcelona son 6 variables numéricas (Precio gasolina, precio Diesel, Estacionamiento regulado en superficie, Precio T-10, Número de automóviles y % mujeres respecto al total de conductores) y una dicotómica (Norma) (Tabla 8).

Los datos de las variables empleados son los siguientes:

Tabla 8 Relación de variables y datos

Año	Automóviles	PTW	Estacionamiento regulado en superficie. (en miles)	Precio gasolina	Precio Diesel	T-10	Norma	% mujeres Población activa
1996	624.893	204.276	6,148	0,657	0,540	4,19	0	44%
1997	625.406	221.120	5,757	0,683	0,562	4,44	0	45%
1998	625.570	221.483	5,914	0,625	0,514	4,65	0	45%
1999	625.024	225.246	5,669	0,750	0,647	4,77	0	45%
2000	621.003	228.542	6,148	0,844	0,774	5,30	0	45%
2001	611.807	230.222	6,628	0,732	0,652	5,32	0	46%
2002	605.742	230.429	6,910	0,804	0,698	5,60	0	45%
2003	603.343	234.163	6,933	0,796	0,695	5,80	0	44%
2004	607.791	240.093	10,409	0,869	0,812	6,00	1	46%
2005	617.291	252.042	43,893	0,969	0,913	6,30	1	45%
2006	616.814	266.257	43,893	0,963	0,909	6,65	1	45%
2007	617.022	278.671	40,479	1,102	1,073	6,90	1	46%
2008	608.830	287.284	37,130	0,970	0,900	7,20	1	47%
2009	599.534	286.331	50,619	1,063	0,961	7,70	1	47%
2010	597.618	294.096	54,579	1,234	1,159	7,95	1	47%
2011	591.733	295.733	54,420	1,297	1,295	8,25	1	47%
2012	584.848	292.714	55,056	1,377	1,347	9,25	1	48%
2013	564.194	266.689	49,268	1,400	1,354	9,80	1	50%
2014	564.700	268.331	47,889	1,416	1,324	10,30	1	50%
2015	570.345	273.718	48,081	1,303	1,130	9,95	1	49%

La matriz de correlaciones nos permite explorar dos aspectos importantes a la hora de construir el modelo de regresión lineal (Tabla 9). Por un lado podemos observar la relación lineal particular de cada variable explicativa con la variable de interés y, por otro lado, podemos prevenir si aparecerá el fenómeno de la multicolinealidad entre las variables explicativas (se explican unas a otras) lo que dificultará la cuantificación del efecto de estas variables sobre la variable respuesta. En la siguiente tabla se muestra esta matriz y, efectivamente, se observan correlaciones altas entre las variables explicativas y la variable uso de la motocicleta. Por ejemplo, cabe destacar “Estacionamiento regulado” con un 0,928 o 0,856 para el “Precio del diesel”. También existen correlaciones altas entre las propias variables explicativas como por ejemplo 0,971 para T-10 y “Precio gasolina”. Esto

nos indica que aparecerá la multicolinealidad y habrá que tratarla para evitar su efecto en la cuantificación del efecto de las variables explicativas.

Tabla 9 Correlación de variables

Correlaciones							
	PTWs	Automóviles	Precio gasolina	Precio diesel	Estacionamiento regulado en superficie	T-10	% mujeres Población activa
PTWs	1	-,588**	,841**	,856**	,928**	,806**	,654**
Automóviles	-,588**	1	-,870**	-,826**	-,655**	-,933**	-,912**
Precio gasolina	,841**	-,870**	1	,992**	,897**	,971**	,875**
Precio diesel	,856**	-,826**	,992**	1	,900**	,943**	,839**
Estacionamiento regulado en superficie (miles)	,928**	-,655**	,897**	,900**	1	,860**	,706**
Precio T-10	,806**	-,933**	,971**	,943**	,860**	1	,925**
% mujeres Población activa	,654**	-,912**	,875**	,839**	,706**	,925**	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Otra de las observaciones relevantes que podemos analizar es la relación muy alta y negativa entre el número de automóviles y la incorporación de la mujer en el mundo laboral. Es decir, más mujeres trabajando menos uso automóviles, o menos hombres menos coches. Por otro lado, la correlación entre la incorporación de la mujer al mundo laboral y el uso de TPW es positiva y significativa pudiendo interpretarse que a más mujeres trabajando va asociado a más uso de la moto. Aspecto que vuelve a incidir sobre la importancia del factor mujer en el uso de la moto.

Un aspecto que puede influir en el nivel de significación de las variables es el nivel de variación experimentado durante el periodo objeto de estudio. De modo que las variables que hayan experimentado mayores cambios a priori pueden tener mayor relevancia para explicar los cambios en el fenómeno objeto de estudio que aquellas variables que han tenido escasa variación.

La tabla 10 muestra el grado porcentual de variación de las variables numéricas. Se puede observar cómo la variable que experimenta mayores cambios es el número de plazas de estacionamiento regulado en superficie, por lo que al variar en un grado tan elevado puede tener una influencia relevante en el fenómeno, que incluso otras variables que puedan incidir directamente en el uso de PTW pero que hayan variado poco.

Tabla 10 Variación porcentual de las variables numéricas.

Variable	Variación
Nº Automóviles	-9%
Nº PTW	34%
Estacionamiento regulado en superficie (miles)	682%
Precio Gasolina	98%
Precio Diesel	109%
Precio T-10	137%
% mujeres Población activa	11%

3.2 Modelo de regresión múltiple

Se procede a formular un modelo de regresión lineal múltiple con todas las variables explicativas, dando el siguiente resultado (Tabla 11):

Tabla 11 Resumen del modelo

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,947 ^a	,896	,836	11867,51025

a. Predictores: (Constante), % mujeres población activa, Norma, Automóviles, Estacionamiento regulado en superficie (miles), Precio diesel, Precio T-10, Precio gasolina

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		95,0% intervalo de confianza para B		
		B	Error estándar	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-307049,268	491005,699		-,625	,543	-1376858,785	762760,249
	Automóviles	,875	,667	,595	1,312	,214	-,578	2,327
	Precio gasolina	-177805,570	162644,859	-1,613	-1,093	,296	-532178,275	176567,135
	Precio diesel	131311,671	109766,528	1,267	1,196	,255	-107849,048	370472,389
	Estacionamiento regulado en superficie (miles)	689,407	498,911	,504	1,382	,192	-397,626	1776,440
	Precio T-10	21477,630	14226,954	1,411	1,510	,157	-9520,240	52475,500
	Norma	-1347,555	14494,738	-,023	-,093	,927	-32928,876	30233,766
	% mujeres población activa	-1635,257	4493,167	-,101	-,364	,722	-11425,027	8154,513

a. Variable dependiente: PTWs

El coeficiente de determinación es muy elevado (89,6%), lo que implica que el 89,6% de la variación del uso de la moto en los diferentes años viene explicado por la variación de las 7 variables explicativas.

Se constata una elevada multicolinealidad y coeficientes no significativos (ninguno está por debajo del nivel de significación 0,05, lógico debido a la alta multicolinealidad observada en los factores de inflación de la varianza VIFs).

A continuación se procede a explorar la transformación logarítmica. Se trata de uno de los métodos más extendido y generalmente aceptado para incorporar el análisis no lineal al modelo.

Se ha procedido a transformar en logaritmo la variable explicativa. El objetivo es constatar si se reduce la multicolinealidad, incrementa la significación de los variables y se mejora el coeficiente de determinación. Los resultados obtenidos mejoran ligeramente los niveles de significación, por lo que se considerado conveniente su aplicación para mejorar los comportamientos relativos a la homocedasticidad, normalidad y aleatoriedad. También se ha experimentado con transformar el resto de variables en logaritmos sin resultados reseñables.

El resultado del modelo obtenido es el siguiente (Tabla 12):

Tabla 12 Resumen del modelo

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,950 ^a	,903	,846	,04553

a. Predictores: (Constante), % mujeres población activa, Norma, Automóviles, Estacionamiento regulado en superficie (miles), Precio diesel, Precio T-10, Precio gasolina

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Error estándar	Beta	t		Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	10,184	1,884		5,406	,000	6,079	14,289
	Automóviles	3,599E-6	,000	,618	1,407	,185	,000	,000
	Precio gasolina	-,769	,624	-1,760	-1,232	,242	-2,128	,591
	Precio diesel	,555	,421	1,351	1,317	,212	-,363	1,472
	Estacionamiento regulado en superficie (miles)	,002	,002	,441	1,249	,235	-,002	,007
	Precio T-10	,094	,055	1,560	1,723	,110	-,025	,213
	Norma	,001	,056	,002	,010	,992	-,121	,122
	% mujeres población activa	-,008	,017	-,125	-,465	,650	-,046	,030

a. Variable dependiente: LOGPTWs

El modelo formulado es el siguiente:

LOG (PTW) → Variable dependiente

Variables explicativas: Automóviles, Precio gasolina, Precio diesel, Estacionamiento regulado en superficie (miles), Precio T-10, Norma y % de mujeres población activa.

$$LOG (PTW b_i) = \alpha + \beta_{Automóviles}Automóviles_i + \beta_{Gasolina}PrecioGasolina_i + \beta_{Diesel}PrecioDiesel_i + \beta_{Est.Regulado}Est.Regulado_i + \beta_{T10}Precio T10_i + \beta_{Norma}Norma_i + \beta_{Mujeres}\% Mujeres_i + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i \approx IN(0, \sigma) \forall i$$

Y la estimación del modelo con los coeficientes:

$$LOG (PTW b_i) = 10,184 + 3,60 \cdot 10^{-6}Automóviles_i - 0,769PrecioGasolina_i + 0,555PrecioDiesel_i + 0,002Est.Regulado_i + 0,094T10_i + 0,001Norma_i - 0,008\%Mujeres_i + \varepsilon_i$$

Este modelo permite tener un abanico muy amplio de variables que van desde los precios del carburante, hasta precios del transporte público, plazas de estacionamiento de superficie y número de automóviles. Dicha circunstancia permite configurarse como un modelo de referencia con cierta versatilidad para adaptarlo a otros entornos.

Observamos un coeficiente de determinación muy elevado (90,3%), que mejora ligeramente el obtenido con los datos absolutos de la variable dependiente.

Se ha constatado que persisten problemas de multicolinealidad (VIF mayor a 3 empieza a indicar problemas de multicolinealidad) entre las diversas variables explicativas, lo que conlleva la falta de significación estadística. Bajo un estricto criterio de significación al 5% ninguna de las variables sería significativa. En este caso, al conocer los signos esperados de las variables, es factible realizar un test unilateral y el p-valor se puede considerar significativo al 10% si el signo corresponde con lo esperado. Debido al tamaño muestral podemos considerar incluso significativos los coeficientes con un p-valor (unilateral) del 20%. Aplicando el anterior criterio podemos considerar significativa la variable T-10 ya que cumple con los requisitos y el signo esperado.

Procedemos a depurar el modelo de regresión múltiple con objeto de mejorar la significación y reducir la multicolinealidad.

Se ha explorado un modelo compuesto por la dos variables que más han cambiado en el periodo objeto de estudio, número de plazas de estacionamiento en superficie (682) y precio de la T-10 (137), y que por tanto a priori pueden tener un efecto sobre el comportamiento de la variable respuesta (Tabla 13). A pesar del elevado R^2 (86,2) se constata una falta de significación de la variable precio T-10.

Tabla 13 Resumen del modelo

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,929 ^a	,862	,846	,04554

a. Predictores: (Constante), Estacionamiento regulado en superficie (miles), Precio T-10

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Error estándar				Beta	Limite inferior
1	(Constante)	12,279	,052		238,379	,000	12,170	12,387
	Precio T-10	,004	,011	,059	,334	,742	-,019	,026
	Estacionamiento regulado en superficie (miles)	,005	,001	,877	4,974	,000	,003	,007

a. Variable dependiente: LOGPTWs

También se ha valorado la combinación de las dos variables relacionadas con las políticas de movilidad como es el incremento del estacionamiento regulado en superficie y el cambio normativo reduciendo los requisitos para pilotar PTW (Norma) obteniéndose que la variable Norma no es significativa (Tabla 14).

Tabla 14 Resumen del modelo**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,933 ^a	,870	,855	,04418

a. Predictores: (Constante), Norma, Estacionamiento regulado en superficie (miles)

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Error estándar				Beta	Límite inferior
1	(Constante)	12,296	,017		720,886	,000	12,260	12,332
	Estacionamiento regulado en superficie (miles)	,004	,001	,730	3,620	,002	,002	,006
	Norma	,051	,047	,220	1,088	,292	-,048	,149

a. Variable dependiente: LOGPTWs

3.3 Modelo de regresión múltiple con las variables monetarias deflactadas.

Para las variables relativas a precios de bienes o servicios que expresan valores monetarios tomadas en consideración durante un periodo temporal prolongado, como en el caso que nos ocupa de 20 años, es relevante valorar la evolución del poder adquisitivo real de las personas, ya este depende la evolución de la inflación compensada con la evolución de los salarios.

Del conjunto de variables consideradas para la elaboración del modelo, tres son de carácter monetario y cómo evolucionan a lo largo de un periodo temporal prolongado su variación y efecto también está condicionado por la fluctuación de la inflación y el poder adquisitivo de las personas. Si los precios han evolucionado en paralelo con la inflación y con el poder adquisitivo, se puede considerar un efecto neutro. En cambio una desacople entre los precios y el poder adquisitivo afecta al poder de compra y por tanto el encarecimiento o abaratamiento efectivo del producto o servicio. Es por ello necesario valorar la posibilidad de proceder a deflactar los precios tomando como base el año inicial.

El precio del título de transporte público con mayor penetración (tarjeta T-10) ha más que doblado su precio durante el periodo de estudio, concretamente es 2,37 veces más cara (Figura 41). Dicha inflación en el precio supone un incremento del coste del transporte que debe ser compensada con un incremento del poder adquisitivo de los salarios de los usuarios para conseguir, como mínimo un efecto neutro.

El aumento del costo a nivel de precios de servicios de transporte debe distinguir entre los precios nominales y los reales, de manera que los precios nominales son aquellos a los que se les efectúa la suma del índice de inflación, por lo que es necesario incorporar al análisis un mecanismo de deflactación de los precios.

Uno de los más habituales es el de descontar el efecto de la inflación sobre la variable expresada en términos monetarios. De este modo tendremos los precios nominales y los reales, posibilitando realizar comparaciones más objetivas entre periodos con precios

armonizados, al eliminar el efecto de la inflación y el efecto que esta tiene sobre la evolución de los salarios y el poder adquisitivo real de los usuarios.

Una metodología para deflactar consiste en tomar un año base (100) y dividir los años sucesivos por un índice de compensación. En este sentido, para cada valor, procedemos a dividirlo por el índice adecuado. El índice de referencia es el índice de precios al consumidor (INE, 2016), y se toma como año base el 1996, al cual se le asigna un valor de índice igual a 100. A los años sucesivos se le suma la inflación anual al índice del año base. De modo que el cálculo se efectúa con el siguiente sistema:

$$\text{Índice}_{\text{año}_t} = \text{Índice}_{\text{año}_{t-1}} \cdot (1 + \text{Variación IPC}) \quad [5.1]$$

$$\text{Precio constante o Deflactado}_{\text{año}_t} = \frac{\text{Valor Nominal}_{\text{año}_t}}{\text{Índice}_{\text{año}_t}} \quad [5.2]$$

Seguidamente se muestra la tabla y graficas con los precios deflactados de las variables monetarias.

Tabla 15 Precio gasolina y diesel deflactado

Año	Precio nominal T-10	Precio nominal Gasolina	Precio nominal Diesel	Índice	Precio deflactado T-10	Precio deflactado Gasolina	Precio deflactado Diesel
1996	4,20	0,657	0,540	100,00	4,20	0,657	0,540
1997	4,45	0,683	0,562	102,00	4,36	0,670	0,551
1998	4,66	0,625	0,514	103,43	4,50	0,604	0,497
1999	4,78	0,750	0,647	106,43	4,49	0,705	0,608
2000	5,30	0,844	0,774	110,68	4,79	0,763	0,699
2001	5,32	0,732	0,652	113,67	4,68	0,644	0,574
2002	5,60	0,804	0,698	118,22	4,74	0,680	0,590
2003	5,80	0,796	0,695	121,29	4,78	0,656	0,573
2004	6,00	0,869	0,812	125,18	4,79	0,694	0,649
2005	6,30	0,969	0,913	129,81	4,85	0,746	0,703
2006	6,65	0,963	0,909	133,31	4,99	0,722	0,682
2007	6,90	1,102	1,073	138,91	4,97	0,793	0,772
2008	7,20	0,870	0,900	140,86	5,11	0,618	0,639
2009	7,70	1,063	0,961	141,98	5,42	0,749	0,677
2010	7,95	1,234	1,159	146,24	5,44	0,844	0,793
2011	8,25	1,297	1,295	149,75	5,51	0,866	0,865
2012	9,25	1,377	1,347	154,09	6,00	0,894	0,874
2013	9,80	1,400	1,354	154,56	6,34	0,906	0,876
2014	10,30	1,416	1,324	153,01	6,73	0,925	0,865
2015	9,95	1,303	1,130	153,01	6,50	0,852	0,739

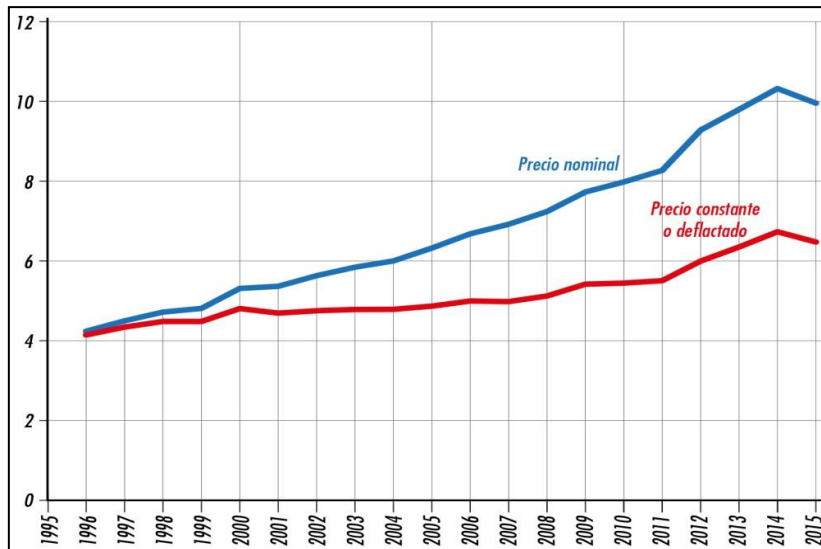


Figura 41 Comparación precio real y precio deflactado T-10

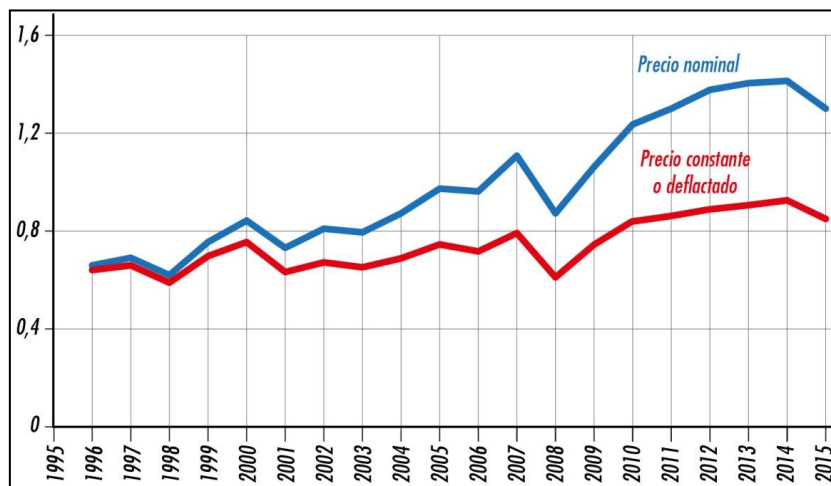


Figura 42 Comparación precio real y precio deflactado Gasolina

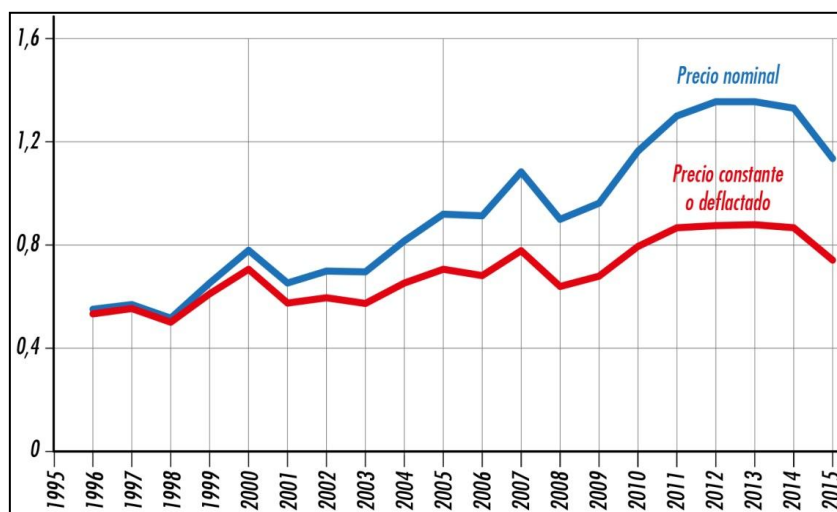


Figura 43 Comparación precio real y precio deflactado Diesel

La tabla inicial de datos ha sido actualizada, modificando las cifras de las tres variables económicas deflactadas: T-10, Precio gasolina y Precio diesel. (Tabla 16):

Tabla 16 Relación de variables y datos

Año	Automóviles	PTW	Estacionamiento regulado en superficie. (en miles)	Precio gasolina Def.	Precio Diesel Def.	T-10 deflactado	Norma	% mujeres Población activa
1996	624.893	204.276	6,148	0,657	0,540	4,20	0	44%
1997	625.406	221.120	5,757	0,670	0,551	4,36	0	45%
1998	625.570	221.483	5,914	0,604	0,497	4,50	0	45%
1999	625.024	225.246	5,669	0,705	0,608	4,49	0	45%
2000	621.003	228.542	6,148	0,763	0,699	4,79	0	45%
2001	611.807	230.222	6,628	0,644	0,574	4,68	0	46%
2002	605.742	230.429	6,910	0,680	0,590	4,74	0	45%
2003	603.343	234.163	6,933	0,656	0,573	4,78	0	44%
2004	607.791	240.093	10,409	0,694	0,649	4,79	1	46%
2005	617.291	252.042	43,893	0,746	0,703	4,85	1	45%
2006	616.814	266.257	43,893	0,722	0,682	4,99	1	45%
2007	617.022	278.671	40,479	0,793	0,772	4,97	1	46%
2008	608.830	287.284	37,130	0,618	0,639	5,11	1	47%
2009	599.534	286.331	50,619	0,749	0,677	5,42	1	47%
2010	597.618	294.096	54,579	0,844	0,793	5,44	1	47%
2011	591.733	295.733	54,420	0,866	0,865	5,51	1	47%
2012	584.848	292.714	55,056	0,894	0,874	6,00	1	48%
2013	564.194	266.689	49,268	0,906	0,876	6,34	1	50%
2014	564.700	268.331	47,889	0,925	0,865	6,73	1	50%
2015	570.345	273.718	48,081	0,852	0,739	6,50	1	49%

Con los datos que incluyen las variables monetarias deflactadas, se ha procedido a formular el modelo de regresión lineal múltiple con todas las variables explicativas, dando el siguiente resultado (Tabla 17):

Tabla 17 Estadísticos del modelo

		Coefficients ^a								
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
Model		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	208969,873	401608,586		,520	,612	-666060,067	1083999,813		
	Automóviles	,037	,486	,025	,076	,941	-1,022	1,096	,067	14,897
	Precio gasolina	-252570,916	107477,885	-,874	-2,350	,037	-486745,111	-18396,721	,053	18,832
	Precio Diesel	202932,052	92174,687	,837	2,202	,048	2100,661	403763,443	,051	19,668
	Estacionamiento regulado en superficie (en miles)	1154,109	356,131	,843	3,241	,007	378,167	1930,052	,108	9,220
	Precio T-10	6688,090	20238,664	,166	,330	,747	-37408,171	50784,350	,029	34,433
	Norma	-4246,555	13168,061	-,073	-,322	,753	-32937,295	24444,184	,144	6,954
	% mujeres Población activa	15999,910	447063,279	,010	,036	,972	-958067,298	990067,118	,096	10,386

a. Dependent Variable: PTW

Se constata que hay problemas serios de multicolinealidad entre la variable precio diesel y precio gasolina con unas tolerancias inferiores a 0,06. Por lo tanto, a pesar de que aparecen como significativas las variables precio gasolina, precio diésel y estacionamiento regulado en superficie, la inflación de la varianza determina que no es un modelo apropiado para estudiar el efecto de cada variable. Parece ser que, lógicamente, hay una correlación fuerte entre los precios de gasolina y diésel. Si eliminamos alguna de ellas y las otras variables no significativas (entre ellas la T-10), la otra deja de ser significativa con lo que volvemos al modelo original basado en la variable estacionamiento regulado en superficie.

Por último, constatar que la variable precio T-10 deflactada no puede ser objeto de consideración en el modelo al aparecer como no significativa en el modelo.

En base a lo anterior los siguientes pasos serán analizar el modelo simplificado a partir de la eliminación de las demás variables.

3.4 Modelo de regresión simple

El análisis de regresión es una técnica estadística que permite estudiar la relación entre diferentes variables explicativas y una variable explicada o dependiente, posibilitando modelizar cómo el valor típico de una variable dependiente, cambia a medida que las variables independientes experimentan modificaciones.

Inicialmente se puede realizar un análisis exploratorio en base a la selección intuitiva de variables explicativas (x_i) que pueden ser más representativas de la variable de respuesta (Y). Se trata de buscar las combinaciones que den como resultado una mayor bondad del coeficiente de determinación R^2 , que constituye una medida de la proporción de la variabilidad de la respuesta dada por la variable o variables del modelo explicativo. La variación total $\sum(Y_i - \bar{Y})^2$ es la suma de la variación explicada por el modelo $\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ más la suma de la variación no explicada $\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2$

$$R^2 = \frac{\text{variación explicada de } Y}{\text{total variación de } Y} = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad [5.3]$$

Procedemos a depurar el primer modelo con todas las variables en el que se observar una elevada multicolinealidad y coeficientes no significativos, constatados además en los factores de inflación de la varianza VIFs. Se procede a eliminar (una a una) alguna de las variables que provocan este fenómeno para poder evaluar de forma más eficiente el efecto de las variables que permanezcan en el modelo y obtener un modelo con baja multicolinealidad y variables significativas.

Para explorar la identificación de las variables más significativas que permiten extraer de los datos la mayor cantidad posible de información respecto a la relación con la variable dependiente, existen técnicas exploratorias de selección de variables explicativas potenciales.

Los criterios que se han seguido para seleccionar las variables a excluir se basan en prescindir de las variables con VIF elevado y mantener las variables significativas. Se ha procedido por tanto a realizar una selección de variables por parsimonia, mediante un proceso iterativo de eliminación de variables una a una y re-estimar la regresión múltiple para poder analizar el efecto sobre el resto de los coeficientes. Hay que tener en cuenta que al no haber literatura científica al respecto, no podemos averiguar qué variables deben estar o no estar por investigaciones previas. A continuación, se realizan pruebas con

combinaciones de variables en el modelo. El proceso finaliza cuando los “p-values” para la prueba t de las variables que aún no han sido incluidas resultan mayores que .05 o la prueba de t resulta menor que 2 para dichas variables.

Después de valorar el modelo con todas las variables, con la eliminación progresiva y con grupos intuitivamente representativos, el modelo final que acaba resultando es un modelo de regresión lineal simple, ya que en las combinaciones valoradas la multicolinealidad era muy elevada y no permitía identificar las variables que afectaban la evolución del número de PTW. En cambio el modelo simple mantiene un R2 muy elevado, lo que indica que, con dicha variable se explica de una manera muy fiable el fenómeno.

Finalmente, obtenemos un modelo simple que explica prácticamente lo mismo que el modelo original completo, empleando únicamente la variable número de plazas de estacionamiento el superficie. Es un caso claro en el que el criterio de simplicidad determina el modelo final.

En la tabla 18 se resumen los resultados del modelo de regresión, en este caso, simple.

Tabla 18 Resumen del modelo

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,928 ^a	,861	,854	,04440

a. Predictores: (Constante), Estacionamiento regulado en superficie (miles)

Coeficientes ^a								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	12,295	,017		718,253	,000	12,259	12,331
	Estacionamiento regulado en superficie (miles)	,005	,000	,928	10,573	,000	,004	,006

a. Variable dependiente: LOGPTWs

El coeficiente de determinación (R^2) que mide la bondad del ajuste es elevado 86,1 %. Dicho porcentaje refleja como la variación en el número de PTW, se puede explicar en dicha proporción mediante la variable plazas de estacionamiento regulado en superficie.

A modo de verificación se ha procedido a aplicar al modelo inicial con todas las variables dos métodos automáticos de depuración. Se ha constatado como del resultado de los dos métodos concuerda con el análisis manual hecho previamente y que lleva a considerar que la solución óptima propuesta era el modelo univariante con la variable “Estacionamiento regulado en superficie”.

El carácter automático de los métodos de simplificación limita el control de la interrelación con el resto de variables y llegar a explicar los criterios de eliminación. Dichas técnicas tienen un interés en procesos de comprobación y verificación. Además algunas técnicas permiten visualizar el proceso paso a paso de selección de variables, e incluso ajustar los criterios de selección de subconjuntos posibles del modelo.

Uno de los métodos más comunes de optimización de la selección de variables es el denominado “stepwise”. Una ventaja de este método, es que permite introducir todas las variables predictivas sin necesidad de llevar a cabo una selección previa. En este sentido se ha procedido a aplicar una adecuación lógica para efectuar la selección final atendiendo a la importancia relativa de cada variable predictora en relación con su contribución independiente al modelo de regresión múltiple.

Tabla 19 Resultados del método stepwise

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Estacionamiento regulado en superficie (en miles)		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100).

a. Dependent Variable: PTW

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,928 ^a	,862	,854	11197,31083	1,181

a. Predictors: (Constant), Estacionamiento regulado en superficie (en miles)
b. Dependent Variable: PTW

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1,404E+10	1	1,404E+10	111,986	,000 ^b
	Residual	2256835856	18	125379769,8		
	Total	1,630E+10	19			

a. Dependent Variable: PTW
b. Predictors: (Constant), Estacionamiento regulado en superficie (en miles)

Coefficients ^a										
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	217663,457	4316,467		50,426	,000	208594,896	226732,018		
	Estacionamiento regulado en superficie (en miles)	1270,300	120,039	,928	10,582	,000	1018,106	1522,493	1,000	1,000

a. Dependent Variable: PTW

Excluded Variables ^a								
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Automóviles	,034 ^b	,288	,777	,070	,571	1,752	,571
	Precio gasolina	-,144 ^b	-1,058	,305	-,249	,412	2,425	,412
	Precio Diesel	,016 ^b	,097	,924	,024	,296	3,374	,296
	Precio T-10	-,053 ^b	-,378	,710	-,091	,406	2,465	,406
	Norma	,181 ^b	,887	,387	,210	,187	5,335	,187
	% mujeres Población activa	-,002 ^b	-,019	,985	-,005	,501	1,996	,501

a. Dependent Variable: PTW
b. Predictors in the Model: (Constant), Estacionamiento regulado en superficie (en miles)

Tal como se puede observar en los resultados del método stepwise, finalmente, se desechan todas las variables excepto el estacionamiento regulado en superficie. Por lo que se vienen a confirmar los resultados exploratorios previos.

El segundo método complementario aplicado es el denominado “Best Subsets Regression”, a partir del cual, se crean subconjuntos de las variables independientes (x_i) que mejor explican la variable dependiente (Y). El método permite generar el conjunto de modelos de regresión posibles.

Tabla 20 Best Subsets Regresión 1

Response is PTW						E P s r t e P a c r A c i e u i o c t o i o n g o % m a a m ó m s D u v i o i N j i e l e T o e l n i s - r r e t n e l m e s o a l 0 a s														
Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	Mallows Cp	S																
1	86,2	85,4	2,9	11197	X															
1	75,8	74,4	17,0	14805																X
2	87,0	85,5	3,7	11160	X	X														
2	86,8	85,2	4,0	11264	X															X
3	90,7	88,9	0,7	9745,5	X	X	X													
3	87,4	85,0	5,2	11336	X	X														X
4	91,1	88,7	2,1	9829,0	X	X	X	X												
4	91,0	88,6	2,3	9886,9	X	X	X	X												
5	91,2	88,0	4,0	10132	X	X	X	X	X											
5	91,1	87,9	4,1	10173	X	X	X	X	X											
6	91,2	87,1	6,0	10512	X	X	X	X	X	X										
6	91,2	87,1	6,0	10514	X	X	X	X	X	X	X									
7	91,2	86,0	8,0	10940	X	X	X	X	X	X	X	X								

Se observa que, en casi todas las combinaciones, se incorpora la variable N° Plazas de estacionamiento regulado en superficie (Estacionamiento). La combinación que con menor número de variables consigue el coeficiente de determinación R² más elevado, es la compuesta por la variable N° Plazas de estacionamiento regulado en superficie.

El elevado coeficiente de determinación y la elevada significación llevan a considerar que la regresión lineal es un muy buen ajuste para el problema propuesto. No obstante también se ha procedido a aplicaremos otros tipos de funciones no lineales con el fin de poder comparar resultados. A continuación se muestra la tabla 21, comparativa de los coeficientes:

Tabla 21 Comparativa de los coeficientes

	Coeficiente de determinación R ²	
	Absoluto	LOG
Lineal	0,862	0,861
Potencial	0,869	0,869
Exponencial	0,861	0,861
Logarítmica	0,864	0,869
Polinómica cuadrática	0,862	0,862

Se puede constatar cómo se obtiene R² similares al modelo lineal. Por lo que se ha considerado oportuno mantener como modelo final el modelo lineal, para facilitar la interpretación.

3.5 Análisis de la autocorrelación temporal de los residuos (test Durbin-Watson)

El Test de Durbin-Watson (1951) permite evaluar si existe autocorrelación temporal en una Regresión lineal de una serie temporal. Con ello se pretende constatar si los valores presentan algún tipo de dependencia en cuanto al orden de obtención. Si fuera así se estaría incumpliendo una de las condiciones del modelo y cuando se incumplen las condiciones de un modelo de Regresión lineal (normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de los datos) las estimaciones de los parámetros del modelo (los coeficientes del modelo) no tienen los criterios de calidad que se suponen. Por ejemplo, la desviación estándar de esas estimaciones (el llamado error estándar) aumenta, etc.

En una regresión la noción de residuo es la diferencia entre el valor de la variable dependiente de un valor muestral y el valor estimado, el valor que le correspondería hipotéticamente a ese individuo, mediante el modelo construido mediante esa Regresión.

Este Test lo que hace es evaluar si la disposición de los valores en función de las variables independientes es una disposición al azar o, por el contrario, si hay algún tipo de dependencia, algún tipo de conexión entre los valores.

Tabla 22 Resumen del modelo

Resumen del modelo^b					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,928 ^a	,861	,854	,04440	1,154

a. Predictores: (Constante), Estacionamiento regulado en superficie (miles)

b. Variable dependiente: LOGPTWs

En la tabla siguiente pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión:

Tabla 23 Valores críticos de la estadística de Durbin-Watson.

Sample Size	Probability in Lower Tail (Significance Level= α)	k = Number of Regressors (Excluding the Intercept)									
		1		2		3		4		5	
		d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
15	.01	.81	1.07	.70	1.25	.59	1.46	.49	1.70	.39	1.96
	.025	.95	1.23	.83	1.40	.71	1.61	.59	1.84	.48	2.09
	.05	1.08	1.36	.95	1.54	.82	1.75	.69	1.97	.56	2.21
20	.01	.95	1.15	.86	1.27	.77	1.41	.63	1.57	.60	1.74
	.025	1.08	1.28	.99	1.41	.89	1.55	.79	1.70	.70	1.87
	.05	1.20	1.41	1.10	1.54	1.00	1.68	.90	1.83	.79	1.99
25	.01	1.05	1.21	.98	1.30	.90	1.41	.83	1.52	.75	1.65
	.025	1.13	1.34	1.10	1.43	1.02	1.54	.94	1.65	.86	1.77
	.05	1.29	1.45	1.21	1.55	1.12	1.66	1.04	1.77	.95	1.89
30	.01	1.13	1.26	1.07	1.34	1.01	1.42	.94	1.51	.88	1.61
	.025	1.25	1.38	1.18	1.46	1.12	1.54	1.05	1.63	.98	1.73
	.05	1.35	1.49	1.28	1.57	1.21	1.65	1.14	1.74	1.07	1.83

En nuestro caso el test arroja un estadístico de 1,15 que, tal como indican las tablas del test Durbin-Watson, podemos dar por comprobado este supuesto descartando que haya autocorrelación temporal.

4. Concreción del modelo

La especificación del modelo es el siguiente:

$$LOG (PTW) = \alpha + \beta_{Est.Regulado} Est.Regulado_i + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i \approx IN(0, \sigma) \forall i$$

Donde ε_i son los errores aleatorios que se distribuyen todos ($\forall i$) de forma idéntica (I) y de forma normal (N) con media 0 y desviación estándar σ .

Y la estimación del modelo:

$$LOG (PTW) = 12,295 + 0,005 \cdot Est.Regulado_i$$

Variable:

$Est.Regulado_i$: Número de plazas de estacionamiento regulado en superficie (en miles).

Coefficiente variable:

$$\beta_{AreaMiles} = 0,005 \text{ con un intervalo de confianza: } [0,004 ; 0,006]$$

Pasando el modelo del log-level al modelo lineal y tomando el estacionamiento regulado en superficie en unidades, obtenemos los siguientes resultados (Tabla 24):

Tabla 24 Coeficientes

		Coeficientes ^a						
		Coeficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados			95,0% intervalo de confianza para B	
Modelo		B	Error estándar	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	12,295	,017		718,253	,000	12,259	12,331
	Estacionamiento regulado en superficie (miles)	,005	,000	,928	10,573	,000	,004	,006

a. Variable dependiente: LOGPTWs

		Coeficientes ^a						
		Coeficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados			95,0% intervalo de confianza para B	
Modelo		B	Error estándar	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	217663,457	4316,467		50,426	,000	208594,896	226732,018
	Estacionamiento regulado en superficie	1,270	,120	,928	10,582	,000	1,018	1,522

a. Variable dependiente: PTWs

Sinópticamente se ha observado una elevada linealidad entre las variables independientes y la variable dependiente. De existir indicios del comportamiento de las variables respecto al PTW se hubiese procedido a elaborar el modelo a partir de las relaciones disponibles.

Para verificar el modelo, las hipótesis a plantear respecto al modelo final reducido a la variable “Estacionamiento regulado en superficie” es:

- **Hipótesis nula (H_0):** NO existe relación lineal entre la variable dependiente y la variable explicativa.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** SI existe relación lineal global a entre la variable dependiente y la variable explicativa.

$$H_0 : \beta_1 = 0 \quad \text{No relación lineal}$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0 \quad \text{Relación lineal}$$

Para p-valor menor de 0,05 (p-valor prácticamente nulo) se rechaza la hipótesis nula de NO relación lineal a favor de que sí que hay relación lineal entre la variable PTW y la variable “Estacionamiento regulado en superficie”, quedando verificada la hipótesis alternativa (H_1) de que SI existe relación lineal.

Se puede afirmar que la variable con la que podemos explicar el incremento en el número de PTW en la ciudad de Barcelona es la extensión del número de plazas de estacionamiento en superficie regulada (denominada en Barcelona Zona Área). Las demás variables analizadas tienen significación estadística; si bien el uso combinado de ellas muestra unos índices elevados de multicolinealidad. Se ha constatado que un modelo de regresión lineal simple tiene una significación relevante. De manera que una única variable permite conseguir un elevado grado de restitución de la variable dependiente. Si bien, cada una de las variables evidencian una alta capacidad explicativa y podría ser relevante en otros escenarios.

Por lo que en la ciudad de Barcelona, la implementación de políticas de tarificación de la congestión de un modo indirecto con la extensión del pago las plazas de estacionamiento en superficie, ha provocado un notable incremento en el precio del estacionamiento de los automóviles. Sin embargo, las motocicletas no sólo no se ven afectadas por este coste, sino que además han visto incrementada la oferta de plazas de estacionamiento libre a la vez que sigue estando permitido y es gratuito estacionar en las aceras. El incremento de los costes para uno de los dos modos de transporte, ha propiciado una alteración de las condiciones de equilibrio y ha favorecido la reducción de los usuarios de automóviles y el aumento de los de vehículos motorizados de dos ruedas, a causa de un efecto sustitución.

5. Capacidad predictiva del modelo simplificado

El modelo finalmente adoptado es una función de regresión lineal simple, basado en la variable explicativa Número de plazas de estacionamiento regulado en superficie. El coeficiente de determinación (R^2) que mide la bondad del ajuste es elevado 86,2 %. Lo que significa que de todo lo que varían el número de PTW, el 86,2 % está explicado solo a través de la variable, plazas de estacionamiento regulado en superficie.

Otra forma de valorar el ajuste del modelo y su capacidad predictiva es el porcentaje medio de error en cada una de las predicciones. Por tanto se calcula la media de los errores por cada observación:

$$\% \text{ predicción} = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\text{dato real} - \text{dato modelo}}{\text{dato real}} \right)}{n} \quad [5.4]$$

El porcentaje medio de error en cada una de las predicciones es tan sólo del 3,4 %. Por lo que los resultados de media se ajustan en un 97 % al valor real estimado (Tabla 25).

Tabla 25 Ajuste del valor estimado

Año	PTW	Plazas Estacionamiento regulado en superficie	Predicción PTW modelo	Error Absoluto
1996	204.276	6.148	225.424	10,35%
1997	221.120	5.757	224.984	1,75%
1998	221.483	5.914	225.161	1,66%
1999	225.246	5.669	224.885	0,16%
2000	228.542	6.148	225.424	1,36%
2001	230.222	6.628	225.966	1,85%
2002	230.429	6.910	226.285	1,80%
2003	234.163	6.933	226.311	3,35%
2004	240.093	10.409	230.279	4,09%
2005	252.042	43.893	272.247	8,02%
2006	266.257	43.893	272.247	2,25%
2007	278.671	40.479	267.639	3,96%
2008	287.284	37.130	263.195	8,39%
2009	286.331	50.619	281.558	1,67%
2010	294.096	54.579	287.189	2,35%
2011	295.733	54.420	286.961	2,97%
2012	292.714	55.056	287.875	1,65%
2013	266.689	49.268	279.663	4,86%
2014	268.331	47.889	277.741	3,51%
2015	273.718	48.081	278.008	1,57%

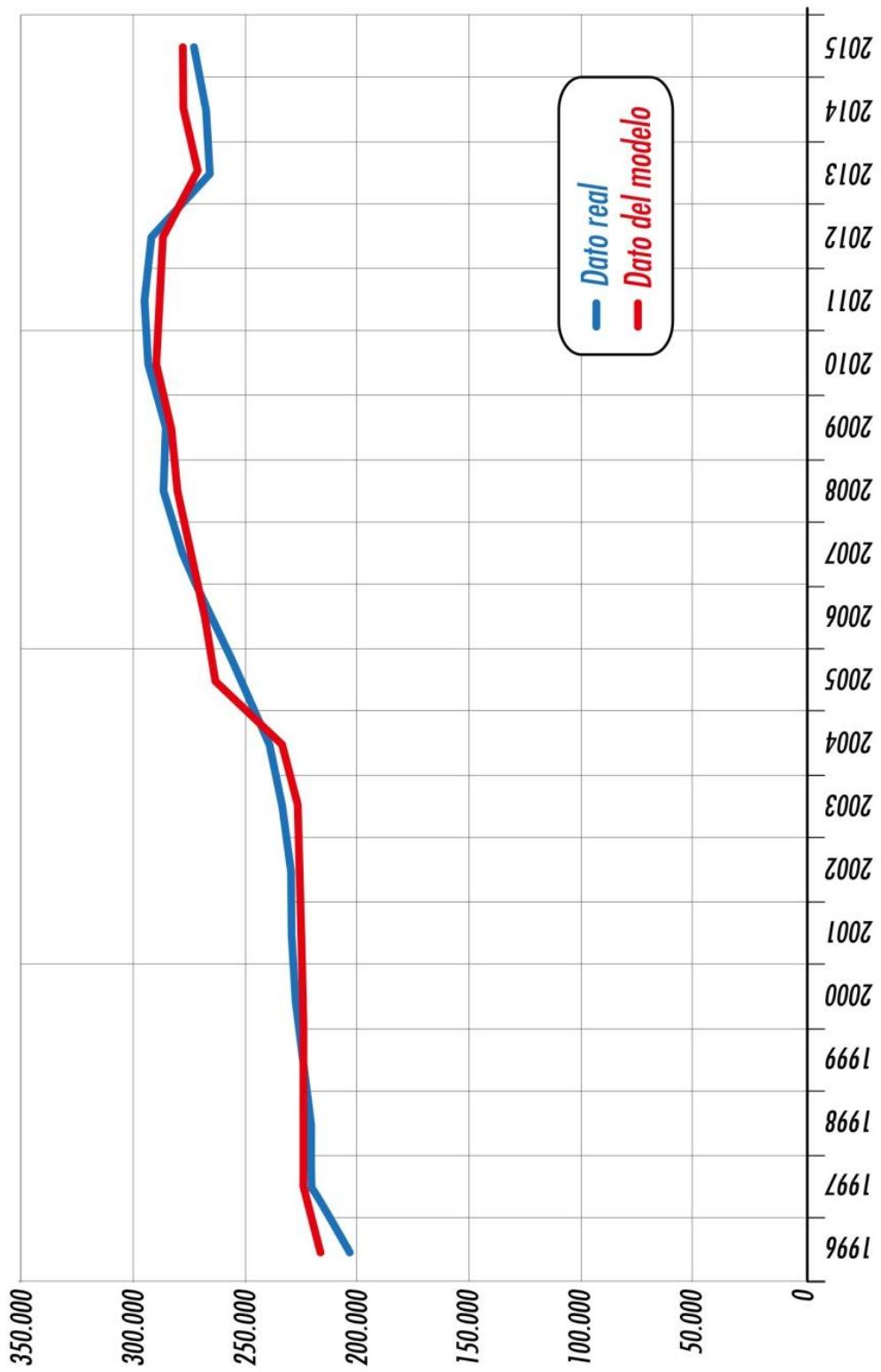


Figura 44 Ajuste del modelo: Relación entre los datos reales y la predicción del modelo.

6. Valoración particular de la variable Norma

Una de la hipótesis que se han barajado en relación con el incremento de uso de los vehículos motorizados de dos ruedas es la modificación del Reglamento General de Conductores aplicada el año 2004 que rebajaba las condiciones para pilotar motocicletas. Concretamente, el Real Decreto 1598, es una transposición de una Directiva Europea, que posibilita a que los titulares de un permiso de conducción de la clase B de automóviles, con una antigüedad superior a tres años, puedan conducir motocicletas y scooters hasta 125 cc.. El propósito enunciado de la norma es el de *“mejorar la fluidez de la circulación, reduciendo el número de automóviles de turismo que circulan ocupados solamente por una persona”*. Se trata por tanto una medida que *a priori* incentiva un el uso de la motocicleta frente al automóvil. (Perez, K et. al. 2009)

Una primera aproximación a la explicación de la causa o causas del incremento del uso de los PTW en la ciudad de Barcelona podría pasar por verificar la hipótesis de si la introducción de una norma administrativa con es la relajación de las condiciones para pilotar motocicletas de baja cilindrada es la variable significativa que ha influido en el incremento del uso de PTW en la ciudad de Barcelona.

