



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

DEPARTAMENTO DE EXPRESIÓN GRÁFICA, DISEÑO Y  
PROYECTOS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES

# **EVALUACIÓN DE LA ACCIDENTABILIDAD CICLISTA. ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS SEGURAS PARA CICLISTAS EN ENTORNOS URBANOS.**

TESIS DOCTORAL presentada por *D. Oscar M. Gutiérrez Roldán* para optar al título de Doctor Ingeniero Industrial.

DIRECTORES:

*Dr. D. José Ramón De Andrés Díaz*, Profesor Titular de Universidad, área de conocimiento de Proyectos de Ingeniería.

*Dr. D. Jose Juan Nebro Mellado*, Profesor Titular de Universidad, área de conocimiento de Organización de Empresas.


Málaga, Noviembre de 2015





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

AUTOR: Óscar Manuel Gutiérrez Roldán

 <http://orcid.org/0000-0001-6276-8208>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): [riuma.uma.es](http://riuma.uma.es)





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

D. JOSÉ RAMÓN DE ANDRÉS DÍAZ, Dr. Ingeniero Industrial, Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Málaga, en el Área de Proyectos de Ingeniería

y

D. JOSÉ JUAN NEBRO MELLADO, Dr. Ingeniero Industrial, Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Málaga, en el Área de Organización de Empresas,

actuando en calidad de Directores de la Tesis, HACEN CONSTAR:

Que la tesis presentada por D. Óscar Manuel Gutiérrez Roldán, con el título de “EVALUACIÓN DE LA ACCIDENTABILIDAD CICLISTA. ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS SEGURAS PARA CICLISTAS EN ENTORNOS URBANOS”, se ha desarrollado bajo nuestra dirección durante los años 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015 y reúne los requisitos necesarios para optar al grado de Doctor.

Y para que así conste a los efectos oportunos, expedimos y firmamos el presente documento en Málaga, a Noviembre de dos mil quince,

Fdo. JOSE RAMÓN DE ANDRÉS DÍAZ

Fdo. JOSÉ JUAN NEBRO MELLADO





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

*A mi mujer, familiares  
y amigos por su apoyo  
incondicional*



## RESUMEN

La Movilidad Sostenible juega un papel muy importante en la mejora de la sostenibilidad, siendo la movilidad ciclista una de sus áreas fundamentales. Utilizar la bicicleta como medio de transporte supone una amplia serie de ventajas, las cuales quedan ensombrecidas por el principal inconveniente, que es la peligrosidad o riesgo al que los ciclistas se ven sometidos.

A nivel de infraestructuras, resulta básico el diseño de vías ciclistas de acuerdo a las recomendaciones existentes, así como el empleo de los materiales adecuados y respetando siempre las dimensiones indicadas. Para todo ello, las administraciones públicas juegan un papel fundamental, para que mediante una regulación legal adecuada, la bicicleta se tenga en cuenta en la planificación de la movilidad en la ciudad.

En Europa, los países donde la movilidad ciclista está más desarrollada son Holanda, Alemania y Dinamarca. Tomando a estos países como referencia además de España, y tras un análisis y tratamiento de los datos, se observa que la gran mayoría de los accidentes se producen en zona urbana. Aproximadamente el 50% de estos accidentes se producen en el interior de intersecciones, destacando en primer lugar las de 4 ramales, seguidas por las de 3 ramales y las rotondas. Cabe mencionar que las rotondas son un tipo de intersección en auge debido a sus contrastadas ventajas para los vehículos a motor, pero para los ciclistas dichas ventajas no son tan claras. Es por ello por lo que el diseño de las mismas es clave para la seguridad de los usuarios de la bicicleta.

En la presente tesis doctoral se ha establecido una metodología para el diseño de infraestructuras seguras para ciclistas. Ésta ha funcionado y resultado plenamente utilizable, aplicándose al diseño de una rotonda de un solo carril y de tráfico mixto en entornos urbanos. Dicha metodología se ha basado en el establecimiento de una serie de parámetros de diseño, evaluados a través de un Juicio de Expertos y validados mediante el Método Delphi.



## AGRADECIMIENTOS

Poner fin a mi formación académica con la presente tesis doctoral es algo que me hace sentir orgulloso y satisfecho. Orgulloso porque ha supuesto un reto personal el poder haberla llevado a cabo dedicando horas y horas, pero sin la posibilidad de tener una dedicación total a la misma. Satisfecho porque supone el final de un camino empezado tiempo atrás y finalizado con éxito.

Todo este esfuerzo no hubiera sido posible sin las personas que siempre han estado detrás dándome su apoyo. En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de Tesis, Jose Ramón de Andrés y Jose Nebro, por su dedicación y experiencia aportada. También mis agradecimientos más sinceros a los 8 expertos que han evaluado el resultado de este trabajo, con especial mención a Esther Anaya, quien siempre ha estado dispuesta a participar y aportar su granito de arena. Gracias a la Dirección General de Tráfico y a la Asociación Ciclista Ruedas Redondas por proporcionarme los datos que he ido necesitando.

No podría terminar este apartado sin recordar a todos aquellos amigos y familiares que han creído en mí y que nunca han dudado de mis posibilidades.

Agradecer a mis padres Antonio y Concepción, por haberme llevado por buen camino y porque sin ellos nunca habría sido la persona que hoy en día soy.

Finalmente, a mi mujer, Vanesa, le pido disculpas por haberle robado tanto tiempo. Pero sobre todo, le doy las gracias por entenderme, apoyarme y hacerme feliz dándole sentido a todo en la vida.



# ÍNDICE GENERAL





Resumen .....	VII
Agradecimientos.....	IX
Índice general .....	XI
Índice de tablas .....	XVII
Índice de figuras .....	XXI
Introducción.....	XXIX
Objetivos.....	XXXI
Motivación.....	XXXI
Metodología.....	XXXII
Estructura de la Tesis.....	XXXIII
Capítulo 1: La Movilidad Ciclista como medio de transporte.....	1
1.1. Introducción.....	5
1.2. Marco de referencia actual.....	5
1.2.1. Ámbito mundial .....	5
1.2.2. Ámbito europeo .....	6
1.2.3. Ámbito nacional.....	7
1.2.4. Ámbito autonómico .....	8
1.2.5. Ámbito local.....	11
1.3. Bicicleta y sostenibilidad. Ventajas e inconvenientes del uso de la bicicleta.....	13
1.4. Infraestructuras ciclistas .....	19
1.4.1. Vías ciclistas. Tipos de vías .....	20
1.4.2. Aparcamientos para bicicletas .....	25
1.4.3. Explanadas, firmes y pavimentos .....	32
1.4.4. Intersecciones.....	38
1.4.5. Rotondas en vías ciclistas .....	42
1.4.6. Dimensiones de referencia en las vías ciclistas. Secciones transversales.....	51
1.4.7. Otras características de diseño.....	56
1.4.8. Señalización .....	61
1.5. Normativa .....	65
1.5.1. La Ley de Seguridad Vial .....	65
1.5.2. La Ley 43 de 1999 .....	66
1.5.3. La Ley 19 de 2001 .....	66

1.5.4. Ley 6/2014 .....	67
1.5.5. El Reglamento General de Circulación.....	68
1.5.6. Decreto 293 de 2009 de accesibilidad .....	69
1.5.7. Ordenanza de Movilidad de la Ciudad de Málaga.....	70
1.5.8. Regulación de la movilidad ciclista en países europeos .....	71
1.6. La bicicleta y la intermodalidad.....	72
1.6.1. Tipos de intermodalidad con la bicicleta .....	73
1.6.2. Normativa de los transportes públicos sobre el uso de la bicicleta en la ciudad de Málaga.....	76
1.7. Conclusiones .....	79
Capítulo 2: Estadísticas de accidentabilidad en la movilidad ciclista .....	81
2.1. Introducción.....	85
2.2. Accidentabilidad ciclista en España. ....	88
2.2.1. Motivos de desplazamientos ciclistas .....	88
2.2.2. Análisis del número de accidentes ciclistas .....	89
2.2.3. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas.....	100
2.2.4. Análisis de las infracciones en los accidentes ciclistas.....	102
2.3. Accidentabilidad ciclista en Dinamarca .....	104
2.3.1. Análisis del número de accidentes ciclistas .....	104
2.3.2. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas.....	107
2.4. Accidentabilidad ciclista en Alemania. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas .....	110
2.5. Accidentabilidad ciclista en Holanda .....	113
2.5.1. Análisis del número de accidentes ciclistas .....	113
2.5.2. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas.....	116
2.6. Análisis comparativo entre los países estudiados.....	118
2.7. Encuesta a usuarios de la bicicleta en la ciudad de Málaga.....	121
2.8. Conclusiones.....	124
Capítulo 3: Accidentabilidad ciclista en rotondas. Establecimiento de una metodología para el diseño de infraestructuras seguras para ciclistas en entornos urbanos .....	127
3.1. Introducción.....	131
3.2. Justificación de la aplicación de la metodología a las rotondas .....	132
3.3. Ventajas de las rotondas para la movilidad urbana sostenible.....	133

3.3.1. Ventajas de las rotondas en la seguridad .....	133
3.3.2. Ventajas ambientales de las rotondas .....	139
3.4. Influencia en la seguridad ciclista de la conversión de intersecciones en rotondas.....	141
3.5. Elementos que definen una rotonda.....	143
3.6. Metodología para el diseño de una infraestructura segura para ciclistas. Aplicación a una rotonda de un solo carril con tráfico mixto.....	145
3.6.1. Establecimiento de los parámetros de diseño de una rotonda.....	148
3.6.2. Recopilación de los valores recomendados de los parámetros de diseño de la rotonda .....	151
3.6.3. Propuesta y justificación de los valores óptimos de los parámetros de diseño.....	152
3.6.4. Desarrollo del cuestionario para la evaluación de la propuesta mediante el Juicio de Expertos .....	157
3.6.5. Selección del número de expertos.....	158
3.6.6. Evaluación de los expertos.....	159
3.6.7. Validación de los resultados mediante el Método Delphi .....	160
3.7. Otros condicionantes que influyen en la seguridad ciclista en rotondas ...	165
3.8. Conclusiones .....	171
Capítulo 4: Conclusiones y futuras líneas de investigación .....	175
4.1. Conclusiones.....	179
4.2. Futuras líneas de investigación .....	181
Bibliografía.....	183
Anexos.....	197
Anexo 1: Modelo de cuestionario a expertos .....	201
Anexo 2: Modelo de cuestionario a la Asociación Ciclista Ruedas Redondas .....	209
Anexo 3: Publicación de artículo sobre accidentabilidad ciclista en España .....	211
Anexo 4: Mención del artículo en prensa.....	215



# ÍNDICE DE TABLAS



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contaminantes inspirados por ciclistas o automovilistas .....	14
Tabla 2: Tipos de vías ciclistas.....	20
Tabla 3: Características de las vías ciclistas .....	24
Tabla 4: Buenas prácticas para los aparcamientos de bicicletas .....	26
Tabla 5: Criterios para la elección del firme de una vía ciclista.....	34
Tabla 6: Características de los tipos de pavimento en vías ciclistas .....	37
Tabla 7: Dimensiones de referencia (m) en vías ciclistas .....	53
Tabla 8: Dimensiones de referencia (m) de carriles bici .....	54
Tabla 9: Coeficiente de rozamiento transversal .....	57
Tabla 10: Longitudes máximas en tramos con rampas superiores al 5% .....	59
Tabla 11: Acuerdos verticales .....	60
Tabla 12: Radio de los acuerdos verticales .....	60
Tabla 13: Señalización vertical para vías ciclistas. ....	62
Tabla 14: Transporte de bicicletas en autobuses interurbanos de Málaga .....	78
Tabla 15: Indicadores de movilidad ciclista por países europeos .....	85
Tabla 16: Número de accidentes con víctimas en España.....	89
Tabla 17: Accidentes ciclistas por provincias españolas.....	91
Tabla 18: Número de accidentes por tipo de vía en España.....	95
Tabla 19: Número de accidentes ciclistas en zona urbana en España y en función de la localización. ....	96
Tabla 20: Número de accidentes ciclistas en España en zona urbana por tipo de intersección. ....	97
Tabla 21: Número de accidentes ciclistas en España en zona urbana por tipo fuera de intersección .....	99
Tabla 22: Número de víctimas en accidentes ciclistas en España.....	100
Tabla 23: Causas de los accidentes con bicicletas en España .....	103
Tabla 24: Distribución de las causas de las infracciones ciclistas en España .....	104
Tabla 25: Porcentaje de descenso por tipo de accidente ciclista en Dinamarca.....	106
Tabla 26: Número de víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca.....	109
Tabla 27: Número de víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca por tipo de vía .....	109

Tabla 28: Número de víctimas en accidentes ciclistas en Alemania.....	110
Tabla 29: Número de accidentes ciclistas en Holanda .....	113
Tabla 30: Reducción del nivel de ruido en rotondas .....	140
Tabla 31: Valores de parámetros de diseño recomendados por países para una rotonda de un solo carril .....	152
Tabla 32: Número de accidentes en función del radio de la isleta central .....	153
Tabla 33: Propuesta de parámetros de diseño para el Juicio de Expertos .....	157
Tabla 34: Resultado de la evaluación de los expertos .....	160
Tabla 35: Frecuencias absolutas para el Método Delphi .....	161
Tabla 36: Frecuencias acumuladas y acumuladas relativas para el Método Delphi ....	161
Tabla 37: Valores de probabilidad normal para el Método Delphi .....	162
Tabla 38: Valores de las sumas algebraicas y promedios para el Método Delphi .....	162
Tabla 39: Valores de los puntos de corte para el Método Delphi.....	163
Tabla 40: Resultado del Método Delphi para cada parámetro de diseño .....	164
Tabla 41: Frecuencias absolutas para el Método Delphi (segunda ronda) .....	164
Tabla 42: Valores de los puntos de corte para el Método Delphi (segunda ronda).....	165
Tabla 43: Resultado del Método Delphi para cada parámetro de diseño (segunda ronda).....	165
Tabla 44: Reducción de accidentes en rotondas de 3 y 4 ramales.....	167
Tabla 45: Accidentes ciclistas en rotondas de uno y dos o más carriles .....	167

# ÍNDICE DE FIGURAS



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparativa de emisiones contaminantes por modo de transporte.....	13
Figura 2: Comparativa de velocidades de desplazamiento en la ciudad por modo de transporte .....	15
Figura 3: Ahorro de tiempo en transbordo por modo de transporte .....	15
Figura 4: Número de personas desplazadas por hora por 3,5 m de ancho y modo de transporte .....	16
Figura 5: Ocupación del suelo por modo de transporte.....	16
Figura 6: Consumo específico de energía por modo de transporte en el tráfico local .....	17
Figura 7: Principales inconvenientes para el uso de la bicicleta .....	18
Figura 8: Carril bici protegido en Ciudad Jardín (Málaga) .....	20
Figura 9: Carril bus tradicional.....	21
Figura 10: Senda acera-bici en Málaga. ....	22
Figura 11: Acera bici compartida .....	22
Figura 12: Pista bici en Ciudad Jardín (Málaga) .....	23
Figura 13: Senda ciclable .....	23
Figura 14: Aparcamiento con soporte U-invertida.....	27
Figura 15: Aparcamiento con variantes de la U-invertida.....	27
Figura 16: Aparcamiento con soportes de rueda vertical y horizontal .....	28
Figura 17: Aparcamiento con soportes pared .....	29
Figura 18: Aparcamiento con soportes de doble altura .....	29
Figura 19: Aparcamiento con soportes verticales independientes.....	30
Figura 20: Aparcamiento en consignas individuales .....	31
Figura 21: Aparcamiento en consignas colectivas .....	31
Figura 22: Pavimento de cemento .....	36
Figura 23: Pavimento de hormigón .....	36
Figura 24: Cruce rectilíneo en T.....	39
Figura 25: Cruce en T retranqueado .....	39
Figura 26: Cruce con trenzado .....	40
Figura 27: Cruce con zona o carril para cruce a la izquierda en vía principal .....	41
Figura 28: Cruce semaforizado con giro indirecto de bicicletas .....	41
Figura 29: Cruce con zona de espera para cruce a la izquierda en vía secundaria .....	42

Figura 30: Rotonda de uno y varios carriles de circulación respectivamente .....	43
Figura 31: Rotonda doble contigua y con tramo de unión respectivamente .....	44
Figura 32: Rotonda de circulación en coexistencia o con tráfico mixto .....	44
Figura 33: Finalización de la vía ciclista antes de la rotonda.....	45
Figura 34: Rotonda con carril bici anexo .....	46
Figura 35: Rotonda con vía ciclista separada con prioridad para el ciclista.....	47
Figura 36: Rotonda con vía ciclista separada sin prioridad para el ciclista.....	47
Figura 37: Rotonda separada .....	48
Figura 38: Rotonda integrada .....	50
Figura 39: Anchura (m) de vías ciclistas unidireccionales.....	52
Figura 40: Dimensiones mínimas (m) en vías ciclistas bidireccionales.....	52
Figura 41: Dimensiones de referencia (m) en vías ciclistas anexas a calzadas de vehículos motorizados .....	53
Figura 42: Dimensiones de referencia (m) en vías ciclistas de uso exclusivo .....	54
Figura 43: Anchura de vía ciclista compartida con tráfico motorizado .....	55
Figura 44: Anchura de carril bus-bici.....	55
Figura 45: Radio mínimo para vías ciclistas .....	57
Figura 46: Velocidad de parada en función de la pendiente y velocidad .....	59
Figura 47: Marca vial M-4.4.....	63
Figura 48: Marca de zona de detención para ciclistas que giran a la izquierda .....	64
Figura 49: Pictograma de Vía Ciclista.....	65
Figura 50: Vagones adaptados para bicicletas.....	73
Figura 51: Rampas para el acceso a una estación de metro.....	73
Figura 52: Transporte de bicicletas en la bodega de autobuses de EEUU .....	74
Figura 53: Dispositivos portabicicletas en autobuses de EEUU .....	75
Figura 54: Porcentaje de la población que usa la bicicleta diariamente por países europeos.....	86
Figura 55: Motivos del desplazamiento en bicicleta en zona urbana en España.....	88
Figura 56: Motivos del desplazamiento en bicicleta en zona interurbana en España ..	89
Figura 57: Evolución del nº de accidentes ciclistas con víctimas en España por zona.....	90
Figura 58: Distribución de los accidentes ciclistas en España por zona .....	90
Figura 59: Provincias españolas con mayor nº de accidentes ciclistas.....	92

Figura 60: Provincias españolas con mayor nº de accidentes ciclistas por cada 10.000 habitantes.....	92
Figura 61: Número de accidentes ciclistas en función de la hora del día.....	93
Figura 62: Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos en Málaga .....	94
Figura 63: Comparativa entre IMD y nº de accidentes por hora del día .....	94
Figura 64: Distribución de los accidentes ciclistas en España por tipo de vía .....	95
Figura 65: Evolución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana en función de la localización.....	96
Figura 66: Distribución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana en función de la localización.....	97
Figura 67: Evolución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo de intersección.....	98
Figura 68: Distribución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo de intersección.....	98
Figura 69: Evolución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo fuera de intersección .....	99
Figura 70: Distribución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo fuera de intersección .....	100
Figura 71: Distribución del nº de víctimas en accidentes ciclistas en España por zona.....	101
Figura 72: Evolución del nº de víctimas en accidentes ciclistas en España .....	101
Figura 73: Distribución del nº de muertos en accidentes ciclistas en España por zona.....	102
Figura 74: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en España.....	102
Figura 75: Distribución de las causas de las infracciones ciclistas en España.....	103
Figura 76: Evolución del nº de accidentes ciclistas en Dinamarca .....	105
Figura 77: Evolución del nº de accidentes ciclistas en Dinamarca por tipo .....	105
Figura 78: Distribución del nº de accidentes ciclistas en Dinamarca por tipo .....	107
Figura 79: Evolución del nº de víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca .....	107
Figura 80: Distribución de las víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca por zona.....	108
Figura 81: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en Dinamarca.....	108
Figura 82: Distribución del nº de muertos en Dinamarca en accidentes ciclistas por zona .....	109

Figura 83: Distribución de las víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca en función de la vía .....	110
Figura 84: Evolución de las víctimas en accidentes ciclistas en Alemania.....	111
Figura 85: Distribución de las víctimas en accidente ciclista en Alemania por zona ..	111
Figura 86: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en Alemania.....	112
Figura 87: Distribución de las víctimas mortales en accidentes ciclistas en Alemania por zona.....	112
Figura 88: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda por zona .....	113
Figura 89: Evolución del nº de accidentes ciclistas en Holanda .....	114
Figura 90: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en función de la hora y en zona urbana.....	114
Figura 91: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en zona urbana en función de la localización.....	115
Figura 92: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en zona urbana por tipo de vía .....	115
Figura 93: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en zona urbana según las condiciones de luminosidad.....	116
Figura 94: Distribución del número de víctimas en accidentes ciclistas en Holanda por zona .....	117
Figura 95: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en Holanda.....	117
Figura 96: Distribución de los muertos en accidentes ciclistas en Holanda por zona.....	118
Figura 97: Comparativa por países de la distribución de víctimas en accidentes ciclistas por zona .....	118
Figura 98: Comparativa por países de la distribución de muertos en accidentes ciclistas por zonas.....	119
Figura 99: Comparativa por países de la distribución de accidentes ciclistas por lugar de la vía en zona urbana .....	120
Figura 100: Comparativa por países de la distribución de accidentes ciclistas por tipo de intersección en zona urbana.....	120
Figura 101: Desplazamiento lateral de un vehículo al paso por una rotonda.....	134
Figura 102: Relación entre el desplazamiento lateral y la velocidad de entrada en la rotonda .....	134

Figura 103: Perfil de la velocidad media en una intersección (antes) y en una rotonda (después).....	135
Figura 104: Puntos de conflicto en intersección y rotonda de 3 ramales .....	137
Figura 105: Puntos de conflicto en intersección y rotonda de 4 ramales .....	138
Figura 106: Puntos de conflicto de ciclistas en intersección de 4 ramales.....	139
Figura 107: Elementos que definen una rotonda .....	144
Figura 108: Pasos para un proceso de diseño de ingeniería .....	146
Figura 109: Equivalencia entre el modelo clásico y la metodología propuesta .....	148
Figura 110: Principales parámetros de diseño de una rotonda .....	149
Figura 111: Ángulos de entrada demasiado pequeño (1) y demasiado grande (2) en una rotonda .....	150
Figura 112: Estructura de las preguntas del cuestionario a expertos.....	158
Figura 113: Resultado de los puntos de corte.....	163
Figura 114: Rotonda con bypass .....	168
Figura 115: Rotonda con iluminación central y perimetral respectivamente .....	169
Figura 116: Propuesta de rotonda segura para ciclistas.....	173



# INTRODUCCIÓN



## Objetivos

En la presente tesis doctoral se pretenden alcanzar distintos objetivos. El primero de ellos consiste en conocer el estado del arte de la movilidad ciclista, determinando sus ventajas, inconvenientes así como los elementos clave para el desarrollo de esta actividad.

Por otro lado, se pretende llevar a cabo un análisis de la accidentabilidad ciclista, conociendo su evolución en los últimos años.

Por último, se trata de definir una metodología para el diseño de infraestructuras seguras para ciclistas, desarrollando un ejemplo de dicha metodología aplicada al caso de rotondas de un solo carril en zonas urbanas y con tráfico mixto.

## Motivación

La sostenibilidad es uno de los grandes retos al que se enfrenta la sociedad actual. Las políticas que fomentan el bajo consumo energético y que reducen las emisiones contaminantes se han convertido en un objetivo de los países desarrollados, donde la movilidad sostenible juega un papel fundamental. La movilidad en bicicleta es uno de los pilares de la movilidad sostenible, y para que se lleve a cabo con éxito, se deben de establecer políticas que impulsen las infraestructuras ciclistas y que fomenten su utilización. Es por todo ello por lo que existe un interés creciente en investigar los aspectos que afectan al fomento del uso de la bicicleta, ya sea de forma general (Hunt y Abraham, 2007) o incluso particularizando para a casos más concretos, como el empleo de la bicicleta para los desplazamientos al trabajo (Wardman *et al.*, 2007).

Los beneficios de la movilidad sostenible se basan en que se trata de un medio de transporte saludable (Hillman, 1992), con un consumo energético muy bajo (Ferrando *et al.*, 2011), no emite ruido y aprovecha el espacio urbano de forma eficiente (Botma y Papendrech, 1991). Debido a todas estas ventajas, existe un importante crecimiento en las investigaciones en este campo, llevando incluso a algunos autores a hacer una revisión del estado del arte de las infraestructuras de transporte y su impacto en los accidentes y lesiones sobre los ciclistas (Reynolds *et al.*, 2009).

A pesar de todas estas ventajas, existen barreras que impiden su uso de forma masiva. El principal inconveniente para el empleo de la bicicleta como medio de transporte es que resulta peligroso y dicha peligrosidad es percibida por el usuario (GESOP, 2011). Es por todo ello por lo que existe una gran diversidad de investigaciones que tratan de analizar dicha percepción del riesgo de los ciclistas (Parkin *et al.*, 2007), y estudiar cómo hacer este medio de transporte más seguro (Wegman *et al.*, 2012). También resulta de interés el análisis de los accidentes de usuarios de la bicicleta en función de distintos tipos de infraestructuras ciclistas. Para ello destacan estudios sobre accidentabilidad ciclista en diferentes infraestructuras: (Brüde y Larsson, 1996; Brüde y Larsson, 2000; Daniels y Wels, 2005; Daniels *et al.*, 2009; Orozova y Hels, 2007), en intersecciones señalizadas (Wang y Nihan, 2004) o incluso analizando los efectos de convertir intersecciones en rotondas (Gross, 2013).

Por todo lo anterior resulta importante el análisis de la accidentabilidad ciclista con el objetivo de establecer metodologías que permitan diseñar infraestructuras que reduzcan el número de accidentes, lo cual contribuirá al fomento del uso de la bicicleta y por lo tanto, se producirá un mejor aprovechamiento de todas las ventajas anteriormente explicadas.

## **Metodología**

A nivel de metodología, la tesis comienza consultado distintas fuentes nacionales e internacionales, ya sea normativa, recomendaciones, manuales o estudios científicos para conocer el estado del arte de la movilidad ciclista así como el diseño de infraestructuras y la seguridad vial asociada a las mismas.

Por otro lado, a través de diferentes bases de datos de oficinas estadísticas o centros de investigación de distintos países, se han obtenido una serie de datos de accidentabilidad ciclista. Mediante un posterior tratamiento, dichos datos han sido estructurados y representados mediante tablas y gráficos para poder ser analizados y sacar posteriores conclusiones.

Finalmente, se ha propuesto una metodología para el diseño de infraestructuras seguras para ciclistas quedando definidos dichos pasos.

## Estructura de la tesis

Posteriormente a la introducción, donde se exponen los objetivos, motivación, metodología y estructura de la tesis, los siguientes capítulos se estructuran de la siguiente forma:

En el **CAPÍTULO 1**, se estudian los aspectos principales de la movilidad ciclista. Como punto de partida, hay que considerar que este modo de transporte está ubicado dentro de un contexto superior, la sostenibilidad, por lo que se considera necesario el análisis del marco de referencia actual a nivel mundial, europeo, nacional, autonómico y local. En cada uno de estos ámbitos, se estudian una serie de acuerdos, planes o estrategias que marcarán los objetivos de sostenibilidad a diferentes niveles.

A continuación, se estudiarán las características de la movilidad ciclista en general, comenzando por las ventajas e inconvenientes del uso de la bicicleta.

Seguidamente, se analizarán las infraestructuras ciclistas, centrándose en los tipos de vías y aparcamientos. Dentro de los tipos de vías ciclistas, se establece una clasificación en función de cómo se comparte con otros modos de transporte y en función de su segregación con los mismos. Por otro lado, los aparcamientos para bicicletas se van a clasificar en función del tipo de soporte empleado para la bicicleta (tipo U, soportes de rueda o de pared) o en función de la duración del aparcamiento (consignas, guarda-bicis o bici-estaciones). Finalmente y dentro del estudio de las infraestructuras ciclistas, se analizan las partes principales de una vía ciclista a nivel constructivo, como son la calzada, el firme y el pavimento. En esta sección se identifican los materiales empleados así como sus características.

Posteriormente se identifican los tipos de intersecciones en las que se pueden ver implicadas las vías ciclistas, ya que deberían ser un elemento clave para el diseño de las mismas. Destacan las intersecciones tradicionales y las rotondas, clasificándose estas últimas, ya que cada una ofrece una serie de ventajas e inconvenientes para los usuarios de la bicicleta y que serán analizadas.

Otro aspecto importante en el diseño de las vías ciclistas son las dimensiones de referencia empleadas (secciones transversales). Por último se verán otras características más específicas que también deben de ser consideradas en el diseño, como son los radios de giro, las distancias de visibilidad, los acuerdos verticales o las pendientes.

A continuación se analizan los distintos modos de señalización que existen relacionados con la movilidad ciclista. Similarmente a otros medios de transporte, se utiliza la señalización vertical y la horizontal (marcas viales). Ambos modos de señalización están recogidos en el Reglamento General de Circulación y sus instrucciones complementarias.

En cuanto a la normativa que regula la movilidad ciclista en España, se va a estudiar la legislación nacional, autonómica y local. También se analizan algunas consideraciones de interés en materia de regulación legal para ciclistas en algunos países europeos.

Para finalizar el capítulo de movilidad ciclista, se estudian los distintos tipos de intermodalidad entre bicicleta y otros medios de transporte, así como la regulación que existe en la ciudad de Málaga en esta materia. Este aspecto resulta muy importante para poder potenciar el uso de la bicicleta en la ciudad.

En el **CAPÍTULO 2** de la presente tesis doctoral se realiza un análisis de la accidentabilidad ciclista en los países Europeos donde la movilidad en bicicleta está más desarrollada (Dinamarca, Alemania y Holanda), además de en España. Los tres primeros países mencionados anteriormente copan las primeras posiciones en indicadores como bicicletas por cada 1000 habitantes, kilómetros recorridos por habitantes y año o porcentaje de la población que utiliza la bicicleta diariamente.

Comenzando por España, se han recopilado los datos entre los años 2000 y 2013. Dichos datos han sido solicitados a la Dirección General de Tráfico, ya que no están accesibles públicamente. Posteriormente, se ha realizado una estructuración de los mismos para que a través de representaciones gráficas o tablas se puedan extraer conclusiones. Dicha metodología se ha seguido también en los otros países estudiados.

Para extraer los datos de accidentabilidad en Dinamarca, se ha usado el portal web del Banco Oficial de Estadística (Statistikbanken). Los datos de Alemania se han extraído a través del portal web de la Oficina Federal de Estadística (Statistisches Bundesamt). El último país investigado ha sido Holanda, donde los datos se han extraído a través de la base de datos del Instituto Nacional de Investigación en Seguridad Vial (SWOV). Finalmente se ha realizado un análisis comparativo entre los datos comunes disponibles de los países estudiados.

El capítulo 2 de la tesis se cierra con una encuesta realizada a la principal asociación ciclista que existe en la ciudad de Málaga, denominada Ruedas Redondas. Con esta encuesta se pretende tener una referencia sobre la percepción de seguridad de los ciclistas en la ciudad, así como conocer su grado de satisfacción respecto a los asuntos relacionados con la movilidad en bicicleta. Para la recogida de datos se ha implementado un portal web donde han podido acceder cada uno de los socios y rellenar un cuestionario de forma anónima.