Se quiere validar si el cambio normativo que permite usar motocicletas de menos de 125 cc. a las personas que disponen de carnet de conducir automóviles con una antigüedad mayor a tres años explica el incremento del mayor uso de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona.

- **Hipótesis nula (H_0):** El cambio normativo NO explica el incremento del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** El cambio normativo SI explica el incremento del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas.

Se pretende identificar si existe una evidencia empírica sobre el impacto del cambio normativo relativo a la relajación de las condiciones para pilotar motocicletas de cilindrada entre 50-125 cc.

Efectivamente, si realizamos un contraste de diferencia de medias para muestras independientes obtendremos que hay diferencias en el uso de PTW sin y con Norma. Pero, eso no significa que ese efecto sea debido realmente a la Norma. De hecho en el modelo de regresión múltiple esta variable ha desaparecido por su baja significación. Para mostrar que realmente no es significativa, si la añadimos en nuestro modelo de regresión comprobaremos que toda la variabilidad en el uso de la moto ya está explicado con el número de plazas de estacionamiento regulado y que la Norma no añade explicación y por ello aparece no significativa (p-valor=0,387).

Mostramos aquí el test de diferencia de medias para muestras independientes con la T-student (no se rechaza normalidad con el test de Kolmogorov-Smirnov P-valor=0,191) con significación estadística (p-valor prácticamente nulo) junto con su test de normalidad (Tabla 26).

Tabla 26 Test t-student de diferencia de medias TPW por Norma junto con el test de normalidad

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		PTWs
N		20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	254872,0000
	Desviación estándar	29287,73354
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,160
	Positivo	,160
	Negativo	-,151
Estadístico de prueba		,160
Sig. asintótica (bilateral)		,191 ^c

- a. La distribución de prueba es normal.
- b. Se calcula a partir de datos.
- c. Corrección de significación de Lilliefors.

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
PTWs	Se asumen varianzas iguales	3,744	,069	-7,507	18	,000	-50728,12500	6757,72071	-64925,56939	-36530,68061
	No se asumen varianzas iguales			-8,438	17,424	,000	-50728,12500	6011,54149	-63387,89052	-38068,35948

Tal como hemos comentado, si se añade esta variable Norma a nuestro modelo de regresión simple, se obtiene que el estacionamiento regulado en superficie es la variable significativa (p-valor=0,02) y la Norma no afecta al número de PTW (p-valor= 0,191).

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.	95,0% intervalo de confianza para B		Estadísticas de colinealidad	
		B	Error estándar	Beta	t		Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1	(Constante)	217875,758	4348,837		50,100	,000	208700,514	227051,002		
	Estacionamiento regulado en superficie	1,047	,279	,765	3,755	,002	,459	1,636	,187	5,335
	Norma	10534,770	11875,825	,181	,887	,387	-14521,031	35590,571	,187	5,335

a. Variable dependiente: PTWs

No ha habido evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que el cambio normativo NO explica consistentemente el incremento del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. Por tanto NO podemos afirmar que la variable NORMA haya afectado al incremento del uso de PTW en la ciudad de Barcelona.

Sí que se ha podido constatar como la introducción del cambio normativo que permitía conducir motocicletas de hasta 125 cc, sin obtener el carnet de moto ha modificado el mercado de los vehículos motorizados de dos ruedas. Un importante colectivo de conductores de automóviles que querían conducir PTW al no disponer de carnet de moto, optaban por adquirir ciclomotores, ya que dicho tipo de vehículos (hasta 50 cc) pueden ser conducidos sólo con un mero permiso administrativo sin necesitar de obtener el carnet.

El cambio normativo ha tenido un efecto sustitución en la adquisición de ciclomotores por motocicletas de manera que en los diez años posteriores a la implantación de la norma (2004-2014), el número de ciclomotores ha descendido del orden de un - 33 %, mientras que el número de motocicleta ha aumentado del orden de 39 % . En términos globales el conjunto de PTW (motocicletas y ciclomotores) han aumentado en un 12 %, lo han hecho

gracias al incremento del uso de motos en una coyuntura de descenso del número de ciclomotores.

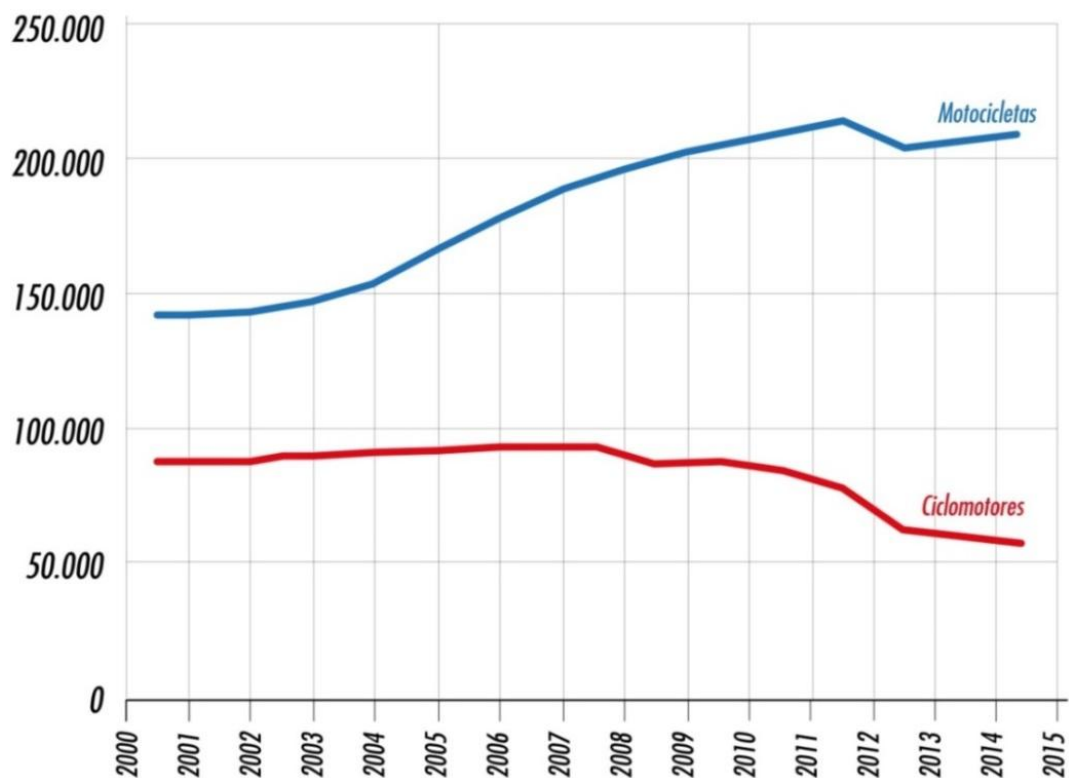


Figura 45 Evolución del número de motocicletas y ciclomotores en la ciudad de Barcelona.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ajuntament de Barcelona 2016

En la Figura 45 de la evolución del número de motocicletas y ciclomotores en la ciudad de Barcelona se observa como la tendencia es de una cierta evolución en paralelo hasta que a partir del año 2004 se opera el cambio normativo por el que se pueden conducir motocicletas de hasta 125 cc con el carnet de coche. A partir de la modificación de la norma comienza un periodo de inflexión positiva en el número de motocicletas, mientras el número de ciclomotores comienza a declinar por el descenso de las ventas.

PARTE 4

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 2:

El porqué del mayor uso de PTW en la ciudad de Barcelona en relación con el resto de ciudades españolas

Capítulo 6

Modelización del uso de los PTW en Barcelona en relación al resto de ciudades de España.

1. Presentación

En este capítulo se desarrolla y analiza un modelo para explicar el porqué del elevado uso de los PTW en la ciudad de Barcelona en relación con las demás ciudades españolas. En este primer apartado se contextualiza el fenómeno mostrando los datos comparativos en la ciudad de Barcelona respecto al resto de ciudades de España. En un segundo apartado, se exploran las variables susceptibles de explicar el fenómeno. Se ha trabajado un elevado número de variables agrupadas en diferentes ámbitos. Ha sido preciso emplear técnicas factoriales para reducir el número de variables agrupándolas en componentes principales.

Seguidamente, se ha elaborado un modelo de regresión múltiple para, a partir de las variables explicativas exploradas en el apartado anterior, explicar el fenómeno del elevado uso comparativo de PTW en Barcelona.

El 29% de los vehículos en la ciudad de Barcelona son motocicletas o ciclomotores, configurándose como la ciudad española con un mayor porcentaje de este tipo de vehículos. El número de automóviles representa prácticamente el doble (59%). El 34% de los vehículos no comerciales (automóviles y vehículos motorizados de dos ruedas). A su vez, tras Granada, Barcelona es la ciudad española que tiene más vehículos motorizados de dos ruedas por habitante, casi cuatro veces más que Burgos que es la ciudad que menos tiene (DGT 2016). Tal disparidad no se produce en el número de automóviles que presenta datos bastante homogéneos y con una dispersión notablemente inferior. Según los datos de la EU del año 2004, Barcelona también encabeza la lista de ciudades españolas donde la motocicleta se utiliza en mayor porcentaje para realizar desplazamientos relacionados con el trabajo.

En este apartado procedemos a identificar y analizar las variables más significativas que permitan explicar las causas del elevado uso de los vehículos motorizados de dos ruedas en Barcelona.

La tabla 27 muestra el peso que tienen los PTW sobre el conjunto de vehículos no comerciales en el conjunto de capitales de provincia de España, más las ciudades de L'Hospitalet de Llobregat, Santiago de Compostela, Vigo y Gijón.

Tabla 27 Uso de los PTW en diferentes ciudades españolas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGT

Ciudad	PTW por 100 habitantes	Automóviles por 100 habitantes	% PTW sobre el total
Barcelona	16,6	31,9	34%
Cádiz	15,4	34,8	31%
Donostia/San Sebastián	15,2	38	29%
Granada	17,1	44	28%
Málaga	15,2	42,3	26%
L'Hospitalet de Ll.	10,1	29,5	26%
Almería	14,3	42,5	25%
Córdoba	12,0	41,9	22%
Tarragona	11,5	42,2	21%
Palma de Mallorca	13,7	51,9	21%
Vigo	11,6	46,4	20%
Valencia	10,0	41,9	19%

Santander	9,7	42,7	19%
Badajoz	10,9	49,5	18%
Lleida	8,2	37,6	18%
Cuenca	9,2	43	18%
Teruel	9,7	45,5	18%
Castellón de la Plana	9,5	45,2	17%
Palmas de Gran Canaria	8,2	39,4	17%
Cáceres	9,9	48,6	17%
Zaragoza	7,3	35,9	17%
Gijón	7,8	41,1	16%
Huelva	8,4	44,7	16%
Ciudad Real	7,5	40,2	16%
Huesca	7,3	39,8	15%
Santa Cruz de Tenerife	8,8	49,4	15%
Logroño	6,5	37,5	15%
Pontevedra	7,9	46,2	15%
Guadalajara	7,4	43,8	14%
Zamora	7,2	43,5	14%
Soria	7,2	46,8	13%
Madrid	6,4	41,6	13%
Pamplona	6,6	45	13%
Valladolid	6,0	41,1	13%
Bilbao	5,3	36,7	13%
Toledo	6,8	47,2	13%
Vitoria/Gasteiz	5,9	41,7	12%
Ourense	6,6	47,3	12%
Segovia	6,3	45,2	12%
Ávila	6,5	46,9	12%
Palencia	5,9	42,9	12%
Oviedo	5,5	40,8	12%
Lugo	6,2	47,1	12%
León	5,6	43,2	11%
Salamanca	4,9	38,8	11%
Coruña, A	5,1	42,9	11%
Burgos	4,5	41,7	10%
Santiago de Compostela	4,9	46,2	10%

De entrada, se observan magnitudes dispares, de manera que el volumen global de vehículos es del orden de 4 veces superior al de PTW. La media de PTW por 100 habitantes es de 9,3 y la de automóvil 42,6.

Se aprecia que la posesión de automóvil es más homogénea y, en cambio, la de la motocicleta presenta una mayor variación entre las diferentes ciudades. Los factores que provocan una gran variabilidad en el uso del vehículo motorizado de dos ruedas pueden responder a alguna particularidad y/o a fenómenos más locales.

El promedio de PTW por cada 1000 habitantes es de 9,27 con una desviación estándar de 3,49. El coeficiente de variación está en torno a 0,38. El promedio de automóviles por cada 1000 habitantes es de 42,56 con una desviación estándar de 4,25. El coeficiente de variación es de 0,1. Por lo tanto, tal como indicábamos, el uso de los PTW es más disperso que el uso de los automóviles. El rango de variación es muy significativo. Así, mientras que entre la ciudad que más y que menos automóviles por habitante tiene el rango es menos del doble, en el caso de los vehículos motorizados es ligeramente inferior a cuatro veces.

Tabla 28 Volumen de desplazamientos por motivo trabajo en PTW (%) Fuente: Eurostat.

Ciudad	% viajes en moto
Barcelona	7,78
Málaga	7,13
Murcia	6,52
Alicante	6,37
Sevilla	5,76
Palma de Mallorca	5,28
L'Hospitalet de Llobregat	5,01
Córdoba	4,89
Badajoz	4,06
Valencia	3,7
Las Palmas	3,1
Santander	2,93
Santa Cruz de Tenerife	2,68
Vigo	2,65
Zaragoza	2,28
Logroño	1,53
Pamplona	1,52
Gijón	1,51
Valladolid	1,5
Toledo	1,37
Madrid	1,07
Bilbao	0,88
Oviedo	0,85
Vitoria/Gasteiz	0,79
Santiago de Compostela	0,73

Se constata que Barcelona es la ciudad en que se realizan mayor porcentaje de desplazamientos en PTW por motivo trabajo. Es significativo el amplio rango de diferencias en relación con otras ciudades, incluso grandes metrópolis como el caso de Madrid.

Tabla 30 Correlación distancia entre ciudades y diferentes variables.

Variable	Correlación
Días Nieve	-0,139
Días Helada	-0,079
Turismos por habitante	0,062
Ratio turismo/mujeres	0,068
Densidad población	0,077
T Media Min	0,116
Días Niebla	0,184
Humedad media	0,228
Temperatura Media	0,272
Precipitación	0,295
Ratio motos/mujeres	0,311
Horas Sol	0,351
Motos por habitante	0,391
Días Despejados	0,392
Días Tormenta	0,408
T Media Max	0,431
Días Precipitaciones	0,434

Los resultados muestran como existe una correlación no significativa entre la distancia entre ciudades y el nº de turismo por habitante (6,23 %) y cómo en cambio existe una mayor correlación entre nº de PTW por habitantes y distancia. De manera que ciudades más próximas tienen mayores similitudes en el nº de PTW que en el caso del nº de automóviles. Dichos resultados son congruentes con la elevada correlación entre distancias y variables climatológicas como la temperatura media, precipitaciones, horas de sol, días con tormenta y despejados.

2. Exploración de las potenciales variables candidatas a explicar el fenómeno

Para el conjunto de ciudades españolas objeto de análisis, la variable que se pretende explicar a partir del modelo es:

(y), nº de PTW por cada 100 habitantes.

El número de motos por cada 100 habitantes en las ciudades de la muestra sobre el territorio español, varían entre 4,46 y 17,14 con una media de 9,18 motos por cada 100 habitantes. La desviación estándar es de 3,43 motos por cada 100 habitantes.

En el gráfico se visualiza cómo se distribuye la frecuencia de los casos para los diferentes valores de la cantidad de motos por cada 100 habitantes (Figura 46). También se describe gráficamente el % acumulado para cada uno de los valores de los intervalos.

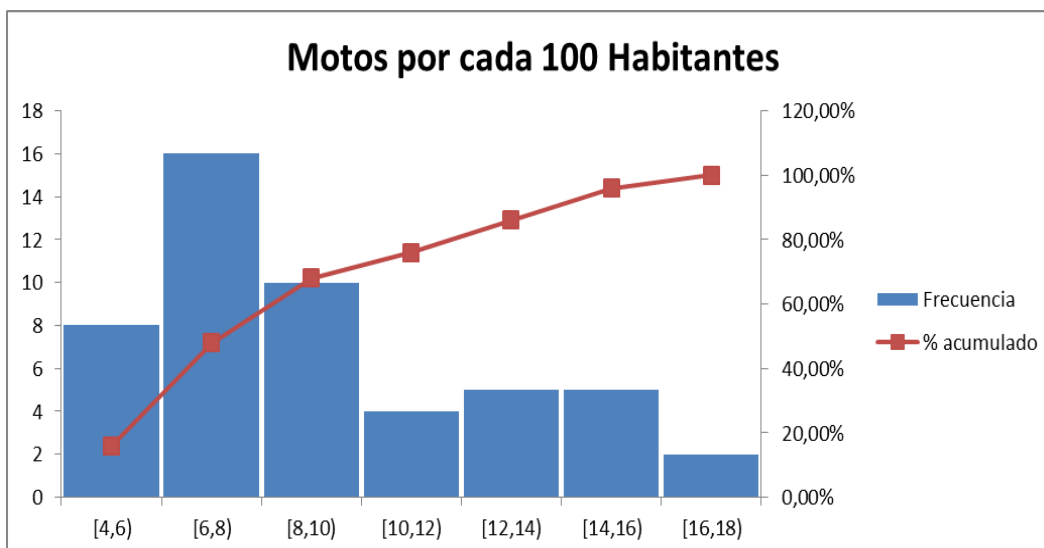


Figura 46 PTW por 100 habitantes.
Fuente: Elaboración propia

Después de un estudio univariante sobre el impacto de las posibles variables explicativas en la variable objetivo, se han acabado considerando los siguientes grupos de variables.

- Un primer grupo de variables de carácter climatológico. Al tratarse de vehículos que no se encuentran carrozados, los ocupantes de PTW se encuentran expuestos directamente a las inclemencias de los meteoros. La climatología con un carácter más confortable, con temperaturas medias no muy bajas y con menor número de días con lluvia y frío, favorece la utilización de PTW. Las zonas con climatología más rigurosa con mayores amplitudes térmicas y episodios meteorológicos tienden a reducir el número de personas que se desplazan en PTW. A partir del conjunto extenso de variables climáticas se ha procedido a un análisis de componentes principales obteniendo un más que suficiente % de varianza explicada del 78% con todas las comunales satisfactorias donde han aparecido 2 dimensiones o factores, por lo que del conjunto de variables climatológicas se han acabado extrayendo dos factores.
- Un segundo grupo de variables son las relacionadas con el tamaño y densidad de la ciudad. En las ciudades pequeñas prevalecen los desplazamientos a pie; si la ciudad es muy grande los desplazamientos tienden a ser prolongados haciendo más atractivo el uso del automóvil, especialmente en las conexiones periféricas con menores restricciones de estacionamiento. Se ha constatado que el uso de PTW tiende a estar más extendido en ciudades de tamaño intermedio, conforme se incrementa su densidad. En los entornos densos, los problemas de estacionamiento y congestión hacen más competitivas a las motocicletas y ciclomotores.
- El último grupo de variables es el relativo a la participación de la mujer en la movilidad en modos mecánicos. Tradicionalmente los PTW tienen a ser más utilizados por los hombres que por las mujeres. Conforme avanza la sociedad y aumenta la participación de la mujer en el mercado laboral, se produce un aumento de la movilidad por motivo trabajo por parte de las mujeres. En entornos urbanos densos el uso de PTW es una opción en aumento por parte de las mujeres trabajadoras para sus demandas de movilidad, factor que presiona a favor del aumento de los desplazamientos en PTW. Se ha verificado una correlación significativa entre mujeres propietarias de PTW y el número de PTW por ciudades.

Al trabajar con variables factorizadas y dicotómicas, ha sido posible plantear la formulación de un modelo de regresión lineal múltiple en el que se ha conseguido evitar la multicolinealidad, y, por ello, estadísticamente robusto. Las variables significativas restituyen la variable dependiente con una elevada fidelidad.

2.1 Grupo de variables climatológicas

El clima es un factor extremadamente aleatorio y altamente impredecible pero que condiciona sustancialmente la elección del modo de desplazamiento, especialmente a los conductores de los vehículos motorizados de dos ruedas.

Los PTW no están provistos de habitáculo, por lo que sus ocupantes se encuentran expuestos directamente a los meteoros. Dicha circunstancia amplifica las sensaciones en la conducción, pero, a su vez, incrementa la fatiga, la penosidad y la dificultad en el manejo del vehículo, circunstancias que hacen que el pilotaje se vea fuertemente influenciado por la climatología.

La climatología condiciona la elección del modo vehículo motorizado de dos ruedas. En las ciudades con un clima más benigno, especialmente las del arco mediterráneo y las del sur, el menor número de días desapacibles (días con niebla, helada o nevada) favorece el uso de la motocicleta, mientras que en las zonas del interior y del norte, el “mal tiempo” es un factor que hace descender el porcentaje de personas que se desplazan en motocicleta por motivos laborales. El incremento de la insolación y de la temperatura media, junto a la disminución de días de lluvia, son los factores que más condicionan el porcentaje de viajes en motocicleta para desplazarse al trabajo.

El Department for Transport de Gran Bretaña (2015b) constata que el buen tiempo tiene una influencia más significativa en los motociclistas y ciclistas, grupos particularmente sensibles al clima. Las buenas condiciones estimulan más los desplazamientos, especialmente en los meses de primavera y otoño. Un estudio de Ovieve. y Rousell (2013), constata como en Francia, una de cada dos motocicletas se utiliza en función de las condiciones climáticas y una de cada cuatro exclusivamente en verano.

Es necesario, por tanto, el conocimiento de la climatología de un entorno urbano para poder analizar su influencia en la elección modal, especialmente en los usuarios de vehículos motorizados de dos ruedas (Tabla 31).

La climatología en la ciudad de Barcelona es propicia para el uso de la motocicleta y del ciclomotor. A continuación, se relacionan las variables de partida.

VARIABLES ANUALES A PARTIR DE DATOS MENSUALES RELACIONADAS CON LA CLIMATOLOGÍA:

T: Temperatura media anual (°C).

TM: Media de las temperaturas máximas diarias (°C).

Tm: Media de las temperaturas mínimas diarias (°C).

R: Precipitación media (mm).

H: Humedad relativa media (%).

DR: Número medio de días de precipitación superior o igual a 1mm.

DN: Número medio de días de nieve.

DT: Número medio de días de tormenta.

DF: Número medio de días de niebla.

DH: Número medio de días de helada.

DD: Número medio de días despejados.

I: Número medio de horas de sol.

Tabla 31 Datos climatológicos de ciudades españolas.
Fuente: AEMET

Ciudad	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I	Nn	Nn	Bb	
1	Albacete	14,3	20,7	7,8	353,0	63,0	50,4	4,3	19,0	32,5	52,3	94,5	2888,0	38,99765	-1,86007	685,9573
2	Alicante	17,8	23,1	12,6	336,0	66,0	37,0	0,0	14,0	2,0	1,0	97,0	2864,0	38,3452	-0,481006	16,6325
3	Almería	19,1	23,4	14,7	200,0	65,0	25,4	0,0	7,4	8,9	0,0	108,0	2994,0	36,84016	-2,467922	27,0070
4	Ávila	11,0	17,0	5,0	416,0	63,0	66,9	20,2	11,7	22,1	87,5	82,0	2555	40,65642	-4,700323	1129,841
5	Badajoz	16,6	23,3	9,9	463,0	66,0	61,0	0,0	13,0	38,0	21,0	106,0	2830,0	38,8786	-6,970284	192,0375
6	Barcelona	15,6	20,1	11,2	640,0	72,0	55,0	1,0	22,0	10,0	4,0	73,0	2524,0	41,38792	2,169919	19,9907
7	Bilbao	14,3	19,1	9,4	1195,0	72,0	128,0	2,0	24,0	29,0	11,0	35,0	1584,0	43,25696	-2,923441	17,8884
8	Burgos	10,7	16,6	4,8	546,0	71,0	83,5	18,5	18,9	34,0	80,9	67,0	2223,0	42,34087	-3,699731	865,8016
9	Cáceres	16,3	21,9	10,7	551,0	60,0	64,2	1,0	12,2	15,0	11,6	114,1	2922,0	39,47618	-6,37076	434,6162
10	Castelló de la Plana	17,5	22,3	12,7	467,0	66,0	45,5	0,0	21,7	5,2	1,6	80,6	2755,0	39,98598	-0,03767	36
11	Ciudad Real	15,6	21,8	9,3	402,0	61,0	59,3	2,6	14,2	27,6	35,4	97,3	2664,0	38,9861	-3,927263	636,7003
12	Córdoba	17,6	24,6	10,7	536,0	62,0	56,0	0,0	12,0	25,0	16,0	131,0	2800,0	37,88473	-4,779152	131,9102
13	Coruña, A	14,8	17,8	11,8	1014,0	75,0	129,6	0,2	16,8	37,0	0,1	48,6	2090,0	43,51012	-5,869227	56,7164
14	Cuenca	13,1	19,3	6,9	501,0	60,0	71,2	8,6	17,0	10,1	62,2	85,0	2503,0	40,07183	-2,134005	930,4124
15	San Sebastián	13,5	16,5	10,6	1507,0	78,0	141,1	4,0	27,3	101,9	7,1	34,2	1816,0	43,32074	-1,984421	6,7468
16	Girona	14,7	20,8	8,6	728,0	71,0	65,8	0,7	23,9	48,0	41,3	84,4	2515,0	41,9818	2,8237	69,0227
17	Granada	15,4	23,0	7,8	365,0	58,0	52,1	1,0	11,0	21,4	48,5	121,1	2917,0	37,17649	-3,597929	697,486
18	Huelva	18,2	23,9	12,4	525,0	66,0	51,5	0,0	7,8	12,3	1,8	188,0	3196,0	37,2571	-6,949555	20,7441
19	Huesca	14,0	19,6	8,4	480,0	63,0	60,7	2,2	21,3	33,4	34,2	83,0	2732,0	42,1401	-0,408898	467
20	León	11,1	16,7	5,5	515,0	67,0	74,9	13,0	16,1	27,8	71,6	83,0	2673,0	42,59988	-5,571752	841,3373
21	Lleida	15,0	21,5	8,6	342,0	66,0	46,2	1,2	19,5	52,9	41,6	102,9	2944,0	41,61415	0,625782	166,4499
22	Logroño	13,5	18,9	8,2	399,0	67,0	67,0	5,0	19,0	41,0	26,0	57,0	2242,0	42,46577	-2,449995	396,4728
23	Lugo	12,0	17,6	6,3	1052,0	77,0	126,3	6,0	13,8	94,0	49,6	75,0	1892,0	43,01208	-7,555851	468,2347
24	Madrid	14,6	19,4	9,7	436,0	57,0	63,0	4,0	16,0	24,0	16,0	97,0	2769,0	40,41669	-3,700346	653,0047
25	Málaga	18,0	22,9	13,1	524,0	66,0	43,0	0,0	12,0	12,0	0,0	107,0	2815,0	36,71965	-4,420019	20,7659
26	Murcia	17,8	24,4	11,2	301,0	59,0	35,0	0,0	11,0	17,0	11,0	94,0	2797,0	37,98344	-1,12989	51,0709
27	Ourense	14,9	21,3	8,5	811,0	70,0	96,9	1,1	17,3	47,1	27,3	80,0	2054,0	42,34001	-7,864641	144,5574
28	Oviedo	12,9	17,0	8,8	973,0	78,0	122,0	5,0	20,0	100,0	8,0	33,0	1711,0	43,36026	-5,844759	238,8659
29	Palma de Mallorca	17,9	21,6	14,3	427,0	70,0	52,0	1,0	17,0	4,0	0,0	71,0	2763,0	41,28425	0,665504	338,6448
30	Palmas de G. C., Las	20,7	23,8	17,7	134,0	68,0	21,0	0,0	2,0	0,0	0,0	65,0	2805,0	38,94215	-0,152327	25,1204
31	Pamplona	12,5	17,8	7,1	721,0	68,0	95,0	10,0	23,0	17,0	42,0	58,0	2201,0	42,81721	-1,646767	458,1406
32	Pontevedra	14,8	19,2	10,4	1613,0	72,0	131,3	0,2	13,9	31,9	1,8	92,5	2288	42,43362	-8,648053	18,6079
33	Salamanca	12,2	18,7	5,6	372,0	65,0	63,8	6,8	15,1	38,9	76,8	77,2	2667,0	40,96497	-5,663047	802,7915
34	Santa Cruz Tenerife	21,2	24,3	18,0	214,0	63,0	31,0	0,0	2,0	0,0	0,0	93,0	2851,0	28,46981	-16,25486	41,2939
35	Santander	14,1	18,1	10,2	1246,0	75,0	128,0	1,0	14,0	24,0	7,0	38,0	1638,0	43,46096	-3,807934	4,1
36	Segovia	12,4	17,9	6,9	479,0	59,0	78,6	13,0	18,1	17,6	53,1	78,0	2616	40,94943	-4,119209	1012,785
37	Sevilla	18,6	24,9	12,2	534,0	61,0	52,0	0,0	9,0	23,0	4,0	129,0	2898,0	37,38264	-5,996295	8,2656
38	Soria	11,0	17,2	4,9	512,0	65,0	78,8	21,4	23,2	20,3	83,3	60,6	2571,0	41,7636	-2,464921	1064,823
39	Tarragona	16,1	21,1	11,1	500,0	68,0	49,8	0,4	13,9	6,7	12,5	68,3	2646	41,11866	1,24533	26,26264
40	Teruel	12,2	19,4	4,9	378,0	65,0	57,4	11,2	22,2	24,0	94,9	65,0	2836	40,34411	-1,10691	927,4562
41	Toledo	15,4	21,4	9,3	357,0	62,0	56,0	2,0	15,0	34,0	33,0	95,0	2847,0	39,85678	-4,024476	524,0618
42	Valencia	17,8	22,3	13,4	454,0	65,0	44,0	0,0	18,0	10,0	0,0	91,0	2660,0	39,47024	-0,376804	23,3349

43	Valladolid	11,1	17,2	4,9	455,0	68,0	71,0	9,0	16,0	48,0	83,0	77,0	2645,0	41,65295	-4,728388	699,4927
44	Vitoria	11,5	16,8	6,1	779,0	75,0	103,0	11,0	21,0	54,0	49,0	28,0	1830,0	42,84641	-2,667893	534,3582
45	Zamora	13,1	18,9	7,4	379,0	64,0	64,2	3,4	11,7	29,6	48,3	80,0	2532,0	41,50368	-5,743778	657,1658
46	Zaragoza	15,0	20,4	9,5	318,0	62,0	50,0	1,0	21,0	28,0	25,0	80,0	2614,0	41,65629	-0,876537	204,0027
47	Sant. Compostela	12,6	17,2	7,9	1886,0	79,0	141,0	2,0	13,0	85,0	15,0	54,0	1998,0	42,88045	-8,546304	250,5518
48	Vigo	13,6	17,7	9,6	1909,0	79,0	130,0	0,5	16,0	75,0	5,0	92,0	2212,0	42,23136	-8,712447	104,1391
49	Gijón	13,8	17,6	10,0	971,0	79,0	121,0	1,0	17,0	23,0	8,0	34,0	1721,0	43,54526	-5,661926	10,46988
50	L'Hospitalet de LL.	16,4	20,1	12,7	600,0	72,0	55,0	1,0	22,0	10,0	4,0	73,0	2524,0	41,35958	2,099704	15,67791

Al analizar un grupo amplio de variables, es posible aplicar métodos que reducen la dimensión del estudio, facilitando de este modo la modelización y el análisis. A su vez, al existir variables con un elevado nivel de correlación, se debe tener en consideración la implementación de medidas de agrupación de variables en factores que son combinaciones lineales de las variables originales no correlacionados entre sí (Tabla 32).

Tabla 32 Correlaciones entre variables

	T M	T MM	T Mm	P	HR	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
T Media	1	,901	,934	-,325	-,274	-,577	-,748	-,556	-,516	-,748	,490	,502
T Media Max	,901	1	,686	-,506	-,532	-,726	-,634	-,554	-,540	-,480	,698	,691
T Media Min	,934	,686	1	-,126	-,018	-,370	-,730	-,472	-,421	-,859	,245	,271
Precipitación	-,325	-,506	-,126	1	,763	,895	-,099	,257	,631	-,244	-,382	-,723
Humedad media	-,274	-,532	-,018	,763	1	,742	-,062	,299	,586	-,230	-,601	-,775
Días Precipitación	-,577	-,726	-,370	,895	,742	1	,154	,374	,691	,000	-,571	-,877
Días Nieve	-,748	-,634	-,730	-,099	-,062	,154	1	,296	,098	,825	-,292	-,144
Días Tormenta	-,556	-,554	-,472	,257	,299	,374	,296	1	,324	,252	-,517	-,422
Días Niebla	-,516	-,540	-,421	,631	,586	,691	,098	,324	1	,134	-,350	-,578
Días Helada	-,748	-,480	-,859	-,244	-,230	,000	,825	,252	,134	1	-,114	,049
Días Despejados	,490	,698	,245	-,382	-,601	-,571	-,292	-,517	-,350	-,114	1	,792
Horas Sol	,502	,691	,271	-,723	-,775	-,877	-,144	-,422	-,578	,049	,792	1

Los resultados del análisis de componentes principales son los siguientes:

Tabla 33 Variancia total explicada

Component	Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	6,214	51,780	51,780	5,151	42,922	42,922
2	3,145	26,205	77,985	4,207	35,062	77,985

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Communalities

	Extraction
T Media	,970
T Media Max	,901
T Media Min	,888
Precipitación	,801
Humedad media	,814
Días Prec	,889
Días Nieve	,803
Días Tormenta	,395
Días Niebla	,551
Días Helada	,922
Días Despejados	,562
Horas Sol	,862

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Se continúa con la matriz de componentes rotada (Tabla 34) y se identifican conceptualmente los dos factores, en la medida que al tratarse de agrupaciones de variables, es factible interpretar los grupos resultantes.

Se observa de que el primer factor que comprende variables que indican lluvia, humedad y también correlaciona con niebla y temperaturas medias con tendencia por debajo de la media y pocas horas de sol y de días despejados.

El segundo factor agrupa variables que indican temperaturas altas, sin nieve ni heladas.

Tabla 34 Matriz de componentes rotada.

	Component	
	1	2
T Media	-,430	,886
T Media Max	-,664	,679
T Media Min	-,174	,926
Precipitación	,889	,101
Humedad media	,896	,111
Días Prec	,926	-,179
Días Nieve	-,015	-,896
Días Tormenta	,430	-,457
Días Niebla	,708	-,224
Días Helada	-,189	-,941
Días Despejados	-,693	,285
Horas Sol	-,918	,141

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 3 iterations.

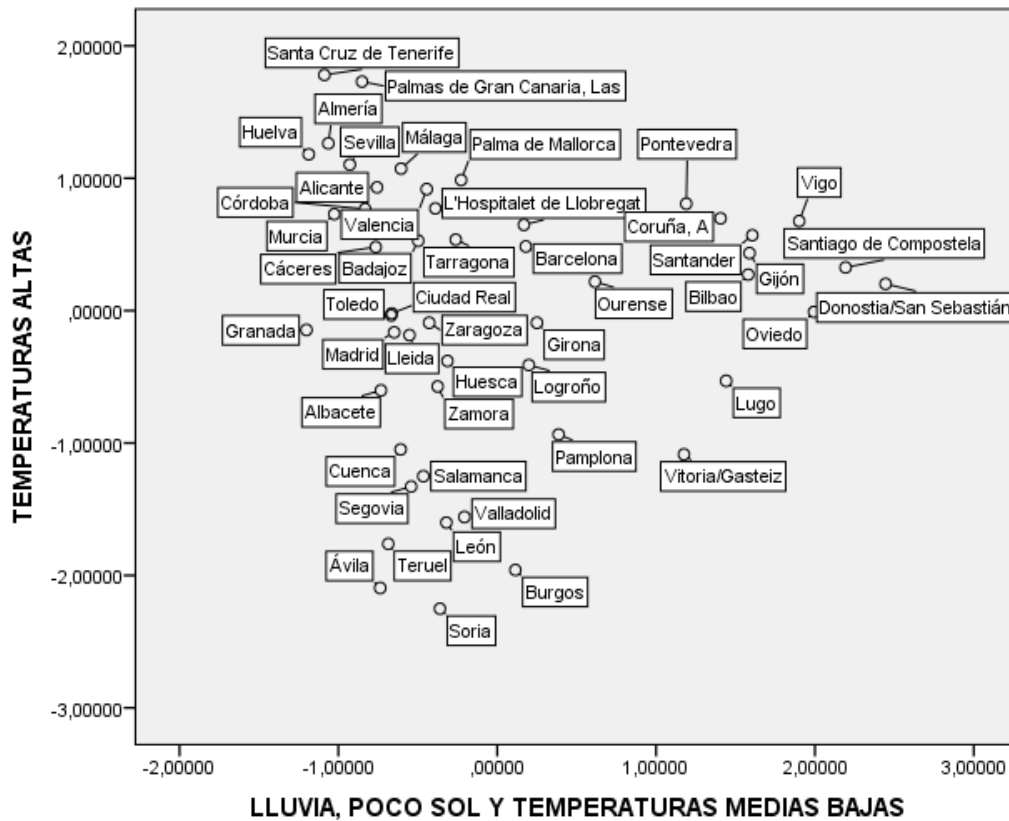


Figura 47 Ubicación de las observaciones en los factores primero y segundo.

El resumen descriptivo de estos dos factores se muestra a continuación (Tabla 35).

Tabla 35 Resumen descriptivo.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
LLUVIA, POCO SOL Y TEMPERATURAS MEDIAS BAJAS	50	-1,20091	2,44474	0E-7	1,00000000
TEMPERATURAS ALTAS	50	-2,25115	1,78024	0E-7	1,00000000
Valid N (listwise)	50				

Cabe recordar que, al estar estandarizadas, estas variables deben interpretarse en un rango de -3 a 3. Por encima de 0 tienen tendencia al concepto que indica la variable por encima de su media y, por debajo de cero, tienen tendencia en contra del concepto que indica la variable.

2.2 Grupo de variables de morfología urbana

La densidad, extensión, morfología y configuración del entorno urbano determinan la tipología de los desplazamientos y por tanto la movilidad (Crane, 2000). La alta densidad de población en las zonas residenciales urbanas afecta negativamente a la propiedad del automóvil (Yamamoto, 2009). La congestión urbana afecta negativamente al tránsito, aumentando el tiempo de recorrido para los usuarios de transporte público en superficie (Gakenheimer, 1999).

Cuanto más denso es el entorno urbano, los desplazamientos tienden a ser más cortos y, por tanto, no precisan la utilización de modos mecánicos, prevaleciendo los desplazamientos a pie. Cuando las zonas urbanas aumentan su extensión, se reducen los desplazamientos a pie e incrementan los desplazamientos en modos mecánicos que posibilitan recorrer distancias más largas en menos tiempo (Kitamura *et al.* 1997).

Las variables morfológicas se medirán a través de la superficie de las ciudades, la densidad y el número de habitantes. Lógicamente una de ellas no puede estar en el modelo, ya que posee una relación funcional respecto a las otras.

El resumen estadístico para estas variables es el que se muestra a continuación (Tabla 36).

Tabla 36 Resumen estadístico

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
Densidad población	50	54,7800	18146,860	2543,8998	3723,07524
Superficie población	50	14,0000	6632,000	443,41400	978,240758
Habitantes (personas)	50	35675	3165235	307316,94	487013,176

Se observan las dos ciudades más densas separadas de las demás (Barcelona y L'Hospitalet) y la gran mayoría con densidades inferiores a 2000. Asimismo, se observa una ciudad con una superficie claramente mayor que las demás (Castellón de la Plana).

Respecto al número de habitantes, también hay dos valores extremos (Barcelona y Madrid). De las tres variables, seleccionaremos dos que sean capaces de detectar los dos aspectos de especial interés. Por un lado, la densidad y por otro interesa detectar si el hecho de que las distancias sean largas tiene alguna incidencia sobre el uso de la moto, al margen de si hay muchos habitantes o no. Por tanto, retendremos las variables Densidad y Superficie.

En las zonas urbanas densas, dependiendo de la distancia del recorrido y la tipología del origen y destino, los diferentes modos de transporte tienden a experimentar una mayor especialización y optimización en su uso, configurándose umbrales a partir de los cuales incrementan o disminuye su utilidad, siendo más o menos competitivos. De entrada, los desplazamientos en cortas distancias y escasa duración tienden a realizarse mayoritariamente a pie. El escaso tiempo de recorrido y la versatilidad del modo caminando hace que no tenga competencia en recorridos cortos, por debajo de los 5-10 minutos y 500-1.000 metros de recorrido (Ewing, 2000; Dittmar y Ohland, 2004)

En las zonas urbanas el número de desplazamientos en modos motorizados se distribuye de manera que existe un número reducido de desplazamientos cortos (en tiempo) ya que los viajes cortos se suelen realizar a pie, para incrementarse a medida que aumenta el tiempo de recorrido, para acabar disminuyendo cuando los desplazamientos son largos, existiendo un número reducido de éstos (Figura 48). La gráfica a continuación muestra la distribución (Ortúzar y Willumsen 2011).

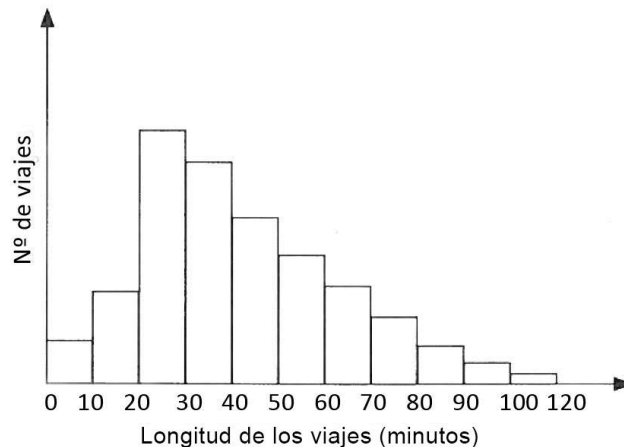


Figura 48 Número de viajes en entorno urbano en función de la longitud de los viajes
Fuente: Ortúzar y Willumsen 2011

De optarse por usar un modo mecánico, el tiempo consumido en acceder al modo, o desaharcar y volver a aparcar implica un coste que lo hace disuasorio, para distancias o intervalos de tiempo tan reducidos. Si la ciudad es pequeña, la mayoría de conexiones entre parejas de orígenes y destino (i,j) serán de distancias cortas y por tanto se podrán realizar a pie. Por lo que se realizarán pocos desplazamientos en vehículos motorizados. A su vez si la ciudad es muy grande las distancias y tiempos de desplazamiento serán prolongados y si bien favorecen el uso del vehículo motorizado, cuanto más grande sea la ciudad, mayor uso se hará del automóvil frente a la motocicleta como vehículo motorizado. El umbral máximo de desplazamientos a pie se puede situar del orden de 30 minutos de desplazamiento (Schafer 2000).

Por tanto, a priori se podría considerar que existe un tamaño mínimo de ciudad para que la motocicleta sea un modo competitivo y un tamaño máximo por encima del cual, el automóvil prevalece por su mayor versatilidad para los desplazamientos prolongados. Analizando las cincuenta principales ciudades españolas se observa como existe una elevada correlación negativa entre el número de turismo por habitante y la densidad de población. A su vez se observa como en términos globales si la ciudad es pequeña no hay una correlación elevada entre densidad y uso de la moto. Pasado un umbral de tamaño de la ciudad se incrementa la relación entre densidad y posesión de la moto, para descender cuando la ciudad es muy extensa.

En base a lo anterior, para las variables morfológicas (superficie y densidad) se ha explorado la creación de una variable dicotómica que indique si una ciudad está en ese intervalo de superficie (valor 1) o no (valor 0), de forma que esta variable dicotómica sea significativa y también la densidad lo sea en la interacción con la variable dicotómica.

Para identificar el posible rango de superficie, se ha utilizado la técnica de “*Differential Evolution*”. Se trata de un algoritmo de búsqueda iterativo basado en poblaciones de posibles soluciones que evolucionan hacia mejores zonas del espacio de búsqueda. Es un paradigma concreto, desarrollado por Storn y Price (1997), de los algoritmos llamados “*Evolutionary Computation*”. Se inspiran en la teoría de la evolución.

El algoritmo evolutivo para parámetros reales en espacios continuos necesita 3 parámetros: tamaño de población (ND), Ratio de Mutación (F) y Ratio de Combinación (CR). La población se inicializa con ND vectores de dimensión D (Dimensión del Problema) de forma aleatoria en base a los márgenes del espacio de búsqueda.

Se ha utilizado el paquete DEoptim del lenguaje R, ajustando el algoritmo con los siguientes parámetros: Iteraciones = 150 Tamaño Población = 80, F = 0,9 CR=0,5 (parámetros típicos).

```

8 functionRgeression<-function(x)
9 {
10   val=1
11   min=x[1]
12   max=x[2]
13   if (min<max){
14     dades$sup=dades$Superficie>min & dades$Superficie<max
15     if (as.numeric(table(dades$sup)[2])>0 & min<max){
16       dades2<-dades[dades$sup==1,]
17       val=-cor(dades2$Densidad,dades2$MOTOSHAB)
18     }
19   }
20   return (val)
21 }
22
23
24 modelDifEv=DEoptim(fn=functionRgeression,lower=c(1,500),upper=c(500,6600),con
25
26 min=modelDifEv$optim$bestmem[1]
27 max=modelDifEv$optim$bestmem[2]
28 dades$sup=dades$Superficie>min & dades$Superficie<max
29 dades$InterDensSupDicot90200=dades$DensidadEscalada^dades$sup
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Environment History Connections
Global Environment
Data
dades 50 obs. of 46 variables
modelDifEv List of 2
Values
max 199.3
min 91.4
Functions
function... function (x)

Files Plots Packages Help Viewer

Console Terminal
C:\WINDOWS\ROCHE\CONSOLE\TERRA\UPRA\TERNA\ANDR\AGOSTO 2018 /
> min=91.4
> max=199.3
>

Figura 49 Resultados del intervalo de referencia.

A través de este algoritmo se ha obtenido un intervalo de referencia para el rango de superficie de [91.4; 199.3] (Figura 49). A partir de dicho rango de referencia se procedió a analizar cómo correlaciona la densidad con un subgrupo de la muestra. Se observa que en un grupo intermedio de entre aproximadamente 90 y 200 km cuadrados, la correlación aumenta significativamente, evidenciando una alta relación lineal positiva entre la densidad de la población y el uso de la moto y además esta correlación es significativa a un nivel de p-valor prácticamente nulo. De esta forma, considerando la variable Superficie Dicotómica que toma el valor 1 si está en ese intervalo y 0 en caso contrario, se obtiene la significación de esta variable y de la interacción de esta variable con la densidad.

2.3 Participación de la mujer en la movilidad en PTW

En términos globales existe un desfase generalizado en el porcentaje de hombres y mujeres usuarias de PTWs, con una mayor prevalencia en el pilotaje por parte de los hombres. En algunos entornos los factores culturales y de participación de la mujer en el mercado laboral son determinantes. Algunos modelos de motocicletas requiere una mayor exigencia física, debido a sus dimensiones, peso y condiciones de conducción; especialmente los vehículos de cilindradas elevadas. A su vez la mayor exigencia física y la diferente percepción del riesgo que comporta el modo PTW también favorecen el mayor uso por parte de los hombres. Por lo que la resistencia fisiológica y percepción psicológica son factores que influyen en la elección del modo. (Lynch y Atkins, 1988).

Se ha constatado una gran dispersión entre ciudades en relación con el porcentaje de PTW propiedad de las mujeres. Dicha dispersión no es tan acusada en el caso de los automóviles, de manera que existe una mayor homogeneidad global en la propiedad de turismo por parte de hombre y mujeres, que en el caso de los vehículos motorizados de dos ruedas. De manera que hay ciudades como Barcelona en la que se constata un elevado porcentaje de PTW propiedad de las mujeres, y como en cambio en otras ciudades es muy testimonial.

La creciente incorporación de la mujer al mercado laboral implica un mayor número de desplazamientos fuera del ámbito doméstico, en los que es susceptible el uso de vehículos motorizados de dos ruedas. A su vez también existen otros factores como la seguridad, la climatología e incluso el ocio que hacen menos propensas a las mujeres a ser propietarias de vehículos motorizados de dos ruedas en relación con los hombres.

Durante el periodo de los 20 años analizados, la continua incorporación de la mujer en el mundo laboral y el crecimiento del número de desplazamientos relacionado con el desarrollo de actividades profesionales no suponen un aumento del nº de automóviles en Barcelona. En cambio si que se observa como conforme incrementa el fenómeno de la incorporación de la mujer al mundo laboral también aumenta el número de PTWs. Circunstancia que puede ser indiciaria de que la mujer que desarrolla una actividad laboral presione al alza el uso del vehículo motorizado de dos ruedas.

Dado el protagonismo que muestra en el uso de la moto, la participación de la mujer se debe de tener en consideración como variable, a la hora de explicar el fenómeno de la movilidad en PTW. Para ello, se considerará la participación de la mujer en la movilidad en base al porcentaje de PTW, cuyos propietarios son mujeres.

En España, según Datos de la Dirección General de Tráfico (DGT), en el año 2013 el 66 % de los automóviles son propiedad de hombres y el 34 % de mujeres. En el caso de los vehículos motorizados de dos ruedas las diferencias se amplifican: el 20 % de los vehículos motorizados de dos ruedas son propiedad de mujeres y el 80 % pertenecen a los hombres.

Barcelona es la ciudad española con mayor porcentaje de mujeres propietarias de PTW: el 27 %, mientras que en otras metrópolis como Madrid sólo representan el 14 % (Figura 50).

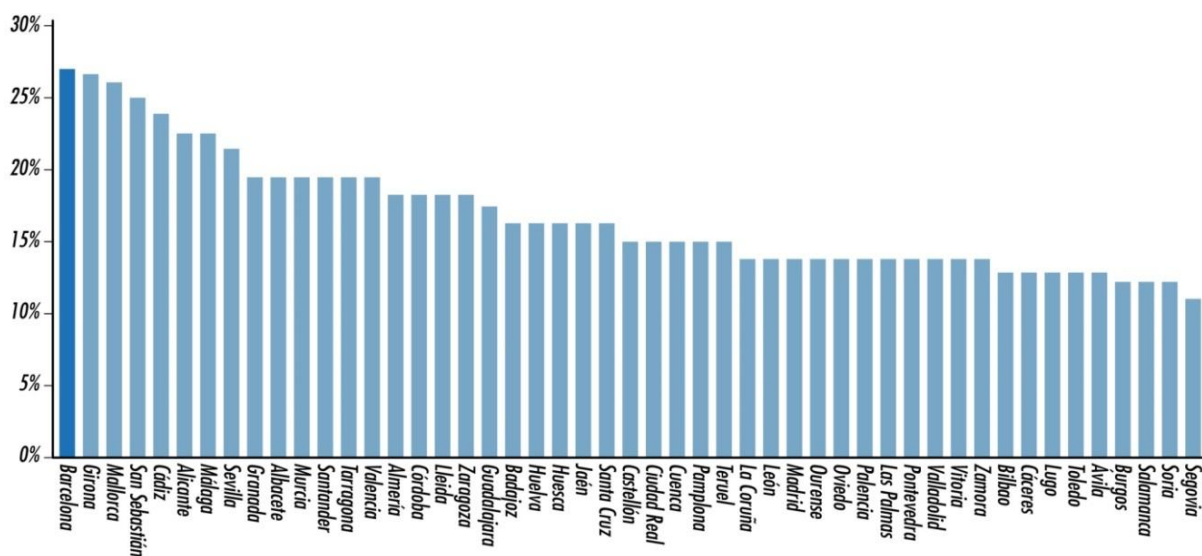


Figura 50 Porcentaje de PTWs cuyo titular es una mujer, por ciudades.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGT.

La variable Ratio Motos Mujer representa el porcentaje de vehículos motorizados de dos ruedas propiedad de mujeres respecto al total PTW.

El resumen estadístico descriptivo de esta variable se muestra a continuación (Tabla 37).

Tabla 37 Porcentaje de PTW propiedad de mujeres

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
RATIO MOTOS MUJERES	50	11,0%	27,1%	16,718%	4,0874%
Valid N (listwise)	50				

Podemos observar que el porcentaje de motos propiedad de las mujeres oscila entre el 11% y el 27,1%, con una media del 16,7%. Gráficamente presenta la siguiente distribución:

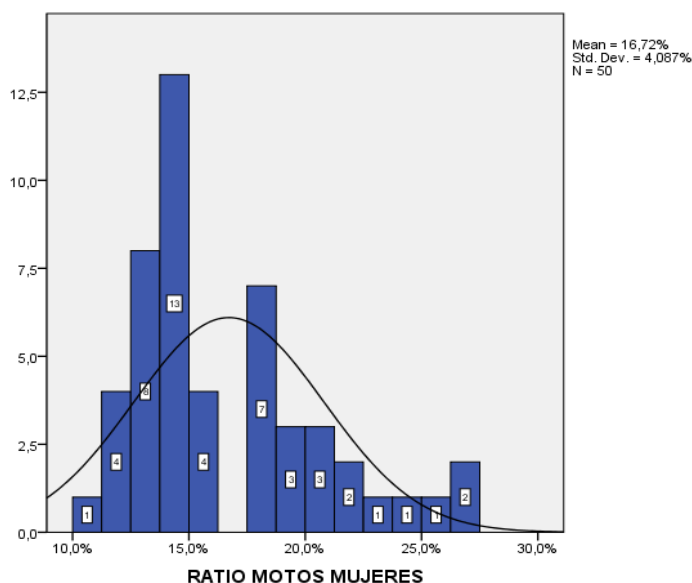


Figura 51 Histograma ratio motos mujeres

3. Modelo de regresión

El análisis del fenómeno del elevado número de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona, en relación con el resto de ciudades españolas, puede ser realizado a partir de la elaboración de un modelo que simule el comportamiento del volumen de vehículos PTW y su uso en función de las variables relacionadas en el apartado anterior. El modelo de regresión lineal múltiple que se procede a emplear permite explicar el efecto de las diversas variables explicativas y explorar la capacidad predictiva del mismo.

Para desarrollar el modelo (cantidad de PTW por cada 100 habitantes), se dispone de una muestra del conjunto de capitales de provincia de España, más las ciudades de L'Hospitalet de Llobregat, Santiago de Compostela, Vigo y Gijón.

Como las variables a explicar y la explicada son variables continuas, se usará un modelo de regresión múltiple que permite entender y cuantificar el efecto de cada variable explicativa sobre la variable respuesta de forma multivariable y realizar predicciones sobre la respuesta de forma controlada (Sen y Srivastava, 1990).

3.1 Variables

La variable dependiente sería:

“Motos por cada 100 habitantes”.

Las variables que se tendrán en cuenta como explicativas son:

- **Factor lluvia, poco sol y temperaturas medias bajas.** (Cuanto más inclemente el tiempo menor uso de PTW. **Signo esperado negativo**).
- **Factor Temperaturas altas** Cuanto mayor sea la temperatura, mayor uso de PTW. **(Signo esperado positivo)**.
- **Superficie, Densidad, y una variable dicotómica que relaciona superficie y población.** Los signos esperados dependen del tamaño de las ciudades al variar el comportamiento del uso de PTW según tres rangos de tamaño de ciudad. **(El signo esperado dependerá el rango en que se encuentre la ciudad. Para ciudades pequeñas y muy extensas comportamiento negativo; para ciudades intermedias comportamiento positivo)**.
- **% de TPW propiedad de las mujeres.** Cuanto mayor sea el número de mujeres propietarias de PTW, mayor será la movilidad global en PTW. **(Signo esperado positivo)**.

3.2 Modelo de regresión múltiple

La especificación del modelo es:

$$M100Hab_i = \alpha + \beta_{Lluvia} Lluvia_i + \beta_{Temp} Temp_i + \beta_{Sup} Sup_i + \beta_{Mujer} Mujer_i + \beta_{Den} Den_i + \beta_{Den*Sup} DenSup_i + \varepsilon_i$$

$\varepsilon_i : IN(0, \sigma) \forall i$

$M100Hab_i$, variable aleatoria de las motos por cada 100 habitantes para unos valores fijados de todas las variables explicativas.

$\alpha, \beta_{Lluvia}, \beta_{Temp}, \beta_{Sup}, \beta_{Mujer}, \beta_{Den}, \beta_{Den*Sup}$, parámetros poblacionales para la constante, y para los coeficientes de las variables Lluvia, Temperaturas altas, Superficie dicotómica, Motos mujer, Densidad y para la interacción entre la variable Superficie dicotómica y la densidad.

$Lluvia_i, Temp_i, Sup_i, Mujer_i, Den_i, DenSup_i$, valores concretos de las variables explicativas.

ε_i Variable “error aleatorio” para valores fijados de las variables explicativas

$\varepsilon_i : IN(0, \sigma) \forall i$ Supuestos del modelo. Los errores aleatorios son variables aleatorias de media cero (linealidad), de distribución normal (normalidad), de desviación estándar siempre σ (homocedasticidad) e independientes entre ellos (aleatoriedad)

Variables explicativas:

- Lluvia_i : 1^{er} Factor extraído del análisis de componentes principales climatológicos
- Temp_i : 2^o Factor extraído del análisis de componentes principales climatológicos
- Sup_i : Variable dicotómica en función de la superficie de la ciudad
- Ratio Mujer_i : Ratio Mujer Moto. Porcentaje de mujeres titulares de PTW frente al total de titulares de PTW
- Den_i : Densidad de la ciudad

El modelo con los datos absolutos de la variable respuesta da un coeficiente de determinación del 80,9%. Por lo que la variabilidad del uso de PTWs está explicada por estas variables explicativas (Tabla 38).

Tabla 38 Resumen del modelo

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,899 ^a	,809	,782	1,6000737	2,261

a. Predictors: (Constant), Densidad Escalada:100, Superficie Dicotómica, LLUVIA, POCO SOL Y TEMPERATURAS MEDIAS BAJAS, TEMPERATURAS ALTAS , RATIO MOTOS MUJERES, Densidad Interacción Superficie Escalada:100

b. Dependent Variable: Motos por habitante

Si probamos el modelo transformando la variable respuesta en su forma logarítmica (modelo log-level), obtenemos un mejor coeficiente de determinación, al alcanzar 82,1%.

Tabla 39 Resumen del modelo

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,906 ^a	,821	,796	,16453	2,289

a. Predictores: (Constante), Densidad Interacción Superficie Escalada:100, LLUVIA, POCO SOL Y TEMPERATURAS MEDIAS BAJAS, TEMPERATURAS ALTAS , RATIO MOTOS MUJERES, Superficie Dicotómica, Densidad Escalada: 100

b. Variable dependiente: LOGMotosHab

3.3 Análisis de la autocorrelación espacial

Al tratarse de un modelo en que los datos provienen de ubicaciones espaciales (ciudades) se debe valorar la posibilidad de que exista una autocorrelación espacial en los errores. Una de los métodos para poder eliminar la posible autocorrelación, es incluir en el modelo las variables que contengan la información relativa a la localización espacial.

En una primera fase exploratoria se contempló la factibilidad de incluir las variables longitud, latitud y altura siendo una posibilidad incluirlas en una construcción de factores con análisis de componentes principales. Realizado dicho análisis se descartó su aplicación, ya que no se obtuvo significación estadística en la posible integración en factores. Una vez elaborado el modelo se ha procedido a correlacionar las variables espaciales (longitud, latitud y altura) con los residuos de la regresión utilizada y se observa no hay correlación entre éstas y los residuos. Tal como se puede observar, las correlaciones son muy bajas y no significativas (p-valor>0,05).

Tabla 40 Correlaciones entre residuos y variables espaciales

		Latitud	Longitud	Altitud	Unstandardiz ed Residual
Latitud	Pearson Correlation	1	,294*	,133	-,129
	Sig. (2-tailed)		,039	,359	,372
	N	50	50	50	50
Longitud	Pearson Correlation	,294*	1	-,039	-,038
	Sig. (2-tailed)	,039		,787	,792
	N	50	50	50	50
Altitud	Pearson Correlation	,133	-,039	1	,069
	Sig. (2-tailed)	,359	,787		,636
	N	50	50	50	50
Unstandardized Residual	Pearson Correlation	-,129	-,038	,069	1
	Sig. (2-tailed)	,372	,792	,636	
	N	50	50	50	50

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

También se ha procedido a analizar los residuos del modelo (diferencias entre los valores que predice el modelo y los valores observados), en relación con las distancias entre ciudades españolas con el fin de analizar la posible autocorrelación espacial entre los residuos. Se constata como no hay correlación entre los residuos y errores, en relación con las distancias entre ciudades ya que las correlaciones son muy bajas y no significativas ($p\text{-valor} > 0,05$).

Tabla 41 Correlación entre residuos y errores y distancias entre ciudades

		Distancia
Residuos	Pearson correlation	0,008
	P-Value	0,813
	N	903
Error	Pearson correlation	-0,015
	P-Value	0,643
	N	903
Error absoluto	Pearson correlation	0,029
	P-Value	0,385
	N	903

Se puede considerar por tanto que las variables explicativas absorben la posible autocorrelación, y por tanto la ausencia de autocorrelación en los residuos evidencia que se cumple el principio de independencia.

4. Concreción del modelo

La especificación del modelo mejorado es:

LogPTW 100 Hab → Variable dependiente

$Log(PTW100 Hab_i)$

$$= \alpha + \beta_{Lluvia} Lluvia_i + \beta_{Temp} Temp_i + \beta_{Sup} Sup_i + \beta_{RatioMujer} RatioMujer_i + \beta_{Den} Den_i + \beta_{Den \cdot Sup} Den \cdot Sup_i + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i \approx IN(0, \sigma) \forall i$$

Los parámetros estimados son:

Tabla 42 Coeficientes

Modelo	Coeficientes ^a								
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			95,0% intervalo de confianza para B		Estadísticas de colinealidad	
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	1,089	,125		8,737	,000	,838	1,340		
Densidad Escalada:100	-,002	,001	-,238	-2,826	,007	-,004	-,001	,588	1,700
Superficie Dicotómica	-,120	,066	-,153	-1,826	,075	-,252	,013	,597	1,674
LLUVIA, POCO SOL Y TEMPERATURAS MEDIAS BAJAS	-,089	,024	-,243	-3,648	,001	-,137	-,040	,938	1,066
TEMPERATURAS ALTAS	,065	,027	,179	2,406	,021	,011	,119	,758	1,320
RATIO MOTOS MUJERES	,068	,007	,764	9,434	,000	,053	,083	,637	1,570
Densidad Interacción Superficie Escalada:100	,002	,001	,170	1,705	,095	,000	,005	,421	2,374

a. Variable dependiente: LOGMotosHab

$$\alpha \rightarrow 1,089 ; \beta_{Lluvia} \rightarrow -0,089 ; \beta_{Temp} \rightarrow 0,065 ; \beta_{Sup} \rightarrow -0,120 ;$$

$$\beta_{Mujer} \rightarrow 0,068 ; \beta_{Den} \rightarrow -0,002 ; \beta_{Den \cdot Sup} \rightarrow 0,002$$

Por lo tanto, el hiperplano que mejor ajusta es:

$Log(PTW100 Hab_i)$

$$= 1,089 - 0,089 \cdot Lluvia_i + 0,065 \cdot Temp_i - 0,120 \cdot Sup_i + 0,068 \cdot RatioMujer_i - 0,002 Den_i + 0,002 Den \cdot Sup_i + \varepsilon_i$$

El coeficiente de determinación (R^2) que mide la bondad del ajuste es elevado 82,1 %. Lo que significa que de todo lo que varían el número de PTW, el 82,1 % está explicado por la variación el conjunto de variables explicativas empleadas.

Para comprobar que a nivel global hay relación lineal debemos plantear el test global ANOVA de regresión (Tabla 43).

La hipótesis nula (H_0) formulada para la verificación global del modelo es:

(H_0) = El conjunto de variables independientes NO explican el uso PTW.

(H_1) = El conjunto de variables independientes SI explican el uso PTW.

$$\begin{cases} H_0 : \beta_{Lluvia} = \beta_{Temp} = \beta_{Sup} = \beta_{Mujer} = \beta_{Den} = \beta_{Den \cdot Sup} = 0 & \text{No Relación lineal global} \\ H_1 : \text{alguna } \beta \neq 0 & \text{Relación lineal global} \end{cases}$$

Tabla 43 ANOVA Motos por habitante

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	5,325	6	,887	32,785	,000 ^b
	Residuo	1,164	43	,027		
	Total	6,489	49			

a. Variable dependiente: LOGMotosHab

b. Predictores: (Constante), Densidad Interacción Superficie Escalada:100, LLUVIA, POCO SOL Y TEMPERATURAS MEDIAS BAJAS, TEMPERATURAS ALTAS , RATIO MOTOS MUJERES, Superficie Dicotómica, Densidad Escalada:100

El p-valor es prácticamente 0 y, por tanto, rechazamos la hipótesis nula de no relación lineal global a favor de que sí que hay relación lineal global entre la cantidad de PTW por cada 100 habitantes y las variables explicativas en su conjunto.

Observando los gráficos de los residuos podemos, de manera aproximada, suponer normalidad, homocedasticidad y linealidad de los errores aleatorios. Respecto a la aleatoriedad, podemos comprobar que el estadístico de Durbin-Watson se acerca a 2 (2,289) y, en consecuencia, también podemos suponer los errores aleatorios independientes.

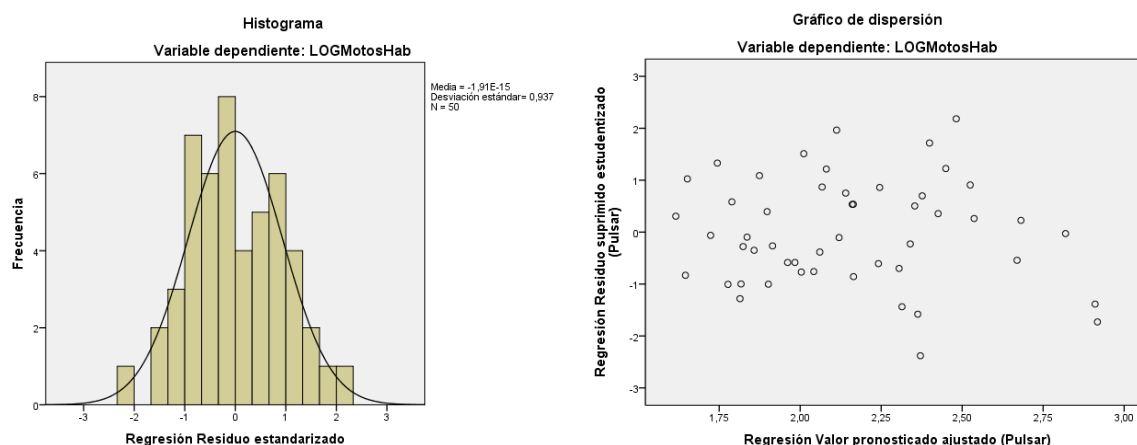


Figura 52 Histograma y gráfico de dispersión.

Para comparar el peso de cada una de las variables debemos establecer los coeficientes estandarizados que se relacionan a continuación:

- Ratio Mujeres: Porcentaje de mujeres titulares de PTW: 0,764
- Lluvia: -0,243
- Densidad: 0,238
- Temperatura: 0,179
- Interacción Densidad/superficie: 0,170
- Superficie dicotomía: 0,153

Tal y como indican los coeficientes estandarizados, la variable porcentaje de mujeres propietarias de PTW es la variable con más peso explicativa del fenómeno. La segunda variable es la relacionada con el factor lluvia, de manera que el incremento de las

precipitaciones reduce el uso de PTW. En el este sentido al no ser la PTW vehículos carrozados, la lluvia supone una penosidad notable en la conducción.

Para una mejor interpretación del efecto de las variables explicativas sobre la variable respuesta usaremos los intervalos de confianza de las estimaciones de estos efectos.

Lluvia, poco sol y temperaturas medias bajas

Dado el p-valor (0,001), podemos considerar que esta variable tiene un efecto significativo sobre el uso de PTW. También observamos que el coeficiente o estimación puntual del parámetro es -0,089 lo que indica que el efecto confirmado antes es negativo. Por tanto, más lluvia y poco sol implica menos uso de los PTW. Para cuantificar este efecto tomamos el intervalo de confianza del coeficiente y con una confianza del 95% podemos considerar que una desviación estándar más en el factor de lluvia, poco sol y temperaturas medias altas de una ciudad va asociado a una disminución en media del porcentaje de la cantidad de motos por cada 100 habitantes de entre un 4% y un 13,7% para un valor fijado de las otras variables explicativas.

Temperaturas medias altas

Dado el p-valor (0,021), podemos considerar que esta variable tiene un efecto significativo sobre el uso de los PTW. También observamos que el coeficiente o estimación puntual del parámetro es 0,065 lo que indica que el efecto confirmado antes es positivo. Por tanto, más temperaturas altas implican más uso de los PTW. Para cuantificar este efecto tomamos el intervalo de confianza del coeficiente y podemos concluir: con una confianza del 95% se puede considerar que una desviación estándar más en el factor de temperaturas altas de una ciudad va asociado a un aumento en media del porcentaje de la cantidad de PTW por cada 100 habitantes de entre un 1,1% y un 11,9% para un valor fijado de las otras variables explicativas.

Densidad, superficie dicotómica y su interacción

Uno de los objetivos de este estudio, la parte que nos interesa es confirmar que dentro del rango obtenido para la superficie dicotómica, a más densidad, más uso de los PTWs. Por lo que debemos fijarnos en la interacción.

En los casos en los que la superficie de las ciudades no pertenece al rango parametrizado [90,200], es decir, en ciudades con superficies mayores a 200 e inferiores a 90, el efecto de la densidad es significativo y negativo. Ahora bien, según lo esperado, para los casos de poblaciones dentro del rango especificado, a mayor densidad mayor uso de los PTW determinado por el resultado positivo de la suma de los dos coeficientes (el de densidad: -0,002326 y el de la interacción: 0,002382), o sea 0,000056). El efecto de la interacción de los dos coeficiente permite modelizar que en las ciudades dentro del rango, a mayor densidad mayor uso de la moto.

Respecto a la significación estadística, a pesar que las variables en cuestión tienen p-valores por encima del 5 % (0,075; 0,095), son significativas a un nivel del 10 %. Con el fin de poder incluir en el modelo el efecto de que un rango de ciudad que tiene un comportamiento diferenciado en el uso de la moto en función del tamaño de la ciudad y su densidad, es necesario mantener éstas variable a un nivel de significación del 10 %.

Propiedad PTW por parte de las mujeres.

Dado el p-valor para participación mujer (prácticamente nulo) podemos considerar que dicha variable tiene un efecto significativo sobre el uso de los PTW. También observamos que el coeficiente o estimación puntual del parámetro es 0,068 lo que indica que el efecto

confirmado antes es positivo. O sea, más participación de la mujer implica más uso de los PTW. Para cuantificar este efecto tomamos el intervalo de confianza del coeficiente y podemos concluir: con una confianza del 95% podemos considerar que un punto porcentual más en la propiedad de PTW por parte de las mujeres va asociado a un aumento en media del % de la cantidad de motos por cada 100 habitantes de entre 5,3% y 8,3% para un valor fijado de las otras variables explicativas.

Por lo que el elevado número de motocicletas en la ciudad de Barcelona en relación con el resto de ciudades españolas se explica por un conjunto de variables favorables a su uso y conducción. Dichos factores no se dan conjuntamente, ni con los mismos niveles, en otros entornos, lo cual explica las diferencias entre ciudades. Se constata un comportamiento claramente diferenciado respecto al número de automóviles, cuya distribución de la propiedad es más homogénea en el conjunto de ciudades españolas.

Los atributos que hacen más favorable el uso de PTW en la ciudad de Barcelona son una climatológica mediterránea litoral de temperaturas cálidas con una moderada amplitud térmica que favorece que durante gran parte del año se pueda pilotar en condiciones de suficiente confortabilidad. Además, aunque en Barcelona cae una cantidad elevada de agua de lluvia a lo largo del año, las tormentas son escasas, aunque torrenciales (llueve mucho en pocos episodios), y llueve más durante el periodo nocturno, de menor circulación que durante el día.

Otro factor es el tamaño medio de la ciudad, que tiene unas dimensiones que hacen que las distancias medias de los desplazamientos no sean prolongadas, y una muy elevada densidad, que hace más versátil y funcional la circulación con PTW.

Por último, otro factor particular de la ciudad de Barcelona respecto al resto de ciudades españolas, es que es la ciudad que porcentualmente tiene un mayor número de mujeres propietarias de PTW, por lo que las mujeres cada vez utilizan más este modo transporte, favorecido por el carácter terciario y de servicios de la ciudad, el incremento de la elevada tasa de población activa femenina y las menores tasas de hijos por mujer, lo cual se traduce en un mayor número de desplazamientos de carácter laboral de la mujeres, una parte de los cuales se realizan en motocicleta. Las mujeres tienen una alta sensibilidad a la aversión del riesgo, de modo que las políticas de pacificación del tránsito han mejorado la percepción en la seguridad de la conducción y favorecido el uso de este tipo de vehículos por el colectivo de las mujeres. Por lo que la mayor participación de la mujer en el uso de los PTW motocicleta es un factor que completa la explicación del elevado número de motocicletas en la ciudad de Barcelona.

5. Capacidad predictiva del modelo definitivo.

El modelo finalmente adoptado es una función de regresión lineal múltiple, basado en un conjunto de variables. El coeficiente de determinación (R^2) que cuantifica la bondad del ajuste es elevado 82,1 %. Podemos interpretar éste coeficiente, afirmando que de toda la variabilidad en el uso de los PTW para las diferentes ciudades, el 82,1 % está explicada por la variabilidad de las variables explicativas del modelo.

Otra forma de valorar el ajuste del modelo y su capacidad predictiva es el porcentaje medio de error en cada una de las predicciones. Por tanto se calcula la media de los errores por cada observación:

$$\% \text{ prediccion} = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\text{dato real} - \text{dato modelo}}{\text{dato real}} \right)}{n} \quad [6.1]$$

El porcentaje medio de errores es de 12,84 %. Por lo que lo resultados de media se ajustan en un 86,9 % al valor real estimado. Se trata de un nivel muy elevado de capacidad predictiva del modelo.

Tabla 44 Ajuste de la predicción del modelo

CIUDAD	PTW/100h	Ratio Mujer Moto	Densidad	InterDenSu pDico190200	FAC_LLUVI A_SINGEOG	FAC_BUEN_TIEM PO_SINGEOG	SupDico 190200	PREDICCION	ERROR PREDICCION	PROMEDIO ERROR ABSOLUTO
Barcelona	16,558	26,69%	16582,53	165,83	0,1801	0,4846	1	16,587	-0,03	0,17%
L'Hospitalet de Ll.	10,090	23,00%	18146,86	0,00	0,1678	0,6483	0	9,563	0,53	5,23%
Burgos	4,461	11,59%	1646,11	16,46	0,1142	-1,9590	1	5,055	-0,59	13,33%
Santander	9,693	18,90%	4975,36	0,00	1,6055	0,5692	0	8,613	1,08	11,14%
Córdoba	12,026	17,99%	262,17	0,00	-0,8322	0,7676	0	11,357	0,67	5,57%
Tarragona	11,461	18,51%	2089,91	20,90	-0,2613	0,5363	0	10,559	0,9	7,87%
Castellón de la Pl.	9,517	14,66%	87,20	0,00	-0,3901	0,7720	0	8,741	0,78	8,15%
Palmas de G.C.	8,171	14,08%	3834,33	38,34	-0,8513	1,7300	1	8,301	-0,13	1,58%
Sevilla	13,244	20,84%	4969,26	49,69	-0,9284	1,1032	1	12,712	0,53	4,02%
Lugo	6,165	13,45%	299,37	0,00	1,4410	-0,5304	0	6,260	-0,09	1,54%
Alicante	13,140	21,83%	1671,92	16,72	-0,7568	0,9312	0	14,320	-1,18	8,98%
Oviedo	5,540	13,66%	1206,91	12,07	1,9939	-0,0094	1	5,593	-0,05	0,96%
Valladolid	6,019	14,15%	1569,76	15,70	-0,2066	-1,5588	1	6,352	-0,33	5,53%
Albacete	12,140	18,74%	151,59	0,00	-0,7320	-0,6021	0	10,857	1,28	10,56%
Cuenca	9,166	14,76%	58,50	0,00	-0,6083	-1,0482	0	7,978	1,19	12,96%
Zamora	7,151	13,83%	435,86	4,36	-0,3753	-0,5723	1	6,722	0,43	6,01%
Pamplona	6,640	14,75%	8310,34	0,00	0,3862	-0,9354	0	6,070	0,57	8,58%
Vitoria/Gasteiz	5,901	13,61%	870,8	0,00	1,1751	-1,0858	0	6,167	-0,27	4,51%
Málaga	15,193	22,16%	1441,01	0,00	-0,6056	1,0720	0	14,657	0,54	3,52%
Badajoz	10,930	16,02%	102,17	0,00	-0,4971	0,5276	0	9,523	1,41	12,87%
Valencia	9,971	18,59%	5795,93	57,96	-0,4442	0,9173	1	10,332	-0,36	3,62%
Ávila	6,472	13,19%	258,09	2,58	-0,7368	-2,0949	0	6,744	-0,27	4,21%
Huesca	7,337	15,90%	324,17	3,24	-0,3132	-0,3798	1	7,792	-0,45	6,19%
Huelva	8,438	15,80%	973,71	9,74	-1,1865	1,1812	1	9,261	-0,82	9,76%
Santa Cruz de T.	8,831	16,21%	1363,65	13,64	-1,0883	1,7802	1	9,812	-0,98	11,11%
Girona	14,188	27,15%	2438,4	24,38	0,2498	-0,0914	0	17,285	-3,1	21,82%
Santiago de C.	4,907	12,23%	432,03	4,32	2,1930	0,3262	0	5,683	-0,78	15,82%
Madrid	6,422	13,83%	5302,99	0,00	-0,6487	-0,1635	0	7,046	-0,62	9,70%
Murcia	14,589	19,42%	494,86	0,00	-1,0262	0,7291	0	12,630	1,96	13,43%
Cáceres	9,864	13,42%	54,78	0,00	-0,7647	0,4803	0	8,158	1,71	17,29%
Coruña, A	5,150	13,73%	6575,48	0,00	1,4055	0,6967	0	5,991	-0,84	16,34%
Teruel	9,676	14,77%	81,64	0,00	-0,6858	-1,7614	0	7,673	2	20,70%
Ourense	6,578	14,09%	1263,71	12,64	0,6151	0,2187	0	7,224	-0,65	9,83%
Palma de Mallorca	13,677	25,63%	1890,61	18,91	-0,2271	0,9862	0	17,671	-3,99	29,21%
Pontevedra	7,891	14,45%	697,51	6,98	1,1903	0,8076	1	6,680	1,21	15,34%
San Sebastián	15,188	24,55%	3072,49	30,72	2,4447	0,2021	0	11,977	3,21	21,14%
Bilbao	5,329	12,60%	8418,22	84,18	1,5803	0,2724	0	5,092	0,24	4,45%
Almería	14,300	17,94%	648,37	0,00	-1,0634	1,2629	0	11,821	2,48	17,34%
Toledo	6,766	13,18%	360,78	3,61	-0,6676	-0,0363	0	7,639	-0,87	12,91%
Soria	7,225	11,84%	146,26	0,00	-0,3603	-2,2512	0	5,907	1,32	18,25%
Vigo	11,627	19,41%	2695,26	26,95	1,9008	0,6759	1	8,724	2,9	24,97%
Logroño	6,514	14,69%	1915,72	19,16	0,1988	-0,4108	0	7,380	-0,87	13,28%
Salamanca	4,928	12,29%	3863,77	0,00	-0,4653	-1,2504	0	6,019	-1,09	22,13%
Ciudad Real	7,535	14,96%	261,61	0,00	-0,6638	-0,0211	0	8,649	-1,11	14,78%
León	5,636	13,98%	3314,75	33,15	-0,3204	-1,6004	0	6,599	-0,96	17,10%
Segovia	6,262	11,00%	332,37	3,32	-0,5414	-1,3291	1	5,360	0,9	14,40%
Granada	17,144	20,43%	2687,21	26,87	-1,2009	-0,1455	0	12,331	4,81	28,08%
Gijón	7,822	20,77%	1516,66	15,17	1,5880	0,4344	1	9,673	-1,85	23,65%
Lleida	8,177	18,25%	660,72	6,61	-0,5527	-0,1847	0	10,499	-2,32	28,38%
Zaragoza	7,322	18,37%	641,28	0,00	-0,4281	-0,0914	0	10,535	-3,21	43,89%

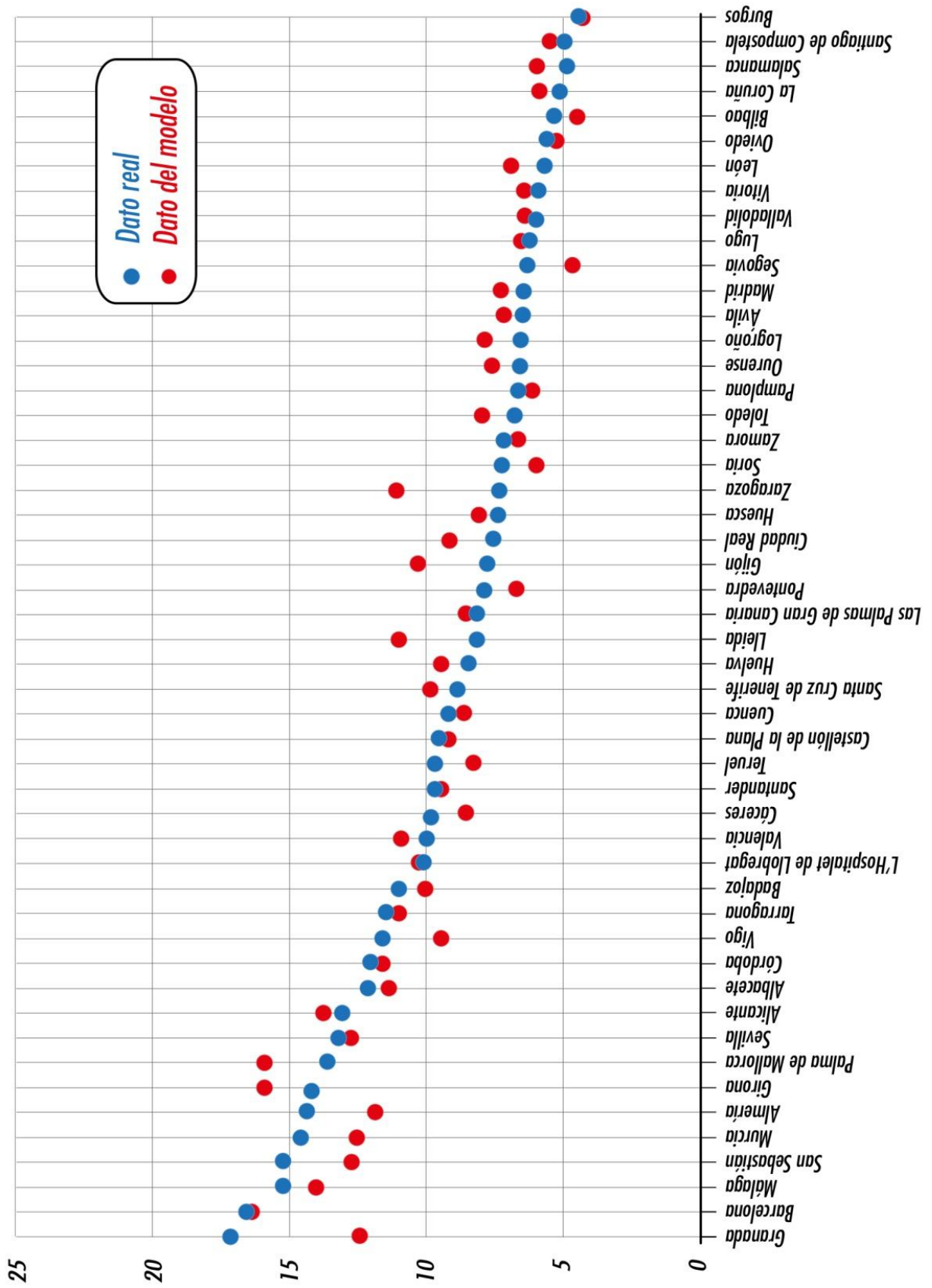


Figura 53 Ajuste del modelo: Relación entre los datos reales y la predicción del modelo.

6. Conclusión.

Modelo explicativo del mayor número de PTW en la ciudad de Barcelona respecto al resto de ciudades de España.

El 29 % de los vehículos motorizados censados en la ciudad de Barcelona son motocicletas y ciclomotores (PTWs). Barcelona se configura como la ciudad española con mayor porcentaje de PTW en relación con el total de vehículos motorizados. El segundo modelo realizado pretende identificar las variables que explican por qué en la ciudad de Barcelona hay una mayor proporción de vehículos motorizados de dos ruedas que en el resto de ciudades españolas.

Se ha definido un modelo de regresión múltiple que permite identificar las variables explicativas de la variable dependiente y la posibilidad de predecir nuevos valores para entornos diferentes. Después de un estudio univariante sobre el impacto de las posibles variables explicativas en la variable objetivo, se han acabado considerando los siguientes grupos de variables.

- Un primer grupo de variables de carácter climatológico. Los ocupantes de PTWs se encuentran expuestos directamente a las inclemencias de los meteoros debido a que generalmente son vehículos no carrozados. Una climatología con un carácter más confortable, con temperaturas medias no muy bajas y con menor número de días con lluvia y frío favorece la utilización de PTW. Las zonas con climatología más rigurosa con mayores amplitudes térmicas y episodios meteorológicos tienden a reducir el número de personas que se desplazan en PTW. A partir del conjunto extenso de variables climáticas se ha procedido a un análisis de componentes principales obteniendo un más que suficiente % de varianza explicada del 78% con todas las comunalidades satisfactorias donde han aparecido 2 dimensiones o factores, por lo que del conjunto de variables climatológicas se han acabado extrayendo dos factores.
- Un segundo grupo de variables son las relacionadas con el tamaño y densidad de la ciudad. En las ciudades pequeñas prevalecen los desplazamientos a pie; si la ciudad es muy grande los desplazamientos tienden a ser prolongados haciendo más atractivo el uso del automóvil, especialmente en las conexiones periféricas con menores restricciones de estacionamiento. Se ha constatado que el uso de PTWs tiende a estar más extendido en ciudades de tamaño intermedio, conforme se incrementa su densidad. En los entornos densos, los problemas de estacionamiento y congestión hacen más competitivas a las motocicletas y ciclomotores.
- El último grupo de variables es el relativo a la participación de la mujer en la movilidad en modos mecánicos. Tradicionalmente los PTWs tienen a ser más utilizados por los hombres que por las mujeres. Conforme avanza la sociedad y aumenta la participación de la mujer en el mercado laboral, se produce un aumento de la movilidad por motivo trabajo por parte de las mujeres. En entornos urbanos densos el uso de PTWs es una opción en aumento por parte de las mujeres trabajadoras para sus demandas de movilidad, factor que presiona a favor del aumento de los desplazamientos en PTWs. Se ha verificado una correlación significativa entre mujeres propietarias de PTWs y su número por ciudades.

Al trabajar con variables factorizadas y dicotómicas, ha sido posible plantear la formulación de un modelo de regresión lineal múltiple en el que se ha conseguido evitar la multicolinealidad, y, por ello, estadísticamente robusto. Las variables significativas restituyen la variable dependiente con una elevada fidelidad.

PTW 100 hab. → Variable dependiente

$$PTW100 Hab_i = \alpha + \beta_1 Factor Lluvia_i + \beta_2 Factor Temp_i + \beta_3 Sup_i + \beta_4 \% propiedad Mujer_i + \beta_5 Den_i + \beta_6 Den \cdot Sup_i + \varepsilon_i$$

Factores y variables explicativas:

- Lluvia_i : 1^{er} Factor extraído del análisis de componentes principales climatológicos
- Temp_i : 2^o Factor extraído del análisis de componentes principales climatológicos
- Sup_i:: Variable dicotómica en función de la superficie de la ciudad
- Ratio Mujer_i : Ratio Mujer Moto. Porcentaje de mujeres titulares de PTW frente al total de titulares de PTW
- Den_i : Densidad de la ciudad

El coeficiente de determinación (R²) que mide la bondad del ajuste es del 80,9 %. Otra forma de valorar el ajuste de los modelos y su capacidad predictiva es el porcentaje medio de ajuste de las predicciones, consiguiendo en un modelo un ajuste medio del 86,9 %.

Los gráficos de los residuos permiten suponer normalidad, homocedasticidad y linealidad de los errores aleatorios. Queda verificada la aleatoriedad de los errores aleatorios con valores del estadístico de Durbin-Watson próximos a 2 (2.261).

Para realizar el contraste de la hipótesis nula (H₀): No relación lineal global se ha planteado un test global ANOVA de regresión de contraste de hipótesis.

$$\begin{cases} H_0 : \beta_{Lluvia} = \beta_{Temp} = \beta_{Sup} = \beta_{Mujer} = \beta_{Den} = \beta_{Den*Sup} = 0 & \text{No Relación lineal global} \\ H_1 : \text{alguna } \beta \neq 0 & \text{Relación lineal global} \end{cases}$$

El p-valor es prácticamente 0 y, por tanto, rechazamos la hipótesis nula de NO relación lineal global a favor de que sí que hay relación lineal global entre la cantidad de PTW por cada 100 habitantes y las variables explicativas en su conjunto, quedando verificada la hipótesis alternativa (H₁) de que SI existe relación lineal global.

El modelo permite identificar como variables explicativas de la mayor proporción de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona con respecto al resto de ciudades españolas el efecto de variables climatológicas relacionadas con un clima mediterráneo litoral con temperaturas medias no muy bajas y con menor número de días con lluvia y frío; variables relacionadas con la morfología de la ciudad de manera que el tamaño medio de la ciudad y su elevada densidad favorecen los desplazamientos en PTW, y por último el elevado uso de PTW por parte de las mujeres es una contribución en éste tipo de modo relacionado con la mayor participación de la mujer en el mercado laboral.

PARTE 5

CONCLUSIONES

Capítulo 7

Conclusiones, aportaciones y futuros trabajos

1. Revisión de los objetivos y resultados

La presente tesis tiene por objetivo contribuir al conocimiento de la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas (PTW) en el ámbito de la ciudad de Barcelona, la ciudad del estado español con mayor número de motocicletas y ciclomotores circulando por sus calles, y una de las ciudades occidentales en las que, proporcionalmente, más se utilizan los vehículos motorizados de dos ruedas (PTW). El uso de este tipo de vehículos es un fenómeno en expansión global que reclama aportaciones en su conocimiento y en el análisis científico.

Con el fin de hacer aflorar las variables explicativas de los fenómenos objeto de estudio se ha procedido a responder a dos preguntas de investigación: una relativa al porqué de la existencia de un elevado número de motocicletas y ciclomotores en la ciudad de Barcelona en comparación con otras ciudades españolas, y otra al porqué de la continua tendencia de incremento del número de este tipo de vehículos.

El proceso de investigación ha dado como resultado la identificación de variables y factores que tienen una significación relevante en la explicación del fenómeno objeto de estudio. Se ha podido constatar a través de diferentes técnicas la existencia de una relación estadísticamente significativa entre una serie de variables y el uso de vehículos motorizados de dos ruedas. Se trata de una aportación inicial, ya que no existe literatura académica que haya procedido a analizar en profundidad el nivel de relevancia de las diferentes variables.

La identificación de las potenciales variables significativas y el análisis de su comportamiento han permitido elaborar modelos estadístico-matemáticos susceptibles de ser aplicados en el estudio de otros entornos, por lo que podrán ser una herramienta útil para evaluar el uso de los vehículos motorizados de dos ruedas en otras ciudades y ámbitos.

Consideramos que con el trabajo realizado y con los resultados obtenidos se han alcanzado los objetivos marcados. También se han identificado y avanzado en diferentes ámbitos de estudio que perfilan futuras líneas de investigación sobre la materia.

Los vehículos motorizados de dos ruedas son un modo de transporte con elevada accidentabilidad, por lo que profundizar en el conocimiento de su comportamiento puede contribuir a conseguir mejoras en la reducción de accidentes, así como en la implementación de políticas de transporte más sostenibles y seguras.

A continuación procedemos a sintetizar los resultados en las siguientes conclusiones: las dos primeras conclusiones dan respuesta a las dos preguntas de investigación, mostrando las variables representativas del fenómeno; la tercera conclusión es la respuesta al objeto de la tesis, al relacionar las variables que se han identificado como explicativas del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. Por último, se presentan una serie de conclusiones adicionales que completan el ámbito de estudio investigado.

2. Conclusiones

1ª Conclusión:

Respuesta a la primera pregunta de investigación:

¿Qué variables explican el incremento del uso de vehículos motorizados de dos ruedas en Barcelona?

En el periodo de 20 años analizado se ha constatado cómo en la ciudad de Barcelona se ha experimentado un incremento del orden del 34 % en el número de PTW, mientras que el de automóviles ha disminuido un 9 %, circunstancia que evidencia una alteración del reparto en los modos de transporte privados.

Se han analizado los principales cambios susceptibles de explicar el incremento del uso de PTW y se ha constatado una elevada correlación del fenómeno con el incremento en las tarifas del transporte público (+137 %); el aumento del precio de los carburantes (104 %), incrementándose más el diesel (mayoritario en turismos) que la gasolina (mayoritaria en PTW) y una mayor participación de la mujer en el mercado laboral, contribuyendo a aumentar los desplazamientos por movilidad obligada. No ha habido cambios de magnitud en la oferta de Transporte Público, ni se han construido infraestructuras susceptibles de transformar la movilidad en vehículo privado. Tampoco ha habido una introducción de nuevos modelos más asequibles de PTW ni un encarecimiento de los automóviles.

Se ha constatado una voluntad política de promocionar el uso de PTW con la reducción de los requisitos administrativos para pilotar motocicletas y distintas medidas para mejorar la seguridad de los desplazamientos en PTW. Durante del periodo analizado, uno de los mayores cambios en las políticas de movilidad ha sido la extensión de la regulación del estacionamiento en superficie, ampliándose a prácticamente el conjunto de la ciudad el pago por aparcar automóviles en la calle. Se trata de un incremento del 682 % del número de plazas de estacionamiento, que ha reducido las posibilidades de aparcar gratuitamente en la vía pública, suponiendo un encarecimiento del coste operativo del uso del automóvil.

Se ha elaborado un modelo de regresión con el conjunto de variables correlacionadas con el fenómeno. El modelo presenta un coeficiente de determinación muy elevado, pero alta multicolinealidad y significación insuficiente. Por lo que ha sido necesario efectuar un refinado posterior que ha llevado a formular un modelo de regresión lineal simple, donde la variable explicativa es “el número de plazas de estacionamiento regulado en superficie”.

El efecto del aumento del precio del Transporte Público y las medidas de promoción del uso y condiciones de circulación de los PTW han contribuido a incrementar su número. Pero con un coeficiente de determinación (R^2) del 86,2 %, se ha constatado que la variable que estadísticamente explica el incremento del uso de PTW en la ciudad de Barcelona es “el aumento de las plazas de estacionamiento regulado en superficie” (Zona Area Verde), que ha supuesto que gran número de las plazas de aparcamiento en la calle de la ciudad han dejado de tener uso gratuito.

La generalización del pago por estacionar en la vía pública tenía como objetivo manifiesto desincentivar el uso de automóvil incrementando sus costes operativos. Simultáneamente los PTW han visto notablemente aumentada la oferta de plazas de estacionamiento gratuito. El incremento de los costes para uno de los dos modos de transporte ha propiciado una alteración de las condiciones de equilibrio y ha favorecido el aumento del uso de los PTW y la reducción del número de automóviles.

2ª. Conclusión

Respuesta a la segunda pregunta de investigación:

¿Qué variables explican el mayor uso de vehículos motorizados de dos ruedas en Barcelona en comparación con las restantes ciudades de España?

Los PTW se utilizan en mayor medida en Barcelona que en el resto de ciudades españolas por la existencia de ciertas condiciones favorables que posibilitan que en más ocasiones se puedan realizar desplazamientos de manera más confortable y segura.

Los factores que hacen más confortable y seguro el uso de PTW como modo de transporte son las condiciones climatológicas favorables de temperaturas altas y escasos días de lluvia, nieve y niebla, unido a que, en promedio, los desplazamientos no sean prolongados. Ello es debido al carácter compacto de la ciudad que, por su altísima densidad en una moderada extensión, propicia que un elevado número de viajes se realicen en distancias medias, y por tanto, reduzcan la aparición de fatiga en la conducción de PTW.

Las mejores condiciones para la conducción de PTW favorecen la realización de más desplazamientos y facilitan la incorporación de usuarios más sensibles al confort y la seguridad, como en términos globales es el colectivo femenino. En este sentido una variable diferencial de Barcelona es que es la ciudad española donde más mujeres son propietarias de PTW (34 %), más del doble que Madrid (14 %).

Se ha elaborado un modelo de regresión múltiple con factores climatológicos y los datos de superficie, densidad y % de mujeres propietarias de PTW para la totalidad de ciudades españolas. El elevado coeficiente de determinación (R^2) del 82,1 % del modelo permite interpretar que los PTW se utilizan significativamente en la ciudad de Barcelona gracias a las siguientes variables: una climatología favorable (altas temperaturas y escasas inclemencias meteorológicas), una morfología propicia (elevada densidad en una moderada extensión urbana), y la mayor propiedad de PTW por parte de las mujeres en relación con otras ciudades.

Se ha constatado como el entorno geoclimatológico es un factor determinante en el uso de PTW, ya que al tratarse de vehículos no carrozados, las condiciones meteorológicas características del clima mediterráneo facilitan la conducción al reducir los episodios de circular bajo condiciones meteorológicas desfavorables. Dicho factor se completa con un condicionante relativo de la extensión intermedia de las ciudades. De manera que, en las ciudades muy pequeñas, el modo “a pie” es predominante, y en las ciudades muy extensas, el automóvil es preferido a los PTW. De modo que su uso es mayor en ciudades de tamaño intermedio. Los factores anteriores posibilitan la conducción de PTW con unos niveles de confort y seguridad suficientemente atractivos para la mayor incorporación del colectivo de mujeres en el uso de PTW.

3ª. Conclusión:

Respuesta al objeto de la tesis:

Variables que caracterizan los desplazamientos en vehículos motorizados de dos ruedas en la movilidad del ámbito de la ciudad de Barcelona.

Las variables que se han identificado como más significativas favorables al uso de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona son:

1. Condiciones climatológicas favorables a la conducción. Los PTW no disponen de habitáculo, por lo que sus ocupantes se ven expuestos directamente a las condiciones meteorológicas, con una capacidad limitada para protegerse de las precipitaciones y el frío. En las ciudades con un clima más confortable, especialmente las del Mediterráneo y del sur, un menor número de días desapacibles (días con niebla, helada y nevada) favorece la utilización de PTW. Por contra, en las zonas del interior y del norte, el “mal tiempo” es un factor desincentivador.

Los factores climatológicos favorables a la conducción de TPW en la ciudad de Barcelona vienen dados porque la proximidad del mar genera un efecto de atemperación de las temperaturas, posibilitando un clima de carácter litoral templado y subhúmedo sin prolongados periodos de calor en verano ni periodos de fríos intensos en invierno. El carácter compacto y extremadamente denso de la ciudad genera un efecto de barrera que atenúa los flujos de aire, que pueden llegar a ser molestos y afectar a la conducción de vehículos motorizados de dos ruedas. Por último, aunque en Barcelona la cantidad total anual de lluvia es relativamente elevada, las precipitaciones tienen carácter torrencial, cayendo mucha agua en pocos episodios, lloviendo además menos durante el día que por la noche, cuando la circulación es reducida, y por tanto, con menor posibilidad de afectar a los usuarios de PTW.

2. Tamaño y densidad de la ciudad favorables al uso de los PTW

Se ha confirmado que el tamaño de las ciudades y su nivel de densidad condicionan el uso de PTW. Si una ciudad es muy pequeña, las cortas distancias de desplazamiento hacen que el modo pie sea el más habitual. Si la ciudad es muy extensa, el modo automóvil tiene mayor facilidad para estacionar y los largos desplazamientos hacen que sea un modo muy versátil. Los PTW son más competitivos en las ciudades de tamaño intermedio, con distancias medias de desplazamientos y elevada densidad.

Barcelona es una ciudad de tamaño medio (la segunda ciudad en habitantes y la decimocuarta en extensión). Su extrema densidad reduce las posibilidades de estacionar automóviles en la vía pública, y hace que los PTW sean más versátiles para los desplazamientos en el interior de la ciudad gracias a su menor tamaño y mayor facilidad para aparcar.

3. Mayor uso de PTW por parte de las mujeres que en el resto de España.

Tradicionalmente, los vehículos motorizados de dos ruedas suelen ser más utilizados por los hombres que por las mujeres. Si bien, dicha tendencia tiende a reducirse conforme el avance socio-económico favorece un aumento de la participación de la mujer en el mercado laboral, y la consiguiente realización de más desplazamientos por motivo de trabajo.

Barcelona es la ciudad española con mayor porcentaje de mujeres propietarias de PTW: el 27 %. Las condiciones más confortables de conducción y seguridad favorecen que las mujeres utilicen el modo PTW. El carácter terciario y de servicios de la ciudad, el incremento de la población activa femenina y las menores tasas de hijos por mujer, aumentan el aumento de los desplazamientos de carácter laboral de las mujeres, parte de ellos en PTW. Las mujeres tienen una alta sensibilidad a la percepción del riesgo, de modo que las políticas de pacificación del tránsito han mejorado la percepción en la seguridad en la conducción y favorecido el uso de este tipo de vehículos por el colectivo femenino.

4. Políticas públicas de promoción del uso de PTW.

Las autoridades de la ciudad de Barcelona han implementado políticas dirigidas a la desincentivación del uso del automóvil, encareciendo su utilización, favoreciendo el uso del transporte público también el de los PTW como alternativa al automóvil.

Para mejorar el uso de PTW se ha ampliado el número de plazas de aparcamiento gratuitas y mantenido el estacionamiento libre sobre las aceras, factores que, unidos a políticas de pacificación del tránsito, de incremento en la seguridad de los motoristas (zona de detención avanzada, reducción de superficie pintada en los pasos de peatones...) favorecen el mayor uso de los PTW.

5. Estadio alcanzado en la evolución de la motorización

Los niveles de motorización evolucionan en etapas identificables en función de diferentes factores como son el poder adquisitivo, urbanización, densificación, tercerización, infraestructuras, políticas públicas y oferta de modos de transporte.

Los indicadores de motorización en Barcelona son similares a los de otros países desarrollados, habiéndose alcanzado un nivel de saturación en el número de automóviles por habitante. La evolución de la tasa de motorización en la ciudad de Barcelona evidencia un largo periodo de crecimiento hasta que, en el año 2007, se alcanza el número máximo de vehículos por habitante, a la que sigue una sostenida disminución de la flota. Es posible identificar la estabilización en el rango de 600-620 vehículos por 1000 habitantes, para observarse una clara disminución en el número de automóviles, mientras que los PTW tienden a subir. Por lo que el estadio en la evolución de la motorización en que se encuentra la ciudad de Barcelona también contribuye a explicar en cierta medida el incremento del uso de vehículos motorizados de dos ruedas.

4ª. Conclusión:

Efectos del cambio normativo para pilotar PTW.

Se ha procedido a validar si el incremento de uso de los vehículos motorizados de dos ruedas es el resultado de la modificación del Reglamento General de Conductores mediante la aplicación del Real Decreto 1598, que rebajaba las condiciones legales para pilotar PTW, al posibilitar que los titulares de un permiso de conducción de la clase B de automóviles, con una antigüedad superior a tres años, puedan conducir motocicletas hasta 125 cc. Al contrastar la hipótesis nula (H_0) se ha verificado que no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por tanto no podemos afirmar que la variable que explica el incremento del uso de los vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona sea atribuible a dicho cambio normativo.

En cambio, dicho cambio normativo si ha significado una transformación del mercado de los PTW, de manera que ha favorecido una notable reducción del número de ciclomotores que han sido sustituidos por motocicletas, en su mayoría de cilindrada inferior a los 125 cc., ya que en los diez años posteriores a la implantación de la norma (2004-2014), el número de ciclomotores ha experimentado un descenso del orden de un - 33 % , mientras que el número de motocicleta ha aumentado en torno al 39 %.

5ª. Conclusión:

Contextualización de la evolución de los niveles de motorización e identificación del estadio actual.

En esta tesis se ha recopilado información con la que se ha elaborado una curva de la evolución histórica de la motorización en el estado español y una vez analizado su comportamiento, se ha constatado como está ligada al crecimiento económico. Se confirma que la evolución se ajusta a una forma en S curvada (Gompertz) de acuerdo con las teorías y modelos contrastados. Se puede observar un largo período de lento crecimiento, un área de inflexión y un período de expansión más rápido hasta alcanzar niveles de saturación. La evolución de la tasa de motorización (vehículos por cada 1.000 habitantes) permite identificar la estabilización en un rango de 660-685 vehículos / población durante el período 2006-2012.

La tasa de motorización estabilizada en el rango de 675 vehículos por cada 1.000 habitantes es congruente con las estimaciones de los estudios de Dargay, J. y Gatley. D. que, en 1999, hicieron suposiciones y proyecciones de propiedad de vehículos en España en torno a 710 vehículos por cada 1.000 habitantes para el año 2015. Por lo que se ha verificado el ajuste de la proyección empírica de la evolución de la motorización.

3. Principales aportaciones

1ª. Aportación:

Contribución al conocimiento de la movilidad en vehículos motorizados de dos ruedas.

Los desplazamientos en vehículo motorizado de dos ruedas son un componente básico de la movilidad en vehículo de la ciudad de Barcelona, lo que supone alrededor del 39,4% de los desplazamientos internos y del 26 % de los desplazamientos totales en modos mecánicos. El conocimiento de las variables que inciden en la movilidad en vehículo motorizado de dos ruedas es una herramienta útil para el planificador del transporte en su toma de decisiones. Las previsiones y el conocimiento de la evolución de los desplazamientos en dicho modo condicionan las políticas de inversión y la potenciación de determinados modos de transporte.

Toda contribución al mejor conocimiento del comportamiento y tendencias de evolución del uso de PTW en entornos urbanos facilita a los gestores públicos la implementación de medidas para proporcionar servicios de movilidad de calidad en la planificación, suministro, financiación, implementación y control.

2ª. Aportación:

Identificación de la relevancia del factor “género” en el incremento del uso de los PTW.

Se puede observar que durante el periodo de los 20 años analizados, la continua incorporación de la mujer al mercado laboral y su consecuente crecimiento del número de desplazamientos relacionado con el desarrollo de actividades profesionales ha contribuido a que dicho colectivo favoreciese el aumento del uso de la motocicleta.

El factor “gender equality” es relevante en la igualdad y progreso, de modo que en las sociedades avanzadas una elevada participación de la mujer en las actividades socioeconómicas es explicativo en los indicadores de integración y avance social. En Barcelona, en los sesgos en transporte por género, se evidencia que las mujeres usan porcentualmente más el transporte público y menos el transporte privado. La reducción de las diferencias es un indicador de progreso social que incide en el incremento del uso global de los PTW.

Esta tesis pone énfasis en la relevancia que tiene la incorporación de la mujer en el uso global de vehículos motorizados de dos ruedas. Dicha incorporación se caracteriza por la preferencia en el uso de scooters frente a motocicletas tradicionales.

3ª. Aportación:

Elaboración de la serie temporal de la evolución de la motorización en España.

A partir de los datos históricos facilitados por la DGT y completado con fuentes variadas se ha podido construir la curva de la evolución histórica de la motorización en el estado español, lo cual ha permitido definir una curva para la evolución de los automóviles y otra para las motocicletas.

A partir de dichas curvas, ha sido posible validar si la evolución histórica de la motorización se ajusta a los diferentes modelos planteados. También ha permitido identificar en qué estadio de la evolución se encuentra el estado español. En este sentido, identificar la fase evolutiva de la motorización, determinada en gran medida por la evolución de la riqueza económica y por los índices de urbanización, ha servido de elemento para referencia el objeto de estudio.

4ª. Aportación:

Cuestionamiento de la curva Kutnets para modelar la evolución de los niveles de vehículos motorizados de dos ruedas.

La evolución del reparto modal entre vehículos motorizados de dos ruedas y automóvil está condicionada por los diferentes niveles de ingreso: cuando se parte de niveles bajos, la motorización aumenta principalmente a través de la adquisición de PTW, cuando los ingresos alcanzan un cierto umbral se produce un efecto de sustitución de PTW por automóviles.

Diferentes estudios sugieren que la curva en forma de U invertida a largo plazo (Kuznets), se ajusta mejor a la relación entre número de vehículos motorizados de dos ruedas e

ingresos per cápita. En cambio, la serie temporal de evolución del número de motocicletas en el estado español sugiere que, al igual que en otros países el uso de PTW no continúa disminuyendo en el largo plazo. En las zonas urbanas densas, los automóviles experimentan un mayor coste operacional debido a los peajes, los impuestos, el estacionamiento y las restricciones ambientales, lo cual favorece un efecto de sustitución del automóvil por PTW. A su vez el aumento del tiempo de ocio asociado a las rentas altas también favorece el uso de PTW con fines recreativos. Esas perspectivas de crecimiento futuro cuestionan el modelo en forma de "U" invertida (Kutnets) que considera que, a largo plazo, los altos ingresos per cápita están relacionados con el descenso del uso de las motocicletas.

5ª. Aportación:

Identificación de un rango de tamaño y de densidad de ciudad más propicio para el uso de vehículos motorizados de dos ruedas.

En la ciudad de Barcelona, como en gran parte de los núcleos urbanos, las motocicletas se utilizan mayoritariamente para realizar desplazamientos de carácter interno (con origen y destino dentro del municipio). Los desplazamientos de carácter externo son más reducidos. En este sentido, el uso de la motocicleta está condicionado al tamaño y densidad de la ciudad. En ciudades muy pequeñas, las distancias cortas son recorridas a pie. Cuando la ciudad tiene grandes dimensiones, las distancias de los desplazamientos son mayores a la vez que se tiende a disponer de mayor espacio para el estacionamiento, por lo que el automóvil es un modo con más versatilidad.

Una de las aportaciones de esta tesis es la identificación en España de un rango de tamaño de ciudad situado entre los 90 y los 200 km², en que se evidencia una elevada correlación entre densidad de la ciudad y uso de la moto, por lo que existe una mayor tendencia al uso de la motocicleta cuando la ciudad tiene un tamaño intermedio y una elevada densidad. Dicha constatación refuerza los estudios que relacionan modos de transporte en función de distancias medias de los desplazamientos. Por lo que las características de las ciudades en las que el modo vehículo motorizado de dos ruedas es más propicio tiende a ser de tamaño intermedio (ni muy pequeñas, ni muy extensas) con una elevada densidad.

6ª. Aportación:

Posibilidad de ser aplicados los resultados en otros ámbitos y por otros investigadores.

La identificación de una serie de potenciales variables significativas y el análisis de su comportamiento permiten elaborar modelos explicativos, susceptibles de ser aplicados en el estudio de otros escenarios. En este sentido puede ser una herramienta útil para evaluar el uso de la motocicleta en otras ciudades y entornos.

La identificación de grupos de variables significativas permite la aplicación individualizada y conjunta en diferentes ámbitos. En este sentido, de un modo apriorístico, se puede considerar que el efecto de las variables climatológicas puede tener un cierto peso explicativo en entornos con climas más extremos. Pueden explicar el escaso uso de PTW tanto en ciudades con climas fríos (como las ciudades de los países escandinavos), como en ciudades con climas extremadamente calurosos (como los países de los Emiratos Árabes). Las variables relativas a las políticas de movilidad pueden tener cierta relevancia

explicativa especialmente en las ciudades de los países avanzados en que las medidas de promoción y restricción de diferentes modos están en la base de su comportamiento. Las características morfológicas de las ciudades también pueden tener un cierto grado explicativo del uso de PTW, no sólo el tamaño y densidades estudiadas, sino factores como las pendientes y la altura. Por último la participación de las mujeres en el uso de determinados modos de transporte tiene una relevancia significativa en países en los que por factores socio-culturales tienen limitado el uso, frente a otros países en que se han implementado medidas igualitarias que facilitan el acceso de las mujeres a la movilidad en modos mecánicos.

7ª. Aportación:

Identificación de la existencia de un efecto de la fragmentación geográfica del mercado de los vehículos motorizados de dos ruedas.

En esta tesis se ha analizado la distribución del número porcentual de vehículos motorizados en las ciudades españolas, constándose un cierto equilibrio en la distribución del número de automóviles, mientras que el número de PTW tiene un reparto poco equilibrado entre ciudades. Dicha circunstancia provoca que el mercado del PTW esté muy fragmentado, concentrándose en un reducido número de ciudades, con un reparto desigual en el resto, de manera que hay grandes ciudades con gran uso de la motocicleta, como Barcelona y otras con menor uso, como Madrid, e incluso algunas muy simbólicas como Bilbao, todas ellas grandes ciudades.

4. Futuros trabajos

1º. Extrapolación de los modelos

Los modelos realizados tienen vocación de ser aplicados en otros entornos y de ser útiles para interpretar diferentes fenómenos relacionados con el nivel de uso de los vehículos motorizados de dos ruedas. En futuros trabajos, la información disponible puede servir para estudiar otros entornos geográficos. Con el presente estudio se han sentado las bases que permiten aproximar una explicación del elevado uso de la motocicleta en determinados países del sudeste asiático e incluso del, relativamente, escaso número en los países árabes. De manera que se puede aplicar el análisis del fenómeno del uso de la motocicleta en diferentes países del mundo y en diferentes ámbitos.

A partir de las variables identificadas y de los modelos elaborados es posible realizar un futuro análisis a nivel micro de las variaciones en el número de motocicletas entre entornos urbanos relativamente próximos. Se dispone de suficientes elementos de partida para poder analizar y explicar en profundidad variaciones locales del fenómeno del número de la motocicleta; por ejemplo, la disparidad en su número en núcleos urbanos tan próximos como Gijón-Oviedo, San Sebastián/Donosti-Bilbao, Pontevedra-Vigo-Santiago de Compostela, Barcelona-Tarragona...

2º. Mejor conocimiento de la accidentabilidad

La información disponible y el trabajo realizado permitirán profundizar en un futuro en un ámbito como es el de la accidentabilidad de los vehículos motorizados de dos ruedas. Los usuarios de vehículos motorizados de dos ruedas son especialmente vulnerables, y tienen un mayor número de accidentes por km. recorrido, siendo estos más graves. Los modelos relativos a las variables explicativas de la movilidad en vehículo motorizado de dos ruedas se pueden completar introduciendo los datos de accidentabilidad por ciudades y su evolución histórica. Con las variables identificadas en la presente tesis se está en condiciones de avanzar en la explicación de los diferentes niveles de accidentabilidad dependiendo de las ciudades. Consideramos que un futuro trabajo interesante y con elevada utilidad sería llegar a explicar por qué, según datos del RACC, la tasa de fallecidos y heridos graves por cada 1000 motocicletas en Madrid es de 2,20 y en Barcelona de 0,55.

3º. PTW y género

Un ámbito de estudio futuro es profundizar en el conocimiento de los patrones que rigen la posesión de vehículos motorizados por parte de las mujeres. En este sentido, se ha constado la relevancia de la incorporación de este colectivo en el incremento global del uso de las motocicletas, por lo que consideramos que hay un gran campo de investigación en el área de los vehículos motorizados de dos ruedas y el género.

Queda pendiente para futuros estudios analizar en mayor profundidad los factores que favorecen el uso de PTW por parte de las mujeres. Esta tesis ha permitido identificar las variables relevantes para utilizar dicho modo, y consideramos que se podría avanzar en el análisis del comportamiento de las mujeres en la elección del modo de transporte.

4º. Análisis de factores como la altitud y el efecto de las playas y ríos en el uso de PTW.

Se ha constado que existe una correlación negativa de -0,39 entre la altitud de las ciudades y el número de PTW. De manera que cuanto mayor altitud tiene la población, menor tiende a ser el uso de PTW. Se puede considerar que el factor altitud está relacionado con la climatología, especialmente con temperaturas más bajas, y por tanto condiciones menos confortables para el pilotaje, de las que resultan un menor uso de los PTW. Consideramos necesario profundizar en la investigación de dicha variable con el fin de estudiar las posibilidades para poder ser incluida en el modelo sin que incurra en problemas serios de multicolinealidad con las variables climatológicas.

También se ha detectado que las ciudades costeras con playa son más favorables al uso de PTW en relación con ciudades próximas del interior. Se puede interpretar que se trata de poblaciones más planas, con temperaturas más temperadas por el mar, y que la playa puede suponer un factor adicional de ocio más proclive al uso de los PTW. También se han detectado que los ríos pueden tener un efecto negativo por la posibilidad de influir en temperaturas más reducidas y canalizar vientos, factores que inciden negativamente en el uso de PTW. Se trata por tanto de elementos que reclaman un análisis posterior para evaluar diferencias de carácter local susceptibles de enriquecer la interpretación del ámbito de estudio.

5°. Estudiar la evolución industrial del sector de la motocicleta

El contenido de la tesis ha permitido identificar variables relevantes en la elección del modo vehículo motorizado de dos ruedas. A partir de dichas variables y del estudio de la evolución del sector, existen suficientes elementos para avanzar en un tema industrial relevante en Catalunya, como es la investigación de los motivos de la práctica desaparición del sector de la fabricación de motocicletas. En Catalunya han llegado a existir hasta casi 200 fabricantes de todo tipo de vehículos motorizados de dos ruedas, con una industria que, en sectores como el “off road,” llegó a ser líder dominante durante el último tercio del siglo XX; sin embargo, en la actualidad el sector prácticamente ha desaparecido. Los elementos de análisis de esta tesis pueden servir de punto de partida para futuros estudios de análisis del sector.

6°. Análisis de la potencial evolución de los PTW en la movilidad futura

Todos los indicios apuntan a que los PTW tendrán un protagonismo relevante en la movilidad posindustrial de las zonas urbanas densas, terciarizadas y productivamente orientadas a servicios. En un entorno altamente competitivo, la eficiencia en los desplazamientos es una ventaja productiva. Por lo que un factor de mejora en la accesibilidad pasa por el incremento de vehículos más versátiles y eficientes como son los PTW.

Un amplio campo de estudio futuro es analizar la evolución de la movilidad en PTW con la incorporación del vehículo eléctrico (VE). Uno de los vectores de penetración del vehículo eléctrico en las ciudades ha sido mediante la motocicleta eléctrica. En este sentido se abre un amplio campo de estudio para identificar los patrones de penetración de esta innovación en la propulsión de los vehículos, las novedades en los nuevos diseños, los cuadriciclos ligeros eléctricos, patines eléctricos... Es un campo de desarrollo futuro que seguramente tendrá una incidencia directa en el incremento del número de vehículos motorizados de dos ruedas en la ciudad de Barcelona.

Se ha de tener en cuenta, además, que los poderes públicos potenciarán este tipo de vehículos de nueva generación, no contaminantes, con estructuras, dimensiones y automatismos que facilitaran su circulación y mejorarán sensiblemente la seguridad y el espacio urbano que precisan.

7°. Identificación del patrón de evolución del número de vehículos motorizados de dos ruedas

Un trabajo futuro es profundizar en el cuestionamiento de que la evolución histórica del número de motocicletas se ajuste a la forma de una curva Kutnetz. El hecho de haber construido la curva de la evolución histórica del número de motocicletas en el estado español permite realizar un estudio relativo a la búsqueda de los modelos que mejor se7 ajusten a estos comportamientos. Se dispone de información relativa a la evolución histórica de las matriculaciones en el Reino Unido y, también, de datos de motorización en Italia, que apuntan como correcta la línea de investigación de cuestionamiento de la curva Kutnetz, lo cual puede servir de base para la realización del estudio.

8°. Investigación en el conocimiento de las externalidades

Aparte del incremento de accidentes, el mayor uso de la motocicleta produce externalidades negativas como el ruido y la contaminación. En este sentido, consideramos que futuros trabajos pasarían por el análisis en profundidad del incremento del uso de las motocicletas, la variación de los niveles de ruido urbano y la calidad del aire.

Se trata de un tema que tiene un protagonismo en la agenda política, ya que tanto la normativa europea, como diferentes iniciativas de gobiernos municipales de ciudades con elevados niveles de contaminación ya han elaborado medidas a aplicar para restringir el uso de motocicletas de mayor antigüedad, con motores poco eficientes y altamente contaminantes. La elevada antigüedad del parque de vehículos español hace que dichas medidas tengan un impacto significativo en un elevado número de vehículos.

9°. Estudio de las medidas para ampliar los colectivos de usuarios de vehículos motorizados de dos ruedas

Un campo de estudio futuro es la manera en que se puede ampliar el colectivo de usuarios de los vehículos motorizados de dos ruedas a la población cada vez más mayor y, por tanto, envejecida de la ciudad de Barcelona. Los vehículos del futuro en los entornos urbanos se impulsarán probablemente con electricidad, tendrán tamaño reducido, su diseño será una evolución y estarán inspirados en los vehículos actuales de dos y tres ruedas. Será necesario incorporar medidas que mejoren la seguridad en este tipo de desplazamientos para incorporar colectivos de usuarios lo más amplios posible.

10°. Aplicación de la Inteligencia Artificial (IA), del machine learning para obtener información y diseñar algoritmos susceptibles de ser aplicados en la movilidad en PTW.

La inteligencia artificial es un ámbito que aporta avances en la automatización y mayor rendimiento en la captación de datos relativos a la movilidad con PTW. Algoritmos de IA permiten identificar itinerarios, infracciones y comportamientos de los usuarios. Dicha información puede servir de base para analizar comportamientos e implementar medidas con el fin de mejorar la seguridad y la movilidad en PTW.

El *machine learning*, es decir, el aprendizaje automático de la inteligencia artificial, permite diseñar algoritmos. Dichos algoritmos permiten identificar vehículos, uso de dispositivos de seguridad, leer matrículas y detectar infracciones. Se trata de mecanismos que pueden automatizar el control y seguimiento de la movilidad y servir de base para implementar medidas de mejora.

11°. Los PTW en las ciudades inteligentes (smart cities).

El fenómeno de las “smart cities” se basa en la generalización del uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación, implementados en la sensorización y monitoreo de la movilidad en los entornos urbanos. La generación y utilización masiva de datos para gestionar en tiempo real la movilidad es un reto por el que muchas ciudades están apostando e invirtiendo. En el ámbito de la movilidad se concreta en la “smart mobility”, con el análisis en tiempo real de los flujos de tráfico priorizando modos de transporte,

gestionando el espacio y prioridades de tránsito, de estacionamiento, la tarificación variable, la detección de infracciones, el uso compartido de vehículos (car & motorcycle-sharing), factores que en conjunto potencian modos de transporte privados más sostenibles como los PTW, que están llamados a tener un mayor protagonismo en la ciudades de futuro.

12º. Monitorizar la expansión del fenómeno de la moto eléctrica.

El vehículo eléctrico (V.E.) ya es una realidad que poco a poco se va introduciendo, especialmente en los entornos urbanos. La escasa autonomía actual de los vehículos no es un problema para las distancias medias recorridas en las ciudades densas. Las ventajas en ámbitos como la contaminación, consumos e incluso pilotaje, respaldan la transición hacia el despliegue de dicho tipo de vehículos. El sector de los PTW es el que más rápidamente esta experimentado la penetración de la movilidad eléctrica. Existen muchas incógnitas sobre el resultado futuro sobre el tipo de vehículos, modos y protocolos de recarga, infraestructuras requeridas, legislación, fomento de uso... que en conjunto hacen que se configure como un futuro campo de estudio con mucho potencial.

Referencias

ACEM (2013): “*The Motorcycle Industry in Europe Statistical overview Registrations and deliveries Circulating park Production Top 10 models*”. Association des Constructeurs Européens de Motocycles. Brussels. Belgium.

ACEM (2004): “*Solving the Urban Transport Dilemma: Smart wheels for City Streets*”. Association of European Motorcycle Manufacturers. Brussels. Belgium.

Ajuntament de Barcelona (2016): “*Dades Bàsiques de Mobilitat 2015*”. Ajuntament de Barcelona 2016

Ajuntament de Barcelona (2016b): “*Balanç accidentalitat 2015*”. Dossier de premsa. 14 de enero 2016.

Ajuntament de Barcelona (2015): “*Cens de vehicles de la ciutat de Barcelona*”. (2015)

Ajuntament de Barcelona (2012): “*Pla de foment de la bicicleta a Barcelona*”.2012.

Ajuntament de Barcelona (2011): “*Pla de Mobilitat Urbana PMU*” 2013-2018.

Albalade, D. y Fernandez-Villadangos, L. (2010). “Motorcycle injury severity in Barcelona: the role of vehicle type and congestion”. *Traffic injury prevention*, 11(6), 623-631.

Allais, M. (1953): "Le comportement de l'homme rationnel devant le risque: critique des postulats et axiomes de l'école Américaine". *Econometrica*. 21 (4), 503–546.

Ambrosetti-The European House (2014): “*The Value of Two-Wheels*”. Scenario of the Industry, Market and Mobility. Executive Summary. <http://www.ambrosetti.eu/en/research-and-presentations/the-valueof-two-wheels>

ANESDOR (2017): “*Mercado 2016 y previsiones 2017*”. Asociación Nacional de Empresas del Sector de dos Ruedas. <https://www.anesdor.com/mercado-espanol/>

Anselin, L., y Smirnov, O. (1996). Efficient algorithms for constructing proper higher order spatial lag operators. ”*Journal of Regional Science*, 36(1), 67-89.

Anselin, L., y Getis, A. (1992). Spatial statistical analysis and geographic information systems”. *The Annals of Regional Science*, 26(1), 19-33.

ATM.EMEF (2015): “*Enquesta de Mobilitat En dia Feiner en la Regió Metropolitana de Barcelona 2015*.”. Autoritat del Transport Metropolità.

ATSB (1997): “*Vehicle Type and the Risk of Travelling on the Road*”. Australian Transport Safety Bureau, Monograph 17. https://www.atsb.gov.au/media/4096068/xr-2012-001_final_web.pdf

Auster, Carol J. (2001): “Transcending potential antecedent leisure constraints: The case of women motorcycle operators”. *Journal of Leisure Research*, 2001, 33 (3), 272.

Automobile Club d'italia (2014): ”Dati e statistiche Veicoli e mobilità”. <http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/veicoli-e-mobilita.html>

Bao, R., Hernández, A., Sáez, A., Giralt, S., Prego, R., Pueyo, J. J., y Valero-Garcés, B. L. (2015): “Climatic and lacustrine morphometric controls of diatom paleoproductivity in a tropical Andean lake”. *Quaternary Science Reviews*, 129, 96-110.

Barriendos, M. y Martín-Vide, J. (1998). “Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th–19th centuries)”. *Climatic*

change, 38(4), 473-491.

Barriendos, M. (1996). "El clima histórico de Catalunya (siglos XIV-XIX). Fuentes, métodos y primeros resultados". *Revista de geografía*, 30(1), 69-96.

Beesley, M. E. y Kain, J. F. (1964): "Urban form, car ownership and public policy: an appraisal of traffic in towns". *Urban Studies*, 1 (2), 174-203.

Birkeland, M. E. y Jordal-Jorgensen, J. (2001). "Energy efficiency of passenger cars". In *Proceedings of the Aet European Transport Conference, Held 10-12 September, 2001, Homerton College, Cambridge, UK-CD-ROM*.

Blackman, R., Cheffins, T., Veitch, C., y O'connor, T. (2009). At work or play: A comparison of private property vehicle crashes with those occurring on public roads in north Queensland. *Australian journal of rural health*, 17(4), 189-194.

Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., y Ljung, G. M. (2015): "Time series analysis: forecasting and control". *IEEE Transactions on Automatic Control*, 17(2), 281-283.

Bum-Hoan, Kim (1993): "Research Joint Venture and Open Economy". *ETRI Journal*, 15(2), 69-74.

Button, K.; Ngoe, N. y Hine, J. (1993): "Modelling vehicle ownership and use in low income countries". *Journal of Transport Economics and Policy*, 51-67.

Carré, J. R.; Filou, C. (1995): "Accident risks for two-wheelers in France: safety of two-wheelers is largely subject to the skill and vigilance of car drivers". *Proceedings del Fourteenth International Technical conference on Enhanced Safety of Vehicles*, 1264-1278.

Chin, A. y Smith, P. (1997). "Automobile ownership and government policy: The economics of Singapore's vehicle quota scheme". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(2), 129-140.

Clabaux, N., Fournier, J. Y. y Michel, J. E. (2014). "Powered two-wheeler drivers' risk of hitting a pedestrian in towns". *Journal of safety research*, 51, 1-5.

COM (2011): "*Libro Blanco, Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible*". EU. Bruselas 2011.

Copley, G. y Lowe, S.R. (1981). The temporal stability of trip rates: some findings and implications. *Planning & Transport Res & Comp*, (No. P213).

Crane, R. (2000). "The influence of urban form on travel: an interpretive review". *Journal of Planning Literature*, 15(1), 3-23.

Cvetkovich, G. y Earle, T. C. (1988). "Decision making and risk taking of young drivers: Conceptual distinctions and issues". *Alcohol, Drugs & Driving*. 4 (1), 9-19.

Dargay, J., Gately, D. y Sommer, M. (2007): "Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030". *The Energy Journal*, 143-170.

Dargay, J. y Gately, D. (2001). "Modelling global vehicle ownership". In *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*, 22-27.

Dargay, J. M. (2001): "The effect of income on car ownership: evidence of asymmetry". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35 (9), p. 807-821.

Dargay, J. M.; Gately, D. (1999): "Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960-2015". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33 (2), 101-138.

De Jong, G.; Fox, J.; Daly, A. y Pieters, M. (2004): "A comparison of car ownership models". *Transport Reviews*, 24(4), 379-408.

- Department for Transport, (2015a): “*Reported Road Casualties in Great Britain: Main Results 2014*”. Transport statistics. London. TSO
- Department for Transport, (2015b): “*Road statistics 2015: Traffic, speeds and congestion*”. Transport statistics. London: TSO
- DGT. (2016): “*Anuario estadístico General*”. Año 2016.
- DGT. (2015): “*Anuario estadístico General*”. Año 2015.
- DGT. (2013): “*Anuario estadístico General*” Año 2013.
- DGT. (2010) “*Anuario estadístico General*”. Censo De Conductores 2010”.
- DGT. (2007): “*Plan Estratégico para la Seguridad Vial de Motocicletas y Ciclomotores. Informe Final*”. Dirección General de Tráfico. Observatorio Nacional de Seguridad Vial de la Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior. Madrid.
- Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979). “Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root”. *Journal of the American statistical association*, 74(366a), 427-431.
- Dirksen, J. (2017) “*Expert Data Visualization. Breathe life into your data by learning how to use D3.js V4 to visualize information*”. Packt Publishing Ltd., Birmingham.
- Dittmar, H., y Ohland, G. eds. (2004) “*The New Transit Town: Best Practices in Transit-Oriented Development*”.: Island Press. Washington, D.C. p. 120.
- Domencich, T. A. y McFadden, D. (1975): “*Urban travel demand, a behavioural analysis*”. North-Holland Publishing Co, Amsterdam-
- Duffy, M.; Robinson, T. (2004): “An econometric analysis of motorcycle ownership in the UK”. *International Journal of Transport Management*, 2 (3), 111-121.
- Durbin, J., y Watson, G. S. (1951). “Testing for serial correlation in least squares regression II.” *Biometrika*, 38(1/2), 159-177.
- Elliott, M. A., Baughan, C. J. y Sexton, B. F. (2007). “Errors and violations in relation to motorcyclists’ crash risk”. *Accident Analysis & Prevention*, 39(3), 491-499.
- ESMAP/World Bank (2003): “*Thailand. Reducing Emissions from Motorcycles in Bangkok*”. The International Bank for Reconstruction and Development/THE World Bank. USA. World Bank Energy Sector Management Assistance and UNDP (United Nations Development Programme)
- ETSC: European Transport Safety Council. (2007): Road Safety Performance Index (PIN), PIN Flash 7 – Reducing Motorcyclist Deaths in Europe.
- European Commission (2010). “*Programa de seguridad vial (2011-2020): medidas detalladas*”. MEMO, 10, 343. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-10-343_es.htm
- EUROSTAT (2014): “European Commission Daba Base Passenger cars per 1.000 inhabitants” Code: road_eqs_carhab. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ROAD_EQS_CARHAB
- EUROSTAT (2014): “*Volume of passenger transport relative to GDP (2011)*”. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_domestic_product_\(GDP\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_domestic_product_(GDP))
- Ewing, R. (2000): “*Pedestrian and Transit-Friendly Design: A Primer for Smart Growth*”. EPA Smart Growth Network, pp. 1-22. www.smartgrowth.org
- Fisher, D. y Meyer, M. (2018): “*Making Data Visual. A practical guide to using visualization for Insight*”. O’Reilly Media.

- Fishman, Robert. (2008): *"Bourgeois utopias: The rise and fall of suburbia"*. Basic Books.
- Fujita, M. (1998) "Industrial Policies and Trade Liberalization-The Automotive Industry in Thailand and Malaysia". *The Deepening Economic Interdependence in the APEC Region*. Tokyo: APEC Study Center, Institute of Developing Economies, 149-187.
- Gadea, M. D. y Montañes, A. (2009): "Situación y perspectivas del sector del automóvil en España". *Anuario de Movilidad 2009*, RACC.
- Gakenheimer, R. (1999): "Urban mobility in the developing world", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(7-8), 671-689.
- Galster, G.; Hanson, R.; Ratcliffe, M. R.; Wolman, H.; Coleman, S.; Freihage, J. (2001): "Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept". *Housing policy debate*, 12(4), 681-717.
- GHSA (2011). *"Motorcyclist Traffic Fatalities by State"*. Washington DC. Governors Highway Safety Association. <http://exchange.aaa.com/wp-content/uploads/2012/07/Motorcycle-Fatalities-by-State.pdf>
- Goodwin, P.B. (1997): "Mobility and car dependence". Pergamon, 449-464.
- Gujarati, D.M (2004): *"Econometría"*. Ed. McGraw-Hill. 4ª Edición. Traducido por Demetrio Garmendia Guerrero y Gladys Arango Medina.
- Guerra, E. (2015): "The geography of car ownership in Mexico City: a joint model of households' residential location and car ownership decisions". *Journal of Transport Geography*, 43, 171-180.
- Harré, N. (2000): "Risk evaluation, driving, and adolescents: a typology". *Developmental Review*, 2000, 20 (2), 206-226.
- Haworth, N. L. (2012): "Powered two wheelers in a changing world-Challenges and opportunities". *Accident Analysis y Prevention*, 44 (1), 12-18.
- Haworth, N. L.; Greig, K. y Nielson, Angela (2009): "Comparison of risk taking in moped and motorcycle crashes". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* , 2140, 182-187.
- Haworth, N. L. y Rowden, P. J. (2006). *"Investigation of fatigue related motorcycle crashes-literature review"*. (RSD0261). Report VicRoads.
- Haworth, N. L.; Vulcan, P.; Bowland, L. y Pronk, N (1997). "Estimation of risk factors for single vehicle crashes". *Clayton*, No.121.
- Horswill, M. S., Waylen, A. E. y Tofield, M. I. (2002). "Drivers' Illusion of Superiority for Hazard Perception and Vehicle Control Skill". In *Behavioural Research in Road Safety: 12th Annual Seminar Proceedings*, 234-238.
- Hsu, T. P. (2005). "Comparative study on motorcycle ownership forecasting model of Asian Countries-Taiwan, Malaysia and Vietnam". The 6th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Bangkok, 2005.
- Hsu, T. P., Sadullah, E. A. F. M. y Dao, I. N. X. (2003). "A comparison study on motorcycle traffic development in some Asian countries—case of Taiwan, Malaysia and Vietnam." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, International Cooperative Research Activity.
- Huo, H.; Wang, M.; Johnson, L., y He, D. (2007): "Projection of Chinese motor vehicle growth, oil demand, and CO2 emissions through 2050". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2038), 69-77.

- IDESCAT (2013): "Anuario Estadístico de Catalunya 2013". Generalitat de Catalunya. Departament d'Estadística. <https://www.idescat.cat/pub/?id=aec&lang=es>
- INE (2016): "INEbase. Bases de datos estadísticas". Instituto Nacional de Estadística. Ministerio de Economía del Gobierno de España. <https://www.ine.es/>
- Ingram, G. K. y Liu, Z. (1997): "Motorization and road provision in countries and cities". *World Bank Policy Research Paper*, nº 1842.
- Jamson, S. y Chorlton, K., (2009): "The changing nature of motorcycling: Patterns of use and rider characteristics". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12 (4), 335-346.
- Jamson, S. y Chorlton, K. (2004). "Differences between London motorcyclists and those from the rest of the UK". *Institute for Transport Studies*, University of Leeds.
- Johnson, P., Brooks, C. y Savage, H. (2008): "Fatal and serious road crashes involving motorcyclists". *Research and Analysis Report, Road Safety Research and Analysis Report*. Monograph 20. Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government, Canberra, 2008.
- Kahneman, D. y Egan, P. (2011). "*Thinking, fast and slow*". Vol 1. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Kamakaté, F. y Gordon, D. (2009). "Managing motorcycles: Opportunities to reduce pollution and fuel use from two-and-three wheeled vehicle". *International Council on Clean Transportation (ICCT)*.
- Khan, A. y Willumsen, L.G. (1986) "Modelling car ownership and use in developing countries". *Traffic Engineering and Control* 27, 554-560.
- Kitamura, R.; Mokhtarian, P. L. y Laidet, L. (1997): "A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area". *Transportation* vol. 24, nº 2, p. 125-158.
- Kitano, Taiju. (2011): "Did temporary protection induce technology adoption?" *A study of the US motorcycle industry*. Mimeo.
- Kleinhesselink, Randall R. y Rosa, Eugene A. (1991): "Cognitive representation of risk perceptions a comparison of Japan and the United States". *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 22 (1), 11-28.
- Kopits, E. y Cropper, M. (2005). "Traffic fatalities and economic growth". *Accident Analysis and Prevention*, 37, 169-178.
- Kopp, P. (2011). "The unpredicted rise of motorcycles: A cost benefit analysis". *Transport policy*, 18 (4), 613-622.
- Kopp, P. (2009): "*The contribution of two-wheel motor vehicles (2WMV) to mobility in a big city The case of Paris (2000-2007)*". Panthéon-Sorbonne university.
- Kumar, A. (2011): "Understanding the emerging role of motorcycles in African cities". A political economy perspective. *SSATP Discussion paper* nº. 13. Sub-Saharan Africa Transport Policy Program.
- Kutzbach, M. J. (2009): "Motorization in developing countries: Causes, consequences, and effectiveness of policy options". *Journal of Urban Economics*, 2009, vol. 65, nº 2, p. 154-166.
- Law, T. H., Hamid, H. y Goh, C. N. (2015). "The motorcycle to passenger car ownership ratio

- and economic growth: a cross-country analysis". *Journal of transport geography*, 46, 122-128.
- Lee, T. C., Polak, J. W., Bell, M. G. y Wigan, M. R. (2011). "The kinematic features of motorcycles in congested urban networks". *Accident Analysis & Prevention*, 49, 203-211.
- Litman, T. (2008). Transportation affordability, evaluation and improvement strategies. *Social Research in Transport (SORT) Clearinghouse Institute of Transport Studies, Monash University*.
- Lynch, G., y Atkins, S. (1988): "The influence of personal security fears on women's travel patterns". *Transportation*, 15(3), 257-277.
- MAIDS, A. (2004). "In-depth investigation of accidents involving powered two wheelers". Final report, 1. ACEM. Bruselas.
- MAIDS, A. (2004). "In-depth investigation of accidents involving powered two wheelers". Final report, 2.0. ACEM. Bruselas.
- Marquet, O. y Miralles-Guasch, C. (2016). "City of Motorcycles. On how objective and subjective factors are behind the rise of two-wheeled mobility in Barcelona". *Transport policy*, 52, 37-45.
- Marquet, O. y Miralles-Guasch, C. (2015). "Neighbourhood vitality and physical activity among the elderly: The role of walkable environments on active ageing in Barcelona, Spain". *Social Science & Medicine*, 135, 24-30.