En el **CAPÍTULO 3** de la tesis doctoral, se establecerá una metodología para el diseño de infraestructuras seguras para ciclistas en entornos urbanos. Dicha metodología será aplicada a una rotonda de un solo carril con tráfico mixto, ya que es la solución más en auge hoy en día. Los pasos de la metodología propuesta se basarán en el modelo clásico del Proceso de Diseño de Ingeniería.

Para el establecimiento a los parámetros de diseño que definirán la infraestructura, se han contrastado las principales fuentes nacionales e internacionales. Una vez establecidos, se ha realizado una tabla comparativa para recopilar las recomendaciones que proponen para estos parámetros los países donde la movilidad ciclista está más desarrollada (Holanda, Alemania y Dinamarca), además de España. También se han elegido Estados Unidos y Gran Bretaña por ser dos países que tienen bastante estandarizado el diseño de rotondas. Una vez recopiladas las recomendaciones de estos países, se han comparado y se ha elaborado una propuesta para cada uno de los parámetros basándose en los estudios de investigación existentes. La justificación de dicha propuesta es la que será validada por un Juicio de Expertos mediante el Método Delphi a través de un cuestionario. Dichos expertos han sido elegidos mediante una serie de criterios que justifican su elección.

El capítulo termina con una propuesta de rotonda segura para ciclistas de un solo carril y con tráfico mixto en zonas urbanas. Esta propuesta queda definida con los valores de los principales parámetros de diseño mencionados anteriormente.

Finalmente, en el **CAPÍTULO 4**, se exponen las conclusiones finales y se identifican las futuras líneas de investigación en la materia. Posterior al mismo, se incluyen las referencias bibliográficas empleadas así como los anexos al documento. En dichos anexos, se incluyen el modelo de cuestionario diseñado para el Juicio de Expertos, el cuestionario realizado a una asociación ciclista, así como las referencias del artículo publicado con parte del contenido de la presente tesis.

# CAPÍTULO 1: LA MOVILIDAD CICLISTA COMO MEDIO DE TRANSPORTE



## **CAPÍTULO 1: LA MOVILIDAD CICLISTA COMO MEDIO DE TRANSPORTE**

### 1.1. Introducción

### 1.2. Marco de referencia actual

#### 1.2.1. Ámbito mundial

#### 1.2.2. Ámbito europeo

#### 1.2.3. Ámbito nacional

#### 1.2.4. Ámbito autonómico

#### 1.2.5. Ámbito local.

### 1.3. Bicicleta y sostenibilidad. Ventajas e inconvenientes del uso de la bicicleta.

### 1.4. Infraestructuras ciclistas

#### 1.4.1. Vías ciclistas. Tipos de vías

#### 1.4.2. Aparcamientos para bicicletas

#### 1.4.3. Explanadas, firmes y pavimentos

#### 1.4.4. Intersecciones

#### 1.4.5. Rotondas en vías ciclistas

#### 1.4.6. Dimensiones de referencia en las vías ciclistas. Secciones transversales

#### 1.4.7. Otras características de diseño

#### 1.4.8. Señalización

### 1.5. Normativa

#### 1.5.1. La Ley de Seguridad Vial

#### 1.5.2. La Ley 43 de 1999

#### 1.5.3. La Ley 19 de 2001

#### 1.5.4. Ley 6/2014

#### 1.5.5. El Reglamento General de Circulación

#### 1.5.6. Decreto 293 de 2009 de accesibilidad

#### 1.5.7. Ordenanza de Movilidad de la Ciudad de Málaga

#### 1.5.8. Regulación de la movilidad ciclista en países europeos

### 1.6. La bicicleta y la intermodalidad

#### 1.6.1. Tipos de intermodalidad con la bicicleta

#### 1.6.2. Normativa de los transportes públicos sobre el uso de la bicicleta en la ciudad de Málaga

### 1.7. Conclusiones



## **1.1. Introducción**

El crecimiento en los últimos años por el interés de la bicicleta como medio de transporte, hace necesario una planificación en las ciudades para tal fin.

Las políticas encaminadas al uso del coche en los desplazamientos deben de ser revisadas, ya que es evidente que en áreas urbanas, y para distancias cortas, este medio de transporte no fomenta la sostenibilidad.

En este capítulo se analizará el marco de referencia actual en materia de sostenibilidad así como el estudio de los aspectos principales que deben de ser conocidos para llevar a cabo una movilidad ciclista eficiente y segura.

## **1.2. Marco de referencia actual**

La movilidad sostenible tiene como objetivo satisfacer las necesidades de transporte mediante el empleo de modos de transporte eficientes, del transporte colectivo, el uso racional del vehículo privado y el fomento de la movilidad ciclista y peatonal para mejorar la calidad de vida, respetar el medio ambiente y llevar a cabo un mejor aprovechamiento del territorio. Dentro de estas directrices surgen una serie de programas, planes, estrategias y acuerdos desde un ámbito mundial hasta un ámbito local. Los principales son mostrados a continuación:

### **1.2.1. Ámbito mundial**

- El Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto fue el sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consiste en un acuerdo internacional con el objetivo de reducir las emisiones de los gases que causan el efecto invernadero y así luchar contra el cambio climático. Dicho acuerdo consistió en que las emisiones totales de los países desarrollados debían reducirse durante el periodo 2008-2012 al menos en un 5 % respecto a los niveles de 1990.

B) Programa 21.

Es un programa de las Naciones Unidas (ONU) para promover el desarrollo sostenible. Es un plan detallado de acciones que deben ser acometidas a nivel mundial, nacional y local por entidades de la ONU, los gobiernos de sus estados miembros y por grupos principales en todas las áreas en las cuales ocurren impactos humanos sobre el medio ambiente. Fue acordado en 1992, en la cumbre de Río de Janeiro por 179 representantes de países.

### 1.2.2. **Ámbito Europeo**

A) Libro Blanco del Transporte.

Documento en el que la Comisión Europea analiza las problemáticas de los transportes y plantea posibles líneas de actuación futuras. Este documento no tiene carácter vinculante, sino que es únicamente un documento de reflexión que sirve de referencia a actuaciones comunitarias futuras. Fue aprobado en 2001 por la Dirección General de Energía y Transportes de la Unión Europea.

B) Libro Verde.

El Libro Verde ('Hacia una Estrategia Europea de Seguridad de Suministro Energético') fue publicado por la Unión Europea (UE) en 2002. Hace hincapié fundamentalmente sobre la necesidad de implementar una política energética comunitaria destinada a reducir la elevada dependencia energética de la UE, donde aparece el sector del transporte como el segundo de más consumo energético (32%).

C) La Carta de Aalborg.

La Carta de Aalborg o Carta de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad, fue aprobada en la Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles de Aalborg (Dinamarca) en 1994, bajo la firma inicial de 80 autoridades locales europeas. Con ella se comprometían a desarrollar programas a largo plazo hacia el desarrollo sostenible y a iniciar la Campaña de Ciudades Europeas Sostenibles.

#### D) Plan de Acción de Movilidad Urbana.

La Comisión Europea adoptó el Plan de Acción sobre Movilidad Urbana, el 30 de septiembre de 2009.

Este Plan de Acción propone veinte medidas para estimular y ayudar a las autoridades locales, regionales y nacionales en el logro de sus metas en materia de movilidad urbana sostenible. Con el Plan de Acción, la Comisión Europea presentó por primera vez un paquete de apoyo integral en el campo de la movilidad urbana.

### 1.2.3. **Ámbito Nacional**

#### A) Estrategia Española de Movilidad Sostenible.

Esta estrategia fue aprobada en Abril de 2009 y promovida por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y de Fomento. Surge como marco de referencia nacional que integra los principios y herramientas de coordinación para orientar y dar coherencia a las políticas sectoriales que facilitan una movilidad sostenible y baja en carbono. La movilidad sostenible implica garantizar que los sistemas de transporte respondan a las necesidades económicas, sociales y ambientales, reduciendo al mínimo sus repercusiones negativas.

#### B) Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020.

Este Plan de Acción fue aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 29 de julio de 2011, y da continuidad a los planes de ahorro y eficiencia energética anteriormente aprobados por el Gobierno español en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, aprobada en noviembre de 2003.

El Plan de Acción 2011-2020 es un plan estratégico integral que afecta a todos los sectores consumidores de energía final (Industria, Transporte, Edificación y Equipamiento, Servicios Públicos y Agricultura y Pesca), más el Sector Transformador de la Energía. En este sentido, el objetivo global de ahorro de energía del plan es consecuencia de la agregación de los ahorros individuales de cada una de las medidas

más una componente de ahorro derivada de la sinergia esperada del desarrollo conjunto de las distintas medidas del plan.

#### C) Plan de Energías Renovables 2011-2020.

Este Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 ha sido aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011, estableciendo objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, y atendiendo a los mandatos del Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.

El objetivo de este plan se traduce en que las fuentes renovables representen al menos el 20% del consumo de energía final en el año 2020, mismo objetivo que para la media de la UE, junto a una contribución mínima del 10% de fuentes de energía renovables en el transporte para ese año.

Para conseguir dicho objetivo, el Plan de Energías Renovables 2011-2020 contempla 87 propuestas, de las cuales, casi la mitad son propuestas horizontales a todas las tecnologías y el resto sectoriales. Todas estas propuestas se pueden dividir en cinco grandes grupos: marcos de apoyo, propuestas económicas, propuestas normativas, actuaciones en infraestructuras energéticas y por último, acciones de planificación, promoción, información, formación y otras.

#### 1.2.4. **Ámbito Autonómico**

##### A) Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía (PISTA) 2007-2013.

El Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía 2007-2013 (PISTA) fue aprobado por Decreto 457/2008, de 16 de septiembre, por el Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía. Este plan es un documento de carácter estratégico, que será la principal referencia para la elaboración de las políticas en Andalucía en materia de transporte y sostenibilidad. En el mismo se afirma que: *“se debe contemplar el sistema de transporte desde la óptica de las necesidades de*

*movilidad y accesibilidad de la población y de los bienes que ésta consume y produce, de los ámbitos territoriales en los que se genera esta demanda de movilidad y, por último, de los impactos ambientales que produce y, muy especialmente, desde la óptica global del cambio climático”.*

Cabe destacar que el 19 de febrero de 2013, del consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía, publica el acuerdo por el que se formula la revisión del Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía para el periodo 2014-2020. En esta revisión se adecuaron los contenidos del plan a las actuales previsiones presupuestarias y reforzaron las estrategias favorables a los modos de transporte más sostenibles.

- Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER) 2007-2013.

El Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER 2007-2013), fue aprobado por Decreto 279/2007, de 13 de noviembre, (BOJA nº 49 del 11/3/2008). Este plan establece entre los objetivos básicos de la Comunidad Autónoma el desarrollo industrial y tecnológico basado en la suficiencia energética, y entre los principios rectores contempla el impulso y desarrollo de las energías renovables, el ahorro y eficiencia energética. Para ello exhorta a los poderes públicos de Andalucía a potenciar las energías renovables y limpias, y a llevar a cabo políticas que favorezcan la utilización sostenible de los recursos energéticos, la suficiencia energética y el ahorro con el fin de evitar el cambio climático.

El PASENER contiene cuatro programas que implican a todos los actores del sistema energético andaluz (agentes económicos y sociales, administraciones públicas y ciudadanos). Cada uno de ellos se desarrolla en diferentes líneas de actuación y medidas abarcando entre los cuatro más de 100 medidas para alcanzar los objetivos señalados.

### C) Estrategia Andaluza de Sostenibilidad Urbana.

La Estrategia Andaluza de Sostenibilidad Urbana es actualmente la referencia marco de las políticas encaminadas a la consecución del desarrollo sostenible en Andalucía. Esta Estrategia tiene por objetivo principal la incorporación de criterios y

medidas de sostenibilidad en las políticas con mayor implicación en los procesos de desarrollo urbano. La ordenación territorial, la urbanística, la planificación y gestión de la movilidad, el uso que las ciudades hacen de los recursos naturales y energéticos, constituyen elementos claves en la construcción de la ciudad sostenible.

Una de sus líneas estratégicas son la Movilidad y Accesibilidad, donde se pretende:

- Hacer que la movilidad y el transporte se conviertan en factores decisivos para la calidad de vida, la cohesión social y el progreso.
- Mejorar la eficiencia económica y energética del transporte reduciendo el consumo de energía y la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero.
- Evitar la expansión de los espacios urbanos dependientes del automóvil, frenando el urbanismo, considerando el transporte público como un servicio básico en los nuevos desarrollos urbanísticos y no permitiendo nuevos desarrollos sin una planificada accesibilidad en transporte público.

#### D) Plan Andaluz de Medio Ambiente Horizonte 2017.

Este plan fue aprobado mediante Acuerdo de Consejo de Gobierno de 14 de febrero de 2012 y constituye la figura de planificación integradora, mediante la cual se diseña e instrumenta la política ambiental de la comunidad autónoma para los próximos años. Destacan los siguientes objetivos a nivel general y en las diversas áreas de actuación:

- Avanzar en una ordenación del territorio que garantice la convergencia en el bienestar económico y social en el territorio andaluz mediante un desarrollo sostenible que garantice la conservación de los recursos naturales y del paisaje.
- Contribuir a la lucha contra el cambio climático reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y aumentando la capacidad de sumidero en Andalucía.
- Disminuir los riesgos de que se produzcan emergencias ambientales (inundaciones, sequías, incendios forestales, contaminación, etc...) o

atenuar sus consecuencias mediante las oportunas medidas preventivas y correctivas.

- Proteger y conservar los paisajes andaluces como herramienta para una mejor integración del territorio andaluz.
- Conseguir un nivel de calidad ambiental tal que las concentraciones de contaminantes de origen humano, incluidos distintos tipos de radiación, no tengan efectos ni riesgos significativos sobre la salud humana.

#### E) Plan Andaluz de la Bicicleta 2014-2020.

El Plan Andaluz de la Bicicleta fue aprobado en sesión de Consejo de Gobierno de 21/01/2014. Este plan constituye el instrumento básico para la planificación y promoción de uso de la bicicleta en Andalucía de manera integral. Se plantea, según escalas, como un modo de transporte más y también con vocación para uso deportivo y de ocio. Incluye nuevas vías ciclistas, configurando redes a nivel urbano, metropolitano y autonómico que suman con las vías existentes unos 5200 kilómetros. Asimismo prevé medidas complementarias: aparcamientos, intermodalidad o programas sectoriales de apoyo (turismo, empleo, medio ambiente, educación, etc.). El montante de inversión prevista alcanza los 421 millones de euros y destaca la alta rentabilidad económico-social de las mismas, según la evaluación efectuada en el propio Plan.

### 1.2.5. **Ámbito Local**

#### A) Plan General de Ordenación Urbana de Málaga (PGOU):

El PGOU fue aprobado en Julio de 2011. Este Plan, como el propio documento, tiene una doble función:

a) Ordenación integral del territorio del municipio, función que realiza mediante los elementos básicos de la estructura general del territorio y la clasificación del suelo.

b) Concretar el régimen urbanístico aplicable a cada suelo y, por tanto, definir el estatuto de derechos y deberes del propietario del mismo.

En el anexo 5 a la memoria se incluye el Plan Director de Bicicletas, donde se establecen las recomendaciones generales para el diseño de vías ciclistas además de definir los itinerarios para el uso de la bicicleta con los que contará la ciudad de Málaga.

#### B) Plan Municipal de Movilidad Urbana Sostenible:

El Plan Municipal de Movilidad Urbana Sostenible fue aprobado el 25 de febrero de 2011 y en noviembre de 2013 se acordó por unanimidad la revisión y actualización de dicho documento. Consiste en un conjunto de actuaciones que tienen como objetivo, la implantación de formas de desplazamiento más sostenibles (caminar, bicicleta y transporte público) dentro de una ciudad; es decir, de modos de transporte que hagan compatible el crecimiento económico, cohesión social y defensa del medio ambiente, garantizando, de esta forma, una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

Los objetivos generales que se describen en el Plan son los siguientes:







1. Alcanzar un transporte colectivo de calidad, competitivo e integrado frente al vehículo privado.
2. Crear itinerarios y espacios cómodos, funcionales y accesibles para la movilidad a pie.
3. Gestionar la oferta de estacionamiento como herramienta de cambio a otros modos de transporte más sostenibles.
4. Informar, formar y educar en los principios y objetivos que se formulan en este Plan.
5. Desarrollar la normativa hacia los nuevos criterios de movilidad.
6. Promover el uso racional del vehículo privado.
7. Fomentar el uso de la bicicleta como modo habitual de transporte.
8. Conseguir una distribución urbana de mercancías y productos ágil y ordenada.
9. Impulsar la intermodalidad para alcanzar un uso eficiente de los diferentes modos de transporte.
10. Establecer en las futuras actuaciones una configuración del territorio público urbano que garantice las necesidades del modelo de movilidad del plan.

### 1.3. Bicicleta y sostenibilidad. Ventajas e inconvenientes del uso de la bicicleta

La mayor concienciación de la sociedad en aspectos relacionados con el medio ambiente, lleva asociada en paralelo un aumento de la sensibilidad por el uso de la bicicleta.

La mayor parte de las ventajas del empleo de la bicicleta como medio de transporte están asociadas a la sostenibilidad. Entre dichas ventajas se pueden encontrar las siguientes:

A) No genera emisiones contaminantes: es la principal ventaja del uso de la bicicleta desde el punto de vista ecológico. El importante incremento del uso del vehículo privado en las ciudades provoca a su vez un importante incremento de la contaminación atmosférica. En la siguiente figura se puede apreciar una comparativa a efectos de contaminación de distintos modos de transporte para desplazamientos de personas por kilómetro idénticos y suponiendo el coche como base 100:

Base = 100 (coche individual sin catalizador)						
						
Consumo de espacio	100	100	10	8	1	6
Consumo de energía primaria	100	100	30	0	405	34
CO <sub>2</sub>	100	100	29	0	420	30
Monóxidos de nitrógeno	100	15	9	0	290	4
Hidrocarburos	100	15	8	0	140	2
CO	100	15	2	0	93	1
Contaminación atmosférica total	100	15	9	0	250	3
Riesgo inducido de accidente	100	100	9	2	12	3


 \* **Coche con catalizador.** Hay que recordar que la técnica del catalizador sólo es eficaz cuando el motor está caliente. En distancias cortas en ciudad no se puede contar con un verdadero efecto benéfico anticontaminación.

Figura 1: Comparativa de emisiones contaminantes por modo de transporte. Fuente: Informe UPI, 1989; citado por el Ministerio de Transportes de Alemania, 1989.

B) Es un modo de transporte saludable: el ejercicio físico en general contribuye al buen estado físico y mental, y es beneficioso para los estados de stress y ansiedad (Morris, 1990). Por otro lado, un estudio realizado en Inglaterra (Hillman, 1992) considera que el ciclismo tiene tres beneficios para la salud básicos. Primero, porque implica la contracción rítmica de los músculos largos de las extremidades siendo por lo

tanto un ejercicio aeróbico ideal. En segundo lugar, porque representa un nivel de intensidad adecuado sin tensiones excesivas de los músculos y de las articulaciones. Y por último, porque está al alcance de la mayoría de la población y puede realizarse cotidianamente sin romper los hábitos establecidos

Además de estos beneficios anteriores, estudios médicos realizados hasta la fecha corroboran que el ir a pie o en bicicleta de forma asidua reduce el riesgo de enfermedades coronarias y puede ayudar también en la prevención y control de problema físicos como la osteoporosis, la diabetes, la obesidad, algunos tipos de cáncer y problemas de orden músculo-esquelético (Diputación Foral de Vizcaya, 2002).

Por otro lado, a diferencia de lo que pueda parecer, un ciclista inspira en circulación menos partículas contaminantes que un conductor de automóvil. Ello es debido a que el sistema de distribución de aire del coche se alimenta de aire contaminado por las emisiones de otros automóviles y a que el ejercicio físico refuerza la capacidad de resistencia a los efectos de la contaminación. Incluso teniendo en cuenta que el esfuerzo de una persona que circula en bicicleta respira por término medio un volumen 2,3 veces mayor que quien se desplaza en coche (Vicente y Hormaeneche, 2006). En la figura siguiente se puede apreciar las medidas máximas de concentración de contaminantes respirados en una hora por las personas ciclistas y las automovilistas en un mismo trayecto y en un mismo momento:

	Ciclista (g/m <sup>3</sup> )	Automovilista (g/m <sup>3</sup> )
Monóxido de carbono (CO)	2.670	6.730
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	156	277
Benceno	23	138
Tolueno	72	373
Xileno	46	193

Tabla 1: Contaminantes inspirados por ciclistas o automovilistas. Fuente: Van Wijnen *et al.*, 1995.

C) Permite rapidez en los desplazamientos a distancias cortas: es uno de los aspectos más valorados entre los usuarios (Vicente y Hormaeneche, 2006). La

congestión de vehículos en el centro de las ciudades es la principal valedora de este aspecto. En la siguiente figura se puede apreciar una comparativa de las velocidades de desplazamiento en medio urbano entre distintos modos de transporte. Se puede apreciar que para distancias en torno a los 8 kilómetros dentro de la ciudad, el tiempo medio empleado usando la bicicleta es equiparable al del vehículo privado (35 minutos aproximadamente). También se aprecia que hasta los 4,5 kilómetros aproximadamente es el medio de transporte más rápido en la ciudad.

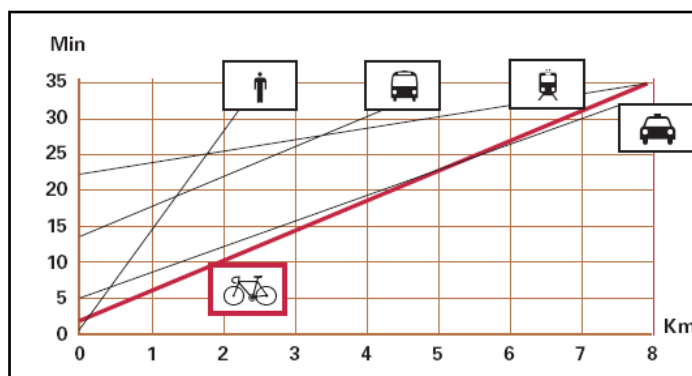


Figura 2: Comparativa de velocidades de desplazamiento en la ciudad por modo de transporte. Fuente: Dekoster y Schollaert, 2000.

Otro aspecto relacionado con los tiempos de desplazamiento es el tiempo que se puede perder durante los transbordos en transporte público. Con un desplazamiento en bicicleta se pueden ahorrar 15 minutos con respecto a un transporte en autobús hasta acceder a un medio de transporte rápido, como el metro o el ferrocarril (Dekoster y Schollaert, 2000). Esta afirmación se puede apreciar en la siguiente figura:

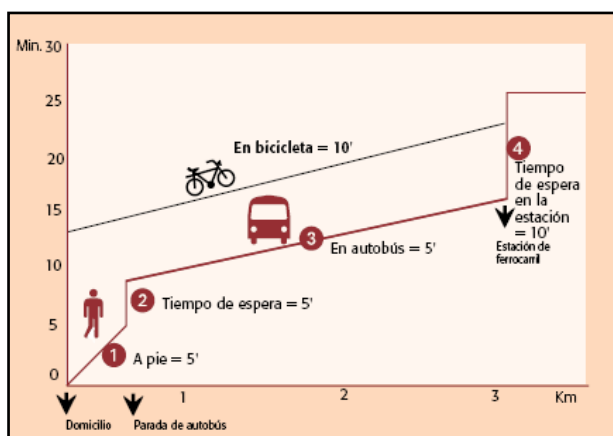


Figura 3: Ahorro de tiempo en transbordo por modo de transporte. Fuente: Dekoster y Schollaert, 2000.

D) Aprovecha el espacio urbano eficientemente para los desplazamientos: a diferencia de otros modos de transporte, la bicicleta permite el desplazamiento de

personas ocupando espacios reducidos. En la siguiente figura se puede apreciar una comparativa del número de personas que circulan cada hora por un espacio de 3,5 m de ancho en el medio urbano en función de los distintos modos de transporte (Botma y Papendrech, 1991). Se aprecia como en estas condiciones la bicicleta es capaz de transportar 14.000 personas, muy por delante de las 2.000 y 9.000 del vehículo privado y autobús respectivamente.

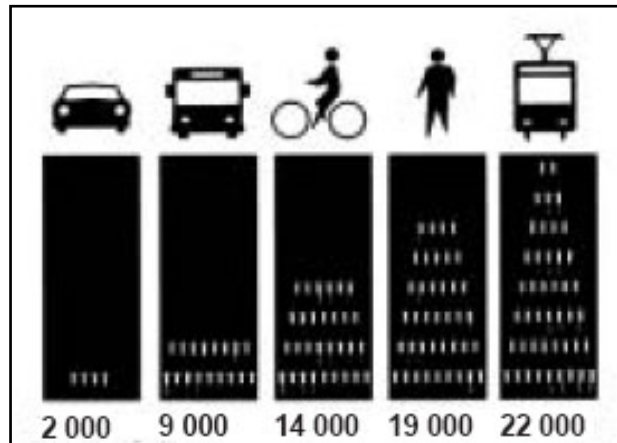


Figura 4: Número de personas desplazadas por hora por 3,5 m de ancho y modo de transporte. Fuente: Botma y Papendrech, 1991.

La siguiente figura representa una gráfica de la ocupación de suelo por medio de transporte (espacio en metros cuadrados de vía necesarios por persona). Se puede apreciar la diferencia entre el vehículo privado, con una ocupación de 40 m<sup>2</sup> y el resto de modos de transporte que no llegan a 5 m<sup>2</sup>.

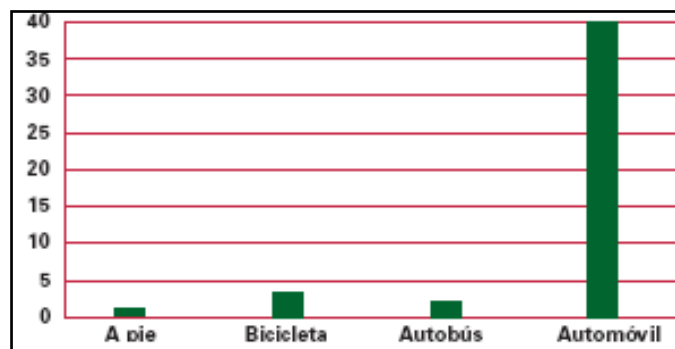


Figura 5: Ocupación del suelo por modo de transporte. Fuente: Molina, y Sanz 1980.

Además del espacio requerido para los desplazamientos, hay que considerar también el empleado para aparcar, siendo éste mucho menor que para otros vehículos.

E) No emite ruido: aparte de la contaminación atmosférica, la contaminación acústica es otro de los problemas actuales de las grandes ciudades. La bicicleta permite efectuar desplazamientos sin generar apenas ruido.

F) Es un medio de transporte económico: Desde el punto de vista del usuario, la adquisición y mantenimiento de una bicicleta de uso diario supone un coste 30-40 veces inferior al de los vehículos motorizados, además de no precisar combustible para su funcionamiento. Desde el punto de vista de los poderes públicos, una buena infraestructura para bicicletas supone entre 10 y 20 veces menos inversión que la requerida por el automóvil. Del mismo modo, su demanda de espacio para estacionamiento viene a ser 15 veces inferior (Diputación Foral de Vizcaya, 2002).

G) Es el medio de transporte que menos energía consume: La bicicleta es el medio de transporte mecánico más eficiente en términos de consumo de energía, ya que no necesita ningún tipo de combustible para moverse. La única energía que se invierte en el desplazamiento es la que alimenta la persona. En general, consume un 2% de la energía que utiliza un coche para hacer el mismo desplazamiento (Ferrando *et al.*, 2011).

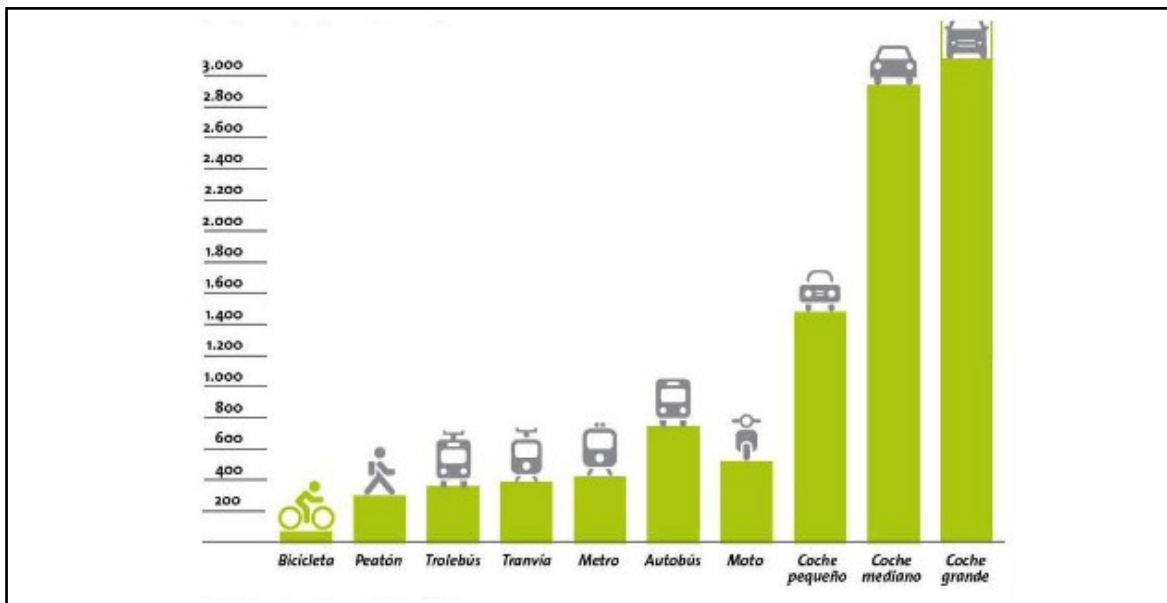


Figura 6: Consumo específico de energía por modo de transporte (kilojulio/km por persona) en el tráfico local. Fuente: Ferrando *et al.*, 2011.

Además de todas estas ventajas mencionadas que existen derivadas del uso de la bicicleta, también hay una serie de inconvenientes que merman su utilización. El principal problema como algunos autores ya mencionan, es que los modernos sistemas de tráfico están diseñados para los usuarios de los vehículos a motor, sin considerar los ciclistas (Wegman, Zhang y Dijkstra., 2012).