- Massie, D. L., Green, P. E. y Campbell, K. L. (1997). "Crash involvement rates by driver gender and the role of average annual mileage". *Accident Analysis & Prevention*, 29(5), 675-685.
- Matas, A. y Raymond, J. L. y Roig, J. L. (2009): "Car ownership and access to jobs in Spain". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43 (6), 607-617.
- Matas, A. y Raymond, J. L. (2008): "Changes in the structure of car ownership in Spain". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42 (1), 187-202.
- McCartt, A. T., Blanas, L., Teoh, E. R., y Strouse, L. M. (2011): "Overview of motorcycling in the United States: a national telephone survey". *Journal of Safety Research*, 42(3), 177-184.
- McFadden, D. (2013). "The new science of pleasure". National Bureau of Economic Research. No. 18687
- McFadden, D. (1974): "The measurement of urban travel demand." *Journal of Public Economics*, 3, 303-328.
- Ministerio de Fomento de España (2001). "Encuesta de movilidad de las personas residentes en España. Movilia 2000/2001". https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf
- MCIA (2012). "Statistics 2012. General Reporting". Motorcycle Industry Association.
- Mogridge, M. J. H. (1967). "The prediction of car ownership". *Journal of Transport Economics and Policy*, 52-74.
- Mohan, D. (2002). "Traffic safety and health in Indian cities". *Journal of Transport and Infrastructure*, 9(1), 79-94.
- Monclús, F.J. (1998): "Suburbanización y nuevas periferias. Perspectivas geográfico-urbanísticas". En el libro Monclús, F.J. (Ed.): "La ciudad dispersa". Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, p. 5-15.
- Moskal, A. (2009). "Epidémiologie du traumatisme routier chez les deux-roues motorisés". Tesis Doctoral. Université Claude Bernard-Lyon I.

- NHTSA. National Center for Statistics and Analysis (2013): “*Traffic Safety Facts 211 Data: Motorcycles*” DOT HS 811 765 May 2013. Washington, DC.
- Nishitaten, S. y Burke, P. J. (2014): “The motorcycle Kuznets curve”. *Journal of Transport Geography*, 36, 116-123.
- Nogareda Cuixart, S (coord) y otros (1994): “*Ergonomia*” Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Noordzij, P., Forke, E., Brendicke, R. y Chinn, B. (2001). “Integration of needs of moped and motorcycle riders into safety measures”. *Liedschendam: SWOV Institute for Road Safety Research*.
- OECD/ITF (2015):” Improving Safety for Motorcycle, Scooter and Moped Riders”. *ITF Research Reportsview*. OECD Publishing. Paris.
- OCDE- OECD (2014): “*Balancing paid work, unpaid work and leisure. Time use across the world- Time spent in unpaid work and leisure*” OECD based on data from National Time Use Surveys. OECD Publishing.
- OCDE-OECD (2014): “*Time spent in unpaid work and leisure*” OECD Publishing. <http://www.oecd.org/gender/balancing-paid-work-unpaid-work-and-leisure.htm>
- OCDE-OECD (2014):”*Time use across the world*” Based on data from National Time Use Surveys. OECD Publishing. https://stats.oecd.org/Index.aspx?datasetcode=TIME_USE
- OECD (2014): “*Balancing paid work, unpaid work and leisure. Time use across the world- Time spent in unpaid work and leisure*” OECD based on data from National Time Use Surveys. OECD Publishing. https://stats.oecd.org/Index.aspx?datasetcode=TIME_USE
- ONISR (2012): “La sécurité routière en France Bilan de l'accidentalité de l'année 2012”. *issus des Bulletins d'analyse des accidents corporels – Baac*. Paris
- Ooi, Y. Y. y Venkataraman, C. (2008): “Two Wheels and Rationality?”. *Deakin Papers en International Business Economics*, 2008, 1 (2), 16-24.
- Ortuzar, J.de D. y Willumsen, L.G. (2011): “*Modelling Transport*”. 4ª Edición. Editorial John Wiley&Sons LTD. Traducción en castellano de la tercera edición: “*Modelos de transporte*”. U.C.: Universidad de Cantabria.
- Ovieve, F y Roussel, P. (2013). “Les deux-roues motorisés: à chaque âge, son usage et ses dangers”. “*Commissariat Général au Développement durable*” n° 156. CGDD Service de l'observation et des statistiques. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie.
- Patten, M. L., y Newhart, M. (1997). “*Understanding research methods: An overview of the essentials*”. Taylor & Francis (10ª edición). Ed. Pyrczak 1997 (1ª Edición)
- Paulozzi, L. J. (2005). “United States pedestrian fatality rates by vehicle type”. *Injury prevention*, 11(4), 232-236.
- Pérez, K.; Borrell, C. y Nebot, M. (2009). “Road injuries and relaxed licensing requirements for driving light motorcycles in Spain: a time-series analysis”. *Bulletin of the World Health Organization*, 87(7), 497-504.
- Pongthanaisawan, J. y Sorapipatana, Ch. (2010): "Relationship between level of economic development and motorcycle and car ownerships and their impacts on fuel consumption and greenhouse gas emission in Thailand". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2966-2975.
- Popper, K. (1934): “*La logica de la investigacion cientifica*”, Ed. Tecnos, edición.1973.

- RACC-HONDA (2013): "Encuesta sobre la accidentalidad de los motociclistas". Real Automòvil Club de Catalunya. Fundació RACC.
- RACC (2009): "Seguridad de los PTW a motor en Barcelona". Real Automòvil Club de Catalunya. Fundació RACC.
- Rand, J. P. (2011). "Leisurely Motorcycle Riding: A Phenomenological study of the psychology of leisurely motorcycle riding". Seattle, WA: Peak-Publishing.
- Rheinberg, F. (2008): "Intrinsic motivation and flow-experience". In H. Heckhausen y J. Heckhausen (Eds.), *Motivation and action*, 323–348. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Rheinberg, F., Dirksen, U. y Nagels, E. (1986). "Motivationsanalysen zu verschieden riskantem Motorradfahren". *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 32(2).
- Rizzi, M., Strandroth, J. y Tingvall, C. (2009). "The effectiveness of antilock brake systems on motorcycles in reducing real-life crashes and injuries". *Traffic injury prevention*, 10(5), 479-487.
- Robertson, S. y Porter, J. M. (1987). "Motorcycle ergonomics: an exploratory study". *Contemporary Ergonomics*, 173-178.
- Rogers, N. (2008). "Trends in motorcycles fleet worldwide". *Presentation to Joint OECD/ITF Transport Research Committee Workshop on Motorcycling Safety*.
- Roma Capitale (2011). "Roma statistica". Ufficio Statistica e Comunicazione. https://www.comune.roma.it/pct/it/rag_gen_stat.page
- Rosenbloom, S. (1995). "Travel by women". Demographic special reports: 1990 *NPTS report series*, 2-1.
- Rosenbloom, S., y Raux, C. (1985): "Employment, Childcare and Travel Behavior: France, The Netherlands, and the United States". *Behavioral Research for Transport Policy*, VNUS Science Press, Utrecht, Netherlands, 365-381.
- Schäfer, A. (2007). "Long-term trends in global passenger mobility". *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering, 2006 Symposium*, p. 85. National Academies Press.
- Schafer, A., y Victor, D. G. (2000). "The future mobility of the world population". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34(3), 171-205.
- Schembri, S. (2009). "Reframing brand experience: The experiential meaning of Harley-Davidson". *Journal of Business Research*, 62(12), 1299-1310.
- Selltiz, C., Jahoda, M., Deutsch, M., y Cook, S. W. (1959). "Research methods in social relations" (No. H62 R45 1959).
- Sen, A. y Srivastava, M. (1990): "Regression analysis. Theory, methods and applications". Ed. Springer-Verlag. New York.
- Sexton, B., Baughan, C., Elliot, M., y Maycock, G. (2004): "The accident risk of motorcyclists" (TRL 607). *Transport Research Laboratory*.
- Sillaparcharn, P. (2007). "Vehicle ownership and trip generation modelling: a case study of Thailand". *IATSS Research*, 31(2), 17-26.
- Slovic, P. (1987): "Perception of Risk", *Science*, 236(4799), 280-285.
- SOES (2013): "Les deux-roues motorisés au 1er janvier 2012. Chiffres et Statistiques ». Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'Observation et des Statistiques n° 400", Paris.

- SRA: Swedish Road Administration Consulting Services (2008): "*Trafikskador ur ett genusperspektiv*". VVpublikation.
- Steg, L. (2005): "Car use: lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2005, 39 (2), 147-162.
- Steg, L. (2003): "Can public transport compete with the private car?". *IATSS Research*, 27(2), 27-35.
- Steg, L.; Vlek, C. y Slotegraaf, G. (2001): "Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2001, 4 (3), 151-169.
- Stevenson, M. y Hariza, A. (2006): "Mode choice model for vulnerable motorcyclists in Malaysia". *Traffic injury prevention*, 2006, 7 (2), 150-154.
- Storn, R. y Price, K. (1997). "Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces". *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.
- Stradling, S. G.; Meadows, M. L. and Beatty, S. (1999): "Factors affecting car use choices". *Transport Research Institute, Napier University, Edinburgh*.
- Svenson, O. (1981): "Are we less risky and more skilful than our fellow drivers?". *Acta Psychologica*, 47, 143-148.
- Talukdar, D. (1997): "*Economic growth and automobile dependence: is there a Kuznets curve for motorization?*". Tesis Doctoral. Massachusetts Institute of Technology.
- Tanner, J.C. (1983): "International comparisons of cars and car usage". Monograph. *Transport and Road Research Laboratory*. nº. LR 1070
- Tanner, J.C. (1978): "Long-term forecasting of vehicle ownership and road traffic". *Journal of the Royal Statistical Society*. Series A (General), 14-63.
- Tanner, J.C. (1962): "Forecasts of future numbers of vehicles in Great Britain". *Roads and Roads Construction*, 40, 263-74.
- Tanner, J. C. (1958). "A problem in the combination of accident frequencies". *Biometrika*, 45(3-4), 331-342.
- Taylor, M. y Maycock, G. (1990): "Factors affecting the accident liability of British Motorcyclists". *International Motorcycle Safety Conference*. Motorcycle Safety Foundation, Irvine.
- TomTom (2015): "TomTom European Congestion Index 2015".
http://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/list
- Serrano, F. T. (1987): "El tráfico en España y las IMD de circulación en la red viaria" *Anales de geografía de la Universidad Complutense*. Servicio de Publicaciones, 635-644.
- Tokunaga, T. y Takahashi, Y. (2003, October). "A study of urban planning/urban transportation issues in South East Asian countries and Japan's technical corporations". en *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (Vol. 4, pp. 1666-1680)*.
- Torres, J. (2004). "*La mobilitat: quasi un model*". Edicions Universitat Barcelona. UA. Barcelona.
- Tukey, J. W. (1977). "*Exploratory data analysis*" (Vol. 2). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Van Beeck, E. F., Borsboom, G. J., & Mackenbach, J. P. (2000).: "Economic development and traffic accident mortality in the industrialized world, 1962-1990". *International Journal of Epidemiology*, 29 (3), 503-509.

- Van Elslande, P., Feypell-de La Beaumelle, V., Holgate, J., Redant, K., De Solere, H., Margaritis, D. y Granström, P. O. (2014). "Mobility and safety of powered two-wheelers in the OECD countries". *TRA2014 Transport Research Arena: Transport Solutions: from Research to Deployment-Innovate Mobility, Mobilise Innovation*, 1-11.
- Van Elslande, P. y Elvik, Rune. (2012): "Powered two-wheelers within the traffic system". *Accident Analysis y Prevention* 2012, 49, 1-4.
- Watson, B. C., Tunnicliff, D. J., White, K. M., Schonfeld, C. C. y Wishart, D. E. (2007). "Psychological and social factors influencing, motorcycle rider intentions and behavior". Centre for Accident Research and Road Safety (CARRS-Q). Queensland University of Technology.
- Weinstein, N. (1989): "Effects of personal experience on self-protective behavior". *Psychological Bulletin*, 105, 31-50.
- Whelan, G. A., Wardman, M. y Daly, A. J. (2000). "Is there a limit to car ownership growth?: an exploration of household saturation levels using two novel approaches". *Transport Modelling: Proceedings of Seminar K*. European Transport Conference.
- WHO, World Health Organization (2013). "Global status report on road safety: supporting a decade of action". Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Wu, G.; Yamamoto, T.; Kitamura, R. (1999): "Vehicle ownership model that incorporates the causal structure underlying attitudes toward vehicle ownership". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1676), 61-67.
- Yamamoto, T. (2009): "Comparative analysis of household car, motorcycle and bicycle ownership between Osaka metropolitan area, Japan and Kuala Lumpur, Malaysia". *Transportation*, 2009, 36 (3), 351-366.
- Yates, J. F. y Stone, E.R. (1992): "The risk construct". En J.F. Yates (Ed.), "Risk-taking behavior". Chichester: John Wiley y Sons.
- Zachariadis, T., Samaras, Z. y Zierock, K. H. (1995): "Dynamic modeling of vehicle populations: an engineering approach for emissions calculations". *Technological Forecasting and Social Change*, 1995, 50 (2), 135-149.

Anexos

Anexo 1

Ponencia en el XII CONGRESO DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE 7, 8 y 9 de junio de 2016 VALENCIA. Foro de Ingeniería del Transporte

“Stage of historical evolution of private vehicle ownership in the city of Barcelona”



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Universitat Politècnica de València
XII Congreso de
Ingeniería del Transporte
Valencia

CIT 2016



XII CONGRESO DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE
7, 8 Y 9 de JUNIO VALENCIA (ESPAÑA)

LIBRO DE ACTAS / PROCEEDINGS



Foro de Ingeniería del
Transporte



DEPARTAMENTO
DE TRANSPORTES



itrat
Institut de Transporte
i Territori



ETS DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



CENTRO FORMACIÓN PERMANENTE

STAGE OF HISTORICAL EVOLUTION OF PRIVATE VEHICLE OWNERSHIP IN THE CITY OF BARCELONA

Fernando Pérez Diez

PhD student in Civil Engineering
Universitat Politècnica de Catalunya

José Magín Campos Cacheda

PhD in Civil Engineering
Professor de la Universitat Politècnica de Catalunya

Julià Cabrerizo Sinca

PhD student in Civil Engineering
Universitat Politècnica de Catalunya

ABSTRACT

Transport demand and private motor vehicle ownership (cars and motorcycles) are generally related to the socio-economic development, increasing urbanization, public policies and rising per capita income.

Private motor vehicle ownership varies between countries and geographical regions. However, it tends to have some common patterns in its historical evolution. So that during the early stages of development, the rate of motorization increased mainly by acquisitions of PTWs (mopeds and motorcycles). As the economy grows, the increase in per capita income stimulates a shift from PTWs to cars, which are preferred for their safety, versatility, comfort and social status. The increasing use of cars contributes to raising travel costs (congestion, parking constraints, accidents, pollution), that coupled with public policies to discourage car use, tends to favour modal shifts from cars to public transport and in some regions also to PTWs.

This study analyze the historical evolution of private motor vehicle ownership in Spain (cars and motorcycles), and identify the stage in which is the city of Barcelona, characterized by the high use of PTWs. The increase use of PTWs is a common phenomenon in some major European cities and suggests a continuous future growth in developed countries and congested urban areas, that is not in line with the assumptions of some models, which predict that in the long-run there will be a decrease in use of PTWs with high income per capita levels.

1. INTRODUCTION

Mobility provides access to people, goods, services and information, favoring human development and socio-economic activities. The more efficient mobility becomes, the greater socio-economic prosperity and quality of life tend to be.

Transport is a factor of social inclusion because the provision of affordable accessibility to the population allows individuals to participate in work, education and community activities. Poor transport options can reinforce social exclusion. Policy makers must provide safe, affordable, convenient and reliable mobility and accessibility to the whole population through sustainable and environmentally friendly access to transport systems.

Mobility in motor vehicles consists of journeys made by public transport and in private vehicles, mainly cars and powered two wheelers (motorcycles and mopeds). Understanding the patterns of the historic evolution of motor vehicle ownership is useful to forecast and manage transport demand, planning infrastructures, urban design, implementation and assessing of transport programs and policies, so that social welfare is maximized.

Knowledge about patterns on vehicle ownership plays an important role in the overall transportation planning process. Forecasts about evolution of motorization are important over a wide variety of public and private aspects such as economic system, energy consumption, environment, public health and so on. Transport modeling and forecasting demand can assist in investment decision-making, designing Policy measures, predicting the use of present and future infrastructure, needs of regulation and energy consumption.

Private motor vehicle ownership varies between countries and geographic regions. However it tends to have some common patterns in their historical evolution. Much of the existing literature shows the impact of changing levels of economic activity on mobility rates and traffic volumes. Policymakers should consider the effects of economic cycles on mobility evolution to manage the effects.

Knowledge on the socio economic variables that shape private motor vehicle ownership evolution and the interactions among different types of vehicle ownership is useful in transport management, infrastructure planning, road safety and public policies, helping to maintain consistent perspectives on dealing with urban transportation problems. Knowing how other similar urban areas have gone through the stages, the kind of policies implemented and their results can be a useful reference when deciding what kind of measures should be implemented.

This study has been conducted to identify the stage of historical evolution of private motor vehicle ownership in which the city of Barcelona is at, identifying factors underlying the mode choices behavior, characterized by the high use of the powered two wheelers.

2. PATTERNS OF HISTORICAL EVOLUTION OF PRIVATE VEHICLE OWNERSHIP.

The bases of economy are transactions involving movements of persons, goods and information. Transportation is a central component that allows people to accomplish activities located in different places. The wants and needs of people drive transportation demand. As the economy grows the number and distances of movements shifting towards motorized transport modes increases, therefore transportation is closely linked with economic development.

The historical evolution of private vehicle ownership is determined by different types of variables that have relative importance according to the stage of evolution. Motor vehicle ownership determines travel behavior. There are several patterns that allow study, model and even forecast car and motorcycle historical evolution, mostly related with socioeconomic factors. (de JONG, G et al. 2004).

Economic factors and evolution of per capita income are closely associated with a rise in traffic volumes and vehicle possession and use. In the literature of mode choice modeling several studies has emphasized the influence of income and household car and motorcycle ownership. The income level changes consumer preferences over modes of transport. (PONGTHANAIKAWAN, J.; SORAPIPATANA, Ch. 2010).

The concept of “stable daily travel time” and proportion of budgets that on average each person spends on traveling each day implies that when income rises, mobility rises in proportion, but time remains similar. In this way, rising income implies rising demand for mobility. When budget increase devoting the same daily time to travel, is necessary to use faster modes of transport to cover greater distances within the same fixed travel time. This way an increase in income is linked to the evolution to faster and efficient means of transportation. (SCHAFER, A.; VICTOR, D.G., 2000).

Modal choice is closely related to the concept of “Transportation Affordability” measured by the type and number of vehicles that a household can afford depending on the household’s income level, related to direct costs such as owning and driving vehicles, and the indirect costs such as parking and consumption in comparison with the quality and costs of alternative modes of transportation. (LITMAN, T. 2015).

Private vehicle ownership influences mobility and mobility in turn leads to a decision to acquire or dispose of a car. Because this interactive relationship evolves over time, incorporating dynamism into the analysis is of extreme importance (KITAMURA, R. 1988). A factor that also affects the historical evolution of the private vehicle ownership is how much powered two wheelers are involved in mobility. In some countries (especially in East Asia), while per capita incomes remains at low levels, possession of motorcycles increases through greater affordability, outnumbering car ownerships (surpassing the

number of cars). In these countries PTW are useful especially in urban areas for convenient parking, low prices and competitive operating costs. (HSU, TP. 2005).

Many factors affect the evolution of car ownership, such as income (total expenditure), the level of urbanization, and alternative means of transport. These factors cause variations in the evolution. Income is the primary factor of evolution of car ownership, especially in the first stages, decreasing when higher levels of car ownership are reached. (DARGAY, J. and GATELY, D. 2009).

Economic growth leads to an increase of mobility demands and vehicle ownership, car ownership tends to increase as per capita GDP grows (SCHAFER, A ; VICTOR, D.G., 2006). Walking is the world's dominant mode of transport, until a certain threshold of individual wealth is reached; people can afford to buy vehicles encouraging shifts from non-motorized to motorized transport modes (SCHAFER, A., 2006). At an early stage bicycles are used for short trips, being replaced by motorcycles that allow making longer trips. After personal income grows up to a certain level, people will shift from motorcycle to car ownership.

With increasing wealth and society increases its levels of urbanization, people begin to be able to afford to buy cars that tend to replace the motorcycle for longer journeys with greater urban component. As wealth continues to grow and the levels of urbanization increase, urban environments experience congestion caused by the increasing number of cars. As a country evolves socio-economically, the income of individuals and the levels of urbanization tend to increase and the provision of better infrastructures improve traffic conditions.

When high levels of car travels are achieved, improvements in infrastructure and traffic management become insufficient and the problems related to congestion are widespread. At this stage public authorities tend to introduced schemes to discourage the car use that as collateral effects tends to make the use of the PTWs more attractive, producing a reduction in the use of cars and an increase in the use of motorcycles in dense urban environments, where even policy makers encourage the use of bikes for short distance trips.

When countries reach a high level of per capita income and social development, people have more economic resources and enjoy more spare time to practice a wide range of leisure activities. At this stage motorcycles are a usual mean of transportation to access places where they can practice spare time activities, and are even ridden simply for recreational purposes (touring, cruising, running errands...).

The historical evolution is thus marked by different income, social and even cultural thresholds that once surpassed tend to boost modal split, from bikes to motorcycles, from motorcycles to cars and finally from cars to motorcycles and even bikes. It is possible to

identify a way that developed countries have already experienced this and it can be foreseen how other countries will probably evolve.

High levels in private vehicle ownership are the result of a long historical process of socio-economic and urban development, encompassed with a wide range of policies regulating private vehicle use.

There are three important phenomena when analyzing the behavior of the evolution of car ownership: the elasticity at low income levels, the inelasticity when high income and socio-economic levels are reached (saturation ceiling) and a hysteresis loop back, in the way that car ownership does not respond symmetrically to rising and falling income (DARGAY, J.M. 2001).

2. 1 Early stages of development.

During the early stages of development, the rate of motorization increases at the pace of economic growth. The increase of income per capita allows a shift of the demand from cheaper vehicles as bikes to motorized ones. Access to motorized vehicle ownership is mainly achieved through PTWs: mopeds and motorcycles.

The first stages of evolution of urban mobility and hence private vehicle ownership, tends to accelerate when societies develop their industrial sectors and the demand of workforce pushes the phenomenon of migration from rural to urban industrialized areas.

Economic activity encourages population concentrations, growing according on the monocentric land use city model formulated by ALONSO, W. (1964). The model was broadened with the formulation of equilibrium models, over the basis that population densities would decrease negative exponentially with distance outwards from the city centre (CBD). Density is proportional to the inverse of the distance which is supposed to represent the disutility of commuting (MILLS, E. 1967, and 1972; MUTH, R. 1969). Transportation infrastructures and systems have implications shaping the spatial structure of the cities, generating different economic, environmental and social effects. Differences in accessibility, transport and commuting cost within an urban area are balanced by differences in the price of living space (BRUECKNER, J.K 1987; ANAS, A. et al 1998).

At early stage of economic development, public transport offer is poor and infrastructures are deficient, but the smaller cities and major density enables short trips, able to be done walking. As income stays low, bicycles are the only private vehicle affordable, then PTWs as relatively cheap vehicles, useful for a wide variety of uses, from working vehicle, transport, delivery to even leisurely activities. (LEE, T-Ch. et al. 2011). In more advanced stages of developed PTWs, appears as a reliable solution to inner-city mass transportation problems. Car possession stays low and motorcycles increase through greater affordability at the pace of economic growths.

In many Developed countries motorcycles are a primary mode of transportation, especially in urban areas. In 1996 the total number of PTW registered in India represented the 69 % of the total number of motor vehicles, in Germany the 5 %, in U.S.A 1,8 % and in Japan 18 % (MOHAN, D. 2002). At this stage there is high elasticity between vehicle ownership and income. GAKENHEIMER, R (1999) found that cars per 1000 population correlates very well ($R^2= 0,71$) with the annual income of the top 20% of population of a large group of low income developing countries (Bangladesh, India, Pakistan, Ghana, Sri Lanka, Indonesia, Philippines, Ivory Coast, Guatemala, Morocco, Peru, and Colombia).

2.2. Shift form motorcycle to car ownership.

Economic growth tends to stimulate higher levels of consumption. When the gradual increase in per capita income reaches a threshold level, car is one of the assets that people wants to buy once they have covered the basic needs. Higher income correlates with higher car ownership and use. The affordability of buying cars encourages a shift of use from motorcycles to cars. The substitution effect from motorcycles to cars is possible because the overall income increase reduces the costs of buying and running a car. (LAW, T. H. et al. 2015).

Income rise favors a switch from PTWs to cars. When the income per capita growth trespasses a certain level over the car owning threshold, is therefore expected a decline in motorcycle ownership. NISHITATENO, S. and BURKE, P.J (2014) analyzed data from 153 countries for the period 1963-2010 and found that the number of PTWs per capita increases as income per capita grows until it reaches a threshold of around \$8,000 per person per year. From this threshold on, in spite of income increase, the possession of PTWS decreases. Cars tend to be preferred due to the independence that they provide mobility, safety, versatility, convenience, comfort and also because cars are regarded as a symbol of status, a badge of social welfare (GOODWIN, P.B. 1997; STRADLING, S. G. et al 1999; STEG, L et al. 2001; STEG, L. 2005). Their high utility and symbolic appeal stimulates car ownership, even if public transport is well prepared as an alternative. (WU, G et al. 1999; STEG, L. 2003).

As the economy grows, the capita income tends to increase gradually and hence the affordability of cars acquisition. Simultaneously socio-economic growth tends to be accompanied by an improvement of transport services, both in quantity and quality of infrastructures and the offer of public transport. The increased accessibility in public and private transport, with smaller costs (in time and money) favors the growth of the peripheral areas, where it is possible to live more cheaply and in spacious homes, far from the center and workplace. Distant areas from center town are more affordable, and with the improvement in transport become more accessible in time and cost. Better accessibility makes appear a phenomenon named suburbanization, consisting in urban expansion occurring with the growth of less dense peripheral areas. Transportation improvements

cause suburbanization, fostering population growth in suburban areas, while transport infrastructure affects urban form causing the population to spread out along the highways (BAUM-SNOW, N. 2007). Suburbanization is related with increase of car-ownership in peripheral areas where the public transport offer is scarce, and lesser densities produce that despite trips become longer, average travel speeds are faster, favoring the use of the car for commuting. (MIESZKOWSKI, P. and MILLS, E. 1993; MONCLÚS, F.J. 1998; GALSTER, G., et al. 2001; FISHMAN, R. 2008; GUERRA, E. 2015).

Technological innovation and governmental backing to the car industry could reduce the cost of vehicle acquisition and accelerate the motorization process. As most of the countries in USA initially motorcycles were more affordable vehicles than cars. The shift from motorcycle to car ownership was strongly pushed through technological and organizational innovations introduced by Henry Ford from 1907 on mass production of automobiles making "Model T" an affordable automobile and a "dominant design" (ABERNATHY, W. J. and UTTERBACK, J M. 1978). By the mid-1920s the cost of motorcycles as Harley or Indian was around \$275-\$375, and the price of a Model T Ford was only \$545 (DULANEY, W.L. 2005). There are similar effects in vehicle producing countries as now India and China, where despite the cost of motorcycles is low, improvements in production and support for the car industry significantly reduces the price of automobiles and drives an increase in motorization (HUO, H., et al. 2007; SCHUSTER, T. and HOLTBRÜGGE, D. 2011; TIWARI, R. and HERSTATT, C. 2014; VERMA, M.. 2014). Something similar happens in Vietnam with motorcycles, where domestic assemblers, manufacturers and suppliers of parts and components of low-priced models have boost the sales and popularity of motorcycles (FUJITA, M.. 2014).

The risk factor encourages the shift from motorcycle to car ownership and usage in many developed countries. PTWs are a relatively risky form of transport. The limited protection design of motorcycles implies that are less secure in comparison to the protection of an enclosed vehicle as cars. PTW occupants are more likely to be injured or killed in accidents. A parameter for quantifying risk exposure is death in accident depending on the mileage (accidents per Vehicle-Kilometers Travelled VKT). PTW displacements in all 25 EU countries in 2006 accounted for 2% of total kilometers traveled, while PTW users representing 16% of all road deaths (ETSC 2007). In Britain the ratio of deaths for riders is 24 times higher than for car occupants (DEPARTMENT FOR TRANSPORT 2015). In the USA the ratio of motorcyclists dead by VKT was 30 times more likely than car occupants (NHTSA 2013); In Sweden is about 20 times higher (SRA 2008), in Denmark 12 times, in Belgium and Canada 13 times, in Australia 14 times, in Netherlands 20 times, in Ireland and Czech Republic 24 times (IRTAD 2014). Some studies suggest that a part of motorcyclists shift towards car as a safer mode of transport when improve their income (STEVENSON, M. and HARIZA, A. 2006).

2.3. Car Saturation level. Increase of motorcycle use.

When societies reach high per capita GDP and large urbanization levels, tend to have a higher motorization. This is a mature stage where a large part of population could have higher incomes, varied and sophisticated needs and more leisure time. A large range of trip purposes is satisfied with a wide accessibility by public and private means of transportation, and hence could explain some changing consumer preferences over modes of transport.

In advanced stages of development, the rate of motorization tends to reach a saturation level, shifting from an expansion market to a mature one. When this stage is reached, in dense urban areas, modal split is increased, and motorization stabilizes while car ownership gets reduced (MOGRIDGE, M. J. H. 1967). The saturation level could be measured by the number of car ownership per 1,000 inhabitants, and varies depending on the type of society, level of development and geographical and urbanization factors. WHELAN et al. (2000) analyzed the limits to car ownership growth. Some other studies consider that vehicle saturation levels may be different across countries, as a function of population density, and then it is possible to estimate empirically the saturation rate for different countries, considering income elasticity's. (DARGAY, J. and GATELY, D. 2001; DARGAY, J. et al. 2007).

Urban development has been a contemporary process of population migration from rural to urban areas. This transformation implies an increasing proportion of the population living in cities and urban settlements. The increase of population and density transform urban areas in large agglomerations that need highly complex requirements for passengers and freight mobility between a multitude of origins and destinations. When urban zones become high density areas, mobility is a central issue in the urban transport system.

There are two extreme forms of urbanization: high density and spread-out. Usually metropolitan areas merge the two forms, with a dense compact central transit-oriented downtown and central business districts CBDs surrounded by scattered, sprawling large spread-out auto oriented suburbs. There are areas in the city with high density of population and services where public mass transit means prevail, and large urban areas with low density where private vehicles are the dominant modes of transport.

More people moving within greater metropolitan areas implies increased travel distances, usually covered by private vehicles. The rapid growth of suburban areas has been accompanied by a profoundly growth in car ownership, more than public transport, because in less dense metropolitan areas only cars allow high accessibility, in front of public transport. The increasing car use changes conditions of the traffic circulation within metropolitan areas.

The accelerated pace of urbanization and the affordability of motorized mobility tends to lead to traffic congestion in densely populated cities. The increasing use of cars contributes to raise the costs of travel and the negative consequences: traffic congestion, parking constraints and disorder, accidents, air pollution.... Higher costs of car travel, coupled with public policies to deter car use and an increasing supply of more efficient public transport, tends to favor modal shifts from car to public transport and in some regions also to motorcycle. When this stage is reached, car ownership enters a phase of slow decline, in which income levels tend to identify more for higher quality and lower age of the fleet, than by its size. Increasing fuel prices and parking fees will also lead to made more competitive PTW than cars in urban areas.

The pace of motorization tends to be faster than the capability of infrastructures and facilities to improve the efficiency of transport systems, resulting in a problem of congestion, and an increase of travel times. Congestion tends to reduce the mobility of auto users. High population density at urban residential areas affects negatively car ownership (YAMAMOTO, T. 2009). Urban congestion negatively affects transit, increasing travel times, declining for public transport users (GAKENHEIMER, R. 1999).

In dense urban areas massive car use is related with pollution, problems in the interactions between vehicles and pedestrians and parking restrictions. To attenuate these problems several kinds of policies are implemented to discourage car use: restricting traffic in the center where large pedestrian zones are created, taxes to car access to different urban areas. Different levels of vehicle taxation affects to the choice of vehicle type, consumption, emissions (BIRKELAND and JØRGENSEN (2001).

The restriction of car use favors the use of less bulky vehicles like the PTW. Policies of major cities in advanced countries aim to limit the use of cars in urban areas. In urban dense areas increases the attractiveness of motorcycles thanks to its greater ease of travel with heavy traffic, less parking constraints and lower consumption (Chin, A. and . SMITH, P. 1997).

In advanced societies high income allows people to have more leisure time (OECD 2014). In these societies the offer of leisure activities is more varied and sophisticated. One of the options is to use the motorcycle for recreational purposes. In many cases ride motorcycles, possession and collection are related with social and leisure activities. Motorcycling activities are doing for the sake of travelling in order to perform leisure activities. A substantial number of motorcycle travels are related to leisure activities and are influenced by economic conditions, weather, and recreational opportunities. In U.S. recreation is the top reason cited by people for riding motorcycles (GHSA 2011). Only about 33 % motorcyclists consider using their vehicle as a primary mean of transportation to drive to/from work or school (McCARTT et al. 2011). In the other side in some Asian countries as Taiwan only 4,9 % of trips are for recreational purpose (HSU, T.-P, et al. 2003).

At last stage of motorization evolution, the increased use of motorcycles in dense urban areas is based on three factors: motorcycles are more competitive in urban areas with traffic and parking restrictions, sociologically the incorporation of women increases the use of PTW and finally in areas with high purchasing power and enough leisure time, recreational use motorcycle appeared with a renewed interest, mostly in weekend and spare time (HAWORTH, 2012).

3. MODELING PRIVATE VEHICLE OWNERSHIP EVOLUTION

The rapid increase of motorization in the world improves transport and economy, but it is also associated with negative externalities (accidents, pollution and congestion). Modeling vehicle ownership is a powerful tool useful to analyze and predict scenarios that assist decision-making and transport planning.

There are different model approaches, among others: aggregate, disaggregate, heuristic, discrete-continuous, pseudo-panel methods, and dynamic (de JONG 2004). Disaggregate models based in econometric discrete choice analysis are useful to model the microeconomic individual choice behavior that conforms the consumer demand for transport services. However modeling the evolution number of vehicles per household is a macro level analysis, done using aggregate models based in time series approach of large zones information (country, region, city) of household aggregated data. Different types of studies use empirical data and mathematical models based in several kinds of socio-economic and demographic characteristics attributes: income, density, population, costs, access, fuel prize, transportation system, land development type ..., aiming to estimate vehicle ownership to help in the transportation planning process.

Aggregate models have lowest data requirements. Many vehicle ownership aggregate models, mostly by country, have been carried out attempting to model the demand as a function of socio-demographic, economic, transportation system, and land development characteristics. (TANNER 1962 and 1983; BATES et al. (1978); BEESLEY, M.E. and KAIN, J. (1964); BUTTON et al (1993); WHELAN et al., 2000, WHELAN, 2001), DARGAY and GATELY 1999. INGRAM and LIU (1997) found significant relationship between number of vehicles and road lengths, and estimate the quantitative relationship with incomes, population, urbanization and fuel prices.

Overall private motor vehicle ownership is the sum of cars and PTWs. The models of car and motorcycle ownership are different but not independent. Car and motorcycle ownerships shape mobility and the evolution of private vehicle possession are closely interrelated, even with cross elasticity, but with different shapes.

The evolution of vehicle ownership models use to relate a dependent variable as volumes

of vehicles in function of an economic type independent variable as per-capita income, gross domestic product (GDP), per-capita GDP. The model use to represent a long-term growth with several periods, mostly linked with different stages of economical devolvement.

When population arrives to a particular basic threshold of per capita income people can afford buying motorized vehicles. The cheapest vehicles are mopeds and motorcycles, and therefore they are the first motor vehicle to be acquired. When the income increases people can afford to buy cars, that are globally preferred for its versatility, security, comfort and status, appearing a substitution effect in the election between car and PTWs. At higher levels of per capita income, the substitution effect decreases by the possibility to own several types of vehicles. In this way relationship between motorcycle and car ownerships differs depending of level of the economy and other factors gain relevance, as urbanization, transport policies, security and leisure.

3.1. Modeling car ownership

There is a long tradition of studies that model the evolution in the level of car ownership and relevant variables. Car ownership models are based in one or several independent variables related with economic evolution, urbanization form and transport policies.

The relationship between measured economic values and car ownership variables is nonlinear in the long-term. It is usually assumed that the equation that well describes the data is a sigmoid-shape function, an S-shape curve. (TANNER 1958; MOGRIDGE, M. J. H. 1967). The flexible Gompertz function allows to relate vehicle/population ratio with an economic variable (ZACHARIADIS, T. et al 1995; TALUKDAR, D. 1997; INGRAM and LIU 1999; WANG, M., et al. 2006). Examples are the work done during a long period in UK and 18 industrialized countries from 1958 to 1980, founding a strong relationship between car ownership and the rate of economic and of income levels on the number of cars, and how income elasticity decline as countries incomes increase (TANNER,J.C 1983). Vehicle ownership models in low income countries have similarities with industrial states reinforcing the importance of income effect in car ownership and traffic volume expansion as income countries prosper (BUTTON et al. 1993).

The model must represent three periods: a initial period of fairly steadily growth resulting of a sluggish economic growth until it reaches a threshold point, starting a boom period where income afford buying cars encouraging an abrupt change, with a sharp increase in a relatively short time arriving at a level of saturation, giving way to a third plateau period where hardly grows number of vehicles per capita and even inconvenient discourage use, since then the tendency is a stabilization with a smoothly growth or even a slightly recession. The function has two inflexion zones: the first place the expansion levels, the second inflexion zone starts a asymptotic area, determining the saturation level of vehicle ownership. The shape is fitted on adjustable parameters.