Según los datos que aparecen en el Barómetro anual de la bicicleta para el año 2011, realizado por la empresa GESOP, los principales inconvenientes que frenan el uso de la misma son: la peligrosidad, la falta de instalaciones ciclistas o las limitaciones de la bicicleta respecto a otros medios de transporte. El detalle se puede apreciar en la figura siguiente:

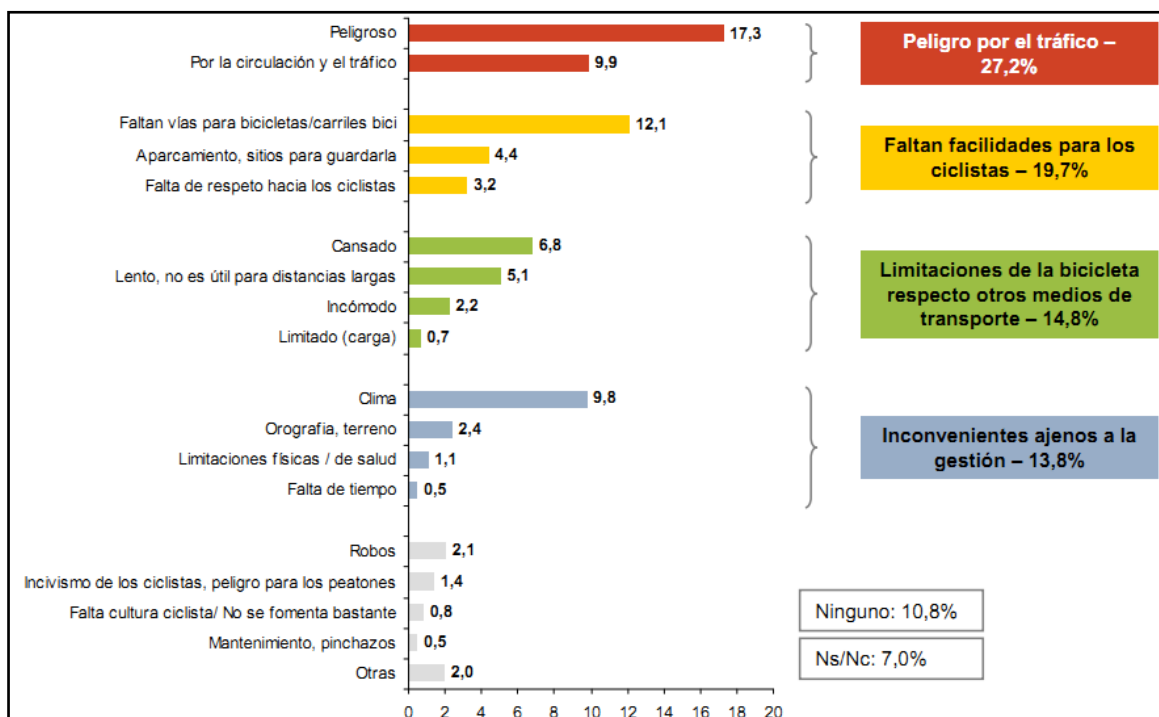


Figura 7: Principales inconvenientes para el uso de la bicicleta: Fuente: GESOP, 2011.

Se aprecia claramente que el principal inconveniente en la población española para el uso de la bicicleta es que resulta peligrosa. Esto supone un obstáculo para el desarrollo de políticas de apoyo al ciclismo. Además, una mejor comprensión de estos aspectos, facilita la toma de decisiones por parte de los responsables de planificar dichas políticas (Parkin, Wardman y Page, 2007).

Por otro lado destaca el esfuerzo físico necesario para tener que desplazarse en bicicleta, que provoca un cansancio en los usuarios. Sobre este inconveniente se puede actuar mediante el desarrollo de infraestructuras adecuadas que permitan facilidad en los desplazamientos, así como la posibilidad de ducharse en caso de que se emplee la misma para desplazamientos al centro de trabajo o de estudio por ejemplo. La inclusión de duchas está demostrado científicamente que tiene un significativo efecto positivo en el uso de la bicicleta (Hunt y Abraham, 2007). Este factor está muy relacionado también con la orografía del terreno, ya que si existen dificultades orográficas resulta más difícil fomentar el uso de la bicicleta aunque se mejoren las infraestructuras.

El inconveniente de la circulación y el tráfico está muy ligado a la peligrosidad. La falta de seguridad en bicicleta ocasionada por los posibles daños que otros modos de desplazamiento (fundamentalmente los vehículos a motor) pueden ocasionar a las personas ciclistas, supone un obstáculo de primer orden y un inconveniente importante en opinión de las personas informantes (Vicente y Hormaeneche, 2006).

Según la figura anterior, la falta de infraestructuras (vías ciclistas) y la climatología, también son aspectos a considerar. Destacar que la influencia de la climatología no es solamente un inconveniente debido a la incomodidad que supone circular en condiciones meteorológicas adversas, sino que la seguridad vuelve a manifestarse, ya que aumentan las situaciones de riesgo, fruto del efecto firme mojado y del efecto aquaplaning (Vicente y Hormaeneche, 2006).

Otros inconvenientes posibles y que no aparecen en la figura anterior pueden ser las limitaciones de su capacidad de carga o las dificultades para combinar la bicicleta con el transporte público.

#### **1.4. Infraestructuras ciclistas**

Dentro de las infraestructuras para el uso de la bicicleta, destacan dos tipos de elementos que se explican a continuación: vías ciclistas y aparcamientos para bicicletas.

### 1.4.1. Vías ciclistas. Tipo de vías

Según la LEY 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, se define una vía ciclista como una *vía específicamente acondicionada para el tráfico de ciclos, con la señalización horizontal y vertical correspondiente, y cuyo ancho permite el paso seguro de estos vehículos*. En función de la segregación de esta vía en la calzada y del uso compartido de la misma, los tipos de vías ciclistas se recogen en la siguiente figura:

	Conformación de su plataforma en relación a otros medios		
	Comparte plataforma con el viario motorizado	Comparte plataforma con la acera	Plataforma propia e independiente
Uso exclusivo de la plataforma ciclable (segregación)	Carril bici protegido	Senda acera-bici	Pista-bici
Uso compartido de la plataforma ciclable (no segregación)	Carril bici Carril bus-bici Vía señalizada compartida Vía convencional	Acera-bici compartida	Senda ciclable

Tabla 2: Tipos de vías ciclistas. Fuente: Diputación Foral de Vizcaya, 2002.

- Carril bici protegido: es un tipo de vía ciclista que puede ser unidireccional o bidireccional para el uso exclusivo de bicicletas. Se caracteriza porque discurre anexa a la calzada y dispone de elementos laterales que la segregan de la acera y calzada. Normalmente, estos elementos para la segregación son balizas de materiales plásticos.



Figura 8: Carril bici protegido en Ciudad Jardín (Málaga). Elaboración propia, 2015.

- Carril bici: es una vía similar a la anterior con la única diferencia de que no dispone de elementos que la segregan de la acera o calzada.
- Carril bus-bici: es un carril reservado compartido por autobuses (y/o taxis) y ciclistas. Normalmente está delimitado de la calzada mediante marcas viales (aunque también puede ser protegido si la plataforma de transporte público es reservada).



Figura 9: Carril bus tradicional. Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

- Vía señalizada compartida: es una calzada para el tráfico de vehículos pero es compartida con el uso de la bicicleta. Para ello dispone de una señalización. Es conveniente que por este tipo de calzada no circule una intensidad de tráfico demasiado alta para salvaguardar la seguridad de los ciclistas.
- Vía convencional: no es un tipo de vía ciclista como tal. Se trata de una calzada tradicional para el tráfico de vehículos a motor y por la que también pueden circular bicicletas. No existe ningún tipo de señalización ni segregación.
- Senda Acera-bici: vía ciclista sobre la acera claramente diferenciada del tránsito peatonal mediante señalización y marcas transversales o cualquier otro elemento de diferenciación y/o segregación (Diputación Foral de Vizcaya, 2002).



Figura 10: Senda acera-bici en Málaga. Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Acera-bici compartida o acera verde: tramo de acera donde se comparte el uso para peatones y ciclistas. No es una vía delimitada para el uso de la bicicleta aunque sí se recomienda una señalización para evitar conflictos con los peatones.



Figura 11: Acera bici compartida. Fuente: Ayuntamiento de Málaga, 2008.

- Pista bici: vía ciclista que también puede ser unidireccional o bidireccional y no va anexa a la calzada, sino que entre ambas existe algún espacio. Por lo tanto, este tipo de vía es también segregada.



Figura 12: Pista bici en Ciudad Jardín (Málaga). Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Senda ciclable: vía para peatones y ciclos, segregada del tráfico motorizado y que discurre por espacios abiertos, parques, jardines o bosques (Diputación Foral de Vizcaya, 2002).



Figura 13: Senda ciclable. Fuente: Vicente y Hormaneche, 2006.

- Ciclovía: cualquier vía ciclista que discurra por una plataforma especial y que discurra segregado de la calzada para un uso exclusivo de bicicletas.

En la siguiente tabla se recogen las características principales de algunas de las vías descritas anteriormente:

Denominación de la vía	Tipo de Plataforma	Tipo de Tráfico Predominante o Exclusivo	Preferencia de Paso	Tipo de División entre Ciclistas y Otros modos de Transporte	Velocidad del Tráfico Motorizado junto a Ciclistas	Velocidad Máxima Permitida para los Ciclistas	Nivel de Riesgo Ciclista	Tipo de Vía según Uso de Modos de Transporte	
Carril Bus Tradicional	Calzada	Vehículo Motorizado	Determinada por la Ley de Tráfico	No existe	Normal (hasta 50 kmph)	Normal (hasta 45 kmph)	Máximo	Segregada	
Calzada Tradicional		Mixto							Visual
Calzada "Verde"			Ciclista	Material	Moderada (hasta 40 kmph)	Moderada (hasta 40 kmph)	Medio		
Carril Bus/Bici		Ciclista					Visual		Sin Tráfico Motorizado
Carril Bici	Acera		Mixto	Peatonal	No existe	Sin Tráfico Motorizado		Moderada (hasta 30 kmph)	
Ciclovia		Peatonal	Moderada (hasta 10 kmph)						
Acera Bici		Mixto							
Acera "Verde"									
Acera Tradicional									

Tabla 3: Características de las vías ciclistas. Fuente: Ayuntamiento de Málaga, 2008.

La opción de elegir una vía ciclista segregada o integrada dentro del tráfico de otros vehículos, depende principalmente de la intensidad y velocidad a la que circula el tráfico motorizado. A continuación se enumeran algunas ventajas e inconvenientes de estos dos tipos de vías ciclistas (Ministerio del Interior, 2001):

- Vías ciclistas segregadas:

- a) Ventajas:

- Recorridos más continuos y con menos interrupciones.
    - Mejor confort en la marcha por ausencia de obstáculos.
    - Uniformidad en el trazado de planta y alzado.
    - Facilidad de conservación y mantenimiento.

- b) Inconvenientes:

- Mayor coste unitario de obra y coste de conservación.
    - Posibilidad de conflictos si son utilizados por usuarios distintos.
    - Carácter disgregador del medio.

- Vías ciclistas integradas en el tráfico:

- a) Ventajas:

- Economía de construcción.
    - Posibilidad de llevar el trazado por zonas congestionadas.
    - Posibilidad de mejores accesos.

-Mejor conservación debido al paralelismo con la vía.

b) Inconvenientes:

- Mayor vulnerabilidad del ciclista frente al tráfico motorizado.
- Mayor riesgo de colisión en los giros.
- Conflictos en paradas de autobús y carriles bus.
- Posibilidad de usar la vía ciclista como aparcamiento.

Un aspecto importante a tener en cuenta en vías para el tráfico motorizado y por donde se permite circulación ciclista (vía señalizada compartida), es que se deben de realizar actuaciones para disminuir la intensidad y velocidad del tráfico motorizado. Por ejemplo, sus secciones deben de estar comprendidas entre 2,25 y 2,60 metros (sección estrecha), ya que la presencia de tráfico ciclista obliga a que la velocidad del tráfico motorizado sea igual a la del ciclista, ante la imposibilidad de adelantamiento del vehículo a la bicicleta (Ministerio del Interior, 2001).

A diferencia de lo que pueda parecer, la creación de vías ciclistas segregadas del tráfico rodado tiene poca influencia en la percepción de los riesgos de los usuarios de la bicicleta (Parkin, Wardman y Page, 2007). Sin embargo, otros estudios realizados afirman que la presencia de un carril bici segregado para el desplazamiento al centro de trabajo, aumentaría en un 55% la práctica del ciclismo, aunque afectaría ligeramente a la reducción del vehículo privado para tales desplazamientos (Wardman, Tight y Page, 2007).

#### **1.4.2. Aparcamientos para bicicletas**

Un aparcamiento de bicicletas es el lugar donde se colocan las bicicletas cuando no están en uso o también, el conjunto de elementos de señalización, protección y soporte (elementos donde se amarran) que posibilita dicha localización (IDAE, 2009).

Un aparcamiento es una instalación fundamental para poder potenciar el uso de la bicicleta en una ciudad. El disponer del mismo va a posibilitar que los usuarios dispongan de un lugar donde dejar la bicicleta mientras realizan cualquier actividad, ya sea deportiva o de ocio.

Como afirman algunos autores en estudios de investigación sobre instalaciones ciclistas, para fomentar el uso de la bicicleta, es necesario que dichos usuarios dispongan de instalaciones similares a los de cualquier otro tipo de vehículos (McClintock y Cleary, 1996). También se demuestra que para que el modo de transporte al trabajo en bicicleta reste cuota al vehículo privado, es necesario que existan aparcamientos para las mismas en dichos centros de trabajo (Wardman, Tight y Page, 2007).

En la siguiente tabla se recoge un conjunto de buenas prácticas relacionadas con los aparcamientos para bicicletas:

<b>Seguridad</b>	Seleccionar material, diseño, anclaje y ubicación adecuados para prevenir robos o actos de vandalismo.
<b>Polivalencia</b>	Alojar cualquier tipo y dimensión de bicicleta y permitir que sean fijadas con los antirrobo más comunes
<b>Accesibilidad</b>	Estar cerca de la puerta de destino, a menos de 75 m para los de larga duración y a menos de 30 m para los de corta duración
<b>Ubicación</b>	Estar ubicado en un lugar a la vista de los transeúntes
<b>Estabilidad</b>	Permitir que la bicicleta se mantenga apoyada, incluso cargada, sin la necesidad de un soporte propio y sin elementos que la puedan estropear
<b>Comodidad del ciclista</b>	Ofrecer un entorno cómodo para los ciclistas, con espacio suficiente para hacer maniobras con la bicicleta, sin riesgo de estropear otras bicicletas y sin la necesidad de hacer grandes esfuerzos
<b>Comodidad con otros modos de transporte</b>	La instalación debe cumplir con las normativas de accesibilidad de peatones y personas con movilidad reducida, sin entorpecer ni poner en riesgo su movilidad. Las maniobras de acceso al aparcabicis no deben crear situaciones de riesgo con la circulación de vehículos motorizados y de ciclistas.
<b>Estética</b>	Ofrecer un diseño integrado en el entorno urbano y arquitectónico, que de confianza y que haga atractivo el aparcar
<b>Protección climática</b>	Considerar la posibilidad de instalar un sistema de protección con respecto al sol y la lluvia
<b>Coste y mantenimiento</b>	Prever un coste suficiente de inversión para que el aparcabicis cumpla con los requisitos anteriores y un presupuesto para su correcto mantenimiento periódico

Tabla 4: Buenas prácticas para los aparcamientos de bicicletas. Fuente: Elaboración propia, adaptado de IDAE, 2009.

De los parámetros anteriores, la seguridad es uno de los más importantes. Según estudios realizados, la disposición de un estacionamiento seguro en el destino tiene un gran efecto positivo sobre la práctica del ciclismo (Hunt y Abrahan, 2007).

En la actualidad, existen distintos tipos de aparcamientos que se clasifican de la siguiente forma (IDAE, 2009):

A) En función del tipo de soporte:

- Soporte U-Invertida: consiste en una pieza metálica con forma de U a la que se le puede amarrar una bicicleta por cada lado. Este tipo de soporte es el más recomendado en Europa debido a sus altos niveles de seguridad y comodidad.



Figura 14: Aparcamiento con soporte U-invertida. Fuente: <http://www.dft.gov.uk/cyclingengland/>

Debido a la buena aceptación de este tipo de aparcamiento han ido surgiendo distintas variaciones del mismo para mejorar su uso.



Figura 15: Aparcamiento con variantes de la U-invertida. Fuente: [www.broxap.com](http://www.broxap.com)

- Soporte de rueda: consisten en un elemento donde se encaja una de las ruedas de la bicicleta. Existen dos variantes de este tipo de soporte, el horizontal y el vertical.



Figura 16: Aparcamiento con soportes de rueda vertical y horizontal respectivamente. Fuente: [www.broxap.com](http://www.broxap.com)

Este tipo de aparcamiento presenta una serie de inconvenientes con respecto al anterior. Por un lado, solo permite fijar la bicicleta a una de sus dos ruedas, lo que facilita su robo. Además, puede dañar la rueda debido a que es la que soporta todo el peso de la bicicleta durante el estacionamiento. Es por este motivo por el que no se puede aparcar una bicicleta con una carga elevada en este tipo de aparcamientos.

- Soporte de pared: sirven para ubicar la bicicleta en la pared de forma vertical o inclinada. Estos aparcamientos tienen la ventaja de un ahorro del espacio y el inconveniente de reducir la accesibilidad, ya que es necesario un mayor esfuerzo de los usuarios para aparcar la bicicleta.



Figura 17: Aparcamiento con soportes pared. Fuente: [www.broxap.com](http://www.broxap.com)

- Soportes de doble altura: consiste en ubicar las bicicletas en una estructura con dos alturas, lo que permite también un buen aprovechamiento del espacio. Son muy útiles para usar en estaciones de bicicletas.



Figura 18: Aparcamiento con soportes de doble altura. Fuente: <http://www.dft.gov.uk/cyclingengland/>

- Soportes verticales independientes: sirven para aparcar la bicicleta en posición horizontal sin necesidad de utilizar una pared.



Figura 19: Aparcamiento con soportes verticales independientes. Fuente: [www.cyclepods.co.uk](http://www.cyclepods.co.uk)

- Soportes con antirrobo incorporado: son soportes que disponen de algún sistema de cierre que evita que el usuario tenga que disponer del mismo. Existen sistemas con llaves que se obtienen al introducir un dinero exigido o sistemas electrónicos más avanzados que utilizan tarjetas (magnéticas o RFID por ejemplo) de los usuarios.

#### B) En función de la duración:

La mayoría de los aparcamientos explicados anteriormente se emplean para estacionamientos de corta duración. Las bicis quedan aparcadas durante algunas horas.

Otro tipo distinto son los de larga duración. En esta clase de aparcamientos la bicicleta permanecerá estacionada a lo largo de un día completo o de una noche. Algunos ejemplos de aparcamientos de este tipo son los siguientes:

- Consignas: son casetas preparadas para ubicar las bicicletas en su interior, en posición vertical u horizontal. Además de dejar la bicicleta, los usuarios también pueden dejar otros elementos. Para su uso se puede pagar un abono mensual o abonar el dinero que se requiera al instante. Para su acceso se puede disponer de llave o candado propio, aunque cada vez más se usan dispositivos electrónicos basados en tarjetas.



Figura 20: Aparcamiento en consignas individuales. Fuente: [www.broxap.com](http://www.broxap.com)

Los inconvenientes de estos tipos de aparcamientos son la alta ocupación del espacio que requieren y por otro lado su elevado coste.

Las consignas suelen ser casetas para uso individual, aunque también las hay para varios usuarios, donde cada uno de ellos puede disponer de una llave o candado. Éstas van a requerir menos espacio pero necesitan incorporar en su interior otros elementos de fijación para evitar robos entre los mismos usuarios.



Figura 21: Aparcamiento en consignas colectivas. Fuente: [www.broxap.com](http://www.broxap.com)

- Guardabicis: son locales acondicionados para el uso exclusivo de bicicletas. Pueden ser de carácter público o privado. Su acceso suele ser por tarjeta electrónica y suelen disponer de videovigilancia.
- Biciestaciones: son aparcamientos adaptados para el estacionamiento de un gran número de bicicletas. Disponen de personal de apoyo con funciones de atención

al público y vigilancia. Suelen estar anexos a grandes superficies comerciales o estaciones de transporte público.

### 1.4.3. Explanadas, firmes y pavimentos

A la hora de diseñar y ejecutar una obra de una vía ciclista hay que considerar los conceptos de explanada, firme y pavimento. Estos tres conceptos se definen en la *norma de carreteras 6.1-1C, Secciones de firme*, y se muestran a continuación:

- Explanada: Superficie sobre la que se apoya el firme, no perteneciente a su estructura.
- Firme: Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, y, generalmente tratados, que constituye la superestructura de la plataforma, resiste las cargas del tráfico y permite que la circulación tenga lugar con seguridad y comodidad.
- Pavimento: Parte superior de un firme, que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación, proporcionando a ésta una superficie de rodadura cómoda y segura.

A continuación se analizan por separado cada uno de estos elementos:

#### A) Explanada:

En el caso de vías ciclistas en zonas interurbanas, se considerará para su diseño la norma de carreteras mencionada anteriormente (norma 6.1-1C). Si estas vías discurren por zonas urbanas, se usarán las normas municipales en el caso de que existan. La explanada estará constituida por norma general por el terreno regularizado y compacto (Nadal *et al.*, 2008).

Para el dimensionamiento de las explanadas, se tienen en cuenta el tipo de vehículos así como su frecuencia de paso. Si el uso es exclusivo de bicicletas, las cargas se consideran despreciables, pero hay que tener en cuenta las cargas propias de los vehículos para su construcción, mantenimiento o conservación. Si el uso de la vía es

compartido con vehículos motorizados, se considera la norma 6.1-1C, tratándose como una carretera convencional.

B) Firme:

Sobre la explanada, una vez que ha sido nivelada y compactada, se dispondrán las distintas capas que conforman el firme, siendo el pavimento la última de ellas. Al igual que la explanada, si la vía ciclista es compartida con otro tipo de vehículos, se considerará la norma 6.1-1C.

El firme distribuye las cargas de tráfico en la explanada y protege a ésta de los agentes atmosféricos, en especial de la humedad y de las heladas (Sanz *et al.*, 2006).

Para la elección de las capas de firme existen distintos tipos de materiales, destacando la zahorra natural o artificial (material granular procedente de rocas), cemento u hormigón.

A la hora de elegir tanto las capas como los materiales que compondrán el firme, aparte de considerar la seguridad y comodidad para los usuarios de la vía ciclista, habrá que considerar los criterios que se recogen en la siguiente tabla:

<b>Rigidez y capacidad de carga</b>	Aunque el tráfico ciclista tiene menores exigencias en cuanto a cargas que la circulación de vehículos motorizados, la vía ha de soportar al menos las correspondientes a la maquinaria de construcción y los tráficos esporádicos o habituales previstos para el acceso de los servicios de urgencia, conservación y limpieza.
<b>Regularidad superficial</b>	La comodidad y también la seguridad del ciclista requieren una superficie uniforme, exenta de baches y con las menores discontinuidades posibles.
<b>Adherencia</b>	La seguridad exige que el pavimento tenga una textura superficial adecuada, ofreciendo resistencia al deslizamiento en cualquier circunstancia, fundamentalmente cuando exista agua y en trayectorias curvas.
<b>Drenaje</b>	Por motivos de seguridad y comodidad, el pavimento debe estar diseñado para permitir un desagüe superficial rápido y evitar la formación de charcos; mientras que la base puede contribuir también al drenaje general de la zona.
<b>Legibilidad</b>	Debe contribuir a la diferenciación entre las diversas partes de la sección de la vía, lo que facilita la identificación del lugar de las bicicletas, tanto a los usuarios de la misma como a los usuarios de otros segmentos (peatones y vehículos motorizados).
<b>Estética e integración urbanística</b>	Es imprescindible valorar el efecto visual del pavimento elegido desde el punto de vista de su integración en el entorno urbano y patrimonial en el que se inserta la vía ciclista. El apoyo de los residentes dependerá entre otros factores de la capacidad de mejorar el aspecto de las calles por las que discurre la vía ciclista.
<b>Adaptación ambiental</b>	No sólo en cuanto a las cualidades drenantes del firme, sino también en relación a otros factores como la mayor o menor absorción de calor en periodos soleados, o la resistencia a la fracturación en lugares de frío y humedad.
<b>Opinión pública</b>	En ocasiones la población potencialmente usuaria de la vía, tanto ciclistas como peatones en el caso de tramos mixtos, tiene una opinión formada sobre los materiales con los que establecer el firme. Recabar esa opinión previene de cometer errores en el planteamiento de la vía.
<b>Costes de ejecución</b>	Manteniendo la funcionalidad y los criterios de calidad que combinan todos los anteriores, los firmes han de ser también del menor coste posible en su construcción.
<b>Durabilidad/ Costes de mantenimiento</b>	El coste de construcción tiene que combinarse con el previsto para el mantenimiento de la vía. Un ahorro excesivo en la ejecución puede conducir a gastos muy superiores de conservación que, a la postre, hagan menos eficaz la inversión.

Tabla 5: Criterios para la elección del firme de una vía ciclista. Fuente: Sanz *et al.*, 2006.

### C) Pavimento:

El pavimento es muy importante en una vía ciclista, ya que al ser la zona por donde circula la bicicleta, la calidad de la vía va a estar muy influenciada por la calidad de esta superficie.

Según el Plan Director de Bicicletas de Málaga, existen unas características superficiales básicas a tener en cuenta y que van a depender del material del pavimento. Estas características son:

- Adherencia y regularidad de la superficie: influyen en la seguridad y confort respectivamente. Hay que buscar el equilibrio entre ambas, ya que por norma general, cuanto más adherente sea un pavimento menos confort se sentirá al circular por el mismo y mayores lesiones se pueden producir en caso de caídas. La adherencia es muy importante sobre todo en zonas lluviosas.
- Pendiente: las vías ciclistas se deberán diseñar con unas pendientes longitudinales y transversales mínimas del 1% y 2% respectivamente para evitar la formación de charcos (Ayuntamiento de Málaga, 2008).
- Diferenciación visual: es importante para que la vía sea identificada tanto por los usuarios como por el resto de conductores. Esta diferenciación se puede conseguir mediante el color o la textura del material.
- Disminución del ruido: hay que procurar que el ruido ocasionado por el contacto entre el neumático y el pavimento sea el menor posible. Esta característica va a estar muy ligada a la regularidad de la superficie.

Como se menciona anteriormente, las características del pavimento van a depender del material elegido. Las prescripciones técnicas de estos materiales se recogen en el *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3/75)* del Ministerio de Fomento. Entre los materiales elegidos para el pavimento de vías ciclistas destacan los siguientes:

- Zahorra natural o artificial: es una solución de bajo coste y poco duradera. La ventaja es que produce poco impacto visual en el territorio. Si la zahorra no es natural se puede obtener de la trituración de piedras de cantera.

- Hormigón: pueden ser losas de hormigón prefabricadas o vertido directamente sobre la explanada o capa de grava. El hormigón impreso permite muchas posibilidades de texturas y colores. Sus ventajas e inconvenientes se recogen en la siguiente figura:

SECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>1. Losa de hormigón (5 o 10 cm) 2. Explanada</p>	La superficie presenta resistencias al tráfico y al rozamiento muy adecuadas	Las juntas de retracción disminuyen el nivel de comodidad
	Facilidad de ejecución, no necesita maquinaria complicada	Los precios de ejecución son más elevados que los de otros tipos de pavimentos
	El coste del mantenimiento del firme es muy inferior al del pavimento bituminoso	Con las variaciones climáticas se pueden producir fisuras
	Durabilidad en el tiempo, poco envejecimiento de los materiales	Los movimientos del terreno natural pueden provocar roturas de la losa
	Por su rigidez, limita la intrusión de las raíces de los árboles próximos	

Figura 22: Pavimento de cemento. Fuente: Nadal *et al.*, 2008.

- Mezclas asfálticas: son mezclas similares a las que se utilizan para la construcción de carreteras basadas en el empleo de betún y áridos.
- Cemento: Es también una solución cómoda y de poco impacto visual. Presenta buena adherencia pero suele ser poco resistente a cambios de temperatura y humedad, produciéndose degradaciones y grietas en el mismo.

SECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>1. Cemento (15 a 20 cm) 2. Explanada</p>	La superficie ofrece una gran flexibilidad y es completamente natural	Posibles erosiones por la acción del agua
	Buena integración visual y poco impacto ambiental	Necesita un mantenimiento más intenso. Poca durabilidad
	Pavimento muy económico	Calidad de superficie no apta para personas de movilidad reducida, patinadores/as y bicicleta deportiva

Figura 23: Pavimento de hormigón. Fuente: Nadal *et al.*, 2008.

- Mezclas bituminosas: consisten en una mezcla de áridos con un ligante hidrocarbonato (por ejemplo, betún), quedando las partículas cubiertas por una capa continua del mismo. Estas mezclas pueden ser coloreadas de rojo añadiendo óxido de hierro o de verde mediante cromo. Sus ventajas son que se obtienen superficies muy adherentes y regulares. En cuanto a sus inconvenientes, destacan que son componentes poco naturales y que se pueden fisurar por los cambios climáticos.

- **Tratamientos superficiales:** un tratamiento superficial puede ser la lechada bituminosa pigmentable, también denominada "slurry". Son mezclas fabricadas a temperatura ambiente con un ligante hidrocarbonato bituminoso, áridos finos, agua y, eventualmente, polvo mineral y otros productos como fibras o derivados de la trituración de neumáticos (Sanz *et al.*, 2006). Estas lechadas son de poco espesor y se pueden utilizar para mejorar distintas superficies o para adecuar parte de una carretera o arcén a un carril bici.
- **Adoquines o baldosas:** estos elementos se colocan sobre una capa de hormigón, arena o mortero extendido sobre la explanada. Esta solución es de un mayor coste y se suele usar en tramos singulares por motivos de estética, por integración paisajística o por la presencia de intersecciones.

En la siguiente tabla se pueden ver las características de algunos de los materiales mencionados anteriormente:

		PAVIMENTO					
		AGLOMERADOS ASFÁLTICOS	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	HORMIGÓN "IN SITU"	ADOQUINES Y BALDOSAS	OTROS: CAPAS GRANULARES SUELO-CEMENTO GRAVA-CEMENTO SUELO-CEMENTO GRAVA-EMULSIÓN	
CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PAVIMENTO	CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	DIFERENCIA VISUAL DE LA VIA	Posibilidad de usar betunes y áridos de color	Regular	Buena	Buena	Regular
		REGULARIDAD SUPERFICIAL	Buena	Aceptable	Buena, pero condicionada por las juntas	Regular	Regular
		ADHERENCIA	Buena	Buena	Buena	Depende del material utilizado	Suficiente
	IMPLANTACIÓN	EJECUCION	Casi artesanal	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
		INTEGRACIÓN CON LAS VIAS COEXISTENTES	Buena	Buena	Buena	Buena	Debe resolverse en cada caso
	CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN	FISURACION	Las fisuras terminan por aparecer	Las fisuras terminan por aparecer	No con un buen sistema de juntas	No	Aparecen fisural
		DE LA SUPERFICIE	Buena	Buena, si la implantación fue buena	Buena	Buena	Con el tiempo habrá que aplicar un nuevo pavimento
		SEÑALIZACION	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Puede utilizarse los propios adoquines	Debe resolverse en cada caso
		BORDILLOS	No necesario	No necesario	No	Necesario	Conveniente
		LIMPIEZA	Fácil	Fácil	Fácil	Regular	Difícil

Tabla 6: Características de los tipos de pavimento en vías ciclistas. Fuente: Ministerio del Interior, 2001.

#### 1.4.4. Intersecciones

Las intersecciones son un elemento clave en el diseño de vías ciclistas debido a su peligrosidad para usuarios de la bicicleta. Una intersección bien diseñada debe de satisfacer los principios generales que se muestran a continuación (Ministerio de Interior, 2001):

- Señalización clara y limitada a lo necesario.
- Superficie suficiente para poder detectar los otros vehículos o peatones que acceden a la intersección y para reaccionar en caso necesario.
- Garantizar la visibilidad recíproca entre vehículos y peatones.
- Limitar la velocidad de los automóviles, incluso mediante pavimentos diferenciados.
- Reducir el recorrido del ciclista.

Entre los distintos tipos de intersecciones se destacan las siguientes:

A) Intersecciones en T para giro a la derecha: en este tipo de intersecciones, una calle secundaria desemboca en una calle principal que es la que tiene prioridad. Si en la calle principal existen vías ciclistas, éstos continúan a lo largo de la misma señalizando su paso por la calle secundaria. Dentro de este tipo de intersecciones también existen variantes:

- Cruce rectilíneo: En este tipo de cruce, la vía ciclista discurre anexa a la principal durante la intersección.