Analyzing the behavior of the evolution of car ownership is important to note two important phenomena: the inelasticity of car ownerships at high income levels (saturation threshold) and a hysteresis loop back, in the way that car ownership does not respond symmetrically to rising and falling income (DARGAY, J. 2001).

DARGAY, J. and GATELY, D. carry on international comparisons studies analyzing the relationship between car ownership and income levels using data, in a previous study from 26 countries (1999) and extending the range to 82 countries (2001). They used a Gompertz function to represent the long-run equilibrium level of the vehicle/population ratio V_t^* (Vehicle ownership in year t) as a function of per capita income GDP, allowing to predict the motorization rate (the number of cars per 1,000 persons). The equation can be written as:

$$V_t^* = \gamma e^{\alpha e^{\beta GDP_t}} \quad (1)$$

Where the parameter γ is the saturation level that cannot be equal to 0. The parameters α and β are two negative values that determine defining the shape, or curvature, of the S-shape function of vehicle ownership over economic growth.

Income elasticity shows how a low level of income, motor-vehicle ownership acts as a "normal good" increasing demand as income rise for per capita motor-vehicle ownership, and conveyed a threshold of saturation, as people increase income vehicle demand is more and more elastic. In the Gompertz curve long-run elasticity is estimated by appropriate differentiation:

$$\eta_t^{LR} = \gamma \beta GDP_t e^{\beta GDP_t} \quad (2)$$

In order to account for lags in the adjustment of vehicle ownership to per-capita income, postulated a partial adjustment mechanism:

$$V_t = V_{t-1} + \theta (V_t^* - V_{t-1}) \quad (3)$$

Where θ is the speed of adjustment ($0 < \theta < 1$) and V_t is vehicle ownership at time t . The adjustments follow some slow and gradual socio-economic and urbanistic changes, that aggregate in the model produces the resulting equation:

$$V_t = \gamma \theta e^{\alpha e^{\beta GDP_t}} + (1 - \theta) V_{t-1} \quad (4)$$

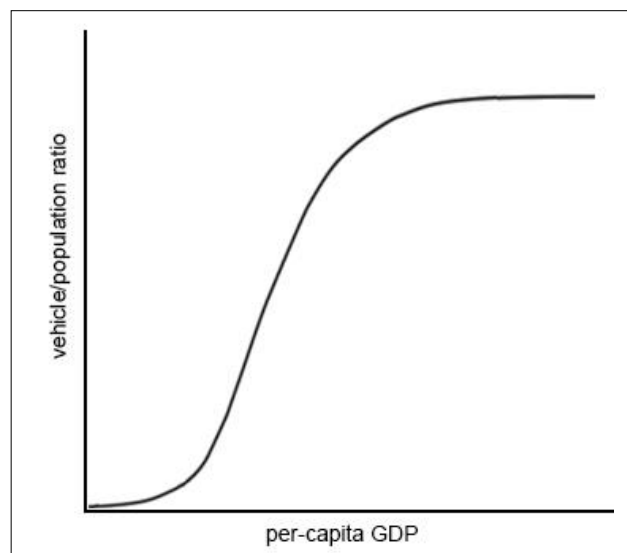


Figure. 1. Gompertz function

Initially DARGAY, J. and GATELY, D. (1999) presume that within a given income level, car ownership will remain similar between countries. Subsequently DARGAY, J. and GATELY, D. (2011), considered that vehicle saturation levels must not be similar for all countries, because differences across them make likely to reach saturation at different income levels. That is possible because not only the economic variable is relevant, been also relevant the influence of transport policies and urbanization forms, which vary from one country to another and geographical area. Many factors influence motorization and transport policies is a prominent one.

Differences between countries in political and economic institutions matters, and explain some differences in economic growth and prosperity. Democratic institution oriented to accomplish population demands are more sensible to respond to increasing public pressure towards better provision and more efficient transport system. The result is that, democratic and advanced countries tend to be more willing and able to channel resources into transport system efficiency and higher quality of life standard that implies restrict the use of private vehicles in urban areas. When income grows in developing countries, if public transport is not promoted and there is no intervention policy, car use increases without public transport alternatives, rising traffic congestion. Public transport availability is closely related with car ownership. (KUTZBACH, M.J 2009; BUTTON et al. 1993).

On this way must be consider different income elasticity depending of population density, urban structure and transport policies, declining saturation level of vehicles per capita as population density increases. The curve has similar shape but there are four different patterns depending on the geographical area: North American & Australia, Europe and Asia and lower vehicle ownership (HUO, H., et al. 2007) . The form remains particularly

common during the initial period before reaching the threshold of transition. One of the factors that can explain the differences is the different process, intensity and features on which countries have made the transition from a rural society to an urban society. In North America it has been a very progressive step without practically no megacities and large urban areas with low density. However several countries in Asia (Japan, South Korea, Taiwan, Thailand, Malaisia and later China, Vietnam and the Philippines) have experienced one fast transition from rural to urban modern dense areas. After the Civil War, sixty years ago South Korea was one of the poorest countries in the world with much of the population living in agricultural communities, nowadays 90% of the population lives in urban areas (CHANG, H. 2007).

3.2. Modeling PTWs ownership

In a long-term perspective, the relation between economic prosperity and motorcycle possession is less strong than car ownership. Motorcycle use is influenced by many different factors from car use, implying a different type of ownerships evolution. The relationship between income and PTWs possession appears to be non-linear: at the beginning, economic growth leads to a growing number of PTWs, but later more prosperity tends to mean fewer motorcycles and more cars.

Otherwise, in some advanced countries, driving motorcycles has a high recreational purpose, influenced by factors as culture, spare time available, weather, risk-perception and demographic structure, more than economic factors. This fact subtracts weight to the purely economic variables, taking part a wider range of explanatory variables. Since the mid-1990s, notable increases in motorcycling use in developed countries are related with a wide range of activities with motorcycles for commuting and recreational (JAMSON, S. and CHORLTON, K. (2009); McCARTT, A. T., et al. (2011); HAWORTH, N. (2012).

The evolution of possession of PTWS in relation to per capita income should show how as a country develops and people have higher incomes want to improve their mobility acquiring mechanical modes that allow more accessibility at lower prices. The motor vehicle most accessible are mopeds and low power motorcycles. PTWs are a form of personal transport that can provide to individuals an affordable means of transport and cheaply mobility opportunities for acquisitions, operation and park.

At the first stages of economic growths, PTWs ownerships increases at the income pace, until it reaches a wealth level when people could afford buying cars, and prefer then, procuring a modal split, declining motorcycle possession as income rise further. Therefore as income rise and per capita wealth exceeded a certain threshold that allow people buying cars, people shifted from motorcycles to car ownership, declining not the global but the relative number of PTWs in relationship with cars. At low levels of income, PTWs behaves as "normal good", increasing consumption with wealth. But in relation with cars PTWs acts as "inferior goods", thus at higher income levels, substitution effects appears from

motorcycles to cars that are preferred as “superior good” with higher attributes.

In dense urban areas, increase of motorization and massive car use produces congestion and parking problems. PTWs use could help for reducing traffic congestion, giving opportunities to cities to use less area for motor vehicles and parking. In this specific situation and areas, in developed countries, where car motorization expanded, it tends to get reduced and increase the use of TPWs.

The S-shaped Gompertz function valid for represent car evolution does not provide a statistically fitted representation of the relationship between evolution of GPD per capita and number of PTW; specially for countries with fast growing economies like East Asian Countries (China, Japan, Malaysia, Taiwan and Vietnam). In Australia, New Zealand and Japan motorcycle ownership level grow with the economy and then decline when income reached a certain level (SILLAPARCHARN, P 2007). In the case of evolution of car ownership the high correlation with wealth growth facilitates to formulate models related with economic variables. At the starting stages of economic development PTWs ownership increases at the pace of economy, but reaching an advance level of per capita income, other variables have significance as safety, availability and recreational use.

Research studies suggest that the relationship between motorcycle ownership and per capita income growth follows a long-term inverted U-shaped curve, which fits relationship between PTWs ownership and economic development. The function was formulated by Simon Kuznets (i.e., the Kuznets curve) (1955) in the framework to represent the relationship between environmental pollution and per capita income, trying to show how development gives rise to some structural socio-economic transformation in what an economy produces (GROSSMAN, G.M., and KRUEGER, A.B. 1995).

The inverted form pretends to show how at early stages of economic growth PTWs have positive attributes, but with the society transformations that progress produces, decreases the tolerance of negative externalities of PTWS and lose appeal.

This dual and opposing effect could be explained because the structural changes that occur in the society and urban forms when economy grows, lead to changes in the transport model pressures in the long-term. Development allow motor vehicles use as PTWs because his affordability, but increase motorization entails adverse impacts as accidents that may split consumers preferences and induce structural urban transformation, and when increases population affordability to buy motor and at same time transform consumers preferences (from PTWs to cars when can afford to buy).

Over time, the scale of the socio-economic activity entails negative impacts of PTWs (mainly increase of accidents), and such urban structural transformation may, reverse the expected positive relationship between economic development and PTWs use (HSU, T (2007).

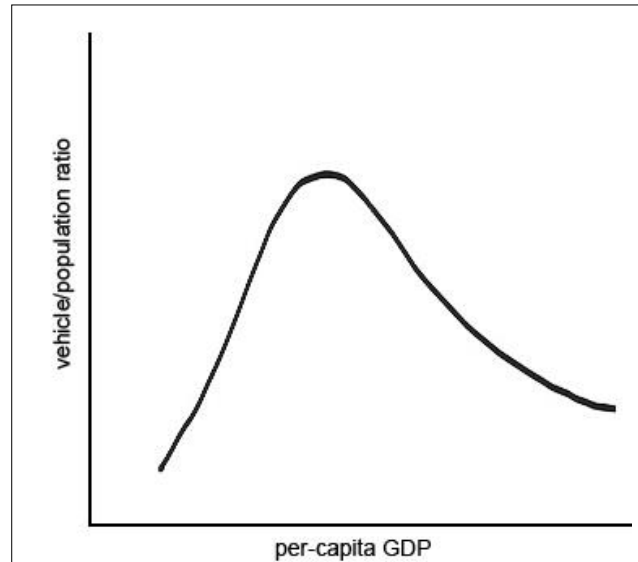


Figure. 2. Kuznets function

Different models of PTWs ownership has been formulated with some type of inverse U-shape curve. SILLAPARCHARN, P (2007) formulated for Thailand a model where motorcycle ownerships increase until reach a threshold, after that motorcycles ownership declines replaced by car ownership, been the equation:

$$\log MC1000_i = a + b_1 \log GPPpH_i + b_2 (\log GPPpH_i)^2 + b_3 \text{Distance}_i + b_4 \log C1000_i + b_5 (\log C1000_i)^2 \quad (4)$$

Where:

- MC1000_{*i*} = The number of motorcycles per 1000 inhabitants for province *i*
- POP1000_{*i*} = The selected as a weight variable
- GPPpH_{*i*} = Gross provincial product per household for province *i*
- Distance_{*i*} = Linear distance of province *i* from Bangkok
- C1000 = Number of car per 1000 inhabitants for province *i*
- a*, *b*₁, *b*₂, *b*₃, *b*₄ and *b*₅ = Coefficient of influencing variables

Taking in consideration the former model, PONGTHANAISAWA, J and SORAPIPATANA, Ch (2010) consider that SILLAPARCHARN, P (2007) underestimated the motorcycle ownership after trespassing the peak; formulating a new model based in a logistic function taking as a dependent variable overall vehicle ownership (vehicles per 1000 persons) at year *t* ($V_{\text{overall},t}$).

$$V_{\text{overall},t} = \frac{S}{1 + e^{a \cdot G_t^{-b}}} + c \cdot D_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

Where:

- S = Saturation level of the overall vehicle ownership (vehicles/1000 inhabitants)
- G_t = per capita GDP at year t
- D_t = as a dummy variable in year t
- a , b , and c = coefficients of the model
- \mathcal{E}_t = error term

The results allows to forecast a transition from motorcycle to car ownership calculating the motorcycle ownership peak by number of vehicles and per capita GDP, showing as overall private vehicle ownership in Thailand is similar to most developed countries.

Using data for a large panel of vast majority of countries for the period 1963–2010 NISHITATENO, S. and BURKE, P. J. (2014) pointed to a Kuznets-style inverted U-shaped relationship between average income levels and motorcycle ownership. So that at low income levels, possession of motorcycles grows at the same pace until reaching an income level from which an inflection occurs and decreases the possession of motorcycle as income increases. The curve shape tends to be more pronounced in densely populated countries.

LAW, T.H. et al. (2015) have done a cross-country statistics analysis using sample data of 80 countries at various levels of economic developmental growth over the 48-year period between 1963 and 2010, considering the interaction between motorcycles and car ownership and how the associated proportion was influenced by the growth of economic development in the countries, determining the relationship between the motorcycle to passenger car (MPC) ownership ratio and the per capita Gross Domestic Product (GDP). The study finds an inverted U-shaped relationship between the motorcycle to passenger car (MPC) ownership ratio and the per capita Gross Domestic Product (GDP). Generally, the MPC ownership ratio increased with income at a lower level and decreased with income at a higher level. The resulting function take as dependent variable the motorcycle to passenger car ownership per a country i at year t ($MPC_{i,t}$).

$$\ln (MPC_{i,t}) = \alpha_i + \varphi_1 \ln (GPD_{i,t}) + \omega_2 (\ln (GPD_{i,t}))^2 + \varphi \text{year}_{i,t} + \beta' x_{i,t} + \mathcal{E}_{i,t} \quad (6)$$

Where:

- $GPD_{i,t}$ = per capita GDP in country i at year t
- α_i = The country-specific intercept
- φ , ω and β = Model parameters to be estimated.
- x_i = A vector of other explanatory covariables.
- $\mathcal{E}_{i,t}$ = Is a error term.

In a country where motorcycle use expand fast DAO, N.X. and DUC, NH (2005) use a multiple linear regression to the motorcycle ownership level at the national level for Vietnam, as multinomial logistic regression for motorcycle ownership for individual ownership and household ownership (LEONG and FARHAN). HSU, T. et al. (2007) uses a Poisson regression form to model the motorcycle ownership of household, as a function

where dependent variable Y , number of occurrences (k) of an event, has a Poisson distribution given the independent variables X_1, X_2, \dots, X_m ; founding that the owning number of motorcycle decreases when increases the number of licenses, cars and household members using public transportation, showing directly substitution effect among motorcycle and public transportation and car mode.

The inverted U-shaped curve is also useful to show the relationship between traffic fatality risk and per capita income. The curve fits how accidents first increase and then decrease with income. Thereby can explain the phenomenon that as income increases the acquisition and use of motor vehicles lead to increased accidents, which make people become aware of the danger and stimulate safety mechanisms. Therefore as incomes rise, governments and individuals devoted more resources to invest in safer vehicles and in road safety, driving a decline in the fatality rate (VAN BEECK, E.F. et al. 2000; KOPITS, E. and CROPPER, M. 2005).

DUFFY, M. and ROBINSON, T., 2004 made an econometric analysis of motorcycle ownership in the UK and conclude that motorcycle use will not decrease in the long-term, on the contrary, the future growth prospects may be quite good. In dense urban areas, cars will experience increasing cost of running because of for further tolls, taxes and environmental restrictions, favoring a substitution effect from car to motorcycles. The conclusion of the analysis implies questioning that in the long run high incomes are related with declining use of the motorcycle, and therefore that the model of PTWs ownership fits an inverted U-Shape.

4. THE EVOLUTION OF PRIVATE MOTOR VEHICLE OWNERSHIP IN SPAIN.

The first motor vehicle registered in Spain dates October 31, 1900. Figure 3 shows the evolution of vehicles registered annually (passenger cars and motorcycles, excluded mopeds), from the beginning of the available register of motor vehicles dating 1900, until year 2014. However, registers of mopeds are only available from year 1987 to 2015. It is possible to find some similarities between the model of private vehicle ownerships evolution and the Spanish motorization process, identifying the big stages of the model: a long starting period from beginning until Spanish Civil War and post-war of sluggish increase with prevalence of motorcycles over cars, a period of rapid expansion driven by the popularization in the use of car, and a third period of stabilization and saturation level in car use.

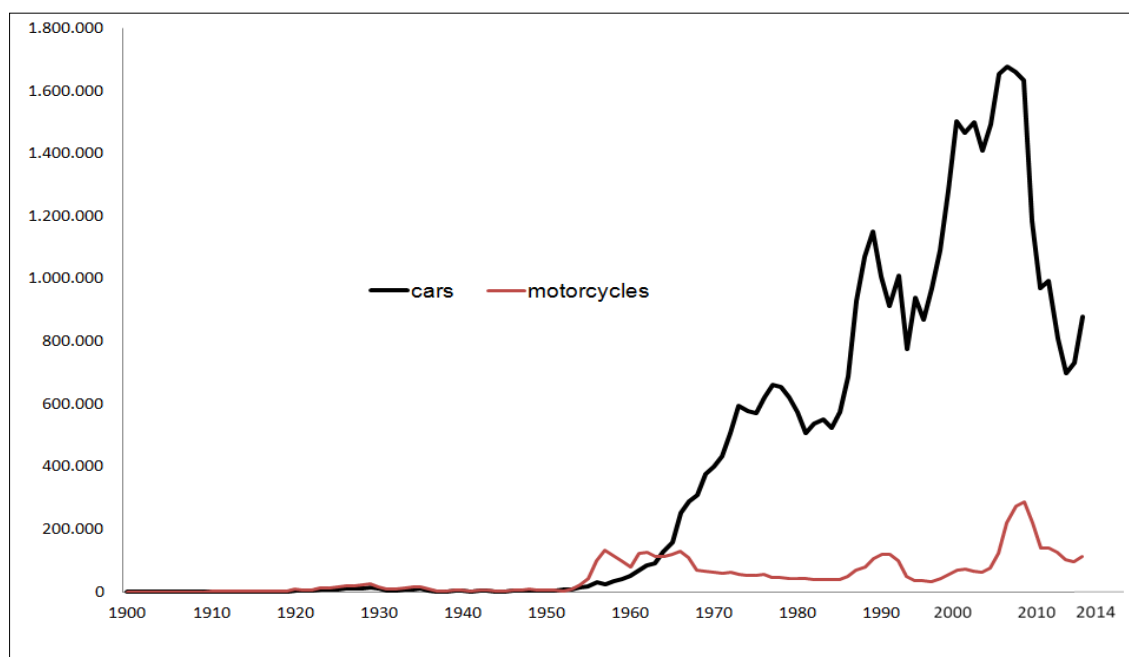


Figure 3. Evolution of vehicle registration (total cars and motorcycles)

The beginning covers a long period from the start of the century until the half of the 1950s, of sluggish increase of vehicle possession at the pace of the economy and vehicles industry innovation. The first vehicle was registered in Spain in 1900, with a total of 4 vehicles registered for the end of the year. In 1901, 47 vehicles were registered, most of them in the seaside resort of San Sebastian, as the car was an exponent vehicle snobbery of a high economic level linked to leisure. The automotive industry began in Spain in 1903, although during the first half of the century a big part of the cars were imported. At the very beginnings cars are luxury items, and the main vehicle is the bicycle. As purchasing power increases, motorcycle ownership expands rapidly, with a slow car registration. This long period low increase of registrations goes at the pace of economy, with periods of economic stagnation as after the big crisis of 1929, when vehicle registration decreased. The main

characteristic of the period is that the volume of vehicle registration is low, been much larger the number of motorcycle's (a ratio of three to one). This period suffered a long stagnation because economic turbulences during the Spanish republic, civil war and long recession along the post-war period.

Spanish Civil War (1936-1939) led to a severe long post-war economic crisis, extending a period in low level of purchasing power. During this first stage of evolution, motorcycles were the most affordable motor vehicle, and remained more registered than cars until the year 1967.

As some studies have noted, during first stages of historic evolution income is primary factor of vehicle ownership, declining elasticity as countries incomes increase (TANNER ,J.C 1983; BUTTON et al. 1993; DARGAY, J. and GATELY, D. 2009). During this period of low purchasing capacity there is a high elasticity between salaries and vehicle purchasing. Motor vehicle behaves as a "normal good". In this regard in 1957 some governmental policies allow a general lift of wages without a increase of prices, resulting in a purchasing power improvement, leading an augmentation of motorcycle registration in that very year. In the subsequent years the increase of inflation neutralized the effect of wage increase, which resulted in a contraction in motorcycle registrations.

The second period of historical motor vehicle evolution in Spain could be located in the second half of the 1950s. It is characterized by the expansion of motorization. The negative economic consequences of the Civil War remain until the year 1959, when the government launches a series of "Stabilization Plans", intended to promote the well-being and progress through the implementation of the package of specific actions such as technological improvement and industrial development.

The expansion period of motorization is favored largely by the government's commitment to the domestic car industry. As many countries, Spanish government perceived the automotive industry as a strategic sector. As a capital and labor intensive industry, this sector requires strong investments, skill work force and technology, that contributes to increase employment, national production and raise the technological level. The large magnitudes of the sector facilitate upstream and downstream activities. The government intervention tried to promote and protect domestic industry helping production at low prices to stimulate the purchase of cars that increase the motorization. In the 1953 was founded the enterprise SEAT, the flagship of Spanish car industry, one year after French industry Renault starts producing vehicles in Spain, followed by other enterprises as Pegaso, Barreiros, D. K. W., Simca, Dodge.

One of the fundamental instruments of planned economy is the manufacture of vehicles. The Development Plan 1963 set ambitious targets for domestic vehicle production. Several policies introduced government-subsidized programs to reduce cars prices and accelerating car acquisition. As the car industry is granted exemption reducing final price the incentive

to own a car will increase accordingly. Various studies explain a similar phenomenon with the automotive and motorcycle in Japan, China, Vietnam, Thailand and Malaysia (FUJITA, M. 1998; 2013).

The expansion period experienced a momentum of car registrations during the period 1960-1966 with a five-fold increase, passing from 50,254 to 250,673. This augmentation in car registration is directly related to the 65 % increase in per capita income, which went from 16,247 to 25,306 currency units (FLORES GIMENEZ, F. 1969).

The registered number of car surpassed motorcycles in 1967. In 1966 the number of motorcycles are 1,210,496 in front 1,052,506 cars; passing the next year to 1,259,062 motorcycles against 1,334,837 cars. In 1963, motorcycles accounted for 53.7% of the vehicle fleet and three years later descent to 44.3 %. This decrease is related to the strong increase in income per capita. The automobile domestic industry expand inside the national market: in 1962 the 14,2 % of cars were imported, passing to be 5,6 % in 1966, because increases in the official protection to domestic production. At the same time road infrastructures expand and improve: in 1960 there were a total of 130,645 kilometers of road and no one of highway; in 1983 the road have a length of 150,256 kilometers and motorways 2,763. In a period of 10 years there was a sharp increase in car use that reduced the percentage weight of the use of the motorcycle as a vehicle for long distance transportation. In the year 1960 the 12,8 % of road passenger trips were made in motorcycle, reducing until only 1,4 % by the year 1980 (IETC 1992).

Economic expansion tends to generate an increasingly affluent middle class, for whom the automobile reaches full popularity, becoming an indicator of the purchase power. In the decade of 70' the number of vehicle registrations nearly tripled, although the economic growth stabilized at around 6%. The oil crisis started in 1973 by a severe oil prices increase, affecting the economic growth, but on the contrary it did not stop the private vehicle registration that kept on the ascent trend with fluctuations. The growth period lasted the decade of the 1980s with an average growth rate above 8%. In the next decade there were signals of deceleration, between 1990-1999, the annual average growth rate descent to 4.3%, been the half of observed in the preceding decade.

The third period of historical vehicle evolution could be located passing the half of the 2000s decade. This period is characterized because motorization achieve saturation level, from which follows a slowdown and decrease. In Spain, the increase of the number of vehicle registration remained until the year 2006. In 2007 starts the big economic crisis and vehicle registration suffer a severe descent with average rate of -18.5% in the period 2007-2009. Since 2008 the Spanish economy is installed in a long period of crisis with a continuous descend in the number of vehicle registration only stopped in 2014 when cars demand was stimulate by a policy of lower prices (prices in the automotive sector back to 2003 levels), and governmental aid programs. During this period it's possible to observe a substitution effect from cars to motorcycles. While car registrations fall sharply, the

motorcycles are maintained and, since the year 2010, increase. Another effect of the crisis is that during the period 2007-2012 the average age of vehicles has increased 2.5 years since 7,8 to 10,3 years old. (ANFAC 2012).

Figure 4 shows evolution of the rate of motorization (vehicles per 1,000 inhabitants). It is possible to identify stabilization in a range 660-685 vehicles/population during the period 2006-2012 (DGT 2012). The rate of motorization in the range of 675 vehicles per 1,000 inhabitants is congruent with the estimates of the studies of DARGAY and GATELY that in 1999 made assumptions and projections of vehicle ownership for Spain of 710 vehicles per 1,000 people for the year 2015. The same study predicts a rate of 550 cars per 1,000 inhabitants, been the real ratio in a range of 475 vehicles per 1,000 inhabitants for the period 2006-2012 (EUROSTAT 2014). For the group of 15 member States of the European Union (named E-15), among which is Spain, the rate of motorization varies between 385 and 618 cars per 1,000 inhabitants. In saturation levels, it is no obvious the relationship between rates of motorization and wealth. The different motorization between EU-15 countries has to be explained by different territorial structures, transport policies, weather, culture and lifestyles. In this sense HUO, H. et al (2007) contemplate that in Europe the correlation between per capita GDP and motorization is slower than that of the North American pattern, partially attributable to the denser population and compact urban development in European countries, considering that the saturation level for the European growth pattern is about 600 vehicles per 1,000 inhabitants.

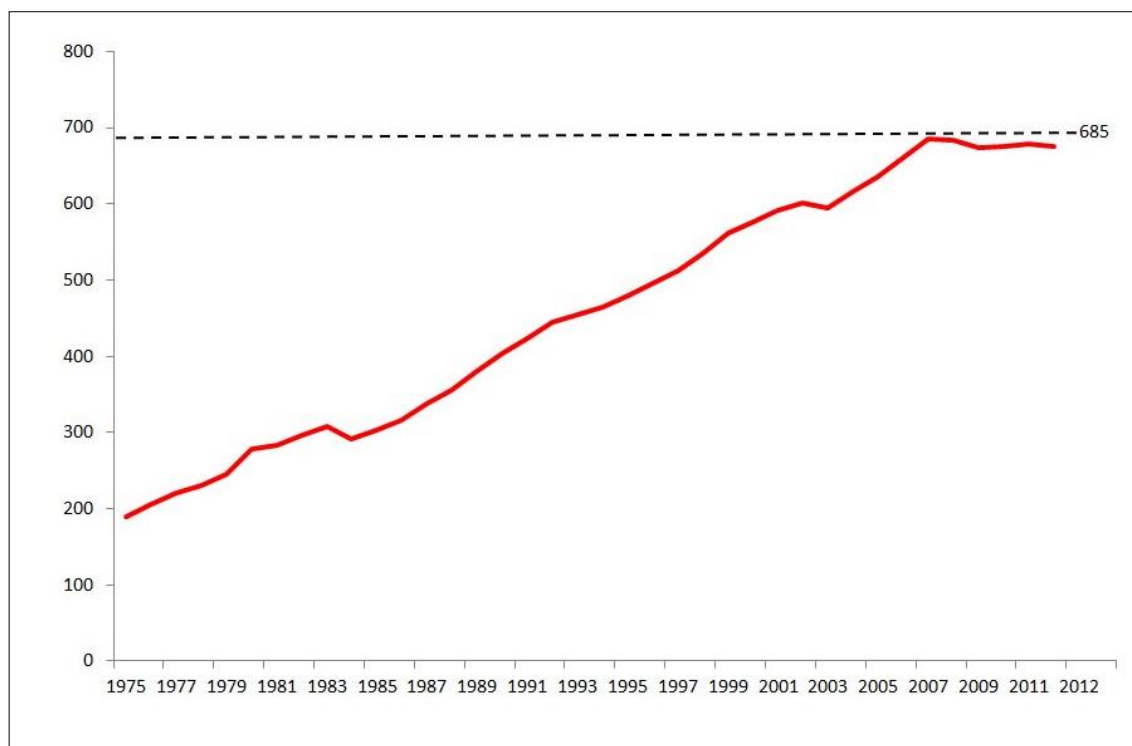


Figure. 4: Car ownership evolution in Spain (vehicles per 1,000 inhabitants)

The loss in purchasing power resulting from the 2007 crisis implies a reduction of cars acquisition. The life of the cars is prolonged, causing a sharp increase in the average age of cars on the road. In the period 2007-2011 the vehicles have gone from an average life of 7 years to 11 years. (ANFAC 2012).

Analyzed the whole evolution of private vehicle ownership in Spain, motorcycles have a strong proportion at the beginning, but car ownership gradually has been gaining predominance, surpassing in 1965 the total number, broadening differences, currently obtaining a large proportion of the overall private vehicles.

Another pattern in evolution of private vehicle ownership in Spain is that it is closely linked with economic growth, according to mainstream theories and models. Several studies have found high correlation between motorization and economic development. TORREGO SERRANO, F. (1987) analyzes provincial rates of motorization and finds correlation between fleet and GDP per capita, being lower in rural than urban areas. GADEA, M. D and MONTAÑES, A. (2009) formulate this explanatory model of the evolution of the volume of vehicle registrations based in GPD corrected by interest rate as explanatory variable:

$$\text{Log (REGISTRATION)} = \beta_1 + \beta_2 \cdot \text{Log (GPD)} + \beta_3 \cdot \text{Log (r)} + u \quad (7)$$

Where:

- GPD* = Spanish GPD
- r* = Interest rate Euribor per a year
- u* = Random perturbation
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = elasticity coefficients

The determinants setting are indicators as GDP and interest rate. The results will make predictions about the evolution of registration, so when the Spanish GDP increased by 1% , the number of registrations increased by β_2 %. And when the Euribor increases the number of registration decrease by β_3 %

When the evolution of cars and motorcycles is analyzed separately, is possible to find a good fit with the models for cars evolution, rather than in the case of motorcycle evolution. The evolution of cars fits a curved S-shape (U.S Gompertz). It can be seen a long period of slow growth, an area of inflection and a period of faster expansion until reaching saturation levels. It is possible to establish a zone of saturation at 670 vehicles/1000 inhabitant; quite similar with the number predicted by DARGAY and GATELY (1999).

Figure 5 shows the historical evolution of the total park of cars and motorbikes. Since 1962 are real data and backwards are simulated from registrations. The relevance of the figure is observe the shapes of the line of evolution, being able to perceive as cars rise rapidly and reach a saturation level while motorcycles have a increasing tendency with peaks and troughs.

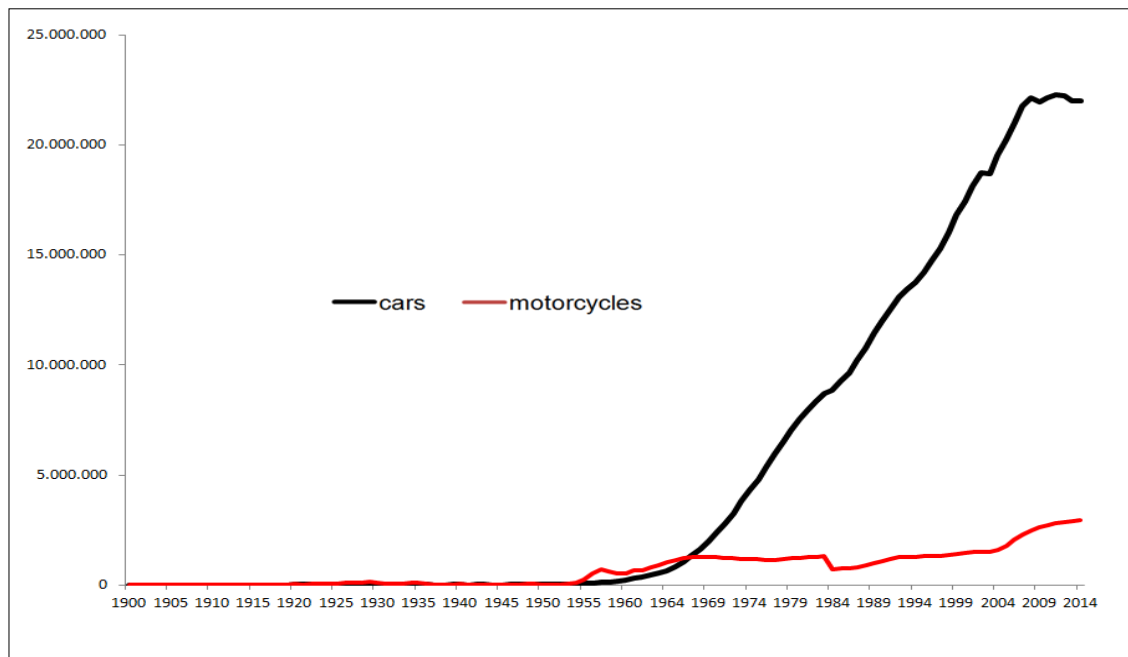


Figure. 5: Estimated evolution of cars and motorcycle fleet (vehicles).

The evolution of motorcycle ownership during the initial an expansion periods shapes a U-inverse curve (i.e. Kutznet), but during the post-expansion period, the decline in motorcycle use is not maintained, experiencing continuous peaks and troughs, with an upward trend. Since the car has reached its saturation period the increasing of use of motorcycle denotes substitution effects between car and motorcycle, especially in dense urban areas where the cost of using the car has increasing significantly. The result is that the evolution doesn't well fit a U-inverse curve.

Figure 6 shows how in some European countries PTWs ownership increases, in line with the PTWs ownership evolution in Spain, reinforcing the consideration that cars saturation levels are accompanied substitution effects form cars to PTWs.

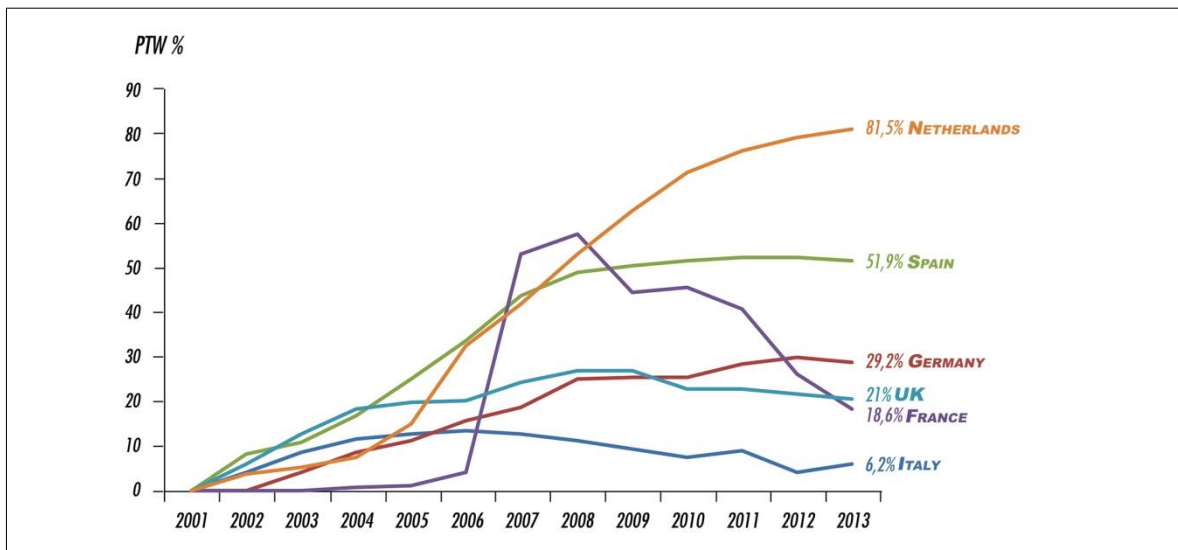


Figure. 6: Evolution of stock of registered PTW from 2002 to 2013 (%)

5. THE STAGE IN WHICH IS THE CITY OF BARCELONA

Barcelona is one of the densest cities in the world. One million six hundred thousand inhabitants are distributed in a small area, which also attract a high number of journeys, generated by a substantial socio-economic activity. In addition, in the last 10 years the surface for private vehicle-circulation has been reduced by 10%, there have been implemented restrictions to private car use, increasing length of lanes exclusively devoted to bus and bikes, and regulating car parking on road.

Figure 7 shows the evolution of the rate of motorization (vehicles per 1,000 inhabitants) in the city of Barcelona. From 1996 to 2010 the number of vehicles augmented in a rate of 6,000 vehicles per year: increasing 900,000 to 980,000. During 2000-2003, there was a small decrease in the fleet, followed by a recovery. In 2007 there was the maximum number of vehicles, 991,151. In 2009 begins stabilization, followed by a continuous declining of the fleet. It is possible to identify stabilization in range 600-620 vehicles per 1000 inhabitants, then decrease (AJUNTAMENT DE BARCELONA 2016a).

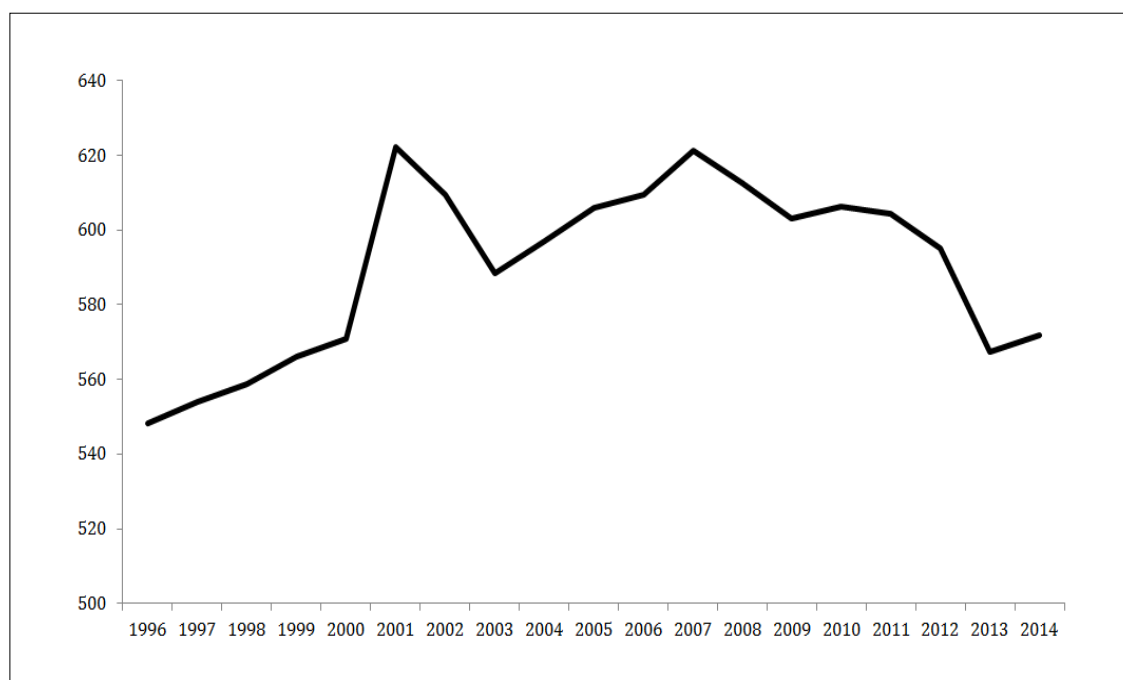


Figure. 7: Evolution vehicles per 1.000 inhabitants in Barcelona

Despite the high density, Barcelona does not lead the rankings of European urban congestion areas (TOMTOM 2015). One of the factors that allows a daily significant volume of motor-vehicle journeys in such a dense space is that a large percentage of internal journeys are made by motorized two-wheelers. PTWs accounts for 17.4% of mobility in private vehicles in the city of Barcelona (AJUNTAMENT DE BARCELONA 2012).

The evolution by types of vehicles shows a tendency of decrease in cars fleet, whereas those PTWs tend to rise. People travel less by car, changing and increasing the use of

PTWs. The use of motorized two-wheeled vehicles is a growing phenomenon. Small dimensions, high maneuverability and free parking on streets, have made of PTWs a competitive mode of transport in terms of cost and time, and have additionally contributed to relieve traffic conditions. In 15 years (1996-2014) the number of PTWs per 1000 inhabitant has increased by 21%, while cars have decreased by 15%. In 2012 the 34% of non-commercial vehicles in Barcelona were motorized two-wheelers.

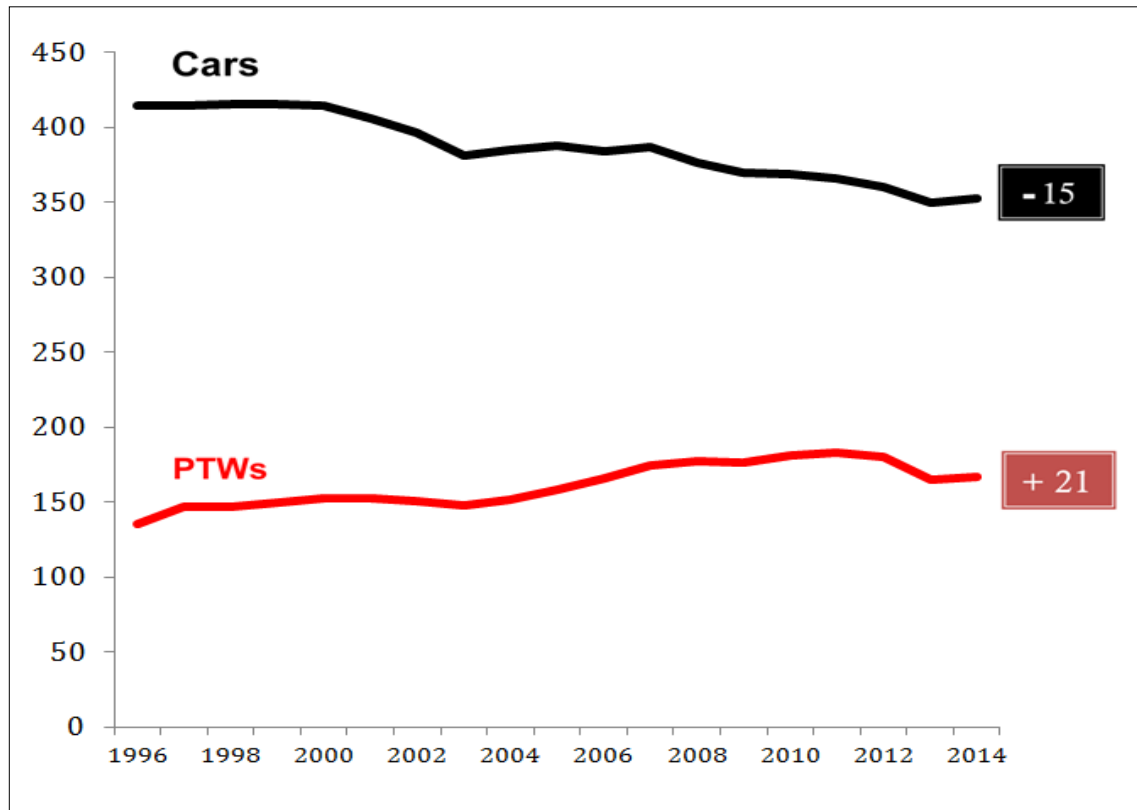


Figure.8: Evolution of stock of Cars and PTWs in Barcelon from 1996 to 2014 (%)

As many European metropolitan areas Barcelona experiences a double trend: major tertiarization of the center city and increasing journey attraction and population decentralization from center city to peripheries. The implications are that major population living distantly from work centers became more car dependence for access to jobs (MATAS, A. et al. 2009); and major number of journeys in congested center town, favors a that Barcelona has a high level of dependence on motorcycle vehicles. Small size and high maneuverability make PTWs more convenient for inner city trips especially during traffic congestion periods.

Barcelona is in a stage of maturity in the field of urban transport policies. The indicators of vehicle possession are similar to other highly developed countries, having reached a level of saturation in the number of cars per capita. The city has high motorization rates and also high number of trips by private vehicles despite having a good and efficient public transport offer.

Mobility policies are a feature of advanced societies, addressed to promote public transport and bicycles, discourage the use of private vehicles, especially cars, and less PTW. Traffic calming schemes has been implemented in Barcelona. Pedestrian and slow velocity areas have been extended, and bicycle use has been promoted. There is a successful public bicycle renting system (Bicing) and it has been planned in a three-year horizon (from 2015 to 2018) to triple the length of bicycles lanes from 118 to 308 km; seeking to increase the share of bicycle use mode 1.5 to 2.5% (AJUNTAMENT DE BARCELONA 2015).

In Barcelona, congestion pricing has been introduced by an indirect way. Instead of implementing urban toll schemes, the main set of measures to price car use has been through regulatory parking policies and increasing cost on street car parking. Unlike car parking pricing implantation, on street motorcycle parking has no cost, and it is allowed and free on sidewalks. In addition, the numbers of on street motorcycles parking places are in augmentation. Congestion pricing have a significant effect on encouraging motorcycle use, assuming motorcyclists were not charged for parking.

Those traffic calming schemes have discouraged the use of car, partially shifting the use of cars for the motorcycles. Besides, governments have taken actions to discourage car use, and measures to favor PTWs such as increase parking spaces for motorcycles, creation of advanced Stop Lines at traffic lights, improved traffic safety of motorcycles using anti-slip paint for road markings and reducing the crosswalks painted area. Altogether it has favored the reduction of the inefficiencies associated with traffic congestion and increased attractiveness for PTW use.

As in Barcelona, many European local governments in major cities implement policies to inhibit and reduce car use, targeting relieve congestion and emissions of greenhouse gases. In this sense they have implemented actions to restrict car use that intentionally, or unintentionally, have favored PTWs and bicycles use because the small size and nimbleness of those vehicles reduces congestion. To favor bus public transport some measures are implemented to escape the congestion caused by massive presence of cars, separating circulation of buses in independent lanes. In Barcelona, transit lanes reduce private-vehicle space of circulation, and tend to increase congestion, a fact that also favors the shift from car use to PTWs.

The increasing use of PTWs involves negative externalities. In Barcelona, motorcyclists remain the most vulnerable road users, been the group with the largest number of serious injuries and deaths. In 2015 63% of killed in accidents in the city of Barcelona were motorcyclists. The probability of having a fatal accident in Barcelona travelling in PTW is 12.5 times higher than in a car, and for the case of serious injuries it is twenty times higher (AJUNTAMENT DE BARCELONA 2016b). The high density of Barcelona and saturated streets increase safety conditions, because congestion diminishes the probability of suffering severe injuries, finding negative relationship between traffic flow (congestion)

and injury severity of PTW (ALBALATE, D.; FERNÁNDEZ-VILLADANGOS, L. 2010).

Increase use of PTWs is a common phenomenon among major European cities. Since the mid-1990s there has been a continuous increase in PTWs ownership and their use in large European cities. In Paris in the period 2000-2007 PTWs has experienced an increase of 36 % and private cars a decrease of 23 % (KOPP, P. 2009). Motorcycle traffic appears to have been increasing notably in Greater London since the introduction in 2003 a pricing scheme “The Congestion Charge”, granting exemption to PTWs has benefit a notably increase of use and possession of PTWs in London Area. In Rome motorcycles represent 16% of vehicles in circulation and have increased by 60% between 2002 and 2014 (AUTOMOBILE CLUB D’ITALIA (2014).

Those trends suggest a continuous future growth of PTWs use in urban congested areas, showing a relevant income elasticity of demand for motorcycles and substitution effect from car, and even from public transport to PTWs in stages of high economic levels. The increasing use of PWTs in developed countries congested urban areas may contradict the models interrelating economic growth and the use of the motorcycle.

6. CONCLUSIONS

Transport systems provide mobility necessary for human socio-economic activities. Journeys made by private vehicles (mainly cars and powered two wheelers PTW) make up an important part of mobility. Understanding about patterns of the historic evolution of motor vehicle ownership is useful to forecast future transport scenarios. The knowledge about how motorization evolves assist in decision making over policy implementation, transport planning, investment decisions, building infrastructure, regulation, energy consumption and assessing transport programs to help maximize social welfare.

The historical evolution of private vehicle ownership is determined by different types of variables, mostly related with per capita income, urbanization, public policies and alternative means of transport.

Consumer preferences about modes of transport change according to the stage of motorization evolution. The elasticity between PTWs and car ownership evolves over different levels of income: at low levels, motorization increase mainly through the acquisition of PTWs, when income gets to the threshold at which people can afford to buy cars, a substitution effect from PTWs to cars appears. The last stage is when societies reach high incomes and an advance socio-economic stage, where the rate of motorization tends to reach a saturation level, shifting from an expansion market to a mature one, where the demand of vehicles stops increasing, despite income continuing to rise.

The saturation level can be measured by the number of vehicles per 1,000 inhabitants, and varies depending on the type of society and geographical and urbanization factors. At advanced stage, in dense urban areas, despite motorization tending to decrease, it is possible to find an increase in PTWs use, because the PTWs smaller dimensions facilitate journeys in saturated areas with traffic and parking restrictions.

Vehicle ownership models are a useful tool for analyzing and predicting scenarios that assist decision-making and transport planning. The relationship between measured economic variables and car ownership is non-linear in the long-term, fitting a sigmoid-shape function. The Gompertz function represents the long-run equilibrium level of the vehicle/population as a function of per capita income. The S-shaped Gompertz function that is valid to represent car evolution doesn't provide a statistically fitted representation for the PTWs. Studies suggest that a long-term inverted U-shaped curve (i.e., the Kuznets), fits better for the relationship between PTWs and per capita income. The double slope shapes the PTWs increase at early stages of economic growth ownership and once a threshold level is surpassed, higher incomes produces the inverted effect, declining the use of PTWs. The inverted U-shaped curve is also useful to show the relationship between PTWs traffic fatality risk and per capita income.

Some other studies and this one, suggest that in advanced European countries PTWs use will not necessarily decrease in the long-term. In dense urban areas, cars experience increasing operational cost because of tolls, taxes, parking and environmental restrictions, favoring a substitution effect from car to more convenient PTWs. Those future growth prospects, questioning the inverted U-shaped model consider that in the long run high per capita incomes are related with declining use of motorcycles. This study also notes that in a high-density city like Barcelona the trend is an increase in the use of PTWs.

Having analyzed the whole evolution of private vehicle ownership in Spain, the private vehicle ownership evolution is closely linked with economic growth. Analyzed separately, the evolution of cars fits a curved S-shape (U.S Gompertz) according with mainstream theories and models. A long period of slow growth can be seen, an area of inflection and a period of faster expansion until saturation levels are reached. It is possible to establish a zone of saturation in the 670 vehicles/1000 inhabitant; quite similar with the number estimated by DARGAY and GATELY (1999). In contrast, the evolution of motorcycle ownership in the initial stage shapes a U-inverse curve (i.e. Kutznet), but after reaching the peak, the decline in motorcycle use is not continuous, experiencing peaks and troughs, with an upward trend. This kind of evolution does not fit the models based on U-inverse curves (i.e. Kuznet). These evolution explains that once cars have reached saturation levels, it is possible to observe substitution effects between cars and PTWs in dense urban areas, as in the City of Barcelona where cars operational cost has increased significantly.

Barcelona is one of the densest cities in the world. Mobility policies are characteristic of an advanced society, addressed to promote public transport and bicycles. Congestion pricing has been indirectly implemented by with street car parking schemes. Actions to restrict car use, intended or unintended, have favored the shift from car use to PTWs. In fact, Barcelona is a city that is highly dependent on motorcycles. Small size, high maneuverability, low operational costs and free on-street parking made PTWs more convenient for inner city trips. In 15 years (1996-2014) the number of PTWs per 1,000 inhabitant increased by 21%, while the number of cars has fallen by 15%.

Increase use of PTWs in Barcelona is a common phenomenon in major European cities: Paris, London and Rome. These trends suggest a continuous future growth of PTWs use in urban congested areas, showing a relevant income elasticity of demand for motorcycles and substitution effect from car and even public transport to PTWs.

The increasing use of PWTs in developed countries and congested urban areas is not in line with the assumptions of the U-inverted curves models, which predict that in the long-run there will be a decrease in use of PTWs with high income per capita levels. These results may suggest that conducting further research might be helpful in analyzing possible functions that improve modelization of PTWs ownership in advanced stages of socio-economic development, considering that the curve shape can acquire a growing slope.

REFERENCES

AJUNTAMENT DE BARCELONA (2012). “*Pla de Mobilitat Urbana PMU 2013-2018*”.

AJUNTAMENT DE BARCELONA (2015). “*Estratègia de la bicicleta*”. Dossier de premsa. 20 novembre 2015.

<http://premsa.bcn.cat/wp-content/uploads/2015/11/151120-Dossier-estrat%C3%A8gia-biciDEFINITIU3222.pdf>