Las ventajas de estos cruces son que la prioridad del ciclista queda bien refrendada y son percibidos fácilmente por los conductores. En cuanto a los inconvenientes destaca la posibilidad de que los vehículos de la vía principal bloqueen la calzada al intentar girar a la derecha durante paso de ciclistas.

Un ejemplo se muestra en la figura siguiente:

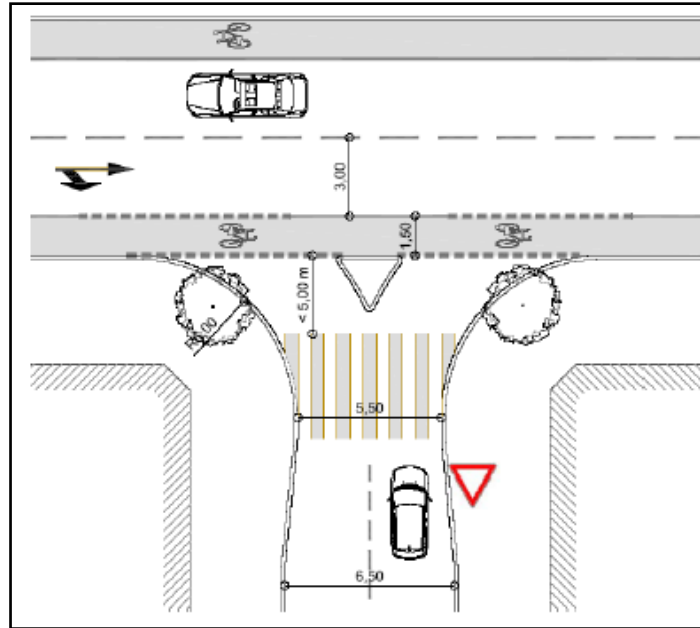


Figura 24: Cruce rectilíneo en T. Figura: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

- Cruce rectilíneo con retranqueo: estos cruces consisten en la separación de la vía ciclista de la vía principal durante la intersección. Para dar prioridad ciclista sobre la vía secundaria, se recomienda que la vía ciclista cruce sobre un lomo la vía secundaria (Ayuntamiento de Madrid, 2008).

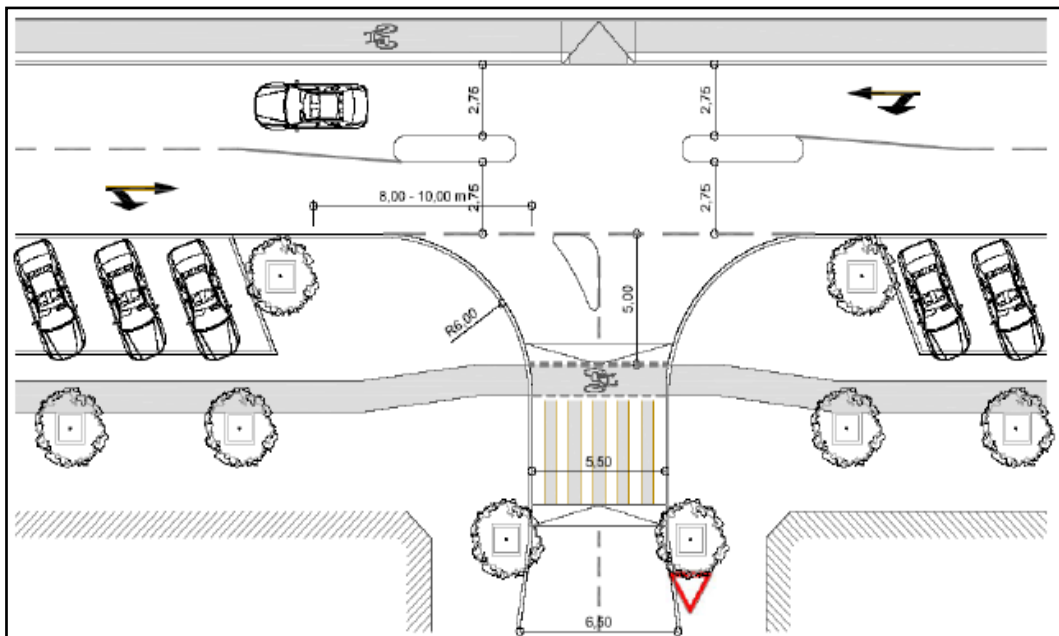


Figura 25: Cruce en T retranqueado. Fuente. Ayuntamiento de Madrid, 2008

Estos cruces tienen la ventaja que un solo vehículo que gire a la derecha desde la vía principal, no bloquea la calzada durante el paso de ciclistas, lo que es importante en vías de alta intensidad de tráfico. En cuanto a los inconvenientes destaca que la prioridad ciclista no queda tan clara en la vía secundaria.

- **Trenzado:** es una solución más arriesgada que consiste en cruzar la vía ciclista hacia el centro de la calzada principal, dejando un carril a la derecha para los vehículos que giran en esta dirección. La longitud del trenzado no debe ser inferior a 80 metros y el carril bici debe de ser unidireccional (Ministerio del Interior, 2001).

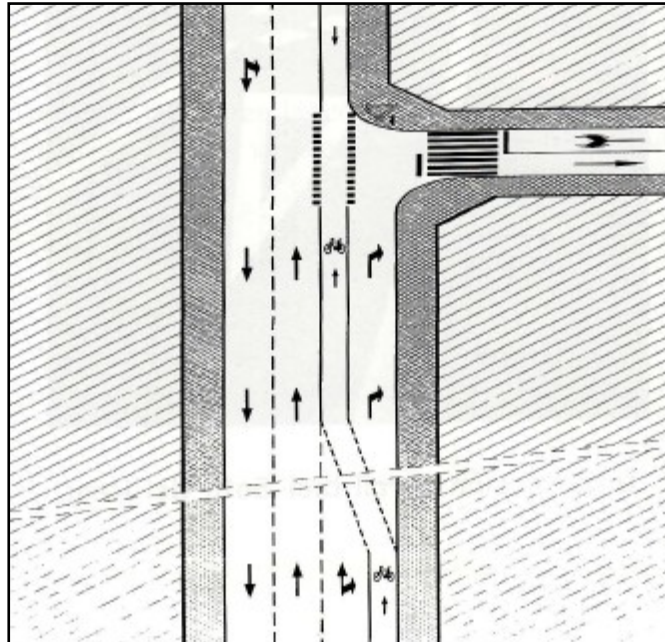


Figura 26: Cruce con trenzado. Fuente: Ministerio de Interior, 2001.

B) **Intersecciones para giro a la izquierda:** el giro a la izquierda de un ciclista en una intersección es una maniobra peligrosa, por lo que hay que tenerlo muy en cuenta a la hora de diseñar la intersección. Para estos casos existen diversas soluciones con y sin semaforización. A continuación se muestran las principales:

- Con carril o zona para bicicletas en la vía principal (giro directo):

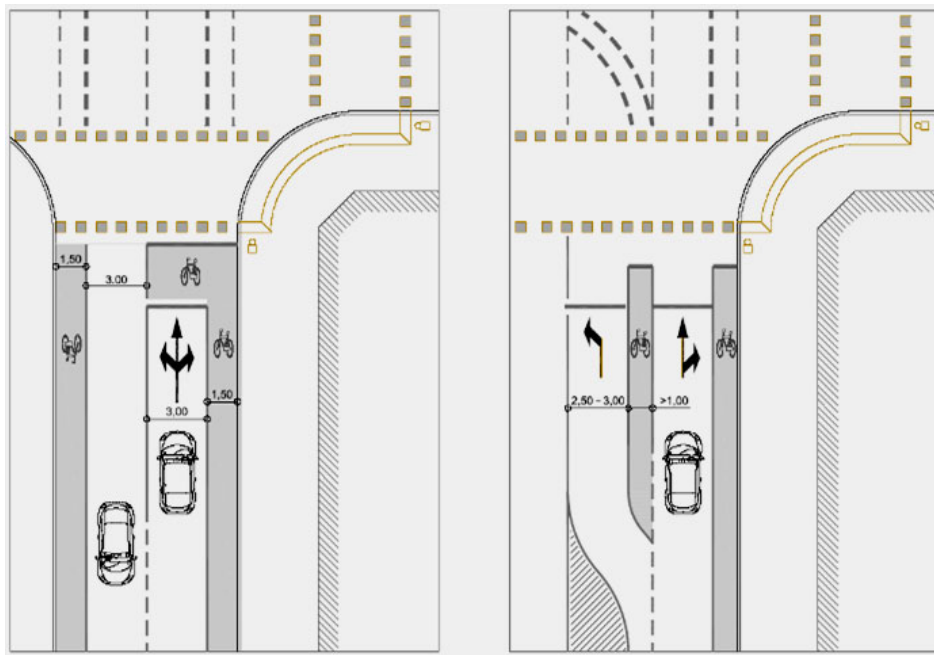


Figura 27: Cruce con zona o carril para cruce a la izquierda en vía principal. Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

- Cruce convencional semaforizado (giro indirecto):

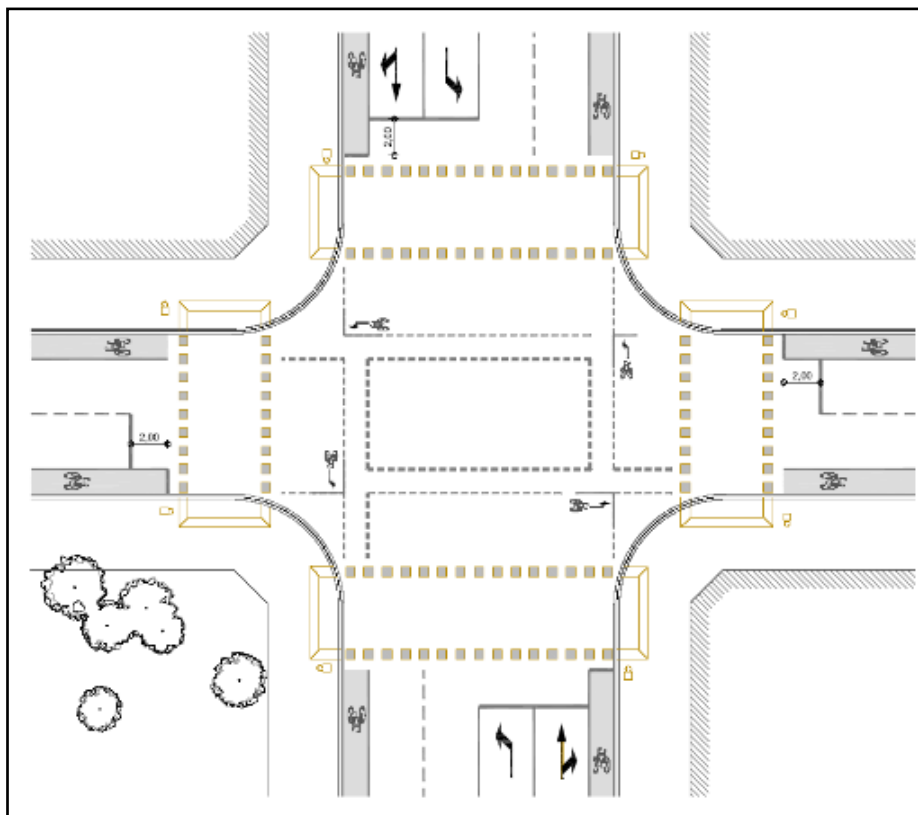


Figura 28: Cruce semaforizado con giro indirecto de bicicletas. Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

- Con zona de espera en la vía secundaria:

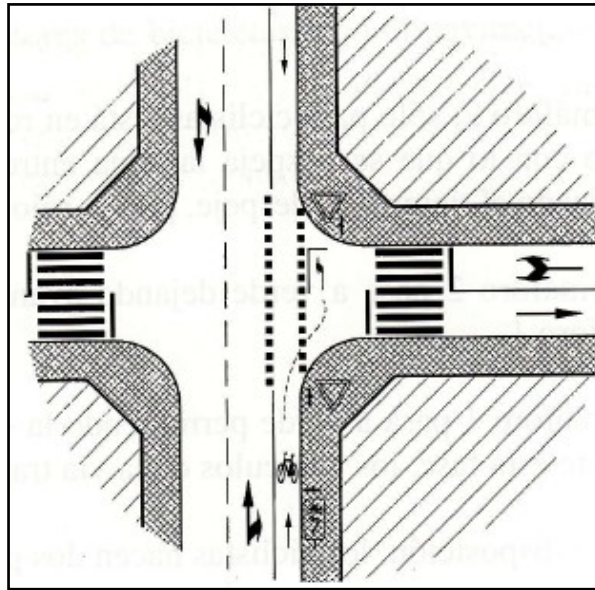


Figura 29: Cruce con zona de espera para cruce a la izquierda en vía secundaria. Fuente: Ministerio de Interior, 2001.

#### 1.4.5. Rotondas en vías ciclistas

Una rotonda es un tipo de intersección donde el flujo de tráfico sigue una trayectoria circular y en un solo sentido. Las rotondas son partes muy importantes en las vías ciclistas debido a aspectos relacionados con la seguridad. Existen estudios de investigación que demuestran que estos dispositivos son beneficiosos para aumentar la seguridad en la circulación de automóviles, pero no es así para la circulación ciclista, como se explicará más adelante.

Desde el punto de vista de la seguridad de los ciclistas, las rotondas convencionales tienden a concentrar la atención de los conductores en los vehículos que circulan por su interior, es decir, que proceden del lado izquierdo de su trayectoria, descuidando más el lateral derecho en el que, precisamente, suelen encontrarse los ciclistas (Ayuntamiento de Madrid, 2008).

Las rotondas se pueden clasificar en función de distintos criterios. Una clasificación simple de las mismas es según el número de carriles. En este caso, las rotondas pueden ser de un solo carril (la calzada de circulación está compuesta por un

solo carril) o rotondas de varios carriles (la calzada de circulación consta de distintos carriles).

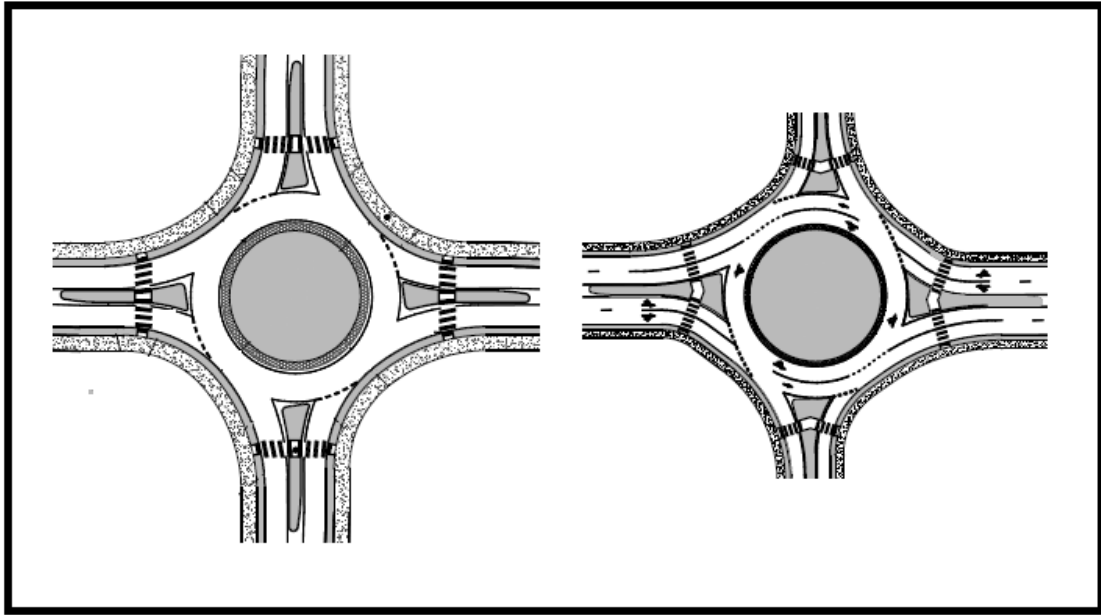


Figura 30: Rotonda de uno y varios carriles de circulación respectivamente. Fuente: Rodegerdts *et al.*, 2010.

Otra clasificación de las rotondas es según la geometría de su isleta central. En la mayoría de las rotondas, las isletas centrales son circulares, pero también pueden existir rotondas con otra geometría, por ejemplo, ovaladas. En este tipo de rotonda, suelen haber más accidentes que con las circulares, posiblemente debido al aumento de la velocidad en las zonas de menor curvatura. En todo caso, la excentricidad debe ser superior a 0,75 (Ministerio de Fomento, 1999).

Existen configuraciones de intersecciones que requieren la unión de dos rotondas, obteniendo lo que se conoce como rotonda doble. Estas rotondas dobles pueden ser contiguas o con tramo de unión.

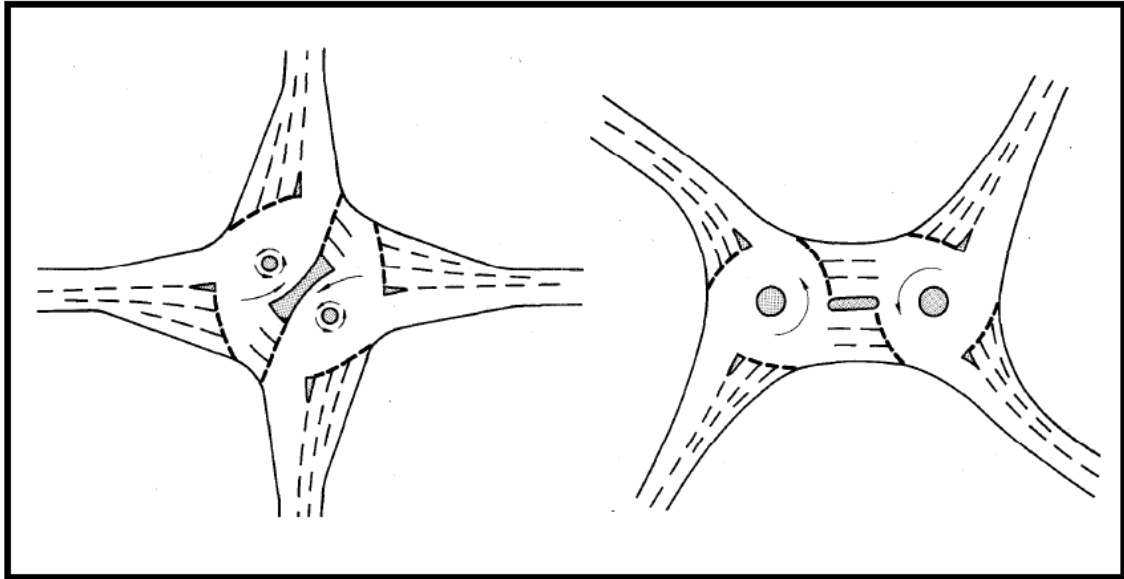


Figura 31: Rotonda doble contigua y con tramo de unión respectivamente. Fuente: Ministerio de Fomento, 1999.

En cuanto a rotondas para la circulación ciclista, existen 4 tipos fundamentales (Daniels *et al.*, 2009):

a) Rotonda de circulación con tráfico mixto: esta configuración es adoptada en muchos países. Es una rotonda similar a las construidas para la circulación de vehículos a motor. Cuando está integrada en vías ciclistas, dichas vías terminan en las proximidades de la misma (20-30 metros antes) para que el tráfico de ciclistas y vehículos compartan circulación en la rotonda. En la siguiente figura se aprecia un esquema de este tipo de rotonda:

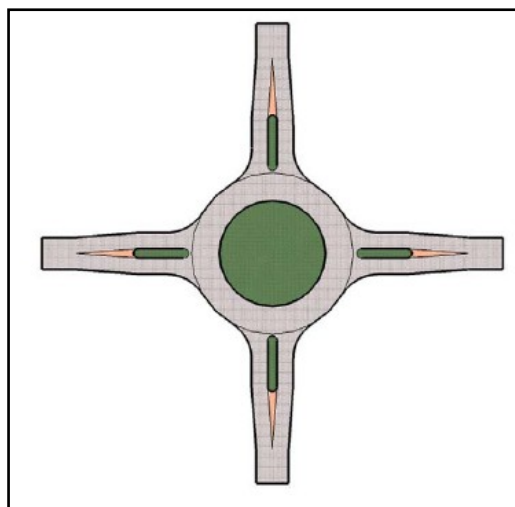


Figura 32: Rotonda de circulación en coexistencia o con tráfico mixto: Fuente: Daniels *et al.*, 2009.

En la siguiente figura se aprecia como puede finalizar la vía ciclista antes de entrar en la rotonda.

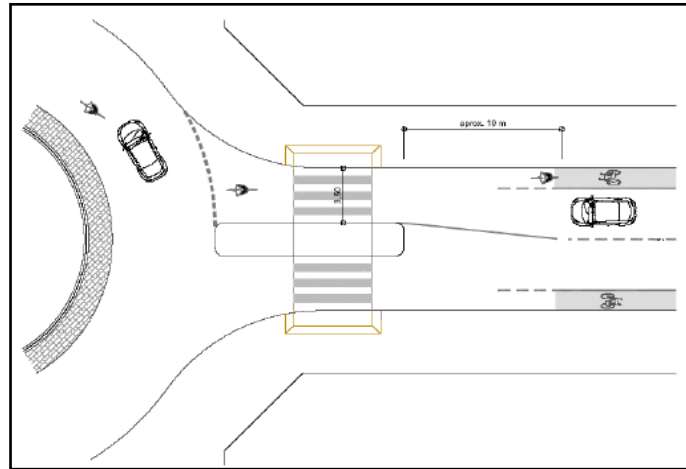


Figura 33: Finalización de la vía ciclista antes de la rotonda: Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

Está demostrado que son las peores desde el punto de vista de la seguridad ciclista, ya que provocan más accidentes con lesiones en general (Brüde y Larsson, 2000).

b) Rotonda con carril bici anexo a la misma: el carril bici va por el exterior. Dicho carril se puede distinguir visualmente al ir marcado en la calzada, al ir separado por elementos físicos, al ir a distinta elevación o de distinto color. Son parte de la rotonda al ir integrados en la misma y los ciclistas realizan las mismas maniobras que los vehículos.

En este tipo de rotondas, se generan conflictos entre los vehículos que giran a la derecha y los ciclistas que van circulando. Estos riesgos son más elevados en vehículos grandes como camiones y cuando los ciclistas circulan paralelos a los mismos (ángulo ciego).

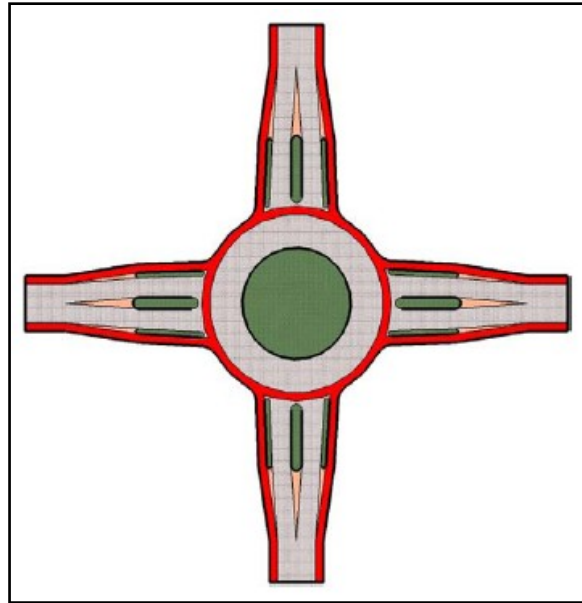


Figura 34: Rotonda con carril bici anexo: Fuente: Daniels *et al.*, 2009.

c) Rotonda con vía ciclista separada: la vía ciclista está separada de la rotonda. En Bélgica, para que se considere como este tipo de rotonda, esta distancia debe de ser de más de un metro. Otros autores recomiendan al menos 5 metros (CROW, 2007). Durante la circulación en estas rotondas, deben de establecerse las normas de prioridad. Normalmente se sigue la norma de que se tiene prioridad cuando se circula dentro de la misma.

Este tipo de rotondas se pueden clasificar a su vez en otros dos: las que tienen prioridad los ciclistas y en las que no la tienen (forma ortogonal que reduce la velocidad de los ciclistas). En ambos casos, los puntos de conflicto disminuyen con respecto al caso anterior y la visibilidad también mejora al ir separados de la calzada evitando así los ángulos muertos.

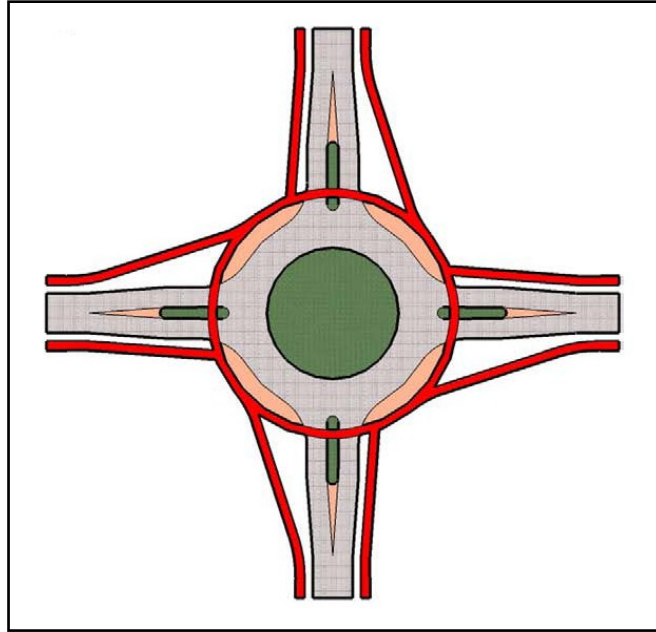


Figura 35: Rotonda con vía ciclista separada con prioridad para el ciclista. Fuente: Daniels *et al.*, 2009.

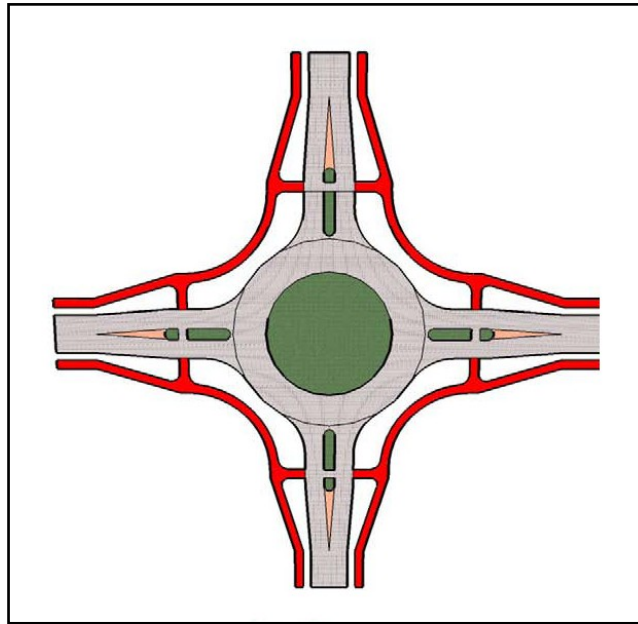


Figura 36: Rotonda con vía ciclista separada sin prioridad para el ciclista. Fuente: Daniels *et al.*, 2009.

Con respecto a la seguridad, en este tipo de rotondas, dos estudios realizados en Holanda aseguran que las rotondas sin prioridad para los ciclistas son más seguras que los otros tipos anteriores. En las rotondas con prioridad para los ciclistas encontraron 0,16 víctimas por millón de usuarios contra los 0,04 en las de sin prioridad (Schoon y Van Minnen, 1994). También se demuestra que en las rotondas con prioridad aparecen más lesiones graves (Dijkstra, 2004).

Con respecto a las normas de prioridad, resulta interesante las conclusiones obtenidas en distintos estudios de investigación. El 20% de los ciclistas dejan de pasar a los vehículos a pesar de tener la prioridad y por el contrario, el 33% de mismos reciben prioridad por parte de los vehículos, a pesar de no tenerla. También resulta interesante destacar que un gran número de conductores de automóviles da prioridad a los ciclistas cuando el carril bici se encuentra anexo a la rotonda más que cuando la vía ciclista era separada (Räsänen y Summala, 2000).

d) Rotonda con vía ciclista a otro nivel: esta diferencia de nivel evita que los ciclistas interactúen con los vehículos motorizados. Esta solución es menos usual al ser bastante costosa de ejecutar.

En función de la integración de la rotonda con las vías ciclistas del entorno, otros autores diferencian las rotondas en dos tipos: rotondas integradas y rotondas separadas (Sakshaug *et al.*, 2010).

Las rotondas separadas son similares a las clasificadas anteriormente como rotondas con vía ciclista separada. Los peatones y ciclistas cruzan la calzada por el mismo lugar pero en vías paralelas. El contacto entre vehículos y ciclistas se produce solamente cuando dichos ciclistas tienen que cruzar la calzada en las proximidades de la rotonda. Las bicicletas pueden circular en ambas direcciones en sus vías, por lo que los conductores de vehículos a motor tienen que prestar atención en dichos pasos tanto a izquierdas como a derechas.

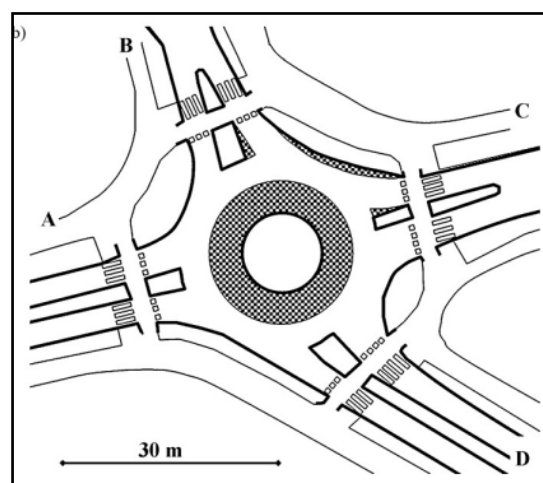


Figura 37: Rotonda separada. Fuente: Sakshaug *et al.*, 2010.

En Suecia, las reglas de ceda el paso en este tipo de rotondas son complejas. Los ciclistas cruzando siempre deben considerar a los vehículos a motor y efectuar el cruce si lo pueden hacer seguramente. Para los vehículos motorizados, es más clara la obligación de ceder el paso si se va a cruzar con un ciclista a la salida. Para la entrada, solo especifica que deben de ajustar su velocidad para no poner en peligro a ciclistas cruzando.

Los conflictos más habituales en este tipo de rotondas son los siguientes, siendo los más serios los dos primeros que se enumeran a continuación:

- Vehículo entrando y el ciclista circulando.
- Vehículo saliendo y el ciclista circulando.
- Ciclista entrando y el vehículo circulando.
- Vehículo saliendo y el ciclista circulando en contra.

En cuanto a la accidentabilidad que se da en este tipo de rotondas, los vehículos que salen están más involucrados en accidentes que los vehículos que entran. En este caso, la mayoría de los ciclistas vienen de la parte izquierda (contra-circulación). Para el caso de los vehículos que entran, hay más accidentes con ciclistas provenientes de la derecha (también a contra-circulación).