AJUNTAMENT DE BARCELONA (2016a). Departament d'Estadística

<http://www.bcn.cat/estadistica/angles/index.htm>

AJUNTAMENT DE BARCELONA (2016b). “*Balanç accidentalitat 2015*”. Dossier de premsa. 14 de enero 2016.

http://premsa.bcn.cat/wp-content/uploads/2016/01/2016_01_14-Accidentalitat-2015.pdf

ALBALATE, Daniel; FERNÁNDEZ-VILLADANGOS, Laura (2010) “Motorcycle Injury Severity in Barcelona: The Role of Vehicle Type and Congestion”, *Traffic Injury Prevention*, 11: 6, 623 — 631

ALONSO, W. (1964). “*Location and Land Use. Toward a General Theory of Land Rent*”. Harvard University Press, Cambridge, MA.

ANAS, Alex; ARNOTT, Richard; SMALL, Kenneth A. (1998). “Urban spatial structure”. *Journal of Economic Literature*, p. 1426-1464.

ANFAC (2012). Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones “*Mercado y parque de turismos en España evolución y potenciales*”. ANFAC Research

AUTOMOBILE CLUB D'ITALIA (2014). Dati e statistiche “*Veicoli e mobilità*”.

<http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/veicoli-e-mobilita.html>

BAUM-SNOW, Nathaniel. (2007). “Suburbanization and transportation in the monocentric model”. *Journal of Urban Economics*, vol. 62, no 3, p. 405-423.

BEESELEY, Michael E.; KAIN, John F. (1964). “Urban form, car ownership and public policy: an appraisal of traffic in towns”. *Urban Studies*, vol. 1, no 2, p. 174-203.

BIRKELAND, M.E.J.; JORDAL-JØRGENSEN (2001). “Energy Efficiency of Passenger Cars”, *Paper presented at the European Transport Conference 2001*, PTRC, Cambridge.

Brueckner, Jan K. (1987). “The structure of urban equilibria: A unified treatment of the Muth-Mills model”. *Handbook of regional and urban economics*. Vol. 23, no 2, p. 160-171.

BUTTON, K.; NGOE, N.; HINE, J. (1993). “Modelling vehicle ownership and use in low income countries”. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1993, p. 51-67

CHANG, Ha-Joon. (2007). *"Bad Samaritans: The myth of free trade and the secret history of capitalism"*. Bloomsbury Publishing USA.

CHIN, Anthony; SMITH, Peter. (1997). "Automobile ownership and government policy: The economics of Singapore's vehicle quota scheme". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1997, vol. 31, no 2, p. 129-140.

DARGAY, Joyce M. (2001). "The effect of income on car ownership: evidence of asymmetry". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2001, vol. 35, no 9, p. 807-821.

DARGAY, Joyce M.; GATELY, Dermot (1999). "Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960–2015". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1999, vol. 33, no 2, p. 101-138.

DARGAY, Joyce M.; GATELY, Dermot (2001). "Modelling global vehicle ownership". In *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*. 2001. p. 22-27.

DARGAY, Joyce M.; GATELY, Dermot and SOMMER, Martin (2007). "Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030" *The Energy Journal*, 2007, p. 143-170.

de JONG, G.; FOX, J.; DALY, A. and PIETERS, M. (2004). "A comparison of car ownership models". *Transport Reviews*, 24(4), 379-408.

DGT. Dirección General de Tráfico. (2012). *"Anuario estadístico General. Año 2012"*. <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/series-historicas/2012.pdf>

DUFFY, Martyn; ROBINSON, Terry (2004). "An econometric analysis of motorcycle ownership in the UK". *International Journal of Transport Management*, , vol. 2, no 3, p. 111-121.

DULANEY, William L. (2005) "A brief history of 'outlaw' motorcycle clubs". *International Journal of Motorcycle Studies*, 2005, vol. 1, no 2. http://ijms.nova.edu/November2005/IJMS_Artcl.Dulaney.html

EUROSTAT. European Commission Daba Base (2014). "Passenger cars per 1 000 inhabitants" Code: road_eqs_carhab http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/road_eqs_carhab

FISHMAN, Robert. (2008). *"Bourgeois utopias: The rise and fall of suburbia"* . Basic Books.

FUJITA, Mai (1998). *"Industrial Policies and Trade Liberalization-The Automotive Industry in Thailand and Malaysia"*. The Deepening Economic Interdependence in the APEC Region. Tokyo: APEC S. Center, Institute of Developing Economies, p. 149-187.

FUJITA, Mai. (2013). “The Motorcycle Industry: The Global Context and the Vietnamese Case”. In *Exploiting Linkages for Building Technological Capabilities*. Springer Japan, 2013. p. 9-19.

FUJITA, Mai. (2014). “*Exploiting Linkages for Building Technological Capabilities: Vietnam’s Motorcycle Component Suppliers under Japanese and Chinese Influence*”. Springer Science & Business Media.

FUJITA, Masahisa. (1989) “*Urban economic theory: land use and city size*”. Cambridge university press.

GADEA, María Dolores; MONTAÑES, Antonio (2009). “*Situación y perspectivas del sector del automóvil en España*” en Anuario de Movilidad 2009 RACC.

GAKENHEIMER, Ralph. (1999). “Urban mobility in the developing world.” *Transportation Research A*, Vol. 33, no. 2.

GALSTER, G.; HANSON, R.; RATCLIFFE, M. R.; WOLMAN, H.; COLEMAN, S.; FREIHAGE, J. (2001). “*Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept*”. Housing policy debate, volume 12 Issue 4, 681-717. Fannie Mae Foundation.

GHTSA (2011). Governors Highway Safety Association. HEDLUND, James. “*Motorcyclist Traffic Fatalities by State*” Washington DC
http://www.ghsa.org/html/files/pubs/spotlights/spotlight_motorcycles11.3.pdf

GÓMEZ, Julián; ACEVEDO, Jorge (2013). “Studying Car and Motorcycle Ownership Levels in Developing Countries Using Individual Income Distributions”. In *13th World Congress on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil. 2013*.

GOODWIN, P.B. (1997). Mobility and car dependence. In: ROTHENGATTER, T.; VAYA, E.C. (eds.) “*Traffic and Transport Psychology*”, pp. 449–464. Pergamon, Oxford.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. (2002). Economic Growth and the Environment, *Quarterly Journal of Economics*, CX, May, 353-77. International Library of Critical Writings in Economics, vol. 141, p. 105-129.

GUERRA, Erick. (2015). “The geography of car ownership in Mexico City: a joint model of households’ residential location and car ownership decisions”. *Journal of Transport Geography*, vol. 43, p. 171-180.

HAWORTH, N. (2012). “Powered two wheelers in a changing world-Challenges and opportunities”. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 44, no 1, p. 12-18.

HICKMAN, R.; FREMER, P.; BREITHAUPT, M.; SAXENA, S. (2011). “*Changing*

Course in Urban Transport: An Illustrated Guide". Asian Development Bank. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

<http://www.adb.org/sites/default/files/publication/29352/changing-course-urban-transport-illustrated-guide.pdf>

HSU, Tien-Pen. (2005). "Comparative study on motorcycle ownership forecasting model of Asian countries—Taiwan, Malaysia and Vietnam". *The 6th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Bangkok; 2005*.

HSU, T.P.; AHMAD, F. M.S.; and DAO, N. X. (2003). "A comparison study on motorcycle traffic development in some Asian countries—case of Taiwan, Malaysia and Vietnam". The Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), International Cooperative Research Activity.

HSU, T.P.; TSAI, Chia-Chia; LIN, Yu-Jui (2007). "Comparative analysis of household car and motorcycle ownership characteristics". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2007, vol. 7, p. 105-115.

HUO, Hong; WANG, M.; JOHNSON, L., & HE, D. (2007). "Projection of Chinese motor vehicle growth, oil demand, and CO2 emissions through 2050". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2038), 69-77.

IETC. Instituto de Estudios del Transporte y las Comunicaciones (1992). "Los transportes y las Comunicaciones: Anuario 1992". Madrid 1992

INGRAM, Gregory K.; LIU, Zhou. (1997). "Motorization and road provision in countries and cities". World Bank Policy Research Paper, , no 1842.

<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/wps1842.pdf>

IRTAD (2014). International Transport Forum. Database, October

<http://www.internationaltransportforum.org/irtadpublic/pdf/roaduse.pdf>

JAMSON, Samantha; CHORLTON, Kathryn (2009). "The changing nature of motorcycling: Patterns of use and rider characteristics". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, , vol. 12, no 4, p. 335-346.

KA IO, Wong (2013). "An Analysis of Car and Motorcycle Ownership in Macao", *International Journal of Sustainable Transportation*, 7:3, 204-225, DOI:

KOPITS, Elizabeth; CROPPER, Maureen (2005). "Traffic fatalities and economic growth". *Accident analysis & prevention*, vol. 37, no 1, p. 169-178.

KOPP, Pierre (2009). "The contribution of two-wheel motor vehicles (2WMV) to mobility in a big city The case of Paris (2000-2007)". Panthéon-Sorbonne university.

KUTZBACH, Mark J. (2009). "Motorization in developing countries: Causes, consequences, and effectiveness of policy options". *Journal of Urban Economics*, 2009,

vol. 65, no 2, p. 154-166.

LAW, Teik Hua; HAMID, Hussain; GOH, Chia Ning. (2015). “The motorcycle to passenger car ownership ratio and economic growth: A cross-country analysis”. *Journal of Transport Geography*, vol. 46, p. 122-128.

LEE, Tzu-Chang; POLAK, John W.; BELL, Michael G.H., and WIGAN, Marcus R. (2011). “The kinematic features of motorcycles in congested urban networks”. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 203-211.

LEONG, Lee Vien and AHMAD, F. M.S. (2007). “A study on the motorcycle ownership: A case study in Penang State, Malaysia”. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2007. p. 84-84.

LITMAN, Todd. (2015). “*Transportation affordability: evaluation and improvement strategies*”. January 2015 Todd Litman Victoria Transport Policy Institute. <http://www.vtpi.org/tdm/tdm106.htm>

MATAS, Anna; RAYMOND, José-Luis; ROIG, José-Luis (2009). “Car ownership and access to jobs in Spain”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, vol. 43, no 6, p. 607-617.

McCARTT, A. T.; BLANAR, L.; TEOH, E. R.; and STROUSE, L. M. (2011). “Overview of motorcycling in the United States: a national telephone survey”. *Journal of Safety Research*, 42(3), 177e184.

MIESZKOWSKI, Peter and MILLS, Edwin S. (1993). “The causes of metropolitan suburbanization”. *The Journal of Economic Perspectives*, , p. 135-147.

MILLS, Edwin S. (1967). “An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area”. *The American Economic Review* p. 197-210.

MILLS, Edwin S. (1972). “Studies in the Structure of the Urban Economy”. *The Economic Journal*. Vol. 83, No. 329 (Mar., 1973), pp. 289-291

MOGRIDGE, M. J. H. (1967). “The prediction of car ownership”. *Journal of Transport Economics and Policy*, p. 52-74.

MOHAN, Dinesh, (2002). “Traffic safety and health in Indian cities”. *Journal of Transport and Infrastructure*, vol. 9, no 1, p. 79-94.p. 52-74.

MONCLÚS, F.J. (1998). “Suburbanización y nuevas periferias. Perspectivas geográfico-urbanísticas”. In the book MONCLÚS, F.J. (Ed.): “*La ciudad dispersa*”. Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 1998, p. 5-15.

MUTH, Richard F. (1969). “*Cities and housing; the spatial pattern of urban residential*

land use". Chicago, IL: University of Chicago Press, 1969. 355 p

NISHITATENO, Shuhei; BURKE, Paul J. (2014). "The motorcycle Kuznets curve". *Journal of Transport Geography*, vol. 36, p. 116-123.

OANH, N.T.K.; PHUONG, M.T.T. and PERMADI, D.A. (2012). "Analysis of motorcycle fleet in Hanoi for estimation of air pollution emission and climate mitigation co-benefit of technology implementation". *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 59, p. 438-448.

OECD (2014). "*Balancing paid work, unpaid work and leisure. Time use across the world- Time spent in unpaid work and leisure*" OECD based on data from National Time Use Surveys" OECD Publishing.

http://www.oecd.org/gender/data/OECD_1564_TUSupdatePortal.xls

PONGTHANAIKAWAN, Jakapong; SORAPIPATANA, Chumnong (2010). "Relationship between level of economic development and motorcycle and car ownerships and their impacts on fuel consumption and greenhouse gas emission in Thailand". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no 9, p. 2966-2975.

PRABNASAK, J.; TAYLOR, M. (2008). "Study on Mode Choice and Vehicle Ownership in a Medium-Sized Asian City". In *The 30th conference of Australian Institute of Transport Research Proceedings (CAITR2008 Proceedings)*, University of Western Australia, Perth, Australia. 2008.

SCHAFER, Andreas. (2006). "Long-term trends in global passenger mobility". *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2006 Symposium*. 2007. p. 85.

SCHAFER, Andreas; VICTOR, David G., (2000). "The future mobility of the world population". *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34 (3), 171–205.

SCHUSTER, Tassilo; HOLTBRÜGGE, Dirk. (2011). "Tata Nano: The car for the bottom-of-the-pyramid". In *Fallstudien zum Internationalen Management*. Gabler Verlag,. p. 83-102.

SENBIL, Metin; ZHANG, Junyi; FUJIWARA, Akimasa (2007). "Motorization in Asia: 14 countries and three metropolitan areas". *IATSS research*, 2007, vol. 31, no 1, p. 46-58.

SILLAPARCHARN, Pattarathep (2007). "Vehicle ownership and trip generation modelling: a case study of Thailand". *IATSS research*, 2007, vol. 31, no 2, p. 17-26.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038611214602181>

SRA: Swedish Road Administration Consulting Services (2008). "*Trafikskador ur ett genusperspektiv*". VVpublikation 2008.

STEG, Linda (2003). "Can public transport compete with the private car?". *IATSS*

Research, 27(2), 27-35.

STEG, Linda (2005). "Car use: lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2005, vol. 39, no 2, p. 147-162.

STEG, Linda; VLEK, Charles; SLOTEGRAAF, Goos (2001). "Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2001, vol. 4, no 3, p. 151-169.

STEVENSON, Mark; HARIZA, Ahmed (2006). "Mode choice model for vulnerable motorcyclists in Malaysia". *Traffic injury prevention*, 2006, vol. 7, no 2, p. 150-154.

STRADLING, S. G.; MEADOWS, M. L.; BEATTY, S. (1999). "*Factors affecting car use choices*". Transport Research Institute, Napier University, Edinburgh, 1999.

TALUKDAR, Debabrata (1997). "*Economic growth and automobile dependence: is there a Kuznets curve for motorization?*". Doctoral dissertation. Massachusetts Institute of Technology.

TANNER John Curnow (1962). "Forecasts of future numbers of vehicles in Great Britain". *Roads and Roads Construction*, vol. 40, pp. 263-74

TANNER, John Curnow (1978). "Long-term forecasting of vehicle ownership and road traffic". *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 1978, p. 14-63.

TANNER, John Curnow (1983). "*International comparisons of cars and car usage*". No. LR 1070 Monograph. Transport and Road Research Laboratory

TIWARI, R.; HERSTATT, C. (2014). "Role of Small Cars in India's Passenger Car Segment". In the book TIWARI, R; HERSTATT, C.s "*Aiming Big with Small Cars*". Springer International Publishing, p. 143-184.

TOMTOM (2015) "Tom Tom Traffic Index".

https://www.tomtom.com/es_es/trafficindex/#/

TORREGO SERRANO, Florencia (1987). "El tráfico en España y las IMD de circulación en la red viaria" *Anales de geografía de la Universidad Complutense*. Servicio de Publicaciones, 635-644.

<http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC8787110635A>

TUAN, Vu Anh; SHIMIZU, Tetsuo (2005). "Modeling of household motorcycle ownership behaviour in Hanoi City". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2005, vol. 6, p. 1751-1765.

VAN BEECK, Eduard F.; BORSBOOM, Gerard JJ; MACKENBACH, Johan P. (2000).

“Economic development and traffic accident mortality in the industrialized world, 1962–1990”. *International Journal of Epidemiology*, 2000, vol. 29, no 3, p. 503-509.

VERMA, Meghna (2014). “Growing car ownership and dependence in India and its policy implications”. *Case Studies on Transport Policy*, 2014.

WHELAN, G. (2007). “Modelling car ownership in Great Britain”. *Transport. Res. Part A: Policy Pract.* 41 (3), 205–219.

WHELAN, G., WARDMAN, M., DALY, A. (2000). “Is there a limit to car ownership growth? An exploration of household saturation levels using two novel approaches”. In: *Paper presented at European Transport Conference 2000*, PTRC, Cambridge.

WU, G., YAMAMOTO, T., KITAMURA, R. (1999). “Vehicle ownership model that incorporates the causal structure underlying attitudes toward vehicle ownership”. *Transp. Res. Rec.* 1676, 61–67.

YAMAMOTO, Toshiyuki (2009). “Comparative analysis of household car, motorcycle and bicycle ownership between Osaka metropolitan area, Japan and Kuala Lumpur, Malaysia. *Transportation*, 2009, vol. 36, no 3, p. 351-366.

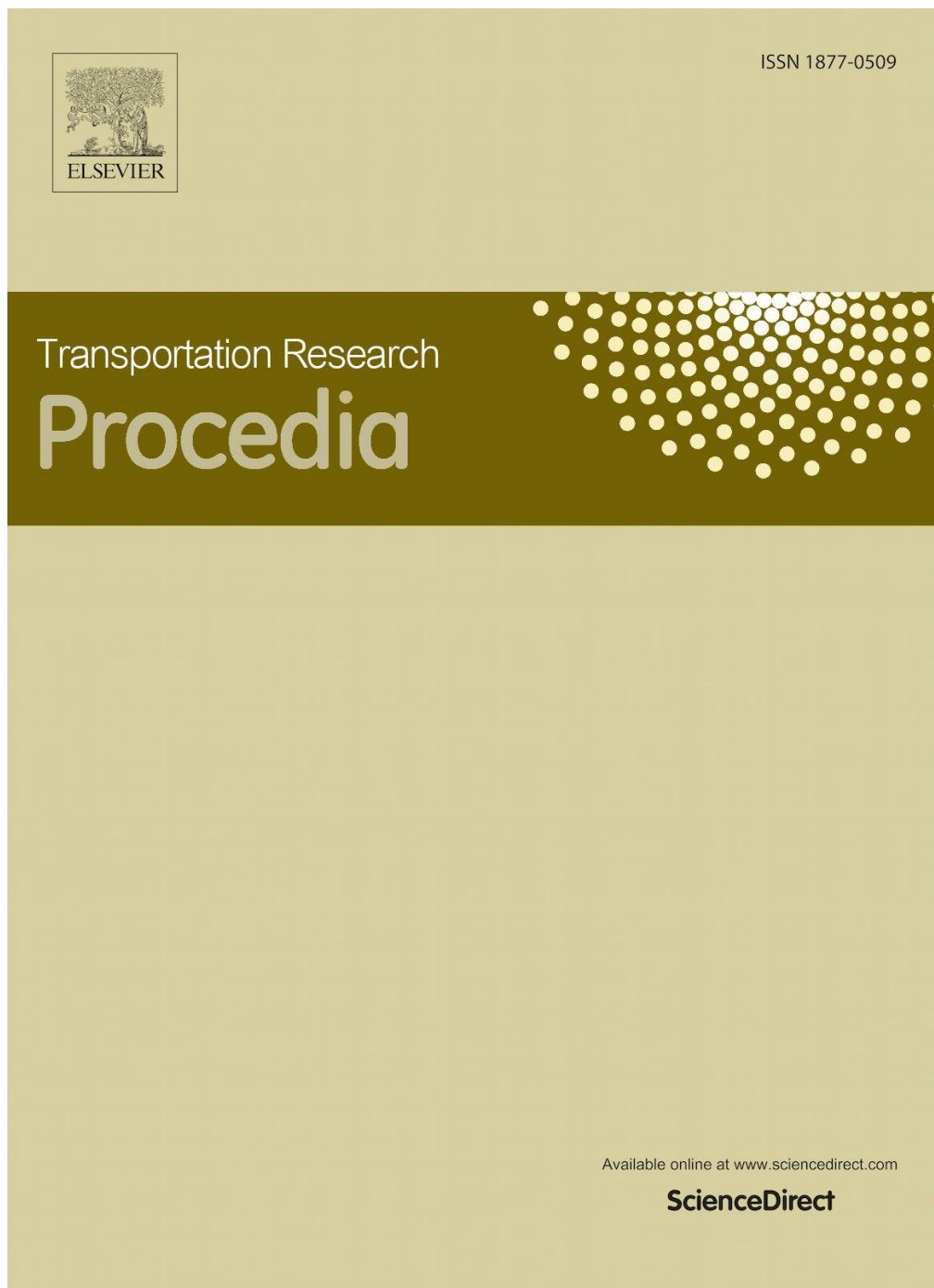
ZACHARIADIS, Theodoros; SAMARAS, Zissis; ZIEROCK, Karl-Heinz. (1995). “Dynamic modeling of vehicle populations: an engineering approach for emissions calculations”. *Technological Forecasting and Social Change*, 1995, vol. 50, no 2, p. 135-149.

Anexo 2

Artículo publicado en “Transport Research Procedia”

“Stage of historical evolution of private vehicle ownership in the city of Barcelona”

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214651630775X>



XII Conference on Transport Engineering, CIT 2016, 7-9 June 2016, Valencia, Spain

Stage of historical evolution of private vehicle ownership in the city of Barcelona

Fernando Perez Diez^{a*}, Magin Campos Cacheda^b, Julià Cabrerizo Sinca^c

^aPhD Student in Civil Engineering, Polytechnic University of Catalonia U.P.C

^bDoctor in Civil Engineering, Professor at the, Polytechnic University of Catalonia U.P.C

^cPhD Student in Civil Engineering, Polytechnic University of Catalonia U.P.C

Abstract

Transport demand and private motor vehicle ownership (cars and motorcycles) are generally related to the socio-economic development, increasing urbanization, public policies and rising per capita income.

Private motor vehicle ownership varies between countries and geographical regions. However, it tends to have some common patterns in its historical evolution. So that during the early stages of development, the rate of motorization increased mainly by acquisitions of PTWs (mopeds and motorcycles). As the economy grows, the increase in per capita income stimulates a shift from PTWs to cars, which are preferred for their safety, versatility, comfort and social status. The increasing use of cars contributes to raising travel costs (congestion, parking constraints, accidents, pollution), that coupled with public policies to discourage car use, tends to favor modal shifts from cars to public transport and in some regions also to PTWs.

This study analyze the historical evolution of private motor vehicle ownership in Spain (cars and motorcycles), and identify the stage in which is the city of Barcelona, characterized by the high use of PTWs. The increase use of PTWs is a common phenomenon in some major European cities and suggests a continuous future growth in developed countries and congested urban areas, that is not in line with the assumptions of some models, which predict that in the long-run there will be a decrease in use of PTWs in areas with high income per capita levels.

© 2016 Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the organizing committee of CIT 2016

Keywords: PTW, vehicle ownership; motorcycle; rate of motorization

* Corresponding author. Tel.: +0-34-932158916 ; fax: +0-34-932158916 .
E-mail address: ferbarcelona@gmail.com

1. Introduction

Mobility provides access to people, goods, services and information, favoring human development and socio-economic activities. The more efficient mobility becomes, the greater socio-economic prosperity and quality of life tend to be.

Understanding the patterns of the historic evolution of motor vehicle ownership is useful to forecast and manage transport demand, planning infrastructures, urban design, implementation and assessing of transport programs and policies, so that social welfare is maximized.

Private motor vehicle ownership varies between countries and geographic regions. However it tends to have some common patterns in their historical evolution. Much of the existing literature shows the impact of changing levels of economic activity on mobility rates and traffic volumes. Policymakers should consider the effects of economic cycles on mobility evolution to manage the effects.

Knowledge on the socio economic variables that shape private motor vehicle ownership evolution and the interactions among different types of vehicle ownership is useful in transport management, infrastructure planning, road safety and public policies, helping to maintain consistent perspectives on dealing with urban transportation problems. Knowing how other similar urban areas have gone through the stages, the kind of policies implemented and their results can be a useful reference when deciding what kind of measures should be implemented.

This study has been conducted to identify the stage of historical evolution of private motor vehicle ownership in which the city of Barcelona is at, identifying factors underlying the mode choices behavior, characterized by the high use of the powered two wheelers.

2. Patterns of historical evolution of private vehicle ownership.

The historical evolution of private vehicle ownership is determined by different types of variables that have relative importance according to the stage of evolution. Motor vehicle ownership determines travel behavior. There are several patterns that allow study, model and even forecast car and motorcycle historical evolution, mostly related with socioeconomic factors. (de Jong, G et al. 2004).

Economic factors and evolution of per capita income are closely associated with a rise in traffic volumes and vehicle possession and use. In the literature of mode choice modeling, several studies have emphasized the influence of income and household car and motorcycle ownership. The income level changes consumer preferences over modes of transport. (Pongthanasawan, J. and Sorapipatana, Ch. 2010).

Many factors affect the evolution of vehicle ownership, such as income (total expenditure), the level of urbanization, and alternative means of transport. Economic growth leads to an increase of mobility demands and vehicle ownership, car ownership tends to increase as per capita GDP grows (Schafer, A and Victor, D.G., 2006). Walking is the world's dominant mode of transport, until a certain threshold of individual wealth is reached; people can afford to buy vehicles encouraging shifts from non-motorized to motorized transport modes (Schafer, A., 2006). At an early stage bicycles are used for short trips, being replaced by PTWs that allow making longer trips. After personal income grows up to a certain level, people will shift from motorcycle to car ownership.

The first stages of evolution of urban mobility and hence private vehicle ownership, tends to accelerate when societies develop their industrial sectors and the demand of workforce pushes the phenomenon of migration from rural to urban industrialized areas. Economic growth tends to stimulate higher levels of consumption. When the gradual increase in per capita income reaches a threshold level, a car is an asset that people want to buy once they have covered their basic needs. The affordability of buying cars encourages a shift of use from motorcycles to cars. The substitution effect from motorcycles to cars is possible because the overall income increase reduces the costs of buying and running a car. (Law, T. H. et al. 2015).

Income rising favors a switch from PTWs to cars. When income per capita growth trespasses a certain level over the car owning threshold, a decline in motorcycle ownership is therefore expected. Nishitateno, S. and Burke, P.J (2014) analyzed data from 153 countries for the period 1963-2010 and found that the number of PTWs per capita increases as income per capita grows until it reaches a threshold of around \$8,000 per person per year. From this threshold on, in spite of income increase, the possession of PTWS decreases. Cars tend to be preferred due to the independence that they provide as well as mobility, safety, versatility, convenience, comfort and because cars are

regarded as a symbol of status or a badge of social welfare (Goodwin, P.B. 1997; Stradling, S. G. et al 1999). Their high utility and symbolic appeal stimulate car ownership, even if public transport is well prepared as an alternative. (Wu, G et al. 1999; Steg, L. 2003).

In advanced stages of development, the rate of motorization tends to reach a saturation level, shifting from an expansion market to a mature one. When this stage is reached in dense urban areas, modal split is increased, and motorization stabilizes while car ownership is reduced (Mogridge, M. J. H. 1967). The saturation level can be measured by the number of car ownership per 1,000 inhabitants, and varies depending on the type of society, level of development and geographical and urbanization factors. Whelan et al. (2000) analyzed the limits to car ownership growth. Some other studies consider that vehicle saturation levels may be different across countries, as a function of population density, and then it is possible to estimate empirically the saturation rate for different countries, considering income elasticity. (Dargay, J. and Gately, D. 2001; Dargay, J. et al. 2007).

The pace of motorization tends to be faster than the capability of infrastructures and facilities to improve the efficiency of transport systems, resulting in a problem of congestion and an increase in travel times. In dense urban areas massive car use is related with pollution, problems in the interactions between vehicles and pedestrians and parking restrictions. To attenuate these problems several kinds of policies are implemented to discourage car use: restricting traffic in the center where large pedestrian zones are created and taxes to car access to different urban areas. Different levels of vehicle taxation affect the choice of vehicle type (Birkeland and Jørgensen 2001).

At the last stage of motorization evolution, the increased use of PTWs in dense urban areas is based on three factors: motorcycles are more economical in areas with traffic and parking restrictions, the incorporation of women increases the use of PTW and finally in areas with high purchasing power and enough leisure time, recreational use motorcycle appeared with a renewed interest, mostly at weekends and spare time (Haworth, 2012).

3. Modeling private vehicle ownership evolution

The rapid increase of motorization in the world improves transport and economy, but it is also associated with negative externalities (accidents, pollution and congestion). Modeling vehicle ownership is a powerful tool useful to analyze and predict scenarios that assist decision-making and transport planning.

There are different model approaches, among others: aggregate, disaggregate, heuristic, discrete-continuous, pseudo-panel methods, and dynamic (de Jong, G. et al. 2004). Many vehicle ownership aggregate models, mostly by country, have been carried out attempting to model the demand as a function of socio-demographic, economic, transportation system, and land development characteristics. (Tanner 1962); Beesley, M.E. and Kain, J. (1964); Button, K et al (1993); Whelan et al., 2000, Whelan, 2001), Dargay and Gately 1999. Ingram and Liu (1997) found a significant relationship between number of vehicles and road lengths and estimate the quantitative relationship with income, population, urbanization and fuel prices.

When income increases people can afford to buy cars, that are globally preferred for its versatility, security, comfort and status, a substitution effect appears in the election between cars and PTWs. At higher levels of per capita income, the substitution effect decreases due to the possibility of owning several types of vehicles. In this way a relationship between motorcycle and car ownerships differs depending on level of the economy and other factors also gain relevance, such as urbanization, transport policies, security and leisure.

3.1. Modeling car ownership

There is a long tradition of studies that model the evolution in the level of car ownership and relevant variables. Car ownership models are based on one or several independent variables related to economic evolution, urbanization form and transport policies.

The relationship between measured economic values and car ownership variables is nonlinear in the long-term. It is usually assumed that the equation that well describes the data is a sigmoid-shape function, an S-shape curve. (Tanner, J.C. 1958; Mogridge, M. J. H. 1967). Some processes and dynamics of complex systems show a temporal evolution, starting from low levels, progressing at a stable pace until reaching a point characterized by a strong intermediate acceleration from which it rises until approaching a saturation climax. The sigmoid function with the typical form of "S", allows this kind of evolution to be described. The Gompertz curve is a sigmoid function used to

model systems that tend to evolve in time until an asymptotic value showing saturation when the explanatory variable reaches large levels, being the formula:

$$y(t) = ae^{-be^{-cT}} \quad (1)$$

Where:

a: is an asymptote that sets the saturation level.

b: is a positive number that sets the graph displacement along the x axis

c: is a positive number that sets the growth rate

The flexible Gompertz function allows vehicle/population ratio with an economic variable to relate (Zachariadis, T. et al 1995; Talukdar, D. 1997). Examples are the studies done during a long period in UK and 18 industrialized countries from 1958 to 1980, finding a strong relationship between car ownership and the rate of economic and of income levels on the number of cars, and how income elasticity decline as a country's income increases (Tanner, J.C 1983).

Dargay, J. and Gately, D. carry out international comparison studies analyzing the relationship between car ownership and income levels using data, in a previous study from 26 countries (1999) and extending the range to 82 countries (2001). They used a Gompertz function to represent the long-run equilibrium level of the vehicle/population ratio V_t^* (Vehicle ownership in year *i*) as a function of per capita income GDP, allowing prediction of the motorization rate (the number of cars per 1,000 persons). The equation can be written as:

$$V_t^* = \gamma e^{\alpha e^{\beta GDP_t}} \quad (2)$$

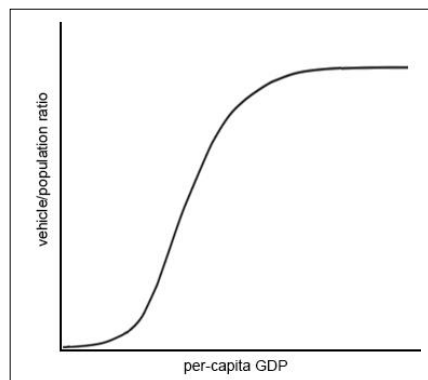


Fig. 1. Gompertz function

Different income elasticity must be considered depending on population density, urban structure and transport policies. As population density increases tends to declining saturation levels of vehicles per capita. The curve has a similar shape but there are four different patterns depending on the geographical area: North American & Australia, Europe, Asia and Countries with lower vehicles ownership (Huo, H., et al. 2007).

3.2. Modeling PTWs ownership

In a long-term perspective, the relation between economic prosperity and motorcycle possession is less strong than car ownership. Motorcycle use is influenced by many different factors from car use, implying a different type of ownerships evolution. The relationship between income and PTWs possession appears to be non-linear: at the beginning, economic growth leads to a growing number of PTWs, but later more prosperity tends to mean fewer motorcycles and more cars.

Otherwise, in some advanced countries, driving motorcycles has a high recreational purpose, influenced by factors such as culture, spare time available, weather, risk-perception and demographic structure, more than economic factors. This fact subtracts weight to the purely economic variables and adds a wider range of explanatory variables. Since the mid-1990s, notable increases in motorcycling use in developed countries are related to a wide range of activities for commuting and recreation (Jamson, S. and Chorlton, K. (2009); McCartt, A. T., et al. (2011); Haworth, N. (2012). Therefore as income rises and per capita wealth exceeds a certain threshold that allows people to buy cars, people shift from motorcycles to car ownership, declining not the global but the relative number of PTWs in relation to cars. In dense urban areas an increase of motorization and massive car use produces congestion and parking problems. PTWs use can help reduce traffic congestion, giving opportunities to cities to use less area for motor vehicles and parking. In this specific situation and areas in developed countries, where car motorization expands, it tends to get reduced and there is an increase in the use of TPWs.

The S-shaped Gompertz function valid to represent car evolution does not provide a statistically fitting representation of the relationship between evolution of GDP per capita and number of PTWs. Research studies suggest that the relationship between motorcycle ownership and per capita income growth follows a long-term inverted U-shaped curve. The function was formulated by Simon Kuznets (i.e., the Kuznets curve) (1955) in the framework to represent the relationship between environmental pollution and per capita income (Grossman, G.M., and Krueger, A.B. 1995).

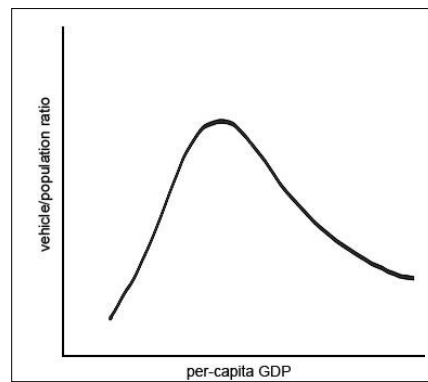


Fig. 2. Kuznets function

Over time, the scale of the socio-economic activity entails negative impacts of PTWs (mainly an increase in accidents), and such urban structural transformation may, reverse the expected positive relationship between economic development and PTWs use (Hsu, TP. 2007). Different models of PTWs ownership have been formulated with some type of inverse U-shape curve. Sillaparcharn, P (2007) formulated for Thailand a model where motorcycle ownerships increase until they reach a threshold, after that motorcycle ownership declines replaced by car ownership. Taking into account the former model, Pongthanaisawa, J. and Sorapipatana, Ch. (2010) consider that Sillaparcharn, P. (2007) underestimated the motorcycle ownership after trespassing the peak; formulating a new model based on a logistic function.

Duffy, M. and Robinson, T., 2004 made an econometric analysis of motorcycle ownership in the UK and concluded that motorcycle use will not decrease in the long-term, on the contrary, the future growth prospects may be quite good. In dense urban areas, cars will experience an increase in cost of running because of further tolls, taxes and environmental restrictions, favoring a substitution effect from car to motorcycles. The conclusion of the analysis implies questioning that in the long run high incomes are related with declining use of motorcycles and therefore that the model of PTWs ownership fits an inverted U-Shape.

4. The stage in which the city of Barcelona is at

Barcelona is one of the densest cities in the world. One million six hundred thousand inhabitants are distributed in a small area, which also attract a high number of journeys, generated by a substantial socio-economic activity. In addition, in the last 10 years the surface for private vehicle-circulation has been reduced by 10%, there have been restrictions to private car use, increasing length of lanes exclusively devoted to bus and bikes and regulating car parking on the road.

Despite the high density, Barcelona does not lead the rankings of European urban congestion areas (TOMTOM 2015). One of the factors that allow a daily significant volume of motor-vehicle journeys in such a dense space is that a large percentage of internal journeys are made by motorized two-wheelers. PTWs account for 17.4% of mobility in private vehicles in the city of Barcelona (Ajuntament de Barcelona 2012).

The evolution by types of vehicles shows a tendency of decrease in cars fleet, whereas those PTWs tend to rise. People travel less by car, changing and increasing the use of PTWs. The use of motorized two-wheeled vehicles is a growing phenomenon. Small dimensions, high maneuverability and free parking on streets, have made PTWs a competitive mode of transport in terms of cost and time, and have additionally contributed to relieve traffic conditions. In 15 years (1996-2014) the number of PTWs per 1000 inhabitant has increased by 21%, while cars have decreased by 15%. In 2012 34% of non-commercial vehicles in Barcelona were motorized two-wheelers.

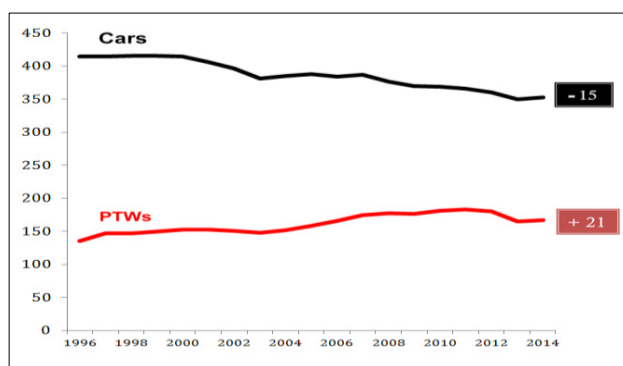


Fig. 3. Cars and PTWs per 1000 inhabitant in Barcelona from 1996 to 2014 (%)

Like many European metropolitan areas, Barcelona experiences a double trend: major tertiarization of the center city and increasing journey attraction and population decentralization from center city to peripheries. The implications are that major population living a certain distance from working centers led to more car dependence to access their work (Matas, A. et al. 2009).

In Barcelona, congestion pricing has been introduced in an indirect way. Instead of implementing urban toll schemes, the main set of measures to price car use has been through regulatory parking policies and increasing cost of street car parking. Unlike car parking pricing implantation, on street motorcycle parking has no cost, and it is allowed and free on sidewalks. In addition, the numbers of on street motorcycles parking places are in augmentation. Congestion pricing has a significant effect on encouraging motorcycle use, assuming motorcyclists are not charged for parking.

These traffic-calming schemes have discouraged the use of cars, partially shifting the use of cars for motorcycles. Besides, governments have taken actions to discourage car use, and measures to favor PTWs such as increase parking spaces for motorcycles, creation of advanced Stop Lines at traffic lights, improved traffic safety of motorcycles using anti-slip paint for road markings and reducing the crosswalks painted area. Altogether it has favored the reduction of the inefficiencies associated with traffic congestion and increased attractiveness for PTW use.

As in Barcelona, many European local governments in major cities implement policies to inhibit and reduce car use, targeting to relieve congestion and emission of greenhouse gases. In this sense they have implemented actions to restrict car use that intentionally, or unintentionally, have favored PTW and bicycle use because the small size and nimbleness of those vehicles reduces congestion. The high density of Barcelona and saturated streets increase safety

conditions, because congestion diminishes the probability of suffering severe injuries, finding a negative relationship between traffic flow and injury severity of PTW (Albalate, D. and Fernández-Villadangos, L. 2010).

Increase use of PTWs is a common phenomenon among major European cities. Since the mid-1990s there has been a continuous increase in PTWs ownership and their use in large European cities. In Paris in the period 2000-2007 PTWs have experienced an increase of 36 % and private cars a decrease of 23% (Kopp, P. 2009). Motorcycle traffic appears to have been increasing notably in Greater London since the introduction in 2003 a pricing scheme “The Congestion Charge”, granting exemption to PTWs, which has benefited a notable increase of use and possession of PTWs in the London Area. In Rome motorcycles represent 16% of vehicles in circulation and have increased by 60% between 2002 and 2014 (Automobile Club D’Italia 2014).

These trends suggest a continuous future growth of PTW use in urban congested areas, showing a relevant income elasticity of demand for motorcycles and substitution effect from cars, and even from public transport to PTWs in stages of high economic levels. The increasing use of PWTs in developed countries congested urban areas may contradict the models interrelating economic growth and the use of motorcycles.

5. Conclusions

Transport systems provide mobility necessary for human socio-economic activities. Journeys made by private vehicles (mainly cars and powered two wheelers PTW) make up an important part of mobility. Understanding about patterns of the historic evolution of motor vehicle ownership is useful to forecast future transport scenarios.

The historical evolution of private vehicle ownership is determined by different types of variables, mostly related with per capita income, urbanization, public policies and alternative means of transport.

Vehicle ownership models are a useful tool for analyzing and predicting scenarios that assist decision-making and transport planning. The relationship between measured economic variables and car ownership is non-linear in the long-term, fitting a sigmoid-shape function. The Gompertz function represents the long-run equilibrium level of the vehicle/population as a function of per capita income. The S-shaped Gompertz function that is valid to represent car evolution doesn’t provide a statistically fitted representation for the PTWs. Studies suggest that a long-term inverted U-shaped curve (i.e., the Kuznets), fits better for the relationship between PTWs and per capita income. The double slope shapes the PTWs increase at early stages of economic growth ownership and once a threshold level is surpassed, higher incomes produces the inverted effect, declining the use of PTWs. Some other studies and this one, suggest that in advanced European countries PTWs use will not necessarily decrease in the long-term. In dense urban areas, cars experience increasing operational cost because of tolls, taxes, parking and environmental restrictions, favoring a substitution effect from car to more convenient PTWs. Those future growth prospects, questioning the inverted U-shaped model consider that in the long run high per capita incomes are related with declining use of motorcycles. This study also notes that in a high-density city like Barcelona the trend is an increase in the use of PTWs.

Barcelona is one of the densest cities in the world. Mobility policies are characteristic of an advanced society, addressed to promote public transport and bicycles. Barcelona is a city that is highly dependent on motorcycles. Small size, high maneuverability, low operational costs and free on-street parking made PTWs more convenient for inner city trips. In 15 years (1996-2014) the number of PTWs per 1,000 inhabitant increased by 21%, while the number of cars has fallen by 15%. Increase use of PTWs in Barcelona is a common phenomenon in major European cities. These trends suggest a continuous future growth of PTWs use in urban congested areas, showing a relevant income elasticity of demand for motorcycles and substitution effect from car and even public transport to PTWs.

The increasing use of PWTs in developed countries and congested urban areas is not in line with the assumptions of the U-inverted curves models, which predict that in the long-run there will be a decrease in use of PTWs with high income per capita levels. These results may suggest that conducting further research might be helpful in analyzing possible functions that improve modelization of PTWs ownership in advanced stages of socio-economic development, considering that the curve shape can acquire a growing slope.

References

- Ajuntament de Barcelona (2012). “*Pla de Mobilitat Urbana PMU 2013-2018*”.
- Albalate, Daniel and Fernández-Villadangos, Laura (2010). “Motorcycle Injury Severity in Barcelona: The Role of Vehicle Type and Congestion”.

Traffic Injury Prevention, 11: 6, 623 – 631

- Beesley, Michael E. and Kain, J.F. (1964). “Urban form, car ownership and public policy: an appraisal of traffic in towns”. *Urban Studies*, vol.1.
- Birkeland, M.E.J. and Jordal-Jørgensen (2001). “Energy Efficiency of Passenger Cars”, *Paper presented at the European Transport Conference*
- Button, K.; Ngoe, N. and Hine, J. (1993). “Modelling vehicle ownership and use in low income countries”. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1993, p. 51-67
- Dargay, Joyce M. and Gately, Dermot (1999). “Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960–2015”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1999, vol. 33, no 2, p. 101-138.
- Dargay, Joyce M. and Gately, Dermot (2001). “Modelling global vehicle ownership”. In *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*. 2001. p. 22-27.
- Dargay, Joyce M.; Gately, Dermot and Sommer, Martin (2007). “Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030” *The Energy Journal*, 2007, p. 143-170.
- de Jong, G.; Fox, J.; Daly, A. and Pieters, M. (2004). “A comparison of car ownership models”. *Transport Reviews*, 24(4), 379-408.
- Duffy, Martyn and Robinson, Terry (2004). “An econometric analysis of motorcycle ownership in the UK”. *International Journal of Transport Management*, , vol. 2, no 3, p. 111-121.