Las rotondas integradas son similares a las clasificadas anteriormente como de tráfico mixto. Hay una vía ciclista anexa a la carretera y unos 30 metros antes de entrar en la rotonda, ambos tráfico se unen para circular conjuntamente por la rotonda. Al salir de la misma, los tráfico se vuelven a separar. El tráfico ciclista está permitido en un solo sentido en todas las aproximaciones a la rotonda (mirando a la rotonda, siempre por la derecha para entrar en ella y por la izquierda para salir).

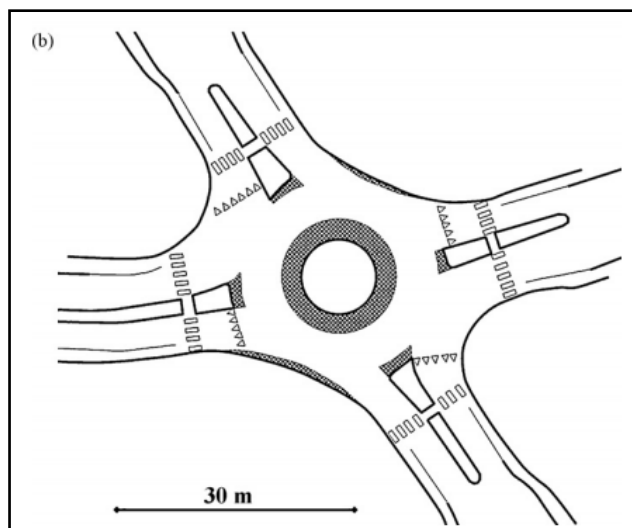


Figura 38: Rotonda integrada. Fuente: Sakshaug *et al.*, 2010.

Aquí las reglas de ceda el paso son más sencillas, ya que dentro de la rotonda las bicicletas también se consideran vehículos. Un vehículo que entra debe ceder el paso si hay otro circulando dentro. Cuando se circula en paralelo, los vehículos que se cambian de carril deben de ceder el paso también a los que circulan por el otro carril.

En este caso, los conflictos más habituales son los siguientes, siendo los más serios los cuatro primeros que se enumeran a continuación:

- Vehículo entrando y el ciclista circulando.
- Ciclista entrando y el vehículo circulando.
- Vehículo saliendo y el ciclista circulando.
- Vehículo y ciclista saliendo en paralelo.
- Vehículo y ciclista entrando en paralelo.
- Vehículo y ciclista circulando en paralelo.

En cuanto a la accidentabilidad, en este caso es más claro que la mayoría de los accidentes se producen con vehículos entrando en la rotonda (primer conflicto de los enumerados anteriormente) con el ciclista circulando, porque el vehículo no cede el paso al ciclista.

Como conclusión, según este tipo de clasificación de las rotondas, las separadas parecen ser las más seguras. La situación con menor grado de ceda el paso hacia los

ciclistas es cuando el vehículo sale de la rotonda al mismo tiempo que el ciclista va en el sentido de circulación y por tanto, viene de la derecha. Sin embargo, la mayoría de los accidentes en rotondas separadas tienen lugar cuando los automovilistas entran y salen de las glorietas, mientras que los ciclistas se mueven en contra de la dirección de circulación.

Tanto el número de conflictos como de interacciones, son más altos en las rotondas integradas, lo que hace más difícil su análisis. La mejor movilidad en las mismas, puede hacer que relaje la atención del ciclista con mayor riesgo para su persona. Aunque las reglas para ceder el paso son más claras en estas rotondas, hace que los conductores estén menos preparados para actuar cuando el otro no las cumple (Sakshaug *et al.*, 2010).

El Ayuntamiento de Málaga, dentro del Plan Director de Bicicletas, recomienda el empleo de rotondas con carril bici, además de hacer las siguientes recomendaciones:

- Colorear el carril bici con un color destacado en el interior de la rotonda.
- Señalizar las salidas y entradas de la rotonda con la señal P-28 (alerta por presencia de ciclistas).
- Ampliar la anchura del carril bici en un 20% en el interior de la rotonda.
- Instalar una banda estrecha de resalte en todo el perímetro de la rotonda para obligar a una reducción notable de velocidad para los vehículos tanto entrantes como salientes.

#### **1.4.6. Dimensiones de referencia en las vías ciclistas. Secciones transversales**

Según la Dirección General de Tráfico (DGT), en su libro *Manual de recomendaciones de diseño, construcción, infraestructura, señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento del carril-bici*, el conjunto usuario-bicicleta requiere un espacio de 1 metro (m) de anchura para circular. Este metro se descompone en 0,75 m de gálibo además de un margen de 0,125 m a cada lado por las desviaciones del ciclista en el pedaleo. Por otro lado, si se consideran los espacios adyacentes, como pueden ser bordillos u obstáculos, se establece como criterio que la anchura de un carril

unidireccional para el uso de la bicicleta tendrá un mínimo estricto de un metro, debiendo oscilar estas vías entre 1,25 y 1,5 o 1,75 m de ancho.

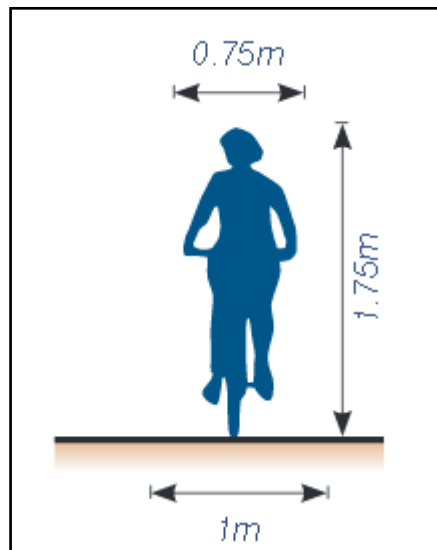


Figura 39: Anchura (m) de vías ciclistas unidireccionales. Fuente: SUSTRANS, 2014.

En vías ciclistas bidireccionales, el mínimo estricto debe de ser de 2 m de ancho, recomendable 2,5 m y un ancho máximo de 2,75 m para cuando hay altas densidades de circulación.

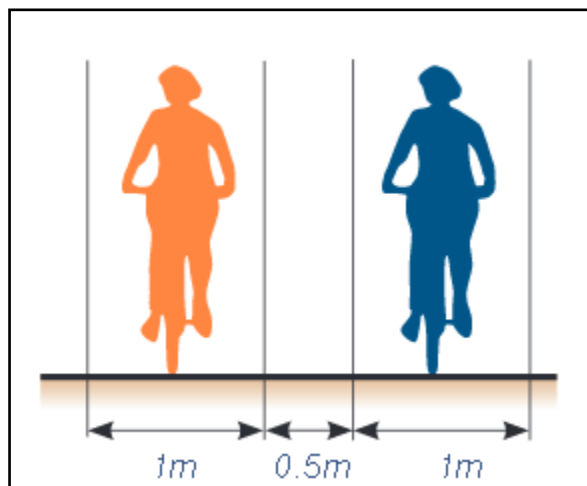


Figura 40: Dimensiones mínimas (m) en vías ciclistas bidireccionales. Fuente: SUSTRANS, 2014.

Cuando se diseña una vía ciclista, hay que tener en cuenta que los usuarios van a interactuar con otros tipos de vehículos, prestando especial importancia a la circulación de vehículos a motor. Para ello, hay que tener en cuenta las dimensiones (metros) que se recogen en la siguiente tabla:

Ciclista	0,75	
Automóvil	1,8	
Vehículo-pesado	3	
Ciclista-bordillo	0,25-0,5	
Ciclista-aparcamiento	0,75-0,9	
	En calzada con velocidad máxima de 30 Km/h	En calzada con velocidad máxima a 50 Km/h
Ciclista-Vehículo circulando	0,85	1,05
Vehículo circulando-Vehículo circulando	0,6	0,8
Vehículo circulando-bordillo	0,25	0,5
Vehículo circulando-Vehículo aparcado	0,5	0,7

Tabla 7: Dimensiones de referencia (m) en vías ciclistas. Fuente: Diputación Foral de Vizcaya, 2002

Un aspecto importante a destacar es que existen estudios de investigación (Parkin y Meyers, 2010) que indican que los conductores de vehículos motorizados dejan una amplia distancia al adelantar a los ciclistas que circulan por la calzada compartiendo espacio con los mismos. Por lo tanto, la separación entre vehículos a motor y ciclistas es mayor en estos casos que cuando hay plataformas exclusivas (como por ejemplo carriles bici) para los desplazamientos en bicicleta.

La DGT, en su manual mencionado anteriormente, recomienda que la anchura de carriles bici unidireccionales adyacentes a la calzada, debe estar comprendida entre 1,70 y 2 metros. Otras recomendaciones se pueden apreciar en la siguiente imagen:

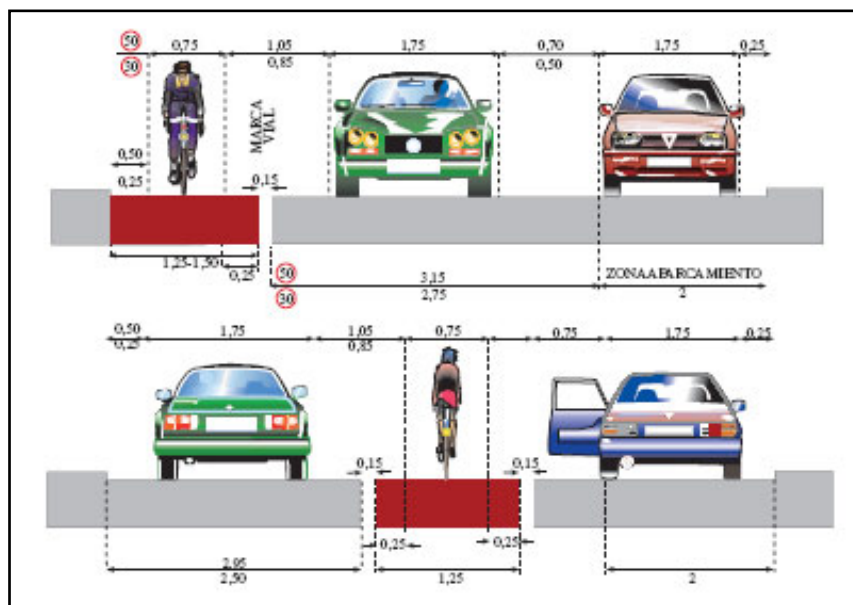


Figura 41: Dimensiones de referencia (m) en vías ciclistas anexas a calzadas de vehículos motorizados.

Fuente: Diputación Foral de Vizcaya, 2002.

En la siguiente tabla se recoge la información de las secciones descritas hasta ahora:

	mínimo	máximo	mín. estricto	recomendable
Carril-bici unidireccional	1,25	1,5-1,75	1	1,5
Carril-bici bidireccional	2,25	2,75-3,00	2	2,5-2,8

Tabla 8: Dimensiones de referencia (m) de carriles bici. Fuente: Diputación Foral de Vizcaya, 2002.

Hay que tener en cuenta, que en los tipos de vías ciclistas, donde hay un uso exclusivo para el desplazamiento en bicicleta, como pueden ser carriles bici protegidos, pistas-bici o sendas acera-bici, las velocidades de circulación de los usuarios suelen ser mayores. En estos casos, y siempre que sea posible, se recomienda diseñar los trazados con unas anchuras más holgadas para adaptarse a estas velocidades. Algunos ejemplos de diseño se pueden ver en las siguientes figuras:

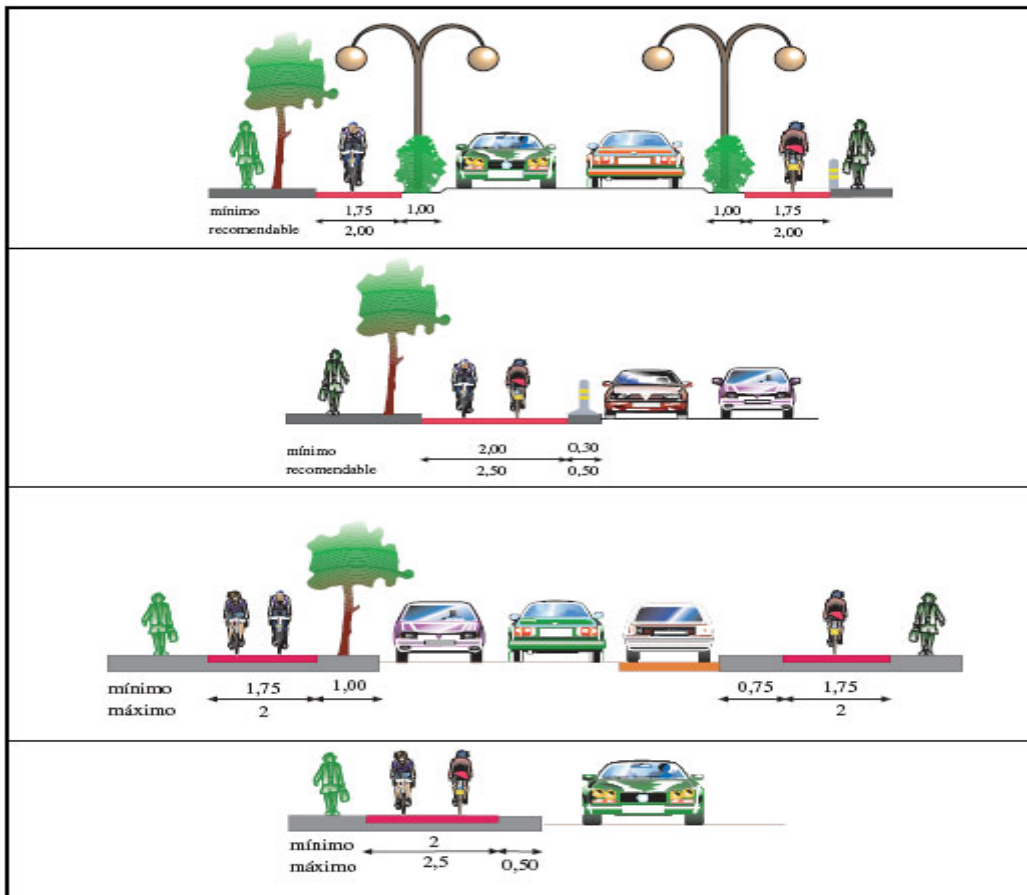


Figura 42: Dimensiones de referencia (m) en vías ciclistas de uso exclusivo. Fuente: Diputación Foral de Vizcaya, 2002.

Otras dimensiones a considerar, son las de la calzada, cuando la circulación ciclista comparte la vía con otro tipo de tráfico. Como se menciona anteriormente, las vías de tráfico motorizado donde se permite la circulación ciclista, deben de tener una anchura que no permita adelantar con facilidad a los ciclistas (anchura estrecha) para evitar altas velocidades de tráfico. Esta anchura debe oscilar entre los 2,25 y 2,60 metros.

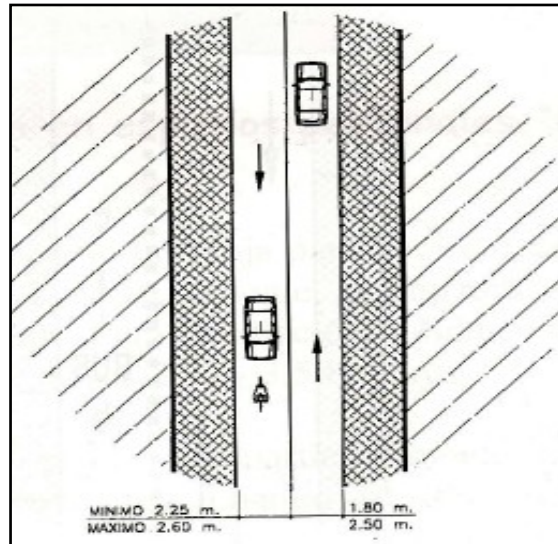


Figura 43: Anchura de vía ciclista compartida con tráfico motorizado. Fuente: Ministerio del Interior, 2001.

Cuando la circulación de ciclistas se realiza por carriles bus (carriles bus-bici), se recomienda que la anchura de estos carriles esté comprendida entre los 4,00 y los 4,25 metros.

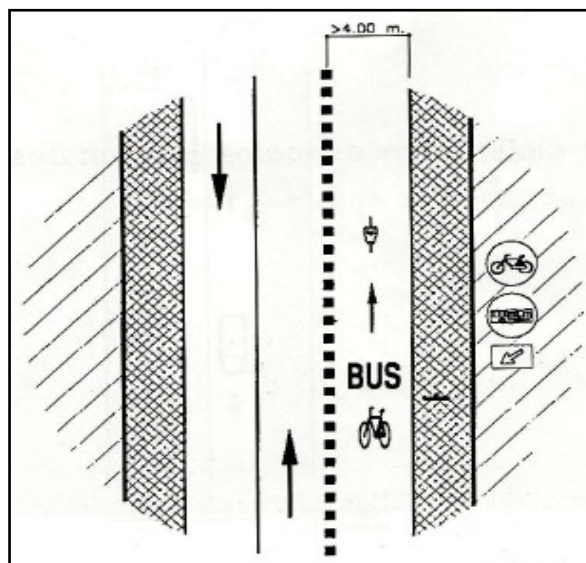


Figura 44: Anchura de carril bus-bici. Fuente: Ministerio del Interior, 2001.

### 1.4.7. Otras características de diseño

A la hora del diseño de vías ciclistas, además de las secciones transversales de las propias vías, y de las distancias con otros elementos del entorno, hay que tener en cuenta otros parámetros como pueden ser: el radio de giro, la distancia de visibilidad de parada, las pendientes o los acuerdos.

- Radio de giro: el radio de giro de una curva en vías ciclistas se puede calcular del mismo modo que en carreteras. Para ello se seguirá la misma fórmula que aparece en la *Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras*. La expresión es la siguiente:

$$R = \frac{v^2}{127 \times (p + f)}$$

Donde:

R= radio mínimo de la curva (m).

v= velocidad del ciclista (km/h).

p= peralte de la curva (en tanto por uno).

f= coeficiente de rozamiento transversal.

Es recomendable que el valor del peralte de la curva oscile entre el 2% y el 3%. El drenaje superficial de la vía queda garantizado con el peralte mínimo del 2% (Nadal *et al.*, 2008).

En la siguiente figura se muestran los valores del coeficiente de rozamiento transversal para vías pavimentadas y no pavimentadas en función de la velocidad de circulación del ciclista:

VELOCIDAD (km/h)	f EN VÍAS PAVIMENTADAS	f EN VÍAS NO PAVIMENTADAS
20	0,31	0,16
30	0,28	0,14
40	0,25	0,13
50	0,21	0,11
60	0,18	0,09

Tabla 9: Coeficiente de rozamiento transversal. Fuente: Nadal *et al.*, 2008.

Con los valores anteriores de coeficiente de rozamiento y con el peralte que se recomienda anteriormente, se puede obtener una representación gráfica del radio de curvatura en función de la velocidad, siguiendo la norma de la instrucción de carreteras. Esta representación gráfica se muestra a continuación:

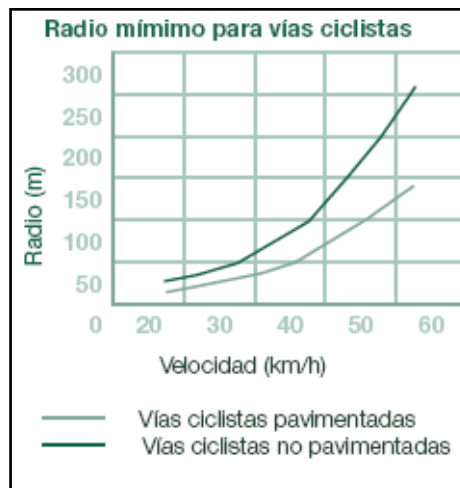


Figura 45: Radio mínimo para vías ciclistas. Fuente: Nadal *et al.*, 2008.

Otra forma más sencilla de obtener el radio de giro (m) de una vía ciclista es en función de la velocidad (km/h) y sin considerar ni el peralte ni el coeficiente de rozamiento de la misma. Se emplea la siguiente fórmula (Hudson, 1978):

$$R=0,24 \times V+0,42$$

- Distancia de visibilidad de parada: la distancia de parada es otro factor importante a considerar en el diseño de vías ciclistas, sobre todo debido a la presencia de intersecciones. Se define como la mínima distancia para que un ciclista pueda detenerse antes de colisionar con un obstáculo (Ministerio de Interior, 2001).

Cuando se diseñan vías ciclistas hay que tener en cuenta este parámetro para establecer la visibilidad de las mismas y sobre todo en las proximidades de intersecciones. Este factor cobra más importancia cuando la intersección es con una vía por donde circulan vehículos motorizados. Para calcular la distancia de parada en vías ciclistas, se emplea la fórmula que aparece a continuación, procedente de la *Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras*:

$$D_p = \frac{v^2}{254 \times (f \pm i)} + \frac{v \times t_p}{3,6}$$

Donde:

$D_p$ = distancia de parada (m).

$v$ = velocidad del ciclista (km/h).

$i$ = inclinación de la rasante (en tanto por uno).

$f$ = coeficiente de rozamiento longitudinal rueda-pavimento.

$t_p$ = tiempo de percepción y reacción (s)

Para el diseño de vías ciclistas se puede considerar un tiempo de percepción y reacción de 2 segundos y un coeficiente de rozamiento de 0,25 (Sanz *et al.*, 2006).

En la siguiente figura se puede observar una gráfica donde se puede obtener una estimación de la distancia de parada en función de la velocidad del ciclista y la pendiente:

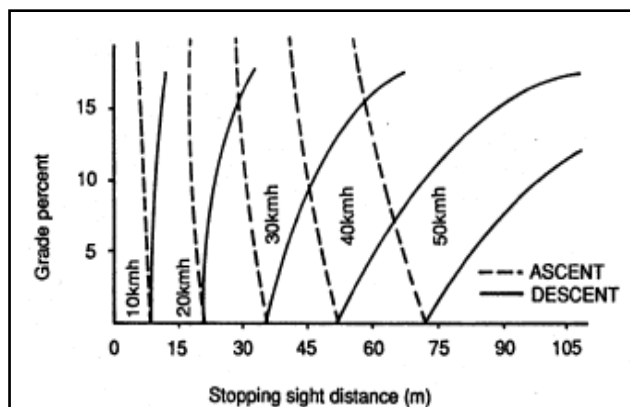


Figura 46: Velocidad de parada en función de la pendiente y velocidad. Fuente: Canadian Institute of Planners, 1990.

- Pendientes: las pendientes que existentes en una vía ciclista pueden ser longitudinales o transversales (peralte). El peralte, como se expresa anteriormente, debe de ser en torno al 2-3%, y su función principal es el drenaje de la propia vía. Las pendientes longitudinales superiores al 5-6% no son recomendables en las vías ciclistas.

Estudios demuestran que entre los factores objetivos desfavorables para elegir la bicicleta como medio de transporte, destaca la existencia de pendientes superiores al 6-8% a lo largo de varias decenas de metros (Dekoster y Schollaert, 2000). Estas pendientes suponen un elemento de dificultad en caso de tener que ascenderlas y por otro lado pueden generar peligro al descenderlas por las velocidades que pueden alcanzar las bicicletas. Cuando estas prescripciones no puedan cumplirse, es recomendable que los tramos de elevada pendiente sean lo más cortos posible. En la figura siguiente se recogen las recomendaciones de longitudes máximas de tramos con distintas pendientes (Nadal *et al.*, 2008):

INCLINACIÓN LONGITUDINAL %	LONGITUD MÁXIMA EN m
entre 5% i 6%	240
entre 6% i 7%	120
entre 7% i 8%	90
entre 8% i 9%	60
entre 9% i 10%	30
más del 10%	15

Tabla 10: Longitudes máximas en tramos con rampas superiores al 5%. Fuente: Nadal *et al.*, 2008.

- Acuerdos verticales: Los acuerdos verticales son las curvas que se emplean para unir tramos que poseen distintas pendientes longitudinales. Estas curvas pueden ser cóncavas o convexas.

En los acuerdos convexos, su diseño tiene que tener en cuenta la distancia de visibilidad de parada. En el *Manual de vías ciclistas* (Sanz *et al.*, 2006), se establece las recomendaciones de longitud para el cálculo de los acuerdos convexos. En el mismo manual también se propone la ecuación para el cálculo de los acuerdos verticales cóncavos, cuya curvatura se calculará para facilitar la comodidad del ciclista. Estas ecuaciones se pueden ver en la siguiente tabla:

DISTANCIAS PARA ACUERDOS CONVEXOS		RADIOS DE ACUERDOS CÓNCAVOS
Si $D_p > L$	$L = 2 D_p - 274/A$	$K = v^2 / 390$ expresando $v$ en km/h
Si $D_p < L$	$L = A D_p^2 / 274$	
Siendo:		Siendo:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L</math> longitud mínima de la curva vertical (m)</li> <li>• <math>D_p</math> distancia de visibilidad de parada (m)</li> <li>• <math>A</math> diferencia algebraica de pendientes (%)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>K</math> el radio del acuerdo en metros</li> </ul>

Tabla 11: Acuerdos verticales. Fuente: Sanz *et al.*, 2006.

Otra forma más sencilla de obtener los radios de los acuerdos en función de la velocidad de la velocidad del ciclista, se muestra en la tabla siguiente, obtenida del *Manual para el Planeamiento, Proyecto y Ejecución de Pistas Ciclistas*, de la Asociación Española Permanente de la Carretera:

VELOCIDAD (Km/h)	CURVA	RADIO (m)
20	Convexa	20
20	Cóncava	10
30	Convexa	40
30	Cóncava	20
40	Convexa	65
40	Cóncava	40

Tabla 12: Radio de los acuerdos verticales. Fuente: Ministerio del Interior, 2001.

### 1.4.8. Señalización

La señalización de las vías ciclistas es un aspecto fundamental para el diseño y utilización de las mismas. La señalización se define como un conjunto de elementos destinados a ordenar o regular la circulación en condiciones de seguridad, eficacia y comodidad, así como a suministrar información útil para el viaje (Sanz *et al.*, 2006).

Para la señalización de una vía ciclista, hay que considerar por un lado la señalización vertical y por otro la señalización horizontal.

El concepto de señalización vertical es definido en la *norma 8.1-IC, señalización vertical, de la Instrucción de Carreteras* del Ministerio de Fomento, como un conjunto de elementos destinados a informar y ordenar la circulación por las carreteras.

Para la **señalización vertical** de vías ciclistas se siguen los preceptos de la norma mencionada anteriormente y del *Reglamento General de Circulación* (donde se cita esta norma en su anexo 1), utilizando una serie de señales adaptadas a este ámbito. Las señales verticales más relacionadas con la movilidad ciclista se recogen en la siguiente tabla:

Señal	Código	Descripción
	R-407	Vía reservada a ciclos o vía ciclista
	R-505	Fin de la reserva
	S-17	Aparcamiento para bicicletas
	S-33	Senda ciclable
	S-64	Carril bici o vía ciclista adosada a la calzada
	S-28 y S-29	Inicio y fin de calle de convivencia respectivamente
	S-30 y S-31	Comienzo y fin de zona 30 respectivamente
	P-22	Peligro por ciclistas
	R-114	Entrada prohibida a ciclos
	R-103	Entrada prohibida a vehículos a motor excepto vehículos de dos ruedas
	R-102	Entrada prohibida a vehículos a motor
	R-104	Entrada prohibida a motocicletas
	R-105	Entrada prohibida a ciclomotores
	R-116	Entrada prohibida a peatones
	S-880	Aplicación de señales a la bicicleta

Tabla 13: Señalización vertical para vías ciclistas. Fuente: Adaptado del Reglamento General de Circulación.

En cuanto a la **señalización horizontal**, también conocida como “marcas viales”, son el conjunto de líneas o figuras aplicadas sobre el pavimento con el fin inmediato de aumentar la seguridad, eficacia y comodidad de circulación (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1987).

Las características de esta señalización queda regulada mediante el *Reglamento General de Circulación y de la norma 8.2-IC de la instrucción de carreteras* (indicada en el anexo 1 de dicho reglamento) del antiguo Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dentro de esta norma, solamente aparecen descritas las características dimensionales de un tipo de marca vial propia de vías ciclistas, la señal m-4.4 (marca para el paso de ciclistas por la calzada).

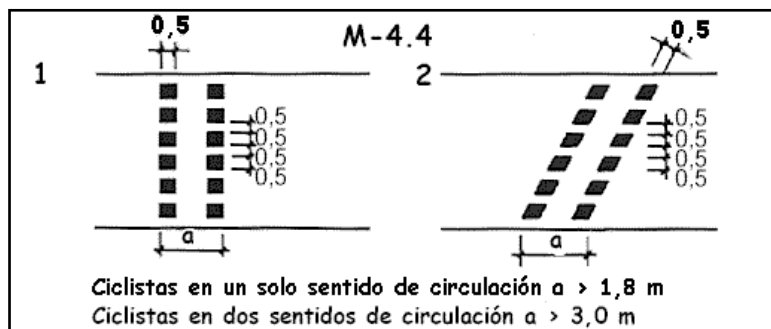


Figura 47: Marca vial M-4.4. Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1987.

El resto de marcas viales que aparecen en cualquier vía ciclista en España, están recogidas en el *Reglamento General de Circulación*, pero no se describen sus características dimensionales. A la hora de usar dichas marcas en la construcción de una vía ciclista, se usan las dimensiones que recomiendan en el *Manual de recomendaciones de diseño, construcción, infraestructura, señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento del carril bici*, editado por el Ministerio del Interior (Dirección General de Tráfico). En dicho manual se recogen las siguientes marcas viales:

- Marcas de los carriles bici en los accesos muy concurridos: 0,25 m de anchura por 0,25 m de longitud con 0,25 m de espacio intermedio.
- Carril bici: límite de carril bici con 0,25 m de anchura (línea continua).

- Intersecciones: 0,25 m de anchura por 0,5 m de longitud con 0,5 m de espacio intermedio (líneas discontinuas).
- Separación peatonal con carriles bici: línea de separación de 0,08 m de anchura cuando sea necesario.
- Zona de detención para ciclistas que giran a la izquierda: se usará la siguiente figura:

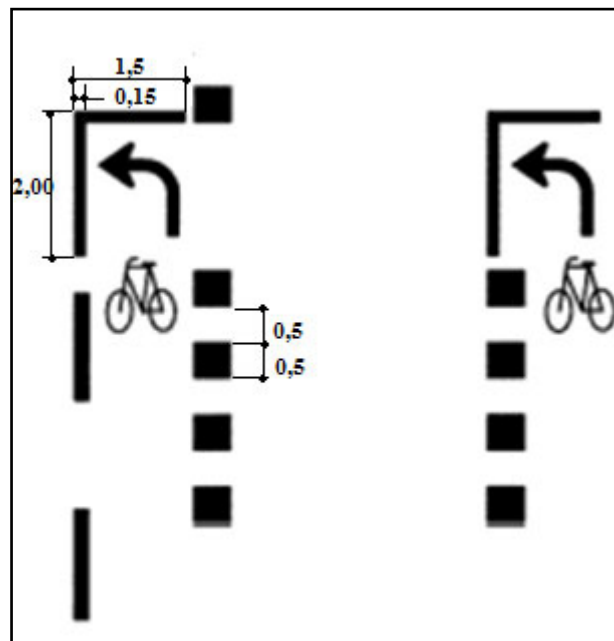


Figura 48: Marca de zona de detención para ciclistas que giran a la izquierda. Fuente: Ministerio de Interior, 2001.

- Flechas de dirección: las flechas de dirección situadas usualmente en el carril bici, tendrán una longitud de 3 m. En carriles bici con circulación admisible en ambos sentidos, se recomienda marcar las flechas con una longitud de 1,5 m.
- Pictograma de vía ciclista: van marcados sobre la superficie de la vía ciclista identificando la modalidad de la misma.