- Goodwin, P.B. (1997). Mobility and car dependence. In “*Traffic and Transport Psychology*”, pp. 449–464. Pergamon, Oxford.
- Grossman, G. M. and Krueger, A. B. (2002). Economic Growth and the Environment, *Quarterly Journal of Economics*, CX, May, 353-77
- Haworth, N. (2012). “Powered two wheelers in a changing world-Challenges and opportunities”. *Accident Analysis & Prevention*, vol. 44, no 1.,
- Hsu, T.P.; Tsai, Chia-Chia and Lin, Yu-Jui (2007). “Comparative analysis of household car and motorcycle ownership characteristics”. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2007, vol. 7, p. 105-115.
- Huo, Hong; Wang, M.; Johnson, L., and He, D. (2007). “Projection of Chinese motor vehicle growth, oil demand, and CO2 emissions through 2050”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2038), 69-77.
- Ingram, Gregory K. and Liu, Zhou. (1997). “*Motorization and road provision in countries and cities*”. World Bank Policy Research Paper, , no 1842. <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/wps1842.pdf>
- Jamson, Samantha and Chorlton, Kathryn (2009). “The changing nature of motorcycling: Patterns of use and rider characteristics”. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, , vol. 12, no 4, p. 335-346.
- Kopp, Pierre (2009). “*The contribution of two-wheel motor vehicles (2WMV) to mobility in a big city. The case of Paris (2000-2007)*”. Panthéon-Sorbonne university.
- Law, Teik Hua; Hamid, Hussain and Goh, Chia Ning. (2015). “The motorcycle to passenger car ownership ratio and economic growth: A cross-country analysis”. *Journal of Transport Geography*, vol. 46, p. 122-128.
- Matas, Anna, Raymond, Josep-LLuis and Roig, José-Luis (2009). “Car ownership and access to jobs in Spain”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, vol. 43, n° 6, p. 607-617.
- McCartt, A. T.; Blunar, L.; Teoh, E. R. and Strouse, L. M. (2011). “Overview of motorcycling in the United States: a national telephone survey”. *Journal of Safety Research*, 42(3), 177e184.
- Mogridge, M. J. H. (1967). “The prediction of car ownership”. *Journal of Transport Economics and Policy*, p. 52-74.
- Nishitatenno, Shuhei and Burke, Paul J. (2014). “The motorcycle Kuznets curve”. *Journal of Transport Geography*, vol. 36, p. 116-123.
- Pongthanaisawan, Jakapong and Sorapipatana, Chumngong (2010). “Relation-ship between level of economic development and motorcycle and
- Schafer, A. (2006). “Long-term trends in global passenger mobility”. *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering*.
- Schafer, A. and Victor, D.G. (2000). “The future mobility of the world population”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34 (3),.
- Sillapacharn, Pattarathep (2007). “Vehicle ownership and trip generation modelling: a case study of Thailand”. *IATSS research*, 2007, vol. 31,
- Steg, Linda (2003). “Can public transport compete with the private car?”. *IATSS Research*, 27(2), 27-35.
- Stradling, S. G.; Meadows, M. L. and Beatty, S. (1999). “*Factors affecting car use choices*”. Transport Research Institute, Napier University.
- Talukdar, Debabrata (1997). “*Economic growth and automobile dependence: is there a Kuznets curve for motorization?*”. Dissertation. MIT.
- Tanner, John Curnow (1958). “Long-term forecasting of vehicle ownership and road traffic”. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*.
- Tanner, John Curnow (1962). “Forecasts of future numbers of vehicles in Great Britain”. *Roads and Roads Construction*, vol. 40, pp. 263-74
- Tanner, John Curnow (1983). “*International comparisons of cars and car usage*”. No. LR 1070. Transport and Road Research Laboratory.
- Whelan, G. (2007). “Modelling car ownership in Great Britain”. *Transport. Res. Part A: Policy Pract.* 41 (3), 205–219.
- Whelan, G., Wardman, M. and Daly, A. (2000). “Is there a limit to car ownership growth? An exploration of household saturation levels using two novel approaches”. In: *Paper presented at European Transport Conference 2000*, PTRC, Cambridge.
- Wu, G.; Yamamoto, T. and Kitamura, R. (1999). “Vehicle ownership model that incorporates the causal structure underlying attitudes toward vehicle ownership”. *Transp. Res. Rec.* 1676, 61–67.

Anexo 3

Ponencia en el XIII CONGRESO DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE 6, 7 y 8 de junio de 2018, GIJÓN. Foro de Ingeniería del Transporte

“Evolution, current state and recent trends of the mobility in Barcelona”

Nuevos retos en el transporte menos es **MÁS**

CIT
2018 GIJÓN

XIII CONGRESO DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE

GIJÓN
06 AL 08
DE JUNIO
DE 2018

Evolution, the current state and recent trends of the mobility in the city of Barcelona

Fernando Pérez Diez

PhD student in Civil Engineering
Universitat Politècnica de Catalunya (U.P.C.)

Julià Cabrerizo Sinca

PhD in Civil Engineering
Universitat Politècnica de Catalunya (U.P.C.)

José Magín Campos Cacheda

PhD in Civil Engineering
Professor Universitat Politècnica de Catalunya (U.P.C.)

ABSTRACT

The following article analyzes the evolution of the mobility in the city of Barcelona, identifying the current stage, and try to disclose trends in public and private transport that identify mobility patterns.

Barcelona is one of Europe's most densely populated cities. As many other metropolitan areas, the mobility of Barcelona is confronted with common problems such as congestion, accidents and pollution.

Barcelona mobility policies are characteristic of an advanced society, addressed to promote public and sustainable transport modes. Barcelona's authorities have implemented actions targeting to lower car use, decrease number of accidents, relieve congestion and reduce emissions of greenhouse gases.

The Mobility of Barcelona could be categorized as a hybrid city. The outstanding offer of mass public transport and the affordability of private vehicle produces some kind of balance between Public and private transport use.

The mobility changes and the Transport Sector performance can be measured using indicators that capture volumes, rates, and numbers. Such information can report on the demand for transportation and about key trends and forecasts. Having analyzed the recent evolution of the mobility in the city of Barcelona, this report brings together multiple sources of aggregate transport modes data to develop a depiction of the City of Barcelona mobility evolution. This study tries to show and understand the evolution of transport demand, providing a comprehensive understanding of the current state and the latest mobility trends in the city of Barcelona.

1. INTRODUCTION

This article studies the changes of the mobility in the city of Barcelona, analyzing the evolution and current stage, to try to disclose potential future trends in transport that allow identifying future mobility patterns.

Barcelona's historical mobility evolution have reached a mature stage where stabilizes and starts decreasing car possession per capita. This phenomenon is characteristic of high developed metropolitan areas. The mobility current state is a reduction in car use, with a modal shift to Public Transport, Powered Two Wheelers (PTWs) , and even bicycle and walking mobility. The future trend shows current tendencies will strengthen, increasing bicycle use and PTW encouraged by the future expansion use of electric vehicles (EV) and public transports.

Patterns of Mobility in the city of Barcelona are in constant evolution. The use of the car is experiencing an increase in operational costs due to the taxes, parking and environmental restrictions, producing a modal shift in favor of alternative transport modes. Indicators of vehicle possession are similar to other developed societies, having reached a level of saturation in the number of cars per capita, increasing the modal shift to Public Transport, PTW and bicycles.

Barcelona's transport policy and sector's long-term goals and aspirations are stemming from sector challenges and socio-economic trends affecting the transport landscape. The future identified tendencies broaden current trends as reinforced by public policies measures. There is in a planned active promotion and increase offer and quality in a more attractive public transportation: metro network and tram extension, increasing interconnection and enhancing seamless mobility, revamping bus network. There is also an active promotion of bicycle use (expansion of bicycle lanes, public rental service, electric bike facilities and promotion...) and walking mobility (enlargement of pedestrian exclusive areas, calming traffic schemes, superblocks extension, pedestrian promotion ...).

Barcelona is in a stage of maturity in the field of urban transport policies. The indicators of vehicle ownership are similar to other highly developed countries, having reached a level of saturation in the number of cars per capita. The city has high rates of motorization and also a high number of trips in private vehicles, despite having a good and efficient offer of public transport.

Like many European metropolitan areas, Barcelona experiences a double trend: the greater outsourcing of the city center, coupled with the growing tourist attractions and decentralization of the population from the center of the city to the peripheries. All this implies that the main population living at a distance from their work centers evidences a greater reliance on automobiles to access their work place (MATAS, A. et al., 2009).

2. MOBILITY IN THE CITY OF BARCELONA

2.1. Characteristics

Barcelona is an extremely dense city. In the year 2015 a population of 1.604.555 inhabitants distributed in an area of 101,4 km² resulting in a density of 15,824 hab / km² (IDESCAT, 2015). In Europe, cities with more than one million inhabitants, in terms of density, are only surpassed by Paris: 21,022 inhab / km² (EUROSTAT, 2011).

The high population density generates a high volume of travel, which adds a significant attraction of connection travel, mainly coming from the Metropolitan Area. The prominent population density causes a high concentration of vehicles. Barcelona has a road density (km of roads per 100 km² of land area) of 5,500 vehicles per km², while cities such as Milan (3,900 vehicles / Km²); Munich (2,200 vehicles / Km²); or Madrid (2,200 vehicles / Km²) have significantly lower concentrations. In turn, Barcelona is the European city with the highest number of kilometers of private traffic lanes per km² (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Despite the high density, Barcelona does not top the congestion rankings of European urban areas. In the TomTom European Congestion Index (2016), based on real time historical data, Barcelona appears in the 18th place, with an average congestion of 31%. The fact that in spite of the high density and volume of journeys by private vehicle, Barcelona does not suffer from higher levels of congestion is explained to a great extent by a particularity: it is a city with a very high volume of traffic Internal displacements in two-wheeled motor vehicles (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2015; IERMB 2015).

At European level, only cities like Rome or Milan have a volume of traffic in motor vehicle of two wheels similar to the one of Barcelona. At the state level, Barcelona, with a population significantly lower than Madrid, has more motorized two-wheeled vehicles than the Spanish capital. In the year 20015, 273,718 vehicles were registered in Barcelona on two wheels, while Madrid has about 180,000 units in this segment of transport (DGT, 2016).

The use of motorized two-wheeled vehicles is a growing phenomenon (in the period 2004-2016, it has meant a 27% increase in the volume of internal displacement stages in the city of Barcelona) (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2017) and A 14% increase in the number of registered vehicles (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2015b), in a context of a global decrease in the volume of journeys, especially in the car, which during the same period has seen Decrease the volume of internal displacement stages by 15% and 6.2% in the number of vehicles registered.

Kenworthy, J. (2013) classified urban areas into different categories as auto cities were dependent on car cities. Other authors introduced the term "city dependent on the motorcycle" to define cities with high levels of motorcycle ownership and use, without transportation alternatives available (BARTER, P. 1999; KHUAT, V. H., 2007). In this sense Khuat, V. H., (2007) classifies as motorcycle dependent cities like Hanoi, Hochiminh City, Taipei and Bangkok.

Dependent vehicles	Hybrid cities	Public transportation dependent	Motorcycle dependent	Saturated cities
Houston	Sydney	Osaka	Hanoi	Jakarta
Phoenix	Toronto	Tokyo	Hochiminh	Teheran
Riyadh	Paris	Hong Kong	Taipei	Taipei
Doha	Berlin	Singapur	Bangkok	Cairo
	Sao Paulo			Kuala Lumpur
	London			
	New York			
	San Francisco			

Table 1. Types of cities.

Based on the criteria of the previous classification could be considered the city of Barcelona as a hybrid city. The high number of motorized two-wheeled vehicles does not equate it with the category of "motorcycle dependent", as there is an outstanding offer of mass public transport, dense and hierarchical with a great variety of alternatives, modes and high accessibility.

2.2. Trips by modes

The distribution of the stages of daily movements by modes allows analyzing their evolution by each type of transport. In the period 2004-2016, although the total number of stages of travel is increasing, there is a continuous decrease in private transport, which is compensated by an increase in the stages by foot, by bicycle and especially in public transport. Public transport is the one with the most stages accumulating in absolute terms and experiencing an upward trend from 2004 to the present, increasing an average of about 23,036 passengers / year.

Walking and cycling have also increased significantly in the period 2004-2016, among other reasons due to the implementation and promotion of Bicing and the continuous promotion of bicycle use in the city.

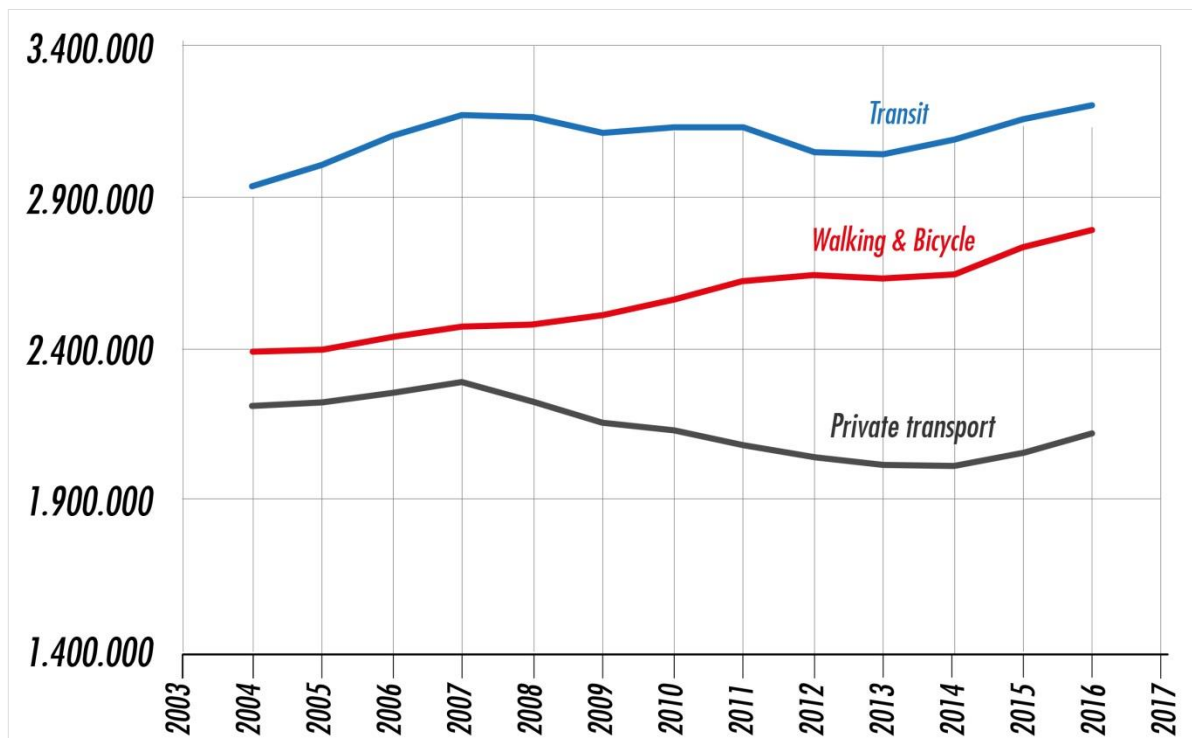


Figure 1. Daily trips evolution by mode

Analyzed the evolution of public transport in the internal and external (connection), it is observed how the evolution in the period 2004-2016 is continuously increasing both in the field of internal and external displacements. A part of this increase could be explained by the increase in the offer of the last years, especially in the metro and in the buses of the metropolitan area. Demand for the whole system in the first ring registered 645.8 million trips in 2008, down from 2007 (648.5 million).

Disaggregated by internal and external areas and by modes, there is a strong increase of 12% in the period 2004-2011 of the stages in Metro travel, both in internal and external movements. On the other hand, a dissonant effect is produced by bus. As long as the commuting movements increase by 5%, the stages of internal bus travel are down by -5%.

3. TRANSPORT PUBLIC POLICIES

3.1 Public policies relevance.

Transport policies takes up a central part of transport planning processes. Providing efficient mobility favors quality of life and economic activity. Public Transport promotion is an instrument that can reduce car use and private transport externalities. Some public policies aimed at giving more prominence to pedestrians and cyclists, promoting the use of collective public transport and reducing the use of private vehicles.

Transportation systems in metropolitan areas are inherently multimodal with a high level of integration. Urban areas with high levels of accessibility are based on an efficient supply of public transport modes that work together, achieving a high level of integration.

Mobility policies are a feature of advanced societies, addressed to promote public transport and bicycles, discourage the use of private vehicles, especially cars. Traffic calming schemes have been implemented in Barcelona, pedestrian and slow velocity areas have been extended, and bicycle use has been promoted.

The assessment of transport policies must be carried out in terms of equity, universality and sustainability. The satisfaction of economic and social needs must be guaranteed simultaneously, as well as optimizing the resources, thus achieving social equity. A more egalitarian society tends to be more productive, to the extent that equity and efficiency tend to be linked (ARROW, K. & DEBREU, G. 1954). The total social benefit (Surplus: W), is defined by the aggregate benefit of the users of the service, S . In terms of mobility, the greater the equity at the level of travel times, T , and costs, C_T , the greater the aggregate productivity, so that the overall benefit will be greater.

$$MAX (\Sigma(S), \Sigma(W)) \approx MIN ((\Sigma(C_T), \Sigma(t), \Sigma(T)) \quad [1]$$

3.2 Pricing congestion policies.

In Barcelona, congestion prices have been introduced indirectly. Instead of implementing urban toll schemes, the price of car use has materialized through regulatory parking policies and increasing the cost of street parking. Unlike pricing for car parking, motorcycle parking on the street has no cost and is allowed free on sidewalks.

Governments intervene in the urban parking market. Parking policy takes up a central part of local and regional spatial and transport planning processes, because it is an effective means of controlling the volume of traffic in central dense areas. Parking policies is an instrument that can reduce car use and private transport externalities. Charging for parking is one of the most widely used forms of parking control aimed to discourage driving through increasing the costs of car use (VERHOEF, E. et al. 1995).

In dense urban environments, public authorities have a large number of parking conditioning policies. The high density causes public space to be in high demand for very varied uses: circulation, parking, bike lane, bus, pedestrian zones, loading and unloading, etc. As a result, public policies have an impact on parking conditions and therefore in the possession and use of private vehicles. (VALLELEY, M. et al. 1997).

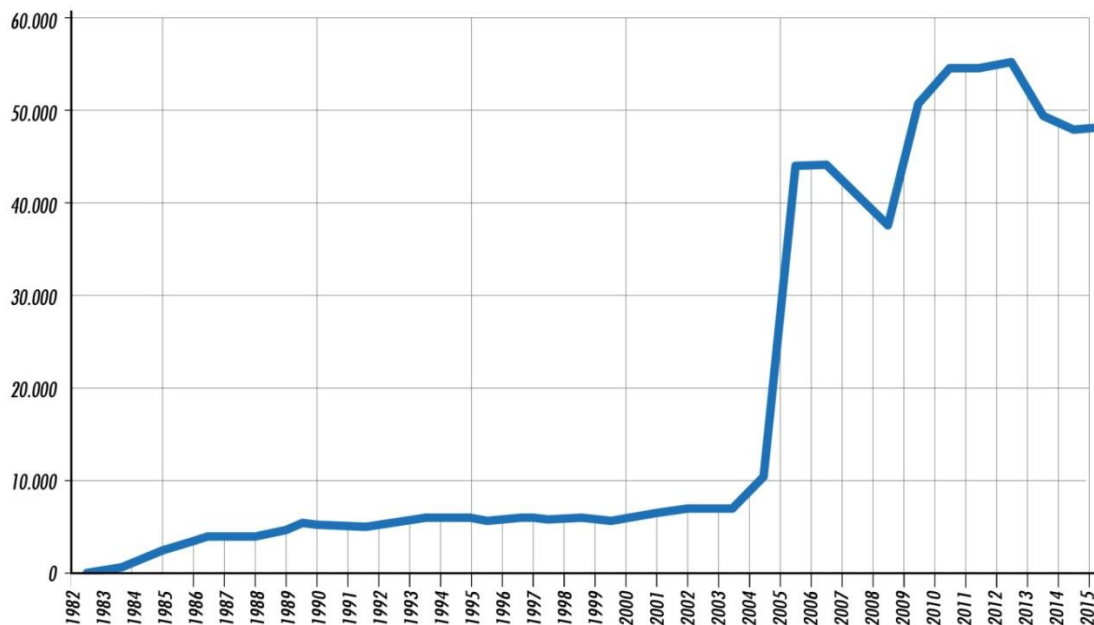


Figure 2. Evolution of the number of on street car paying parking places in the City of Barcelona.

As in Barcelona, many local governments in major European cities, implement policies to inhibit and reduce the use of the car, aimed at alleviating congestion and the emission of greenhouse gases. In this sense, they have implemented actions to restrict the use of the car that - intentionally or not - have favored both the PTWs and the use of the bicycle, since the small size and the agility of these vehicles contributes to reduce the congestion.

The cross elasticity (ε) between two modes (M_1, M_2) will depend on the variation of costs (C_1, C_2):

$$\varepsilon = \frac{\partial M_1 / M_2}{\partial C_1 / C_2} \quad [2]$$

The schemes of pricing congestion have increase car operational costs (C_1) and discouraged the use of the automobile, partially displacing its use and promoting that of motorcycles.

3.3 Revamping Bus network.

Barcelona Transport authorities are implementing measures to make that the public transport system will work optimally, capturing the largest number of passengers. With this purpose, high integration of metro and bus network is necessary. To try to attract more passengers on the bus, the bus network is being revamped in a more rational way. They are redesigning the lines, looking for a more rational and direct route that improves the times of passage and frequencies.

Historically, the bus network of Barcelona was heiress of the network of trams of a century ago. With the growth of the city, the lines were extended and overlapped to create an unrealistic network, with redundancy between lines and routes that penalized speed and frequency of passage. For the non-habitual user, the bus network was poorly understood and difficult to read on a map.

Public Transport sector is implementing a revamped bus network that will provide a renewed and more integrated public transport service offer. Once the implementation is complete, citizens will have a more understanding bus network that will reduce the waiting time and travel time and improve the connectivity between the different means of transport.



Figure 3. Revamped Barcelona bus network.

The main features of the new network are more speed, thanks to a series of measures that have been applied, such as reserved lanes, traffic light priority or double stops; more ease of use, since the new lines follow the most direct and straight routes possible, designed with more efficiency and logic, always thinking about the comfort of the users; maximum connectivity and better intermodality, being a network that leads to all the ends of the city.

Gradual implementation of the new lines, in a process that will continue to be carried out in stages until the completion of the 28 lines that are expected to be part of the new bus network. Final design of the bus network will consist of 97 lines: 43 conventional urban and interurban lines, 25 Bus del Barri lines or proximity lines And 28 high performance lines. 95% of the population will benefit from a high performance bus service with greater versatility, as they will have several options of travel for the same origin and the same destination.

The integrated public transport system must be based on that the metro network is the central structure of the mass transport system and bus feeder routes complete the transport offer, playing a role providing connection services between remote areas and metro stations. The new bus network is a project to redraw the Barcelona bus network following criteria of ease of use, efficiency and efficient management of resources. Where the vertical, horizontal and diagonal lines intersect, in both directions, the so-called exchange areas are created, where you can easily, easily and easily link from one line to another.

3.4 Car discouraging and PTWs (Powered Two Wheelers) promotion.

The evolution by vehicle types shows a clear decrease of the car fleet, while the PTW tend to rise. People travel less by car, changing and increasing the use of PTWs. The use of motorized two-wheeled vehicles is a growing phenomenon. Small dimensions, great maneuverability and free parking on the streets have made the PTW a competitive mode of transport in terms of cost and time, which have also helped to alleviate traffic conditions. In 15 years (1996-2014) the number of PTWs per 1000 inhabitants has increased by 21%, while cars have decreased by 15%. In 2012, 34% of non-commercial vehicles in Barcelona were two-wheeled motorcycles.

The increasing use of PTWs implies negative externalities. In Barcelona, motorcyclists remain the most vulnerable users, representing the group with the highest number of serious injuries and fatalities. In 2015, 63% of those killed in accidents in the city of Barcelona were motorcyclists. The probability of having a fatal accident for those traveling in PTW is 12.5 times greater than in a car and in the case of serious injuries is twenty times greater (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2016). The high density of Barcelona and the saturated streets increase the safety conditions, since the congestion reduces the probability of suffering serious injuries, finding a negative relation between the traffic flow (congestion) and the severity of the injury in PTW (ALBALATE, D. et al. 2010).

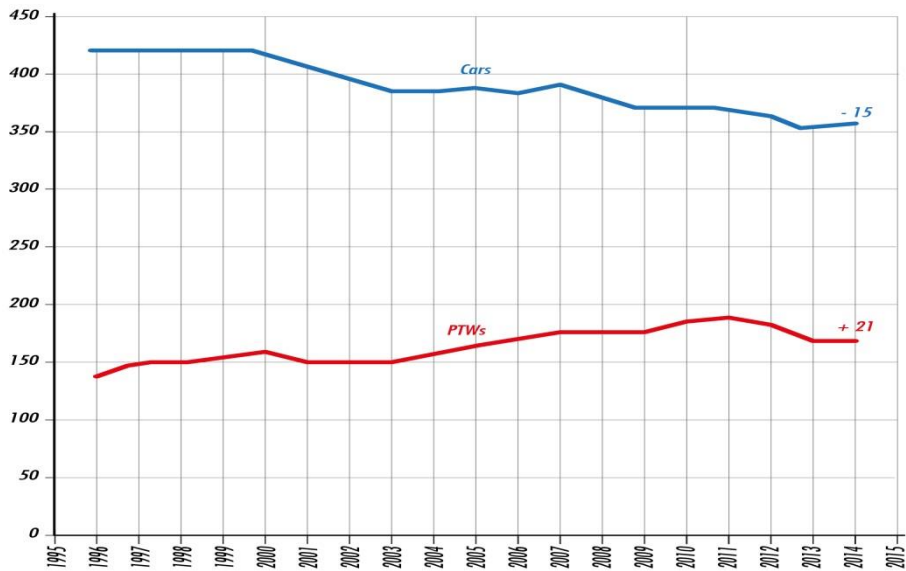


Figure 4. Cars and PTWs per 1000 inhabitants in Barcelona from 1996 to 2014 (%)

One problem that surrounds two-wheeled vehicles is the high prevalence of accidents. Although the number of two-wheeled vehicles has progressively increased in the city of Barcelona, the data reveal that fatal accidents have been reduced exponentially. In 1990 there were 88 fatal accidents in Barcelona, this figure has been decreasing in such a way that only 22 died in 2013, although in the year 2014 there has been a rebound to 31 deaths. The decline in fatal accidents on the other hand has been accompanied by an increase in accidents with serious injuries.

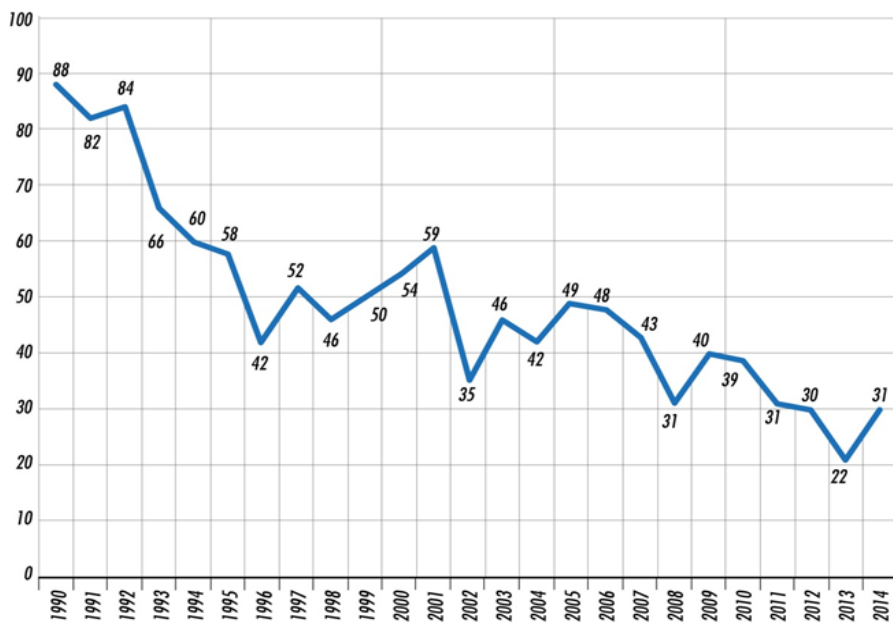


Figure 5. Evolution of motorist fatalities in the city of Barcelona

Increased use of PTWs is a common phenomenon in major European cities. Since the mid-1990s there has been a steady increase in the ownership of PTWs and their use in large European cities. In Paris, in the period 2000-2007, PTWs experienced a 36% increase and private cars a decrease of 23% (KOPP, P. 2009). Motorcycle traffic seems to have increased significantly in Greater London since the introduction in 2003 of a "Congestion Charge" price plan granting exemption to PTWs and which has led to a notable increase in use and possession in the London Area. In Rome, motorcycles represent around 16% of the vehicles in circulation and have increased by 60% between 2002 and 2014 (AUTOMOBILE CLUB D'ITALIA, 2014).

These trends point to continued future growth in the use of PTWs in congested urban areas, showing a significant elasticity of demand for motorcycles and a clear effect of replacing cars and even public transport to PTWs in periods of high economic levels. The increasing use of PTWs in developed countries with congested urban areas may contradict the models that interrelate economic growth and the use of motorcycles.

3.5 Road discipline enforcement

Another factor that has contributed to improving the flow of traffic has been the achievement of high levels of road discipline, with a continuing decline in illegality in surface parking, which from 1996 to 2015 has reduced by 4 times the volume of illegality, passing from the order 2.5 to 0.6 the volume of illegally parked vehicles per 100 linear meters of track. The low illegality in the parking lot implies a smaller volume of vehicles in double row, obstructing and blocking the lanes destined to the circulation, facilitating the flow of traffic.

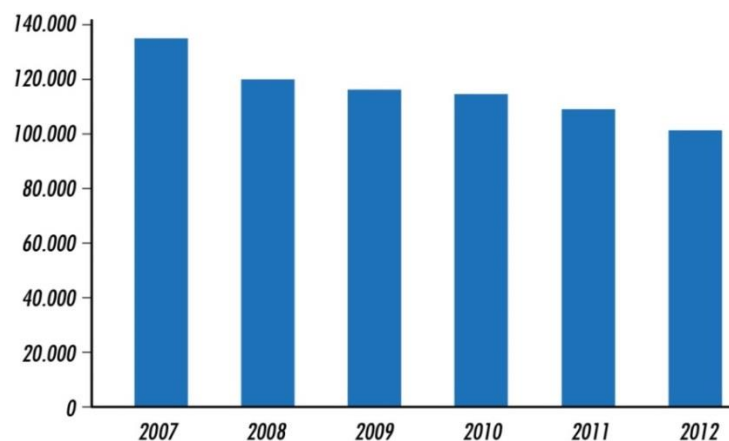


Figure 6. Municipal Crane interventions in Barcelona.

Parking controls, in various ways, can be by reducing the supply of spaces, restricting duration or opening hours, and regulating use through permits or charging, and potentially providing a more effective way of controlling car use. (GLAZER, A. et al. 1992).

According to data from "Barcelona de Serveis Municipals (BSM)", the activity of the crane in Barcelona has fallen by 23.5% since 2007. This decrease is attributable to the reduction in global mobility, which has fallen by around 12% in the accesses and 7% in the main roads, and on the other hand, to the continuous reduction of road indiscipline.

3.6 Bicycle promotion policies

Barcelona's authorities are committed to promoting the use of bicycle and launches a strategy at different levels to increase the use. Barcelona Bicycle Strategy aims to give continuity to the Urban Mobility Plan of Barcelona (PMU 2013-2018) (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2012a, 2012b), which is the planning tool that defines the lines of action that should govern mobility in the coming years.

In the first place, the Municipal Government proposes to invest 32 million until 2018 so that in this way the current network of bicycle lanes almost triples, going from the current 116 km to 308 km.

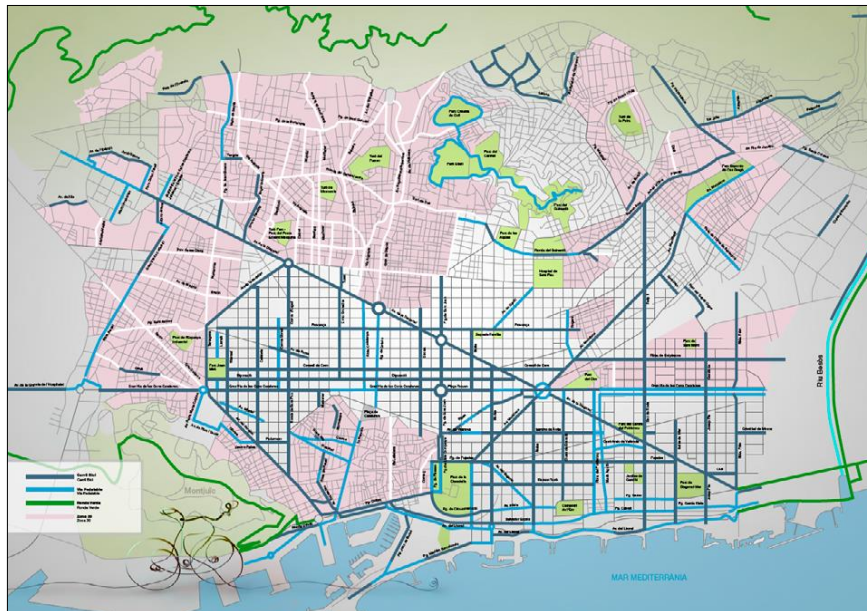


Figure 7. Map of the evolution of the bicycle lanes network in Barcelona

The daily use of the bicycle as urban transport requires the reservation of spaces for parking in the points of origin and destination of the displacements. The city council plans to increase 23% of the surface parking places for bicycles. The Municipal Government wants to move from the 24,348 parking places of the bicycle in the current public space, to 30,000, which will lead to a 23% increase.

The city has a successful public bicycle rental system (Bicing) and a three-year horizon (from 2015 to 2018) has been planned to triple the length of bicycle lanes from 118 to 308 km, trying to substantially increase the Mode of use of the bicycle from 1.5 to 2.5% (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2015a).

4. FUTURE TRENDS

4.1 Identified tendencies

The analysis of the evolution of a phenomenon consists in analyzing its temporal dimension, applying models based on chronological data that allow identifying trends, changes, evolutionary patterns, events and possible biases. The aim is to arrive at the formulation of models that explain the patterns of temporal change and that even make predictions and forecasts.

The time series can be analyzed by applying different methods of trend analysis, correlation, prognosis and saw tooth softening, in order to identify the characteristics of the underlying probabilistic structure and to make future projections and forecasts.

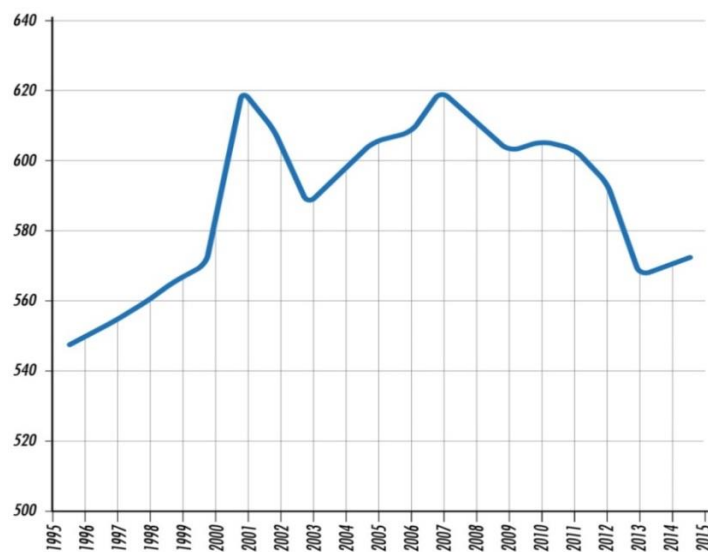


Figure 8. Evolution of vehicles per 1,000 inhabitants in Barcelona

Having a long historical data set, it is feasible to apply different statistical techniques in order to identify possible trends, which can serve as a basis for future forecasts.

When the observed variable shows a temporal trend during the period (t), the function resulting from its temporal parameterization (y_t) must identify two components: the parameterized trend (T_t) in the form of linear, exponential, polynomial, power, logarithmic regression, plus the random disturbance or error with respect to reality (ε_t), to which a trend filtering should be applied, so that:

$$f(y_t) = T_t + \varepsilon_t \quad [3]$$

4.2 Trends in public transport

The transport policies of the city of Barcelona during the last decades, in global terms, have been oriented to a model of transit from an integrative perspective not only between the different modes of transport, but also of the other components of the quality of life such as the environment, urban planning and road safety (TORRES, J. et al. 2004).

During the last years, three dissociated phenomena of the trend have been observed: internal and external displacements are reduced by car, internal bus movements are reduced, and displacements in motorized two-wheeled vehicles, especially in the domestic sphere, are significantly increased.

The public transport system of the Metropolitan Area of Barcelona (AMB) is in a continuous growth phase. In the last year, it has risen by 3.9%, surpassing the number of public transport travelers of the last years.

The economic crisis started in 2008 caused a decline in activity that resulted in a continuing trend of reducing public transport trips. There was a minimum in the year 2013, from which began to go up the demand.



Figure 9. Public transport daily trips

In recent years the growth of the use of public transport has increased in aggregate data above 2% per year. The metro system is the mode that more robustly grows in absolute numbers. In percentage terms the mode of transport that increases the most is the metropolitan commuting train (Rodalies) with a growth in the last year of about 4.8%

The bus networks, both domestic and the Metropolitan Bus, have again registered during the year 2016 a significant increase of travelers of 4.3% compared to the year 2015.

4.3 Walking mobility promotion and superblocks.

Barcelona is a densely packed metropolis. One million six hundred thousand inhabitants are distributed in a small area that also attracts a large number of trips generated by a major socio-economic activity. In the last 10 years the area of private vehicle traffic has been reduced by 10%, as the use of private cars has been restricted, the length of lanes dedicated exclusively to buses and bicycles has been increased and has regulated the parking on the road.

In recent years, traffic calming schemes have been implemented in Barcelona, pedestrian and slow-speed areas and community spaces have been expanded. In addition City officials started creating a system called “superilles” (superblocks) across the city that reshapes urban streetscape. The scheme is aimed to severely limit vehicles as a way to reduce traffic and air pollution, redefining streets as public spaces more efficiently for pedestrians. Within each superblock, streets and intersections will be largely closed to traffic, that are redirect to streets along the perimeter of each superblock.

With the reduction of circulation space (E_c), if do not decrease the number or size of vehicles, the trend would lead to an increase in congestion and, therefore, to a decrease in the speed of traffic or what is equivalent: an increase in travel times (t). The elasticity of transport demand is an indicator of the impact of changes in the variables on transport. The elasticity in the travel time in relation to the variations of the circulation space, E_c , is:

$$\varepsilon(t) = \frac{\frac{\partial t}{t}}{\frac{\partial E_c}{E_c}} = \frac{E_c}{t} \cdot \frac{\partial t}{\partial E_c} \quad [4]$$

4.4 Private transport tendencies.

The first automobile circulated in the streets of Barcelona in 1890. Since then the presence of cars has been increasing, very slowly and fluctuating during the first half of the twentieth century, until beginning in the 60s a stage of strong expansion with a prolonged growth. In 1992 the motorization levels reach 441 cars per 1,000 inhabitants, a ratio that would be repeated in 1995, although, as of that date, a trend of a steady decline in the number of cars began. The trend in the number of private vehicles (cars and motorcycles), shows a declining trend of the car fleet, while two-wheeled vehicles tend to increase. People travel less by car and increase the use of two-wheeled vehicles.

Thus, in the last 40 years (1975-2015), the number of cars has increased by 27%, while that of the motorcycle has grown at a markedly higher rate: 413%. Although the number of cars has declined significantly since 1995, in a period in which the number of motorcycles has continued to increase.

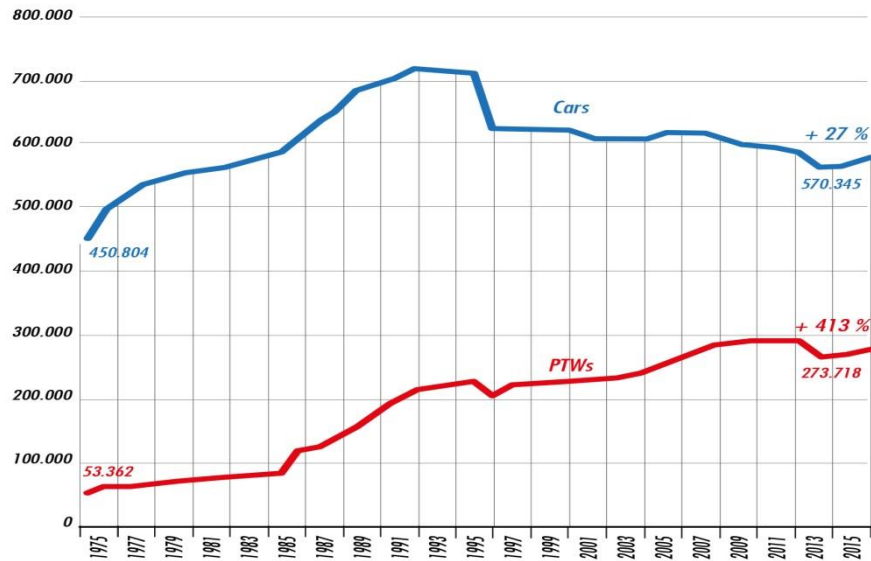


Figure 10. Evolution of the number of cars and PTW in the city of Barcelona.

In the last 20 years (1995-2015) the number of two-wheeled vehicles per 1,000 inhabitants has increased by 24%, while cars have decreased by 15%. In 2012, 34% of non-commercial vehicles in Barcelona were two-wheeled motor vehicles.

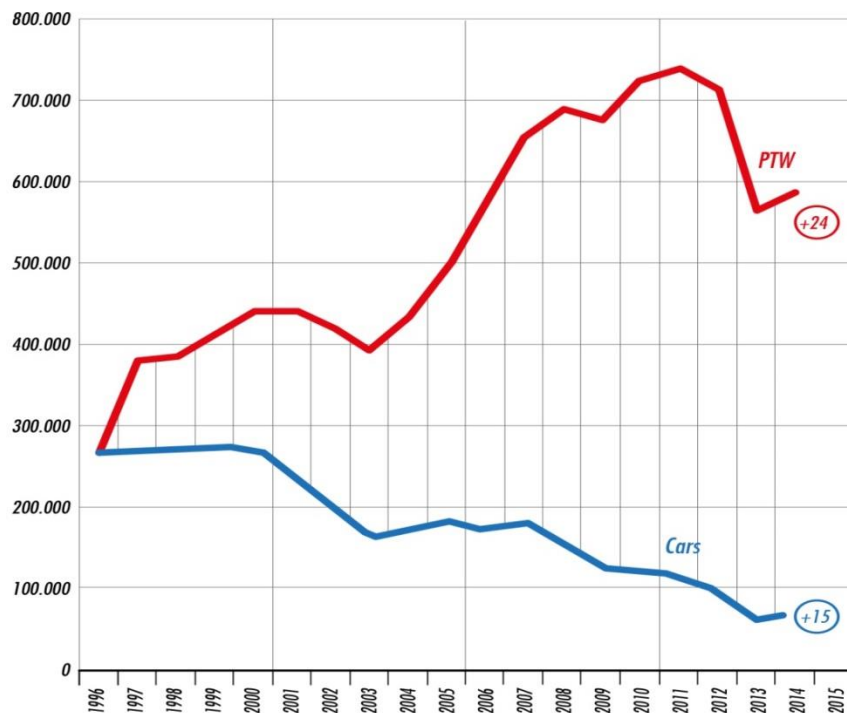


Figure 11. Evolution of the number of cars and PTW (% base year 1996)

In 1975, 89% of private non-commercial vehicles (cars and PTWs) were cars, while in 2015 the percentage was more balanced: 68% cars and 32% PTWs. So, in 1975 there were 8 times more cars than motorcycles, while in 2015 the ratio is 2 cars per PTWs. From 1996 to 2010 the number of vehicles increased at a rate of 6,000 vehicles per year: increasing from 900,000 to 980,000. During the period 2000-2003 there was a small decrease in the fleet, followed by a recovery. In 2007 the maximum number of vehicles (991,151) was reached. In 2009, stabilization began, followed by a steady decline in the fleet. It is possible to identify the stabilization in the range of 600-620 vehicles per 1000 inhabitants, and then a clear decrease is observed (AJUNTAMENT de BARCELONA, 2016).

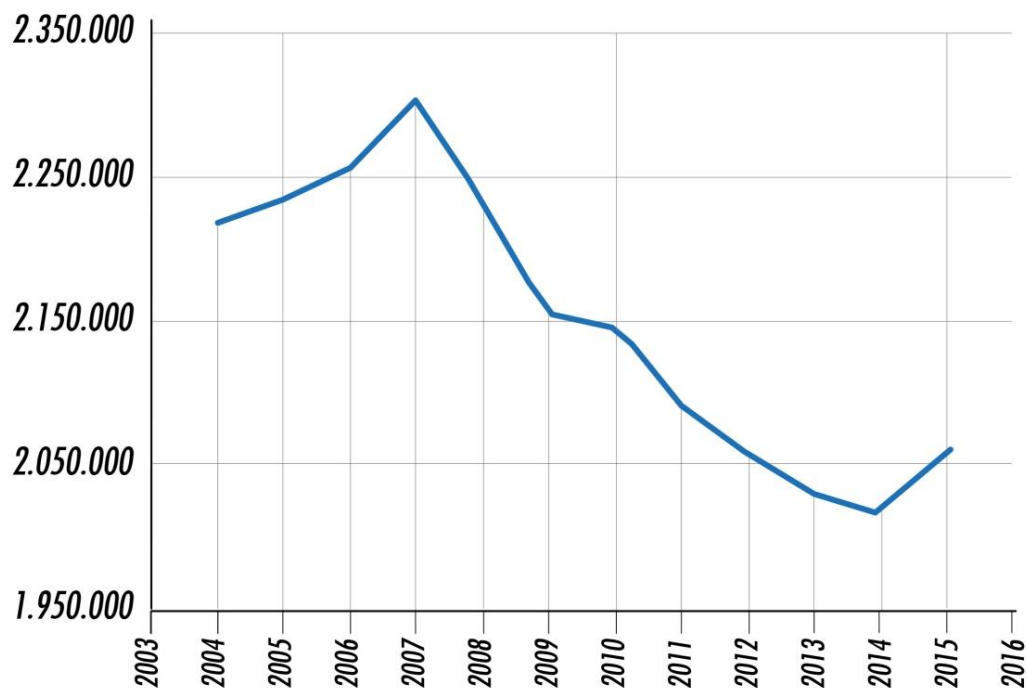


Figure 12. Daily private vehicle trip evolution.

One factor that corroborates this decline is the significant reduction in traffic intensity on main roads.

4.5 Evolution of motorcycle use

The use of two-wheel motor vehicles is a growing global phenomenon, especially in congested urban environments and in developing countries (ROGERS, N., 2008; (HAWORTH, N. 2012). The small size, high maneuverability and free parking on the streets have made two-wheeled vehicles a cost-competitive mode of transport in urban areas in front of the car and have contributed To alleviate traffic conditions.

Comparing the shape of the graph with the forms of the additive and multiplicative graphs, it is observed as synoptically that it is more adjusted to a multiplicative scheme in which

the amplitude of the fluctuations varies throughout the series, against the additive scheme in that the amplitude is regular over time. The evolution of the last 20 years has been indexed, taking as reference the base year 1996.

The time series can be analyzed by applying different methods of trend analysis, correlation, prognosis and sawtooth softening. All this in order, on the one hand, to identify the characteristics of the underlying probabilistic structure, and on the other, to make future projections and forecasts. The series can be analyzed by extracting the most immediate statistics.

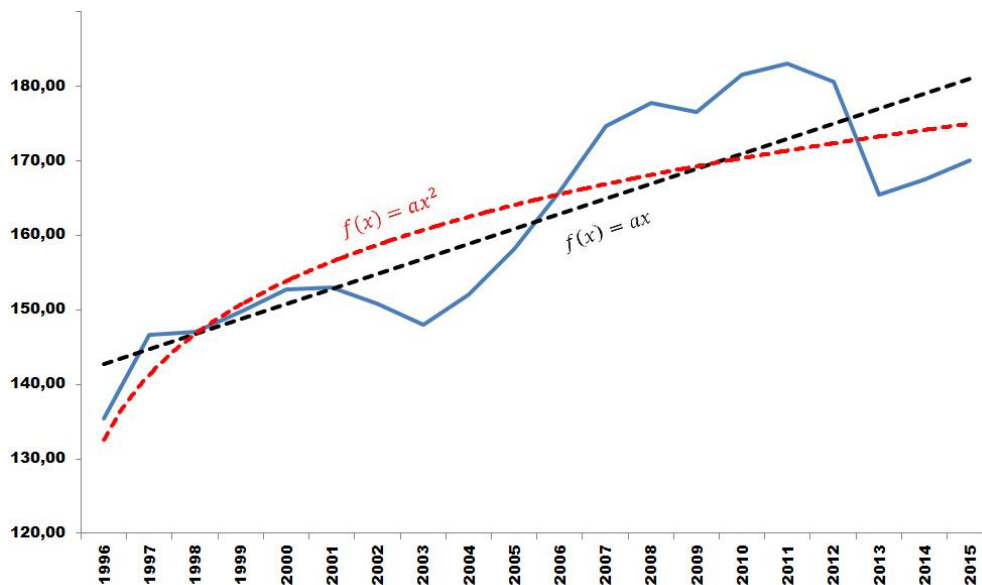


Figure 13. A simple index has been applied to identify the trend

Synoptically, a clear upward trend is observed which is verified by a very low p-value for trends (0.000). The fact that the line only crosses the median by a point, verifies the clarity of the trend on the seasonal effects that the more evident, the greater tendency to intersect the median.

The verification of the non-stationary character of the evolutionary series, coupled with the fact that the different indicators verify the non-existence of randomness factors, allows to progress in the search of the variables that can explain the evolution of the series and, therefore, to elaborate a model explanatory.

The increase of motorized vehicles of two wheels is constant. This growing trend can be seen in the future due to the technological progress of the incorporation of electric motorcycles, and even new typologies of vehicles based on this technology.

5. CONCLUSIONS

Barcelona is one of the most densely packed metropolis in the world with common problems related to mobility: congestion, pollution, accidents and insufficient on-street parking places. In this article the evolution, the current state and future prospective of the mobility in the city of Barcelona, has been identified

The Mobility of Barcelona could be categorized as a hybrid city. The outstanding offer of mass public transport and the affordability of private vehicle produces some kind of balance between Public and private transport use.

The historical evolution of mobility is characterized by the peak achievement of a long tendency of a steady increase in motorization and use of public transport, until reaching a mature level of car use saturation. Straight afterwards car possession begins to decrease, producing a continuous modal shift towards public transport and PTW, also to a lesser extent to the bicycle and walking.

The tendencies of mobility evolution are characteristic of high developed metropolitan areas. The current mobility state is a reduction in car use, shifting Public Transport, PTWs, and even bicycle and walking mobility. The future trend shows a reinforcement of this current tendency, increasing mostly bicycle use and PTW, encouraged by the future expansion of electric vehicles (EV)

Barcelona's transport policy and the sector's long-term goals and aspirations are stemming from challenges and socio-economic trends affecting the transport landscape. As in Barcelona, many governments of the main European cities implement policies to inhibit and reduce car use, aimed at alleviating congestion and the emission of greenhouse gases. Barcelona is introducing plans, policies, programs, projects and initiatives to foster competitive and sustainable mobility services.

In Barcelona, congestion pricing have been introduced indirectly by parking regulation schemes. Increasing car operational costs has produced the extension of motorcycle use. Last decades, the city is experiencing a booming in the use of motorcycles. This is a growing global phenomenon, especially in congested urban environments and in developing countries.

A deepening of current tendencies are the future identified tendencies, reinforced by public policy goals. There are planned initiatives to promote bicycle use (lanes network expansion, rental public service, electric facilities), walking trips (enlargement of pedestrian areas, superblocs, calming traffic schemes...) and made more attractive public transportation, deepening modal integration (revamping bus network, fleet electrification, metro network extension, tram interconnection).

The combined effect of diverse public policies has produced a positive effect declining the use of the car over the last twenty-five years in the City of Barcelona. As a side-effect, they have also favored an increase in the use of motorized two-wheeled vehicles.

Further transport challenges will focus on optimizing accessibility, seamless mobility, safety and security while ensuring environmental and financial sustainability and promoting economic development, smart systems, effective institutional arrangements and performance management.

REFERENCES

- AJUNTAMENT de BARCELONA (2012a). Pla de foment de la bicicleta a Barcelona. https://es.slideshare.net/Barcelona_cat/pla-de-foment-de-la-bicicleta
- AJUNTAMENT de BARCELONA (2012b). Pla de Mobilitat Urbana PMU 2013-2018. http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/sites/default/files/1_pdfsam_PMU_BCN_2013-2018_definitiu2.pdf
- AJUNTAMENT de BARCELONA (2015a). Estratègia de la bicicleta. Press dossier. <http://ajuntament.barcelona.cat/premsa/wp-content/uploads/2015/11/151120-Dossier-estrat%C3%A8gia-biciDEFINITIU3222.pdf>
- AJUNTAMENT de BARCELONA (2015b). Cens de vehicles de la ciutat de Barcelona.
- AJUNTAMENT de BARCELONA (2016). Dades Bàsiques de Mobilitat 2015.
- AJUNTAMENT de BARCELONA (2017). Dades Bàsiques de Mobilitat 2016.
- ALBALATE, D. & FERNÁNDEZ-VILLADANGOS, L. (2010). Motorcycle Injury Severity in Barcelona: The Role of Vehicle Type and Congestion. *Traffic Injury Prevention*, 11(6), pp.623-631.
- AUTOMOBILE CLUB D'ITALIA (2014). Dati e statistiche Veicoli e mobilità.
- ARROW, Kenneth J. & DEBREU (1954), Gerard. Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, p. 265-290.
- BARTER, P. (1999). *An International Comparative Perspective on Urban Transport and Urban Form in Pacific Asia: The Challenge of Rapid Motorisation in Dense Cities*. Murdoch University.
- DGT. (2016). Anuario estadístico General Año 2016.
- EUROPEAN COMMISSION (2011). *Cities of tomorrow Challenges, visions, ways forward*, Directorate General for Regional Policy. European Union. Regional Policy. Bruselas.
- EUROSTAT (2011). *Eurostat Regional Yearbook 2011*. Eurostat Statistical Books. Eurostat, European Commission, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- GLAZER, A. & NISKANEN, E. (1992). Parking fees and congestion. *Regional Science and Urban Economics*, 22(1), pp.123-132.

- HAWORTH, N. (2012). Powered two wheelers in a changing world—Challenges and opportunities. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), pp.12-18.
- IDESCAT (2015). Anuario Estadístico de Catalunya.
- IERMB (2015). Enquesta de Mobilitat en dia feiner (EMEF), Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans.
http://doc.atm.cat/ca/dir_emef/emef2015/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- KENWORTHY, J. (2013). Mobility in Large Cities: Transport Typologies and their Meanings. International Symposium *Mobility and Urban Structure*, 23 February 2013. El Gouna, Egypt.
- KHUAT, V. H. (2007). *Traffic management in motorcycle dependent cities*. Doctoral dissertation, Technische Universität
- KOPP, P. (2009). *The contribution of two-wheel motor vehicles (2WMV) to mobility in a big city The case of Paris (2000-2007)*. Panthéon-Sorbonne university.
- MATAS, A. & RAYMOND, J. (2008). Changes in the structure of car ownership in Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), pp.187-202.
- ROGERS, N. (2008). Trends in Motorcycles Fleet Worldwide. *Transport Research Committee Workshop on Motorcycling Safety*. Ponencia en el OECD/ITF.
- TOMTOM (2015). *TomTom European Congestion Index 2015*. TomTom Traffic Index http://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/list
- TORRES, J., MORALES, A. & VILLALANTE, M. (2004). *La mobilitat: quasi un model*. Aula Barcelona, CIDOB, Universitat de Barcelona.
- VALLELEY, M., JONES, P., WOFINDEN, D., & FLACK, S. (1997). The role of parking standards in sustainable development. *Policy, planning and sustainability. proceedings of seminars c and d. PTRC European Transport Forum, Brunel University*, September, 1-5, 1997, vol. 413.
- VERHOEF, E., NIJKAMP, P. & RIETVELD, P. (1995). The economics of regulatory parking policies: the (im) possibilities of parking policies in traffic regulation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 29, n° 2, pp. 141-156.