Figura 49: Pictograma de Vía Ciclista. Fuente: Ministerio de Interior, 2001.

## 1.5. Normativa

Todas las particularidades que afectan a la circulación de bicicletas en España, están recogidas en la Ley de Seguridad Vial y el Reglamento General de Circulación. Posteriormente se han ido añadiendo regulaciones legales que son modificaciones de los mismos. En los siguientes epígrafes se estudian ambos textos además de sus modificaciones. También se analiza la regulación legal que existe a nivel autonómico (Andalucía) y local (Málaga) en materia de movilidad ciclista. Finalmente se incluye un epígrafe con algunas consideraciones a destacar sobre regulación de la movilidad ciclista en otros países europeos.

### 1.5.1. La Ley de Seguridad Vial

En términos jurídicos, la Ley de Seguridad Vial se denomina *Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial*, y fue aprobada en Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo. Esta ley afecta directamente a la movilidad ciclista ya que regula entre otros aspectos los siguientes:

- Las normas de circulación para los vehículos.
- Los elementos de seguridad activa y pasiva y su régimen de utilización, así como las condiciones técnicas de los vehículos.
- Los criterios de señalización de las vías de utilización general.
- Las infracciones derivadas del incumplimiento de las normas establecidas y las sanciones aplicables a las mismas, así como las peculiaridades del procedimiento sancionador en este ámbito.

### 1.5.2. La Ley 43 de 1999

Se denomina Ley 43/1999, de 25 de noviembre, sobre adaptación de las normas de circulación a la práctica del ciclismo. Es una de las múltiples modificaciones de la Ley de Seguridad Vial. Dichas modificaciones se recogen en dicho texto y destacan las siguientes:

- La utilización de los arcenes por los ciclistas y la circulación de éstos en determinados supuestos, como carriles-bici, vías de uso preferente para ciclistas, etc.
- La extensión a las autovías de la prohibición, actualmente vigente en las autopistas, de que los ciclistas las utilicen, salvo las excepciones previstas reglamentariamente.
- La obligación impuesta a los conductores de vehículos a motor de extremar las precauciones, moderar la velocidad y, en ciertos supuestos, de ceder la preferencia de paso, cuando se aproximen a los lugares o vías por donde se encuentran o circulen ciclistas o realicen maniobras, por ejemplo, de cambio de dirección, que puedan afectar a aquéllos.
- La imposición a los ciclistas de ciertas obligaciones para reforzar su visibilidad (porte de elementos o prendas reflectantes) o incrementar su seguridad (uso del casco por vías interurbanas).
- El reforzamiento respecto a los ciclistas de la prohibición de circular con tasas superiores a las reglamentariamente establecidas de bebidas alcohólicas, estupefacientes, psicotrópicos, estimulantes u otras sustancias análogas.

### 1.5.3. La Ley 19 de 2001

Se denomina Ley 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial. Como su nombre indica, es otra modificación de la Ley de Seguridad Vial.

Esta modificación es importante porque añade al anexo de la ley original los conceptos de “vía ciclista”, “carril bici”, “carril-bici protegido”, “acera-bici”, “pista-bici” y “senda ciclable”.

Por otro lado, se hace mención a otros aspectos relacionados con la movilidad ciclista, que aunque están más relacionados con los entornos interurbanos, también son de interés. Estos aspectos se resumen a continuación:

- Circulación de las bicicletas en la calzada: se admite la posibilidad de que los conductores de bicicletas puedan circular por la parte imprescindible de la calzada, en el caso de que el arcén no fuera transitable y suficiente.
- Utilización de las bicicletas del arcén en las autovías: posibilita que los conductores de bicicletas puedan circular por los arcones de las autovías, salvo que, por razones de seguridad vial, se prohíba mediante señalización específica.
- Circulación en grupo, distancias de seguridad y adelantamientos: se incluye un supuesto de que las bicicletas pueden circular en grupo, en una unidad, de modo que las distancias a guardar entre ellas se regirán únicamente por el criterio de la prudencia necesaria para evitar alcances entre ellos.
- Alumbrado y prendas reflectantes: incluye la obligatoriedad de elementos reflectantes debidamente homologados en las bicicletas en vía interurbana.

#### 1.5.4. Ley 6/2014

Es otra modificación del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, aprobada por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

En esta nueva revisión, se incluyen varios aspectos que afectan directamente a la movilidad ciclista. Destacan los siguientes:

- Respecto a la inmovilización de vehículos, las bicicletas solo podrán ser retiradas y llevadas al correspondiente depósito si están abandonadas o si, estando amarradas, dificultan la circulación de vehículos o personas o dañan el mobiliario urbano.
- Respecto a los ciclistas, los ocupantes de bicicletas y ciclos en general estarán obligados a utilizar el casco de protección en las vías urbanas, interurbanas y travesías, en los supuestos y con las condiciones que reglamentariamente se

determinen, siendo obligatorio su uso por los menores de dieciséis años, y también por quienes circulen en vías interurbanas.

- Queda expresamente prohibido adelantar poniendo en peligro o entorpeciendo a ciclistas que circulen en sentido contrario, incluso si esos ciclistas circulan por el arcén.

### **1.5.5. Reglamento General de Circulación**

Este reglamento se aprobó mediante el Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial. En el mismo también se recogen aspectos que afectan a la circulación de bicicletas y ciclistas (en mucho de los casos enfocados a vías interurbanas). A continuación se analizan los aspectos más importantes:

- Ciclistas y prioridad respecto a vehículos a motor: Los ciclistas tendrán prioridad de paso respecto a los vehículos a motor cuando éstos giren a la derecha o la izquierda para entrar en otra vía, y cuando circulando los ciclistas en grupo, el primero de ellos haya iniciado ya un cruce o entrado en una glorieta.
- Tasa de alcoholemia para ciclistas: se regula una tasa máxima de alcoholemia de los conductores en general (0,5 gramos por litro de sangre) que también incluye expresamente a los ciclistas.
- Descensos pronunciados y seguimiento: los ciclistas podrán abandonar el arcén circulando por la parte de la calzada que necesiten, siempre por la derecha.
- Circular en grupo, pero no en pelotón: se permite a los conductores de bicicleta circular sin mantener la separación entre ellos. Podrán circular en columna de a dos como máximo, siempre lo más a la derecha posible de la vía y colocándose de uno en uno en tramos de poca visibilidad.
- Reflectantes obligatorios: cuando sea obligatorio el uso del alumbrado, si circulan por vía interurbana, los conductores de bicicleta llevarán colocada una prenda reflectante.

- En bicicleta, todos con casco: los conductores y ocupantes de bicicleta deberán utilizar cascos de protección homologados o certificados cuando circulen en vías interurbanas.
- Los menores en vehículos de dos ruedas: las bicicletas podrán transportar un menor de hasta siete años en asiento adicional homologado, siempre con casco.
- Resaltos: se garantiza que los pasos para peatones elevados y bandas transversales no atenten contra la seguridad de los ciclistas, de modo que el Ministerio de Fomento deberá elaborar una regulación básica que cuide de este detalle.
- Apertura de puertas: se incide en que quien abra las puertas de un vehículo debe especialmente no poner en peligro o entorpecer a los ciclistas.

#### **1.5.6. Decreto 293 de 2009 de accesibilidad**

Se denomina Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas para la accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía.

Este reglamento que aprueba el decreto anterior no trata temas exclusivos sobre movilidad ciclista, aunque si se tiene en cuenta en algunos de sus artículos. Concretamente en el artículo 18, denominado “Carriles reservados al tránsito de bicicletas”, se regulan las condiciones que deben de cumplir en materia de accesibilidad aquellas vías ciclistas que estén situadas en los itinerarios peatonales. Estas condiciones extraídas del reglamento se presentan a continuación:

a) Su pavimento se diferenciará, de forma significativa, en textura y color respecto del pavimento de los itinerarios peatonales.

b) Dispondrán de pasos peatonales coincidentes con los pasos peatonales de viales o calzadas y lo más cerca posible a las paradas de autobuses. Su trazado, siempre que sea posible, será perpendicular respecto de la acera o itinerario peatonal y estarán señalizados mediante las franjas señalizadoras previstas en el artículo 17.f).

c) Cuando se dispongan carriles reservados al tránsito de bicicletas contiguos o paralelos a los itinerarios peatonales, su trazado discurrirá junto o próximo al bordillo de las calzadas o viales, y el de los itinerarios peatonales próximo o junto a las alineaciones de fachadas o frentes de parcelas.

d) Los pasos exclusivos para viandantes y sus correspondientes vados en cruce de calzadas no podrá ser compartidos con el paso de bicicletas. No obstante, se permitirá que los establecidos para estas últimas discurran contiguos a los primeros siempre que no alteren los requisitos fijados para los mismos.

### **1.5.7. Ordenanza de Movilidad de la Ciudad de Málaga**

Esta Ordenanza se publicó en el Boletín Oficial de la Provincia el 13 de Enero de que 2014 (entrando en vigor al día siguiente). Su publicación hizo que quedara derogada la Ordenanza de Movilidad, aprobada por el Excmo. Ayuntamiento en 2009. También quedó derogada la Ordenanza sobre la Movilidad en Bicicleta de la Ciudad de Málaga, aprobada por el Excmo. Ayuntamiento en 2011.

En cuanto a la movilidad ciclista, el Título III de esta Ordenanza está plenamente dedicado a la circulación en bicicleta a través de los siguientes artículos:

- Artículo 23: Zonas de circulación.
- Artículo 24: Condiciones de circulación.
- Artículo 25: Prioridad de paso.
- Artículo 26: Circulación por otros tipos de carriles reservados.
- Artículo 27: Circulación en zonas treinta, zonas residenciales y zonas peatonales.
- Artículo 28: Circulación en zonas cercanas a edificios.
- Artículo 29: Infraestructuras ciclistas y señalización.
- Artículo 30: Comportamientos prohibidos.
- Artículo 31: Condiciones de las bicicletas y visibilidad.
- Artículo 32: Ocupación.
- Artículo 33: Aparcamientos de bicicletas.

- Artículo 34: Retirada e inmovilización.
- Artículo 35: Del registro voluntario de bicicletas.

### **1.5.8. Regulación de la movilidad ciclista en países europeos**

En la Convención de Viena, en 1968, se establecieron las normas básicas para la seguridad ciclista. Los países europeos han adaptado su regulación legal en base a dichas normas aunque cada uno las complementa de distinta forma.

Algunos países como Alemania y Holanda, tienen normas complementarias relativas al equipamiento obligatorio para garantizar la visibilidad de los ciclistas. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Dispositivo blanco reflectante en la parte delantera.
- Dispositivos naranja reflectantes en la parte delantera y trasera del pedal.
- Dispositivos reflectantes naranjas en las ruedas.
- Dispositivo reflectante adicional rojo en la parte trasera de la bicicleta.

Por otro lado, también en Holanda, los dispositivos de asientos para niños están bastante estandarizados, incluyendo requisitos y recomendaciones relativas a la fijación del asiento, las dimensiones o la protección de los pies contra los radios de la bicicleta.

Respecto al uso del casco, se ha convertido en obligatorio en algunos países en los últimos años. En Malta, los cascos de bicicleta se convirtieron en obligatorios para todos los ciclistas en abril de 2004. En Suecia, para los niños de hasta 15 años de edad, el 1 de enero de 2005. El mismo grupo de ciclistas tiene que usar cascos en Eslovenia y la República Checa. En España, los ciclistas tienen que usar el casco fuera de las zonas urbanas, excepto cuando suben pendientes considerables. En otros países de referencia como Holanda, Alemania o Dinamarca, el casco no es obligatorio.

Por otro lado, Alemania ha añadido recientemente nuevos elementos a su código de tráfico para ciclistas. Desde entonces, a los ciclistas se les permite viajar en contra flujo en calles de sentido único seleccionadas, y en las denominadas calles “bicicleta ciclistas”, podrán hacer uso de toda la calle mientras que los coches tienen que

permanecer detrás de los ciclistas. Al igual que en algunos países escandinavos, el uso de las “pistas ciclistas” en Alemania es obligatorio únicamente si cumplen con las normas de mínimas de calidad, de lo contrario, los ciclistas pueden optar por no utilizarlas.

Finalmente, en cuanto a la edad, algunas legislaciones nacionales establecen que los ciclistas sólo pueden viajar en carretera después de cierta edad. En Suiza, un ciclista debe tener la edad legal para ir a la escuela antes de que pueda montar en bicicleta por carretera. En Dinamarca, a los niños menores de 6 años no se les permite ir en bicicleta a menos que estén acompañados por una persona que tenga 15 años o más. En Alemania, los niños deben tener al menos 8 años de edad, con las mismas disposiciones que en Dinamarca. En Polonia, los niños mayores de 10 años deben haber pasado una prueba de que les permita montar en bicicleta en carretera.

## **1.6. La bicicleta y la intermodalidad**

La intermodalidad se define como la posibilidad de desplazarse utilizando distintos modos de transporte. Para potenciar el uso de la bicicleta en una ciudad es muy importante que la intermodalidad entre la misma y el transporte público colectivo se pueda realizar sin dificultad.

Según el *Plan director de Movilidad Ciclista de Madrid* del año 2008, hay dos formas básicas de combinar la bicicleta y el transporte público:

- El desplazamiento desde el origen del viaje en bicicleta hasta la estación del tren, metro o autobús donde se aparca la bicicleta y se utiliza el transporte colectivo.
- En transporte de la bicicleta en los vagones del metro o tren (y con menor frecuencia en el autobús) para continuar el viaje en bicicleta hasta el destino.

En ambos casos, se requieren unas infraestructuras adaptadas para que los usuarios de la bicicleta puedan desplazarse sin inconvenientes. En el siguiente epígrafe

se recogen los distintos tipos de intermodalidad ciclista en una ciudad y las medidas necesarias para su potenciación.

### 1.6.1. Tipos de intermodalidad con la bicicleta

- Intermodalidad bicicleta-metro (o tren): este tipo de intermodalidad es uno de los más interesantes en las grandes ciudades, ya que por un lado la bicicleta es un medio de transporte altamente sostenible y por otro, el metro es el transporte colectivo con menos impacto ambiental al ir soterrado.

Para poder llevar a cabo este tipo de intermodalidad, es necesario acondicionar los vagones con dispositivos portabicicletas como se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 50: Vagones adaptados para bicicletas. Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

Además de los trenes, también son necesarias unas infraestructuras adaptadas para que permitan una movilidad sin obstáculos en las propias instalaciones de las estaciones y en los accesos a las mismas.



Figura 51: Rampas para el acceso a una estación de metro. Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

También es muy importante la existencia de aparcamientos para bicicletas en las propias estaciones y disponer de acceso a sistemas de bicicleta pública.

- Intermodalidad bicicleta-autobús: para realizar la transferencia entre estos dos modos también es necesario que los autobuses dispongan de dispositivos para fijar las bicicletas. Para estos casos existen diversas soluciones:
  - a) Ubicar la bicicleta en el interior del autobús en un espacio reservado para ello. Esta opción tiene el inconveniente de que resta plazas de viajeros a los propios autobuses.
  - b) Ubicar la bicicleta en la bodega de autobús. Hay autobuses urbanos preparados con dispositivos deslizantes para que los usuarios coloquen las bicicletas en unos cajones horizontales.



Figura 52: Transporte de bicicletas en la bodega de autobuses de EEUU. Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2008.

- c) Ubicar la bicicleta en la parte delantera del autobús en unos dispositivos plegables para tal efecto.



Figura 53: Dispositivos portabicicletas en autobuses de EEUU. Fuente:  
<http://metro.kingcounty.gov/tops/bike/bikeride.html>

Similarmente al caso anterior, la adaptación de las infraestructuras en las estaciones (accesos, conexiones con vías ciclistas, etc...) así como la existencia de aparcamientos para bicicletas son fundamentales.

A continuación se muestran una serie de medidas que potencian la intermodalidad de la bicicleta con el transporte público colectivo (Ayuntamiento de Málaga, 2008):

- i. Indicar en la información de los recorridos del transporte público las paradas con aparcamientos de bicicletas y enlaces con vías ciclistas.
  - ii. Permitir con la tarjeta de transporte público el pago en los sistemas de alquileres de bicicletas. Este servicio puede ser gratuito si el transbordo se realiza el mismo día.
  - iii. Permitir con la tarjeta de transporte público el pago en los aparcamientos públicos de bicicletas tipo consigna. Este servicio también puede ser gratuito si las condiciones son similares a las del punto anterior.
  - iv. Potenciar el uso de las bicicletas plegables ya que éstas no suponen inconvenientes para su desplazamiento en los transportes públicos.
- Intermodalidad bicicleta-vehículo privado: este tipo de intermodalidad no es el más favorecedor desde el punto de vista de la movilidad urbana sostenible, siempre y cuando dicho vehículo circule dentro de la ciudad (excepto si se trata de un vehículo eléctrico o híbrido). Para ello es necesaria la disponibilidad de los denominados aparcamientos disuasorios, que son aparcamientos ubicados en

el extrarradio para evitar que los coches penetren en las ciudades. Estos aparcamientos deben de estar conexiados con vías ciclistas próximas. Otra medida para evitar el continuo desplazamiento de bicicletas en los vehículos es disponer de aparcamientos para las mismas tipo consigna, donde pueden permanecer aparcadas durante la noche.

### **1.6.2. Normativa de los transportes públicos sobre el uso de la bicicleta en la ciudad de Málaga**

Cada compañía de transporte público dispone de una normativa interna que regula el transporte de bicicletas en sus vehículos. A continuación se resume dicha regulación para cada uno de los operadores de transportes urbanos en la ciudad de Málaga:

A) Trenes de cercanías: La empresa RENFE que es quien suministra el servicio de trenes de cercanías en las ciudades, dispone de una serie de condiciones para regular el transporte de bicicletas en ámbito urbano e interurbano. Para el caso de Málaga, se podrán transportar bicicletas en los trenes de cercanías bajo las siguientes condiciones específicas:

- Sólo se admitirá una bicicleta por viajero.
- El viajero portador de la bicicleta deberá estar en posesión de un título de transporte válido y no abonará cantidad alguna por este servicio.
- Si la ocupación del tren fuera elevada y el viajero portador de bicicleta no pudiera realizar su viaje o pudiera ocasionar molestias, podrá optar por otro tren o por la devolución del importe total de su billete.
- Las bicicletas serán transportadas en los espacios destinados para ello. En el caso de no existir señalización, los espacios destinados para el transporte y acondicionamiento serán los espacios de acceso de los trenes autorizados, sin invadir, en cualquier caso, los pasillos y las zonas de asientos no abatibles.

- La carga, custodia y descarga de las bicicletas será efectuada por sus propietarios.
- Renfe no se hace responsable de los posibles desperfectos o pérdidas que puedan sufrir las mismas durante el trayecto.
- El máximo de bicicletas por plataforma de acceso, lo determinará la disponibilidad de espacio en cada momento, prevaleciendo siempre el criterio de Atención al Cliente.

B) Empresa Municipal de Transportes de Málaga (EMT): La Empresa Municipal de Transportes de Málaga, no regula específicamente el transporte de bicicletas en los autobuses. Sin embargo, transportar bicicletas distintas a las plegables en estos autobuses es complicado, ya que en dicho *Reglamento para la Prestación del Servicio Público de Transporte Urbano Colectivo de Viajeros*, sí se recoge la regulación del transporte de bultos en el artículo 72.a, indicando lo siguiente:

“No se permitirá a los usuarios subir al vehículo portando bultos que no puedan ser llevados por quienes los trasladen, molesten a los viajeros u ocupen el espacio destinado al tránsito. Únicamente podrán transportarse materiales de unas dimensiones aproximadas de 1,5 m de altura, 0,60 m de base y 0,30 m de anchura. Los cochecitos para niños deben de estar plegados” (Ayuntamiento de Málaga, 1990).

C) Autobuses interurbanos: Normalmente en cada ciudad existen diversas compañías de autobuses interurbanos que transportan viajeros desde y hasta la ciudad.

En Málaga, cada una de estas compañías poseen su normativa y formas de funcionamiento (Ayuntamiento de Málaga, 2008). Dicha regulación se recoge en la siguiente tabla:

Compañía	Acepta bici	Condiciones del transporte de bicicletas		Ofrece información	Observaciones
		Embalaje	Coste adicional		
Casado, S.A.	SÍ	Sin especificar	NO		
Alsina Graells	SÍ (prioridad del equipaje)	Si (ver observaciones)	NO	Cartel informativo en ventanilla	Embalaje; quitar rueda delantera
CTSA Portillo	SÍ	No necesario	NO		
Sierra Nieves	SI (si hay espacio)	No necesario	NO		
Eurolines	NO				Se admite bici como equipaje: desmontada
Los Amarillos	NO				
Atlassib Spania, SL	SÍ	Debe ir embalada	NO		
Alsa	SÍ	Debe ir embalada	SÍ (6€)		

Tabla 14: Transporte de bicicletas en autobuses interurbanos de Málaga. Fuente: Ayuntamiento de Málaga, 2008.

D) El metro: en el anexo 1 del Reglamento del Viajero, se define el acceso con las bicicletas a la red de metro en la ciudad de Málaga, donde se especifica lo siguiente:

- Se permite el acceso con bicicletas a todas las estaciones y paradas en superficie de la red de Metro de Málaga.

Para la correcta utilización de las instalaciones y evitar molestias al resto de personas usuarias se deberán tener en consideración las siguientes condiciones de utilización:

- Sólo se permitirá una bicicleta por persona usuaria.
- Podrá impedirse el acceso con bicicleta cuando se produzcan circunstancias que así lo aconsejen, tales como aglomeraciones, averías y otras incidencias, que dificulten el tránsito y la movilidad de personas usuarias dentro de las instalaciones.
- Los trayectos en tren se realizarán en el interior de los coches o módulos que expresamente estén señalizados para ello, permitiéndose únicamente dos bicicletas por coche o módulo. El personal de Metro Málaga será el encargado de regularlo mediante los controles que se realizarán.

- No se permite circular en bicicleta por las instalaciones de Metro de Málaga (pasillos, andenes, etc.).
- Se permite el transporte de bicicletas en las escaleras mecánicas y ascensores, siempre que el grado de ocupación de dichas instalaciones lo permita y sin ocasionar molestias a otras personas usuarias. En el caso del uso del ascensor, las personas con movilidad reducida y los carritos de niños, siempre tendrán preferencia.
- El viajero portador de bicicleta será responsable de la custodia y cuidado de la misma, evitando en sus desplazamientos cualquier molestia al resto de personas usuarias. Metro Málaga no se hace responsable de los desperfectos o pérdidas que puedan sufrir las bicicletas y declina toda responsabilidad por los perjuicios que el transporte de la bicicleta pueda ocasionar a terceros.
- Esta normativa podrá ser modificada si así resulta conveniente para una mejor prestación del servicio público atendido por Metro Málaga.
- El acceso de las bicicletas a los andenes, se realizará por los pasos para personas de movilidad reducida.
- Las bicicletas que vayan plegadas, así como las bicicletas infantiles, tendrán la consideración de bultos de mano.

## 1.7. Conclusiones

Como se corrobora en el presente capítulo, en los últimos años se está fomentando la sostenibilidad a todos los niveles, desde un ámbito internacional hasta el ámbito local. Para conseguir los objetivos marcados, las instituciones han desarrollado distintos acuerdos, estrategias, programas o planes.

La Movilidad Sostenible juega un papel muy importante en esta mejora de la sostenibilidad, siendo la movilidad ciclista una de sus áreas fundamentales. Utilizar la bicicleta como medio de transporte supone una amplia serie de ventajas que aquí se enumeran, destacando los beneficios para la salud de los ciclistas, la nula generación de emisiones contaminantes, el bajo nivel de ruido, el bajo consumo de energía, la baja

ocupación de espacio o la rapidez en los desplazamientos cortos. Todas estas ventajas quedan ensombrecidas con unos inconvenientes que hacen de barrera en el uso de la bicicleta, como puede ser la falta de infraestructuras, el esfuerzo físico requerido y sobre todo la más importante, la peligrosidad o riesgo al que los ciclistas se ven sometidos.

A nivel de infraestructuras, resulta básico el diseño de vías ciclistas de acuerdo a las recomendaciones que se enumeran en este capítulo, así como el empleo de los materiales adecuados siempre respetando las dimensiones y secciones transversales indicadas. Un aspecto clave que será analizado en los posteriores epígrafes de la presente tesis, es el diseño de las intersecciones y rotondas de tal forma que se minimicen los riesgos para los usuarios de las bicicletas, que siempre van a estar en desventaja frente a los vehículos a motor. Estos diseños de infraestructuras ciclistas que aumenten la seguridad son fundamentales, ya que la peligrosidad o riesgo percibido es la principal barrera del empleo de la bicicleta.

Por último, cabe reseñar que un papel fundamental es el que juegan las administraciones públicas mediante el desarrollo de la regulación legal, que cada vez se hace más necesario, y más aún si lo que se pretende es fomentar la movilidad ciclista segura. Las autoridades locales son la clave para que la bicicleta se tenga en cuenta en la planificación de la movilidad en la ciudad y para que su uso quede regulado. En España, son cada vez más las ciudades y pueblos que disponen de una ordenanza de movilidad incluyendo a los ciclistas. Como se explica con anterioridad, en el caso de Málaga, esto ha quedado refrendado en la reciente Ordenanza de Movilidad que ha sustituido a dos anteriores, una de movilidad en general y otra particular para ciclistas. Por otro lado, las empresas locales relacionadas con el transporte, ya sean públicas o privadas, deben adecuar sus normativas, para poder facilitar el uso de la bicicleta. En el caso concreto de Málaga, la Empresa Municipal de Transporte (EMT), no permite el transporte de bicicletas, al contrario de la mayoría de las empresas de autobuses de servicio discrecional. El metro en la ciudad sí permite el transporte, pero con ciertas restricciones (por ejemplo, dos bicicletas máximo por coche señalizado), lo que resultaría insuficiente en el caso de que el uso de la bicicleta estuviera en niveles de otras ciudades europeas.

# CAPÍTULO 2: ESTADÍSTICAS DE ACCIDENTABILIDAD EN LA MOVILIDAD CICLISTA



## **CAPÍTULO 2: ESTADÍSTICAS DE ACCIDENTABILIDAD EN LA MOVILIDAD CICLISTA**

- 2.1. Introducción
- 2.2. Accidentabilidad ciclista en España
  - 2.2.1. Motivos de desplazamientos ciclistas
  - 2.2.2. Análisis del número de accidentes ciclistas
  - 2.2.3. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas
  - 2.2.4. Análisis de las infracciones en los accidentes ciclistas
- 2.3. Accidentabilidad ciclista en Dinamarca
  - 2.3.1. Análisis del número de accidentes ciclistas
  - 2.3.2. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas
- 2.4. Accidentabilidad ciclista en Alemania. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas
- 2.5. Accidentabilidad ciclista en Holanda
  - 2.5.1. Análisis del número de accidentes ciclistas
  - 2.5.2. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas
- 2.6. Análisis comparativo entre los países estudiados
- 2.7. Encuesta a usuarios de la bicicleta en la ciudad de Málaga
- 2.8. Conclusiones



## 2.1. Introducción

Como se puede apreciar en epígrafes previos, en relación con los inconvenientes del uso de la bicicleta, uno de los más importantes es la inseguridad que manifiestan los usuarios de la misma.

En los siguientes apartados, se analizarán las estadísticas de accidentabilidad en relación con la movilidad ciclista. Estas estadísticas se centran en España<sup>1</sup> (Gutierrez *et al.*, 2012), país origen del presente trabajo de investigación, pero también se analizará este tipo de accidentabilidad en Holanda, Dinamarca y Alemania, ya que como se aprecia en la siguiente figura, son los países europeos donde más desarrollada está la movilidad ciclista, y por lo tanto, la información obtenida de los mismos se presupone de una gran importancia.

	Bicicletas por cada 1000 habitantes	Ciclistas habituales (al menos 1-2 veces/semana)	Kilómetros por habitante y año
<b>Bélgica</b>	495	28,90%	327
<b>Dinamarca</b>	980	50,10%	958
<b>Alemania</b>	900	33,20%	300
<b>Grecia</b>	200	7,50%	91
<b>España</b>	231	4,40%	24
<b>Francia</b>	367	8,10%	87
<b>Irlanda</b>	250	17,20%	228
<b>Italia</b>	440	13,90%	158
<b>Luxemburgo</b>	430	4,10%	40
<b>Países Bajos</b>	727	65,80%	1019
<b>Austria</b>	381	-	154
<b>Portugal</b>	253	2,60%	35
<b>Finlandia</b>	596	-	282
<b>Suecia</b>	463	-	300
<b>Reino Unido</b>	294	13,60%	81

Tabla 15: Indicadores de movilidad ciclista por países europeos. Fuente: UITP. Citado en Dekoster y Schollaert, 2000.

<sup>1</sup> Parte de la información que aparece en el presente capítulo ha sido publicada a través de un artículo de investigación (Gutierrez *et al.*, 2012) por la revista española especializada en Seguridad Vial, denominada *Securitas Vialis*, así como por la plataforma europea para investigadores *SpringerLink* (ver anexo 3).

En la tabla anterior se recogen 3 indicadores muy importantes en relación con el uso de la bicicleta, que son “Bicicletas por cada 1000 habitantes”, el “Porcentaje de ciclistas habituales” y los “Kilómetros recorridos por habitante y año”. Como se puede apreciar en los tres indicadores, Holanda (Países Bajos), Dinamarca y Alemania siempre ocupan las 3 primeras posiciones, excepto en el último indicador, que Alemania ocupa la cuarta plaza siendo desplazado por Bélgica.

Otro indicador relacionado con la movilidad ciclista es el porcentaje de personas que usan la bicicleta diariamente. Esta información aparece en un informe del Ministerio de Transportes Holandés (Ministerie Van Verkeer en Waterstaat) que usa como fuente datos de la Comisión Europea. En este caso, Holanda, Dinamarca y Alemania, ocupan también las tres primeras posiciones con porcentajes de uso diario de la bicicleta del 27%, 19% y 10% de la población respectivamente.

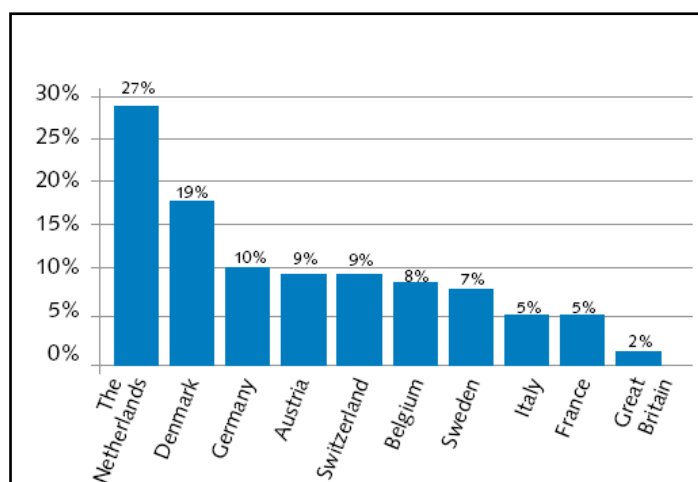


Figura 54: Porcentaje de la población que usa la bicicleta diariamente por países europeos. Fuente: Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009.

En cuanto a los datos de accidentabilidad ciclista que se mostrarán en los siguientes epígrafes, las fuentes de los mismos para realizar este estudio han sido las siguientes:

- España: Dirección General de Tráfico (DGT).
- Dinamarca: Banco Oficial de Estadística de Dinamarca (Statistikbanken).
- Holanda: Instituto Nacional de Investigación en Seguridad Vial (SWOV).
- Alemania: Oficina Federal de Estadística (Statistisches Bundesamt).

Finalmente, tener en cuenta que en los datos de accidentes relacionados con la movilidad ciclista, hay 3 tipos de usuarios de la bicicleta incluidos o 3 colectivos distintos (Federación de ciclismo de la Comunidad Valenciana, 2003):

a) Ciclismo deportivo:

- Se desarrolla fundamentalmente en carretera.
- Circula a velocidad superior a 30 km/h.
- Circula a menudo formando grupos o pelotones.
- Es más frecuente en fines de semana, festivos y en verano.
- Se desarrolla fundamentalmente a plena luz del día.
- Su objetivo es la realización de una ruta de entre 50 y 200 kilómetros como deporte.

b) Ciclismo recreativo:

- Se desarrolla fundamentalmente en espacio urbano, a menudo fuera de las vías de circulación.
- Circula a velocidad muy baja y muchas veces el ciclista es un niño.
- Es más frecuente en fines de semana, festivos y en verano.
- Se desarrolla fundamentalmente a plena luz del día.
- Su objetivo es la realización de un breve paseo simplemente por ocio.

c) Ciclismo como medio de transporte:

- Se desarrolla fundamentalmente en espacio urbano, integrados con el tráfico o en carril bici.
- Circula a velocidad media (unos 20 km/h).
- Es más frecuente en días laborables, pero constante a lo largo del año.
- Su objetivo es la realización de un desplazamiento similar al de otro vehículo.
- Se desarrolla a veces durante la noche.

## 2.2. Accidentabilidad ciclista en España

### 2.2.1. Motivos de desplazamientos ciclistas

Antes de mostrar los datos de accidentabilidad ciclista en España, es interesante conocer el motivo de desplazamiento de los usuarios en bicicleta. Según la Federación de ciclismo de la Comunidad Valenciana, en un informe realizado en el año 2003, la mayoría de los españoles usan la bicicleta por motivos deportivos (ocio), tanto en zona urbana (dentro de la ciudad) como en zona interurbana o carreteras (fuera de la ciudad). Los porcentajes concretos con datos de 1996 a 2001 se pueden apreciar en las siguientes figuras:

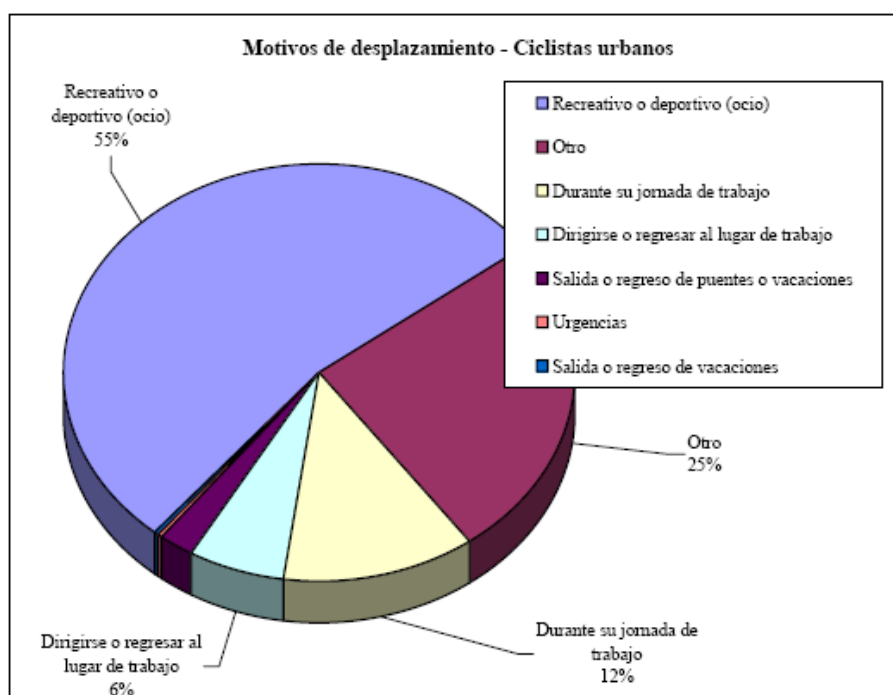


Figura 55: Motivos del desplazamiento en bicicleta en zona urbana en España. Fuente: Federación de ciclismo de la Comunidad Valenciana, 2003.

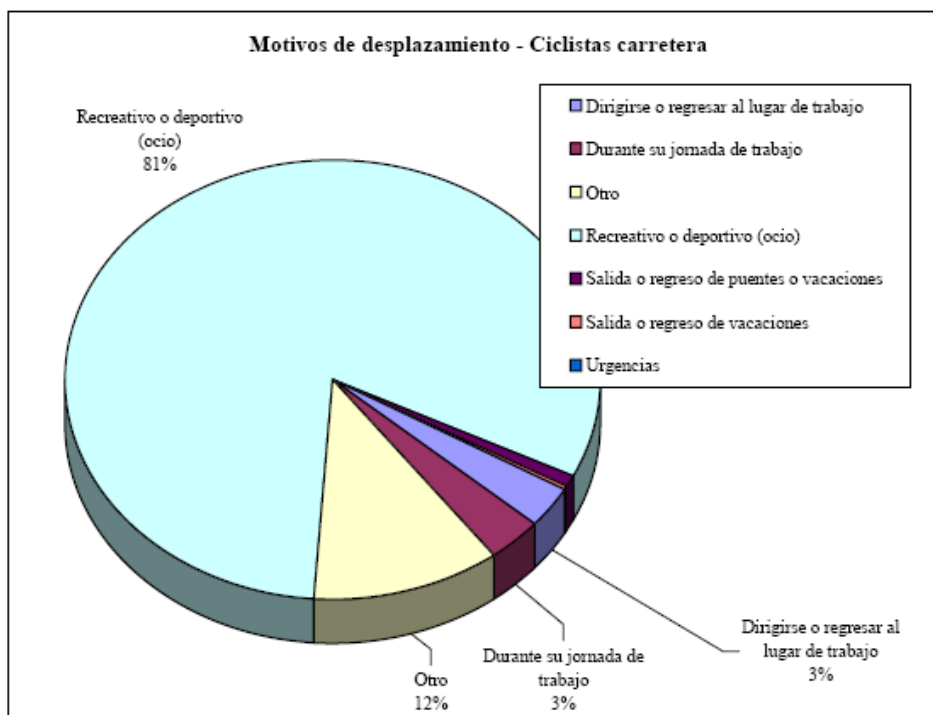


Figura 56: Motivos del desplazamiento en bicicleta en zona interurbana en España. Fuente: Federación de ciclismo de la Comunidad Valenciana, 2003.

De las figuras anteriores llama la atención como en zona interurbana, los desplazamientos por motivos deportivos (81%) son muchos más elevados que en zonas urbanas (55%). Este dato parece lógico, ya que resulta menos atractivo el hacer deporte en bicicleta dentro de la ciudad que fuera de ella.

### 2.2.2. Análisis del número de accidentes ciclistas

Pasando a datos propios de accidentabilidad, el número de accidentes con bicicletas implicadas y con víctimas (mortales o heridos) en España en los últimos años, se ha ido mantenido en unos valores estables durante los primeros años de la década de 2000, siguiendo los siguientes años con una tendencia ascendente bastante clara:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Zona Urbana	1283	1374	1392	1466	1642	1597	1583	1711	2053	2387	2501	3170	3726	4270
Zona Interurbana	800	819	859	800	843	741	937	990	918	1082	1105	1356	1424	1565
Total	2083	2193	2251	2266	2485	2338	2520	2701	2971	3469	3606	4526	5150	5835

Tabla 16: Número de accidentes con víctimas en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

La evolución de estos datos se puede ver en la siguiente gráfica:

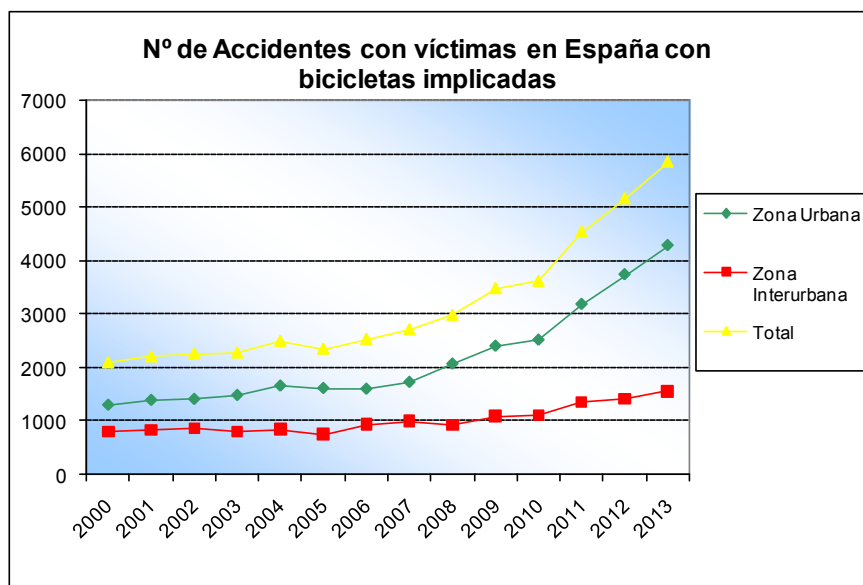


Figura 57: Evolución del nº de accidentes ciclistas con víctimas en España por zona. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Como se aprecia en la gráfica anterior, el número de accidentes con bicicletas implicadas, es mucho más importante en zona urbana, donde se centra la actual tesis doctoral, que en zona interurbana. Si se suma el número de accidentes desde el año 2000 al 2013, el 67,9% de los mismo corresponden a accidentes en zona urbana y el 32,1% a zona interurbana, por lo que el primer escenario casi dobla al segundo. Estos datos se ven en el siguiente diagrama de sectores:

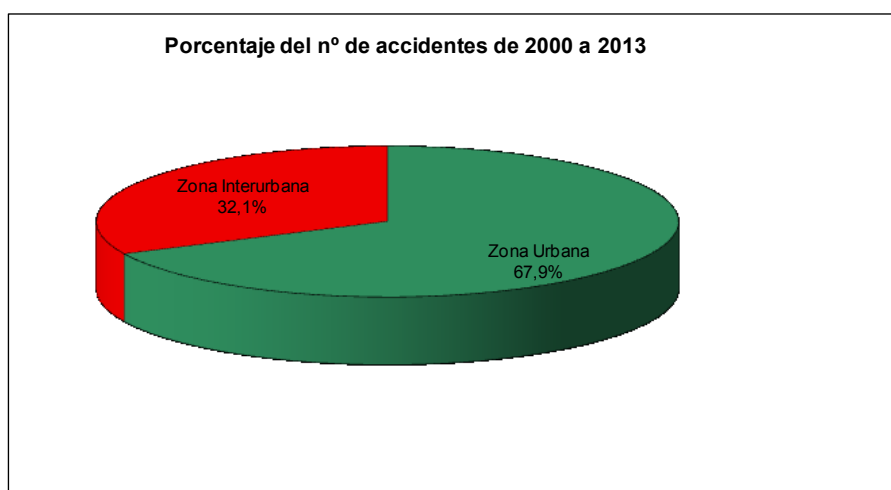


Figura 58: Distribución de los accidentes ciclistas en España por zona. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Si lo que se analizan son los datos de accidentabilidad ciclista por provincia, sin distinguir si se han producido en zona urbana o interurbana, se obtiene una tabla como la siguiente:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
BARCELONA	323	407	397	394	448	564	573	669	802	862	823	964	1160	1250	9636
MADRID	200	176	169	181	184	207	222	278	277	374	447	617	667	769	4768
VALENCIA	161	136	144	147	131	221	235	276	312	313	317	352	385	458	3588
ILLES BALEARS	118	116	115	97	52	87	90	92	93	103	153	152	166	304	1738
GUIPUZCOA	26	97	114	119	40	62	68	88	141	180	156	193	191	189	1664
SEVILLA	80	91	78	86	68	71	74	72	103	168	159	132	119	220	1521
GIRONA	57	52	52	50	46	70	107	107	117	150	139	141	175	195	1458
VIZCAYA	52	68	80	92	39	65	51	52	53	98	94	149	149	124	1166
ALICANTE	67	76	61	71	10	66	79	89	70	61	71	143	150	188	1202
TARRAGONA	42	57	52	56	34	46	70	75	83	92	111	105	147	143	1113
A STURIAS	74	72	78	65	25	42	66	65	45	70	74	119	125	153	1073
ZARAGOZA	52	59	49	56	44	49	58	44	65	86	88	107	128	123	1008
CADIZ	35	37	45	40	42	63	52	54	51	69	103	91	134	121	937
CASTELLÓN	50	31	41	37	20	29	38	57	42	55	56	74	71	67	668
MÁLAGA	42	37	29	41	27	25	36	51	47	52	59	72	82	106	706
LEÓN	49	58	51	48	26	32	25	55	27	31	26	45	45	30	548
MURCIA	61	45	65	45	16	34	49	33	17	22	26	22	38	45	518
ALAVA	15	16	54	73	78	6	15	13	62	50	27	142	224	240	1015
CANTABRIA	43	30	42	30	4	28	34	27	26	43	35	49	46	58	495
BURGOS	34	29	33	37	13	25	25	19	27	33	64	66	91	100	596
CIUDAD REAL	41	50	50	36	20	32	23	26	23	16	21	16	35	28	417
GRANADA	27	22	21	33	10	24	46	38	37	42	38	43	77	105	563
ILLEIDA	16	28	31	19	15	34	31	28	22	32	45	64	51	53	469
ALMERIA	13	24	29	29	1	33	35	30	30	32	44	55	56	61	472
PONTEVEDRA	20	32	25	24	7	20	33	29	31	36	39	45	33	46	420
ALBACETE	24	24	27	21	14	35	27	31	37	23	24	24	38	40	389
A CORUÑA	31	36	28	30	11	20	24	22	21	26	24	24	31	43	371
LAS PALMAS	24	25	28	27	18	26	26	18	22	20	22	34	41	35	366
CÓRDOBA	25	25	23	19	10	29	16	17	13	24	23	91	51	72	438
SANTA CRUZ DE T	18	15	18	14	12	27	18	7	25	30	40	44	41	58	367
BADAJOS	21	22	16	23	13	26	19	18	15	30	18	20	28	31	300
TOLEDO	23	27	18	38	12	14	16	12	15	20	19	38	30	25	307
LA RIOJA	8	8	13	10	11	18	32	26	21	39	23	49	45	41	344
SALAMANCA	17	13	17	26	10	21	24	21	26	7	13	28	30	45	298
PALENCIA	20	23	18	15	17	17	22	13	20	16	12	12	12	14	231
HUESCA	16	8	12	18	16	18	25	19	21	17	13	11	29	29	252
VALLADOLID	33	19	25	17	8	15	12	11	14	12	12	18	41	43	280
AVILA	10	7	14	7	10	13	8	14	11	20	22	25	15	24	200
NAVARRA	14	15	11	12	4	13	9	5	5	21	23	20	28	25	205
HUELVA	6	7	14	9	3	11	10	10	6	13	19	20	18	23	169
JAEÑ	8	13	8	10	1	9	12	8	11	11	14	18	25	21	169
MELILLA	11	7	5	2	3	21	15	12	9	6	10	13	20	28	162
ZAMORA	20	10	6	9	3	15	4	5	13	6	6	5	4	8	114
LUGO	13	7	13	10	4	11	5	9	10	5	10	10	10	8	125
OURENSE	12	11	9	11	4	8	5	7	10	6	6	10	12	7	118
SEGOVIA	9	2	4	7	3	7	6	11	10	13	6	7	9	10	104
CUENCA	5	6	2	8	5	4	12	10	9	10	5	7	13	5	101
GACERES	4	6	7	5	2	5	11	8	8	7	12	7	12	10	104
GUADALAJARA	6	6	5	4	4	8	14	10	8	3	6	12	11	8	105
TERRUEL	3	3	2	1	2	10	11	6	4	10	5	9	7	4	77
SORIA	4	2	2	5	1	2	2	3	4	4	3	6	4	2	44
CEUTA	0	0	1	2	3	0	0	1	0	0	3	6	0	0	16
<b>Total</b>	<b>2083</b>	<b>2193</b>	<b>2251</b>	<b>2266</b>	<b>1604</b>	<b>2338</b>	<b>2520</b>	<b>2701</b>	<b>2971</b>	<b>3469</b>	<b>3608</b>	<b>4526</b>	<b>5150</b>	<b>5835</b>	<b>37680</b>

Tabla 17: Accidentes ciclistas por provincias españolas. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

En términos absolutos, si se representa al número de accidentes de mayor a menor, se aprecia que entre los años 2000 y 2013, Barcelona fue la provincia con el mayor número (9636), seguida de Madrid (4768) y Valencia (3588). Dicha representación se aprecia en la figura siguiente:

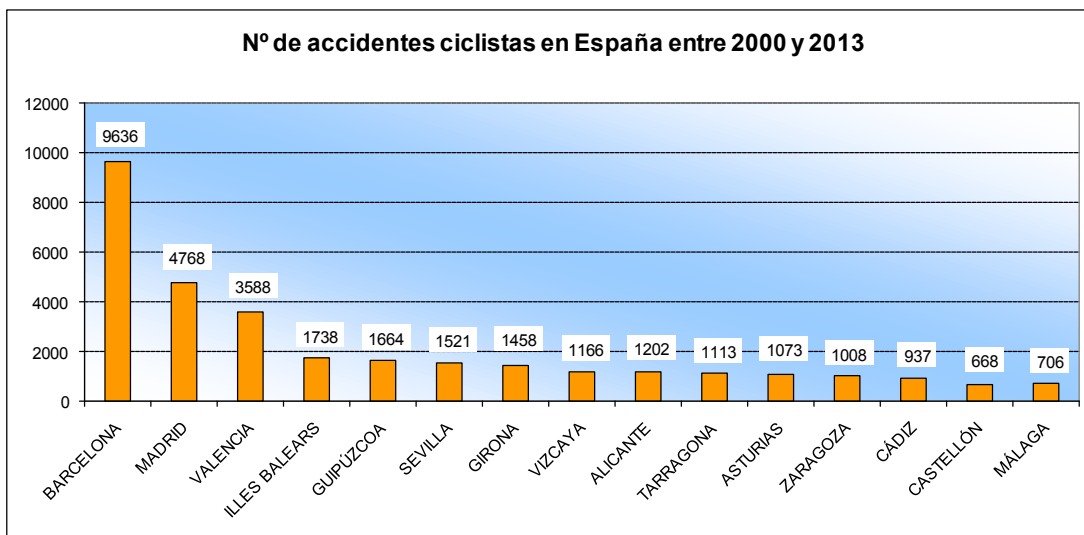


Figura 59: Provincias españolas con mayor nº de accidentes ciclistas. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

El inconveniente de analizar este indicador en términos absolutos es que no se consideran otros parámetros como la población, por tanto, las provincias con mayor número de habitantes, siempre parten con mayor posibilidad de que el número de accidentes ciclistas sea mayor. Para eliminar esta incertidumbre, se ha realizado el mismo análisis, pero representando este indicador de número de accidentes por cada 10.000 habitantes, quedando la representación como aparece en la siguiente gráfica:

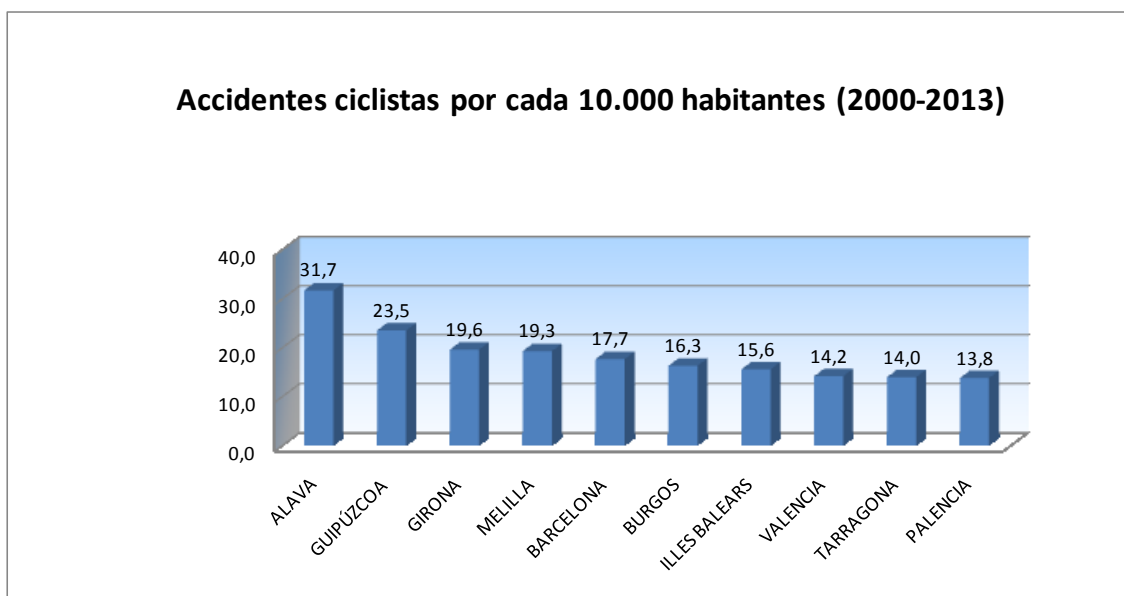


Figura 60: Provincias españolas con mayor nº de accidentes ciclistas por cada 10.000 habitantes. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

En la representación gráfica anterior, se muestra que teniendo en cuenta el número de habitantes, entre los años 2000 y 2013, las provincias con mayor número de accidentes con bicicletas implicadas por cada 10.000 habitantes son Álava con 31,7 accidentes, Guipúzcoa 23,5 y Girona con 19,6. Para que este indicador fuera más representativo, se debería de considerar también el número de bicicletas (y su uso) en cada una de estas provincias estudiadas.

En un estudio realizado por la Federación de ciclismo de la Comunidad Valenciana sobre accidentabilidad ciclista en España entre los años 1996 y 2001, se puede distinguir cómo va variando el número de accidentes en función de la hora del día. Se puede apreciar que las horas de mayor accidentabilidad son entre las 11 y las 14 horas y entre las 18 y 20 horas. Esta representación se puede ver en la figura siguiente:

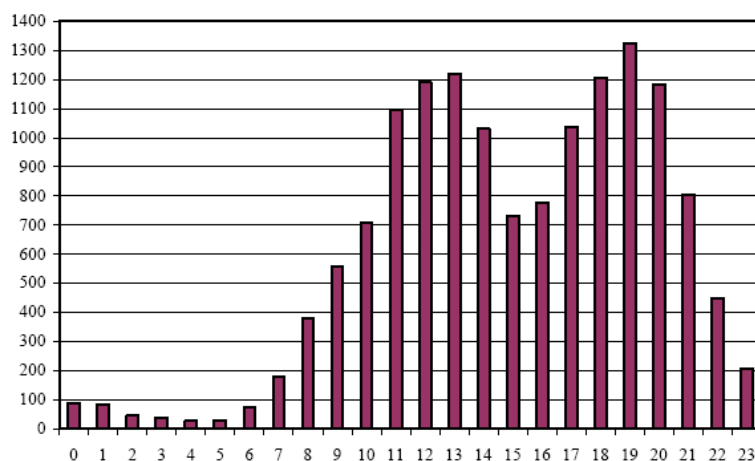


Figura 61: Número de accidentes ciclistas en función de la hora del día. Fuente: Federación de ciclismo de la Comunidad Valenciana, 2003.

Es interesante la comparación de esta figura anterior con la representación gráfica de la Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos de un día cualquiera. En la siguiente figura se puede observar la gráfica de IMD en la ciudad de Málaga del día 6 de Febrero de 2010 en la Avenida de Andalucía. Se aprecia claramente que cuanto más vehículos circulan por este punto es al medio día y a media tarde. Este comportamiento del flujo de vehículos es similar en cualquier punto de cualquier ciudad.

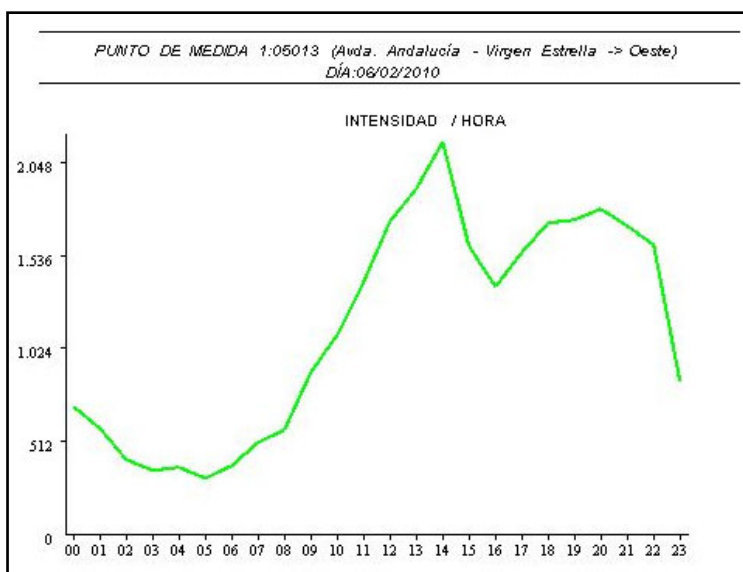


Figura 62: Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos en Málaga. Fuente: Área de Tráfico del Ayuntamiento de Málaga, 2010.

Comparando las dos figuras anteriores tal y como se hace en la figura siguiente, se aprecia claramente que el número de accidentes en función de la hora del día, está directamente vinculado con la Intensidad Media Diaria (es decir, con el número de vehículos que circulan por unidad de tiempo), algo completamente lógico.

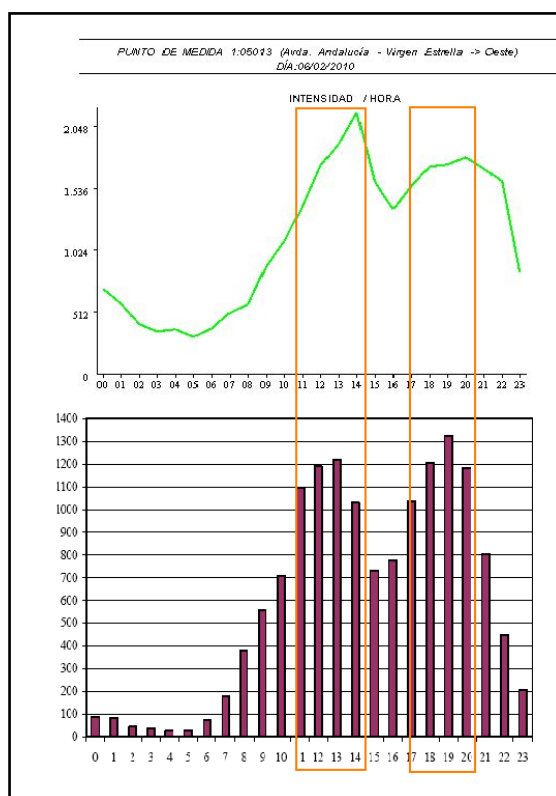


Figura 63: Comparativa entre IMD y nº de accidentes por hora del día. Fuente: Elaboración propia.

Otros datos interesantes a analizar, es el tipo de vía donde se producen los accidentes con bicicletas. En este caso, el mayor número de accidentes (63,4%) se producen en vías catalogadas por la DGT como de “Otro tipo” (quiere decir que no se ha catalogado el tipo de vía donde se ha producido el accidente), seguida por carreteras convencionales (32,1%) y ya muy de lejos por caminos vecinales (2,3%). Esta información se recoge en la siguiente figura:

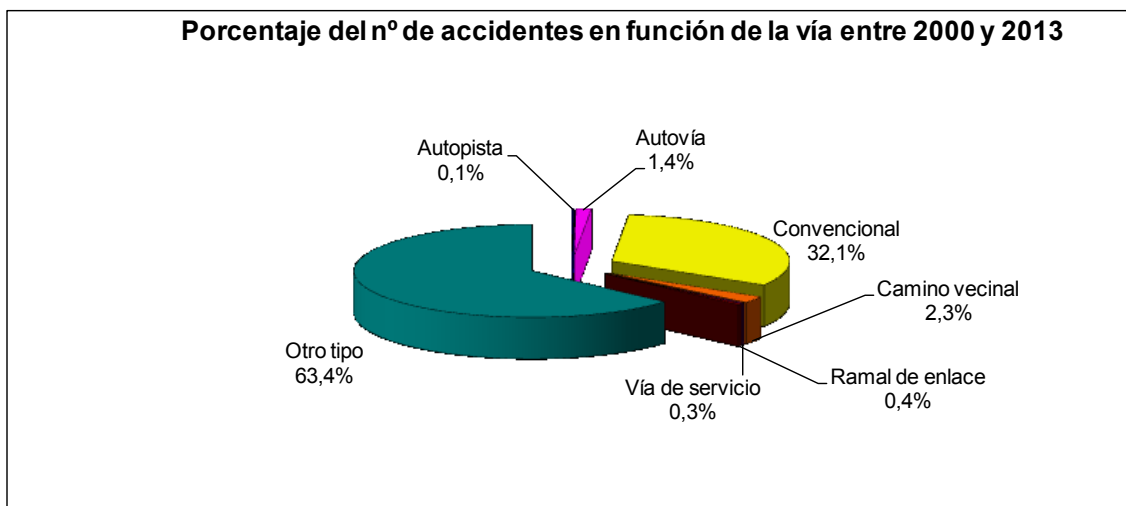


Figura 64: Distribución de los accidentes ciclistas en España por tipo de vía. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Los valores se pueden ver en la tabla siguiente:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Autopista	4	7	3	4	3	3	5	5	1	4	1	4	6	6
Autovía	40	40	47	29	36	34	50	41	38	47	46	42	45	83
Convencional	767	748	774	762	774	699	994	1009	949	1061	1034	1372	1567	1746
Camino vecinal	46	55	46	59	49	31	71	78	79	76	83	100	107	144
Vía de servicio	6	6	9	13	8	3	11	10	2	4	7	6	17	14
Ramal de enlace	16	11	9	6	11	4	15	11	6	13	9	23	13	25
Otro tipo	1204	1326	1363	1393	1604	1564	1374	1547	1896	2264	2426	2979	3364	3817
<b>Total</b>	<b>2083</b>	<b>2193</b>	<b>2251</b>	<b>2266</b>	<b>2485</b>	<b>2338</b>	<b>2520</b>	<b>2701</b>	<b>2971</b>	<b>3469</b>	<b>3606</b>	<b>4526</b>	<b>5119</b>	<b>5835</b>

Tabla 18: Número de accidentes por tipo de vía en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

La siguiente tabla refleja el número de accidentes con bicicletas implicadas en zona urbana y en función de la localización del mismo, distinguiendo como localización dentro de intersecciones o fuera de las mismas:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>En intersección</b>	625	630	696	727	819	855	834	924	1064	1199	1221	1528	1841	2222
<b>Fuera de intersección</b>	658	744	696	739	823	742	749	787	989	1188	1280	1642	1885	2255
<b>Total</b>	1283	1374	1392	1466	1642	1597	1583	1711	2053	2387	2501	3170	3726	4477

Tabla 19: Número de accidentes ciclistas en zona urbana en España y en función de la localización.

Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

La evolución de esta variable en el tiempo refleja alternancia. Es decir, durante los primeros años de la década del 2000, el nº de accidentes en intersecciones es mayor, pasando a ser menor a partir de 2004 y volviendo a alternar en los siguientes años. Esta evolución se puede ver en la siguiente figura:

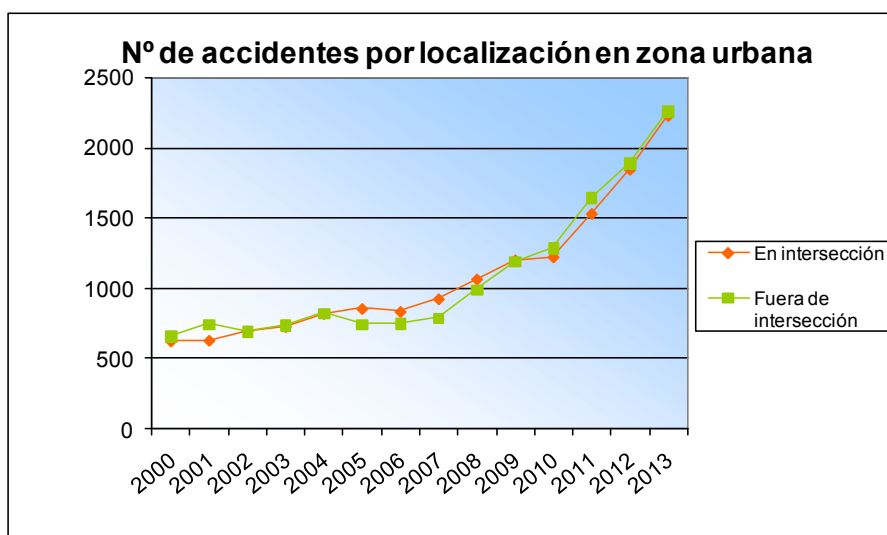


Figura 65: Evolución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana en función de la localización. Fuente:

Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Por último, respecto a la localización, destacar que la distribución a lo largo de estos años estudiados es bastante equitativa. Del año 2000 a 2013, el porcentaje de accidentes en intersecciones, representa el 50,2% y fuera de las mismas el 49,8%. Esta distribución se aprecia en el siguiente diagrama de sectores:

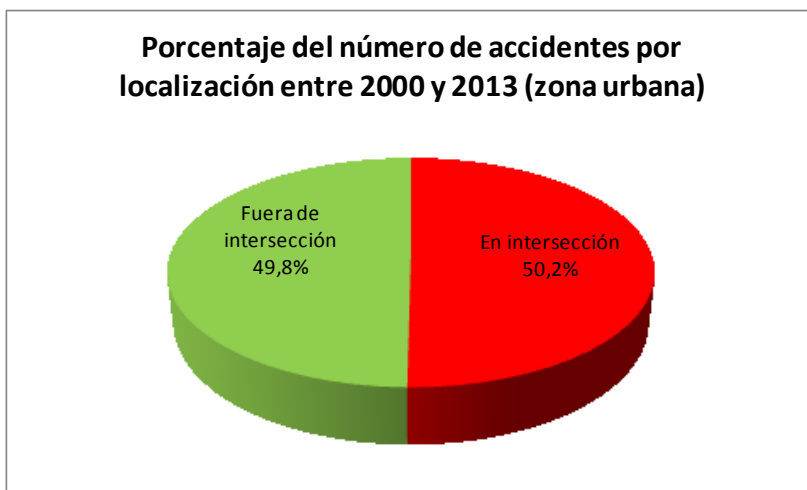


Figura 66: Distribución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana en función de la localización.

Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Posteriormente a esta discriminación del tipo de accidente en función de la localización, se estudiará en zona urbana, cada uno de estos dos casos (en intersecciones y fuera de intersecciones) por separado.

La siguiente tabla refleja el número de accidentes con bicicletas involucradas en zona urbana y por tipo de intersección:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>En T o en Y</b>	234	245	255	262	281	280	259	303	335	407	392	507	611	653
<b>En X o en +</b>	312	313	352	374	393	450	459	493	544	580	584	642	807	856
<b>Enlace de entrada</b>	6	4	5	3	9	9	4	2	9	11	15	13	15	22
<b>Enlace de salida</b>	1	2	0	1	2	3	0	2	3	3	7	6	6	6
<b>Giratoria</b>	53	47	58	67	102	86	102	110	153	169	188	257	318	365
<b>Otros</b>	19	19	26	20	32	27	10	14	20	29	35	103	84	320
<b>Total</b>	625	630	696	727	819	855	834	924	1064	1199	1221	1528	1841	2222

Tabla 20: Número de accidentes ciclistas en España en zona urbana por tipo de intersección. Fuente:

Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

La representación gráfica de esta tabla se aprecia en la figura siguiente:

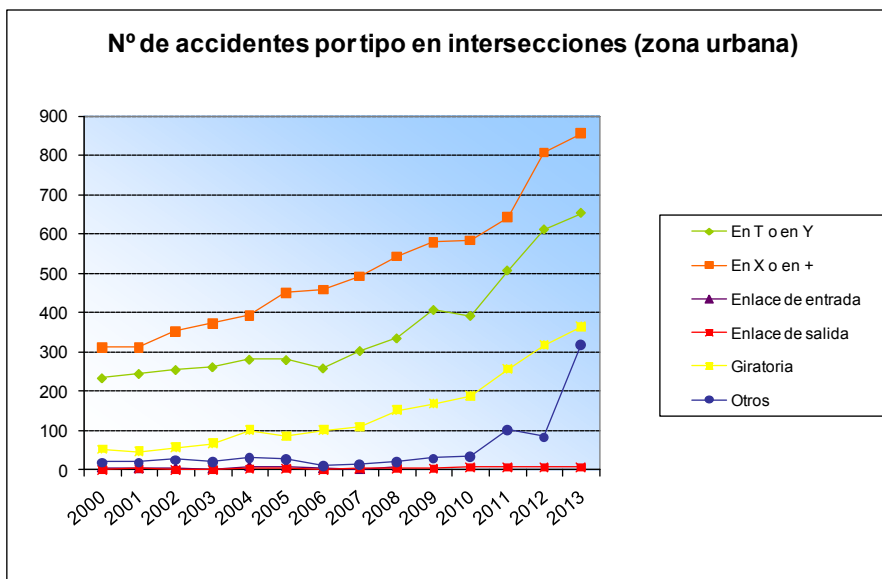


Figura 67: Evolución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo de intersección. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Esta evolución indica un crecimiento del número de accidentes a lo largo de estos último años en las intersecciones en forma de X ó +, en las de forma de Y ó T y en las giratorias, manteniéndose estable el resto del tipo de intersecciones.

En cuanto a su distribución, destaca que la mayoría de los accidentes se producen en las intersecciones en forma de X ó + (el 47,1%), seguidas de las de forma de Y ó T (el 33,1%) y las giratorias (el 13,7%). Esta distribución se aprecia en la siguiente figura:

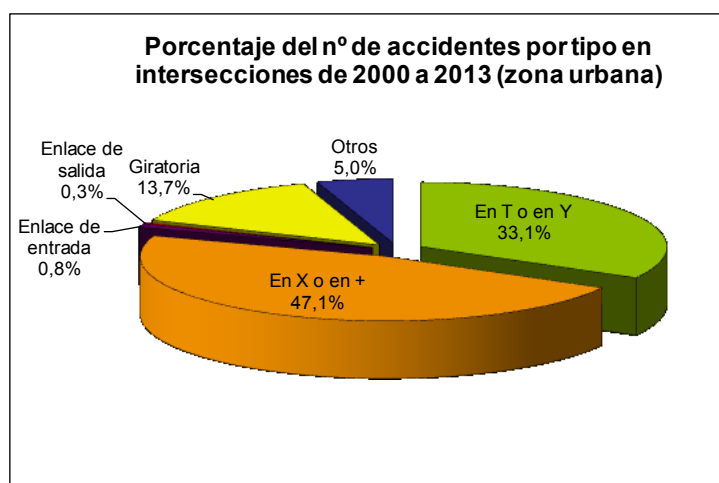


Figura 68: Distribución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo de intersección. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

En cuanto a los accidentes en zona urbana y fuera de intersecciones, los datos se recogen en la siguiente tabla:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Recta	590	659	628	657	740	681	698	737	907	1083	1183	1510	1744	2080
Curva suave	47	68	52	66	55	43	46	45	69	91	79	112	120	146
Curva fuerte sin señalizar	14	13	12	9	21	14	5	4	11	12	15	17	18	24
Curva fuerte con señal y con velocidad señalizada	2	3	1	4	6	2	0	1	2	2	1	1	3	4
Curva fuerte con señal y sin velocidad	5	1	3	3	1	2	0	0	0	0	2	2	0	1
<b>Total</b>	<b>658</b>	<b>744</b>	<b>696</b>	<b>739</b>	<b>823</b>	<b>742</b>	<b>749</b>	<b>787</b>	<b>989</b>	<b>1188</b>	<b>1280</b>	<b>1642</b>	<b>1885</b>	<b>2255</b>

Tabla 21: Número de accidentes ciclistas en España en zona urbana por tipo fuera de intersección.

Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

En la siguiente figura donde se representa la evolución de los datos de esta tabla (escala logarítmica para mejor visualización), se puede ver que los accidentes en rectas se han incrementado considerablemente desde el año 2000 al 2013. También destaca el incremento de los accidentes en curvas suaves en estos mismos años.

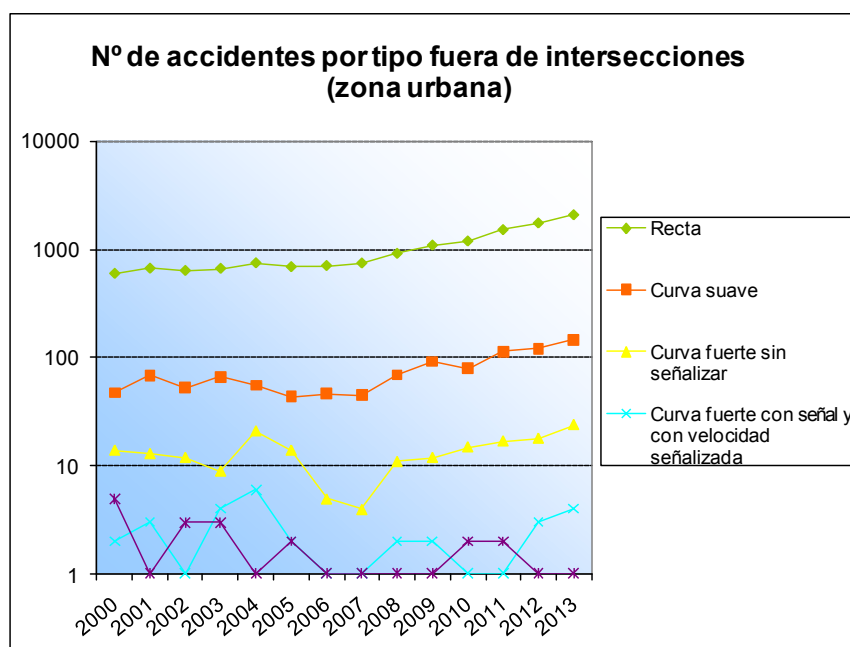


Figura 69: Evolución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo fuera de intersección. Fuente:

Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Se puede apreciar claramente que es en rectas donde se dan la mayoría de estos accidentes (91,6%), seguido muy de lejos por los accidentes en curvas suaves (6,8%).

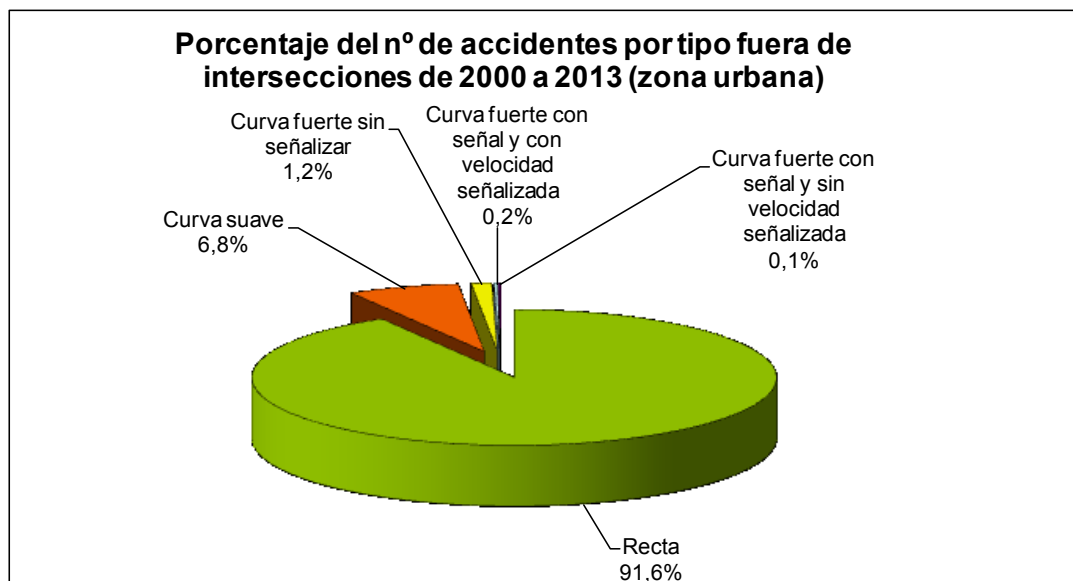


Figura 70: Distribución del nº de accidentes ciclistas en zona urbana por tipo fuera de intersección.

Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

### 2.2.3. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas

Los siguientes datos a analizar, son el número de víctimas en accidentes con bicicletas implicadas. Estos datos van muy ligados al número de accidentes, analizados en el anterior epígrafe. La siguiente tabla recoge esta información, donde en el número de víctimas se distingue entre víctimas mortales y heridos en zona urbana y en zona interurbana.

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Zona Urbana	Heridos	1424	1502	1523	1628	1792	1749	1736	1855	2284	2631	2712	3467	4074	4627
	Mortales	23	18	14	12	17	19	12	19	9	8	14	8	17	14
	Total Urb.	1447	1520	1537	1640	1809	1768	1748	1874	2293	2639	2726	3475	4091	4641
Zona Interurbana	Heridos	879	855	923	853	899	810	1013	1092	1022	1175	1206	1503	1596	1700
	Mortales	57	78	72	58	64	53	52	66	41	39	44	33	52	37
	Total Interu	936	933	995	911	963	863	1065	1158	1063	1214	1250	1536	1648	1737
<b>Total</b>		<b>2383</b>	<b>2453</b>	<b>2532</b>	<b>2551</b>	<b>2772</b>	<b>2631</b>	<b>2813</b>	<b>3032</b>	<b>3356</b>	<b>3853</b>	<b>3976</b>	<b>5011</b>	<b>5739</b>	<b>6378</b>

Tabla 22: Número de víctimas en accidentes ciclistas en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Al igual que ocurre también en el número de accidentes, la mayoría de las víctimas (67,1%) se producen en zona urbana y el resto en zona interurbana (32,9%). La evolución también es similar, apreciándose una tendencia al alza tanto en zona urbana como en zona interurbana.



Figura 71: Distribución del nº de víctimas en accidentes ciclistas en España por zona. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

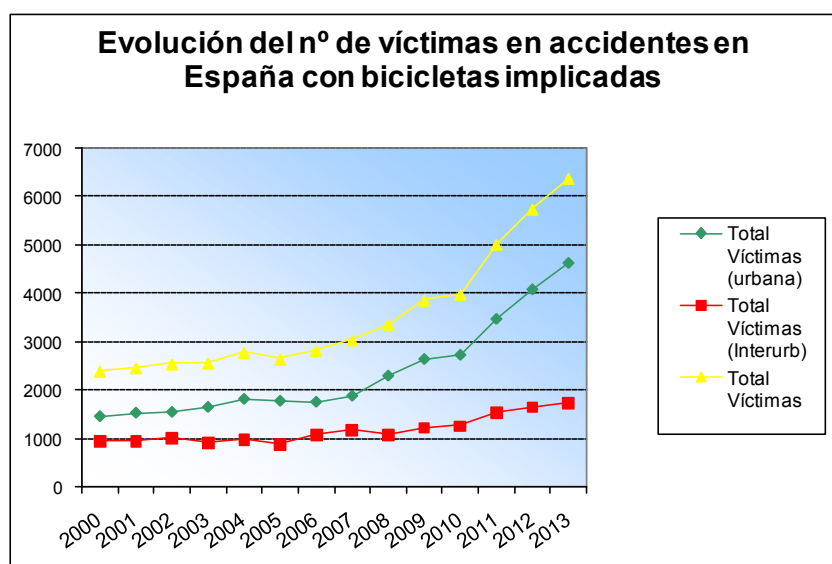


Figura 72: Evolución del nº de víctimas en accidentes ciclistas en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

Analizando los datos de la tabla del número de víctimas en accidentes, se aprecia que aunque la mayoría de las mismas son en zona urbana, por el contrario, el mayor número de muertos se producen en zonas interurbanas. Este hecho puede ser debido a la velocidad de los vehículos involucrados. La limitación de velocidad a 50 km/h (o incluso menor) en la ciudad, hace que las consecuencias del impacto entre la bicicleta y el otro vehículo implicado sean menores. Sin embargo, la regulación al alza de los límites de velocidad fuera de la ciudad provocan más víctimas mortales en los accidentes. Esta distribución del número de muertos en accidentes con bicicletas entre los años 2000 y 2013 se aprecia en la siguiente gráfica:

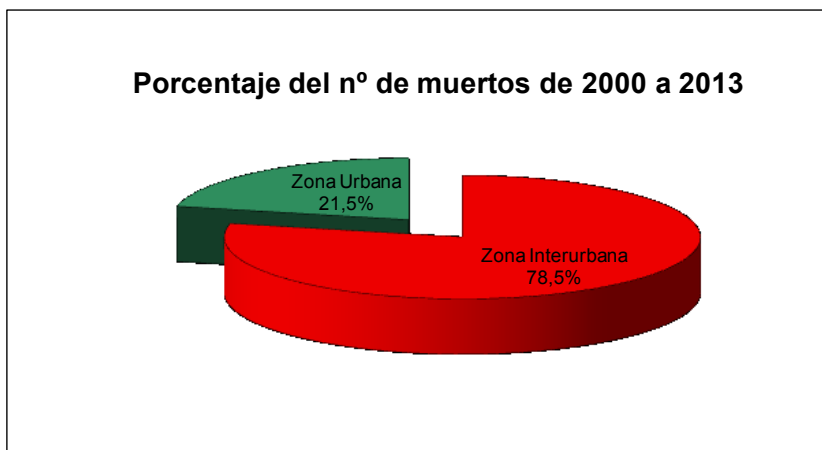


Figura 73: Distribución del nº de muertos en accidentes ciclistas en España por zona. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2013.

El dato positivo en este indicador es su tendencia. Tanto en zona urbana como zona interurbana, la tendencia es a la baja, siendo más destacable en el segundo de los casos. Esta evolución se muestra en la siguiente figura:

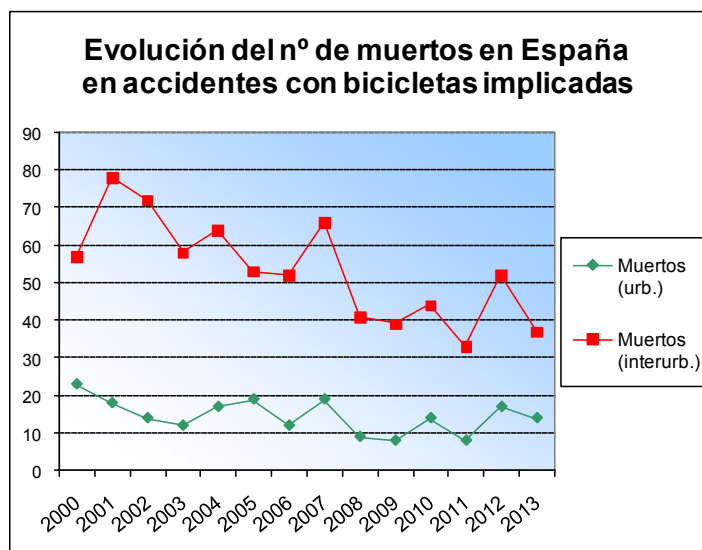


Figura 74: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2015.

#### 2.2.4. Análisis de las infracciones en los accidentes ciclistas

Una vez estudiados datos de número de accidentes y víctimas, es importante conocer también las infracciones que se cometen y por lo tanto, conocer las causas. Para ello, la DGT en sus bases de datos, dispone de información también de las

infracciones que comenten los conductores de los vehículos implicados en el accidente (los usuarios de la bicicleta en este caso). Estas infracciones se dividen en infracciones relativas a la velocidad y otras no relacionadas con la misma. En la siguiente tabla se puede apreciar esta división:

CAUSAS NO RELACIONADAS CON LA VELOCIDAD	CAUSAS RELACIONADAS CON LA VELOCIDAD
Conducción distraída o desatenta	Velocidad inadecuada para las condiciones existentes
Incorrecta utilización del alumbrado	Sobrepasar la velocidad establecida
Circular por mano contraria o sentido prohibido	Marcha lenta entorpeciendo la circulación
Invadir parcialmente el sentido contrario	Ninguna
Girar incorrectamente	Se ignora
Adelantar antirreglamentariamente	
Circular en zig-zag	
No mantener intervalo de seguridad	
Frenar sin causa justificada	
No respetar la norma genérica de prioridad	
No cumplir las indicaciones del semáforo	
No cumplir la señal de stop	
No cumplir la señal de ceda el paso	
No respetar el paso para peatones	
No cumplir otra señal de tráfico o policía	
No indicar o indicar mal una maniobra	
Entrar sin precaución en la circulación	
Parada o estacionamiento prohibido o peligroso	
Ciclistas o ciclomotores en posición paralela	
Ciclistas o ciclomotoristas circulando fuera pista-arcén	
Apertura de puertas sin precaución	
Otra infracción	
Ninguna infracción	

Tabla 23: Causas de los accidentes con bicicletas en España. Fuente: DGT, 2010.

En la figura de abajo se puede observar la distribución de las infracciones relacionadas con la velocidad que se cometen en el accidente. Se aprecia que la mayoría de usuarios de la bicicleta (70,3%) no comenten infracciones de este tipo.

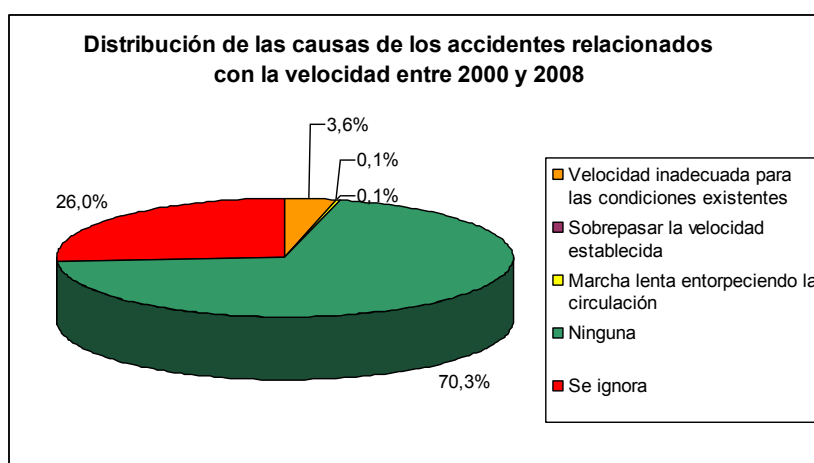


Figura 75: Distribución de las causas de las infracciones ciclistas en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2010.

Por otro lado, en lo referente a las infracciones en los accidentes que no están relacionados con la velocidad, se puede apreciar que el 49,9% de los usuarios de bicicletas no cometen infracción ninguna, siendo la siguiente causa más importante la conducción distraída o desatenta (10,9%). Estos valores se aprecian en la tabla siguiente:

Ninguna infracción	49,9%
Otra infracción	15,3%
Conducción distraída o desatenta	10,9%
Girar incorrectamente	3,0%
No cumplir las indicaciones del semáforo	2,8%
No respetar la norma genérica de prioridad	2,7%
No cumplir la señal de stop	2,7%
Circular por mano contraria o sentido prohibido	2,3%
Entrar sin precaución en la circulación	2,0%
No cumplir la señal de ceda el paso	1,8%
Invadir parcialmente el sentido contrario	1,7%
Ciclistas o ciclomotoristas circulando fuera pista-arcén	1,2%
No mantener intervalo de seguridad	0,9%
Adelantar antirreglamentariamente	0,8%
Incorrecta utilización del alumbrado	0,5%
No respetar el paso para peatones	0,5%
No cumplir otra señal de tráfico o policía	0,4%
Ciclistas o ciclomotores en posición paralela	0,2%
No indicar o indicar mal una maniobra	0,2%
Circular en zig-zag	0,2%
Apertura de puertas sin precaución	0,1%
Parada o estacionamiento prohibido o peligroso	0,0%
Frenar sin causa justificada	0,0%

Tabla 24: Distribución de las causas de las infracciones ciclistas en España. Fuente: Adaptación propia de datos de la DGT, 2010.

### 2.3. Accidentabilidad ciclista en Dinamarca

Como se dice anteriormente, Dinamarca es uno de los países europeos con mayor tradición del uso de la bicicleta. Es por ello por lo que conocer los datos de accidentabilidad ciclista en este país supone una información valiosa para tomar cualquier decisión en materia de seguridad ciclista.

#### 2.3.1. Análisis del número de accidentes ciclistas

Analizando el número de accidentes con víctimas y con bicicletas implicadas (zona urbana e interurbana), se aprecia un importante descenso desde el 2001 al 2013 (descenso del 45%). Este descenso se aprecia en la siguiente figura:

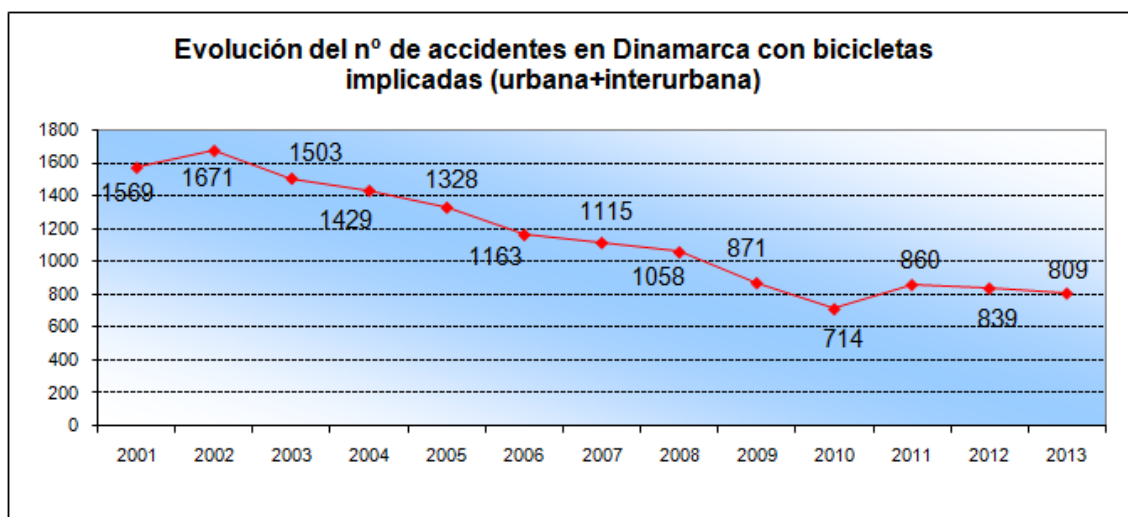


Figura 76: Evolución del nº de accidentes ciclistas en Dinamarca. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

Si el indicador anterior, de desglosa por tipo de accidente, se obtienen las siguientes gráficas de evolución:

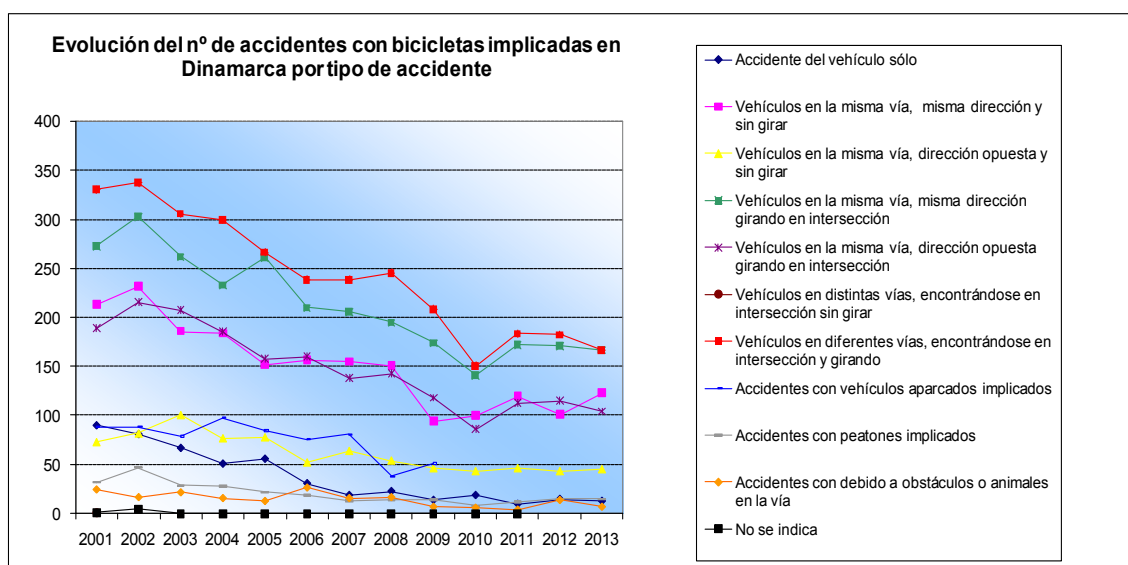


Figura 77: Evolución del nº de accidentes ciclistas en Dinamarca por tipo. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

El descenso del 45% que se explica con anterioridad, se muestra desglosado por tipo de accidente en la siguiente tabla, apreciándose como descendiendo este valor por cada uno de los tipos, comparando el año 2001 con el 2013.

Tipo de accidente	% de descenso entre 2001 y 2013
Accidente del vehículo sólo	85,6%
Vehículos en la misma vía, misma dirección y sin girar	42,3%
Vehículos en la misma vía, dirección opuesta y sin girar	38,4%
Vehículos en la misma vía, misma dirección girando en intersección	38,8%
Vehículos en la misma vía, dirección opuesta girando en intersección	45,0%
Vehículos en distintas vías, encontrándose en intersección sin girar	46,2%
Vehículos en diferentes vías, encontrándose en intersección y girando	49,5%
Accidentes con vehículos aparcados implicados	64,0%
Accidentes con peatones implicados	53,1%
Accidentes con debido a obstáculos o animales en la vía	72,0%

Tabla 25: Porcentaje de descenso por tipo de accidente ciclista en Dinamarca. Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como se aprecia con anterioridad, los tres descensos más destacados son, “Accidente del vehículo solo” (85,6%), “Accidentes debido a obstáculos o animales en la vía” (72%) y “Accidentes con vehículos aparcados implicados” (64%).

Por otro lado, la distribución del número de accidentes en función del tipo se puede ver en el diagrama de sectores siguiente. En el mismo se aprecia que entre los cinco grupos principales, no hay tipos de accidentes que destacan muy ampliamente frente a los demás, sino que hay un reparto más o menos equitativo (21,2%; 18,5%; 16,8%; 13,2% y 13%):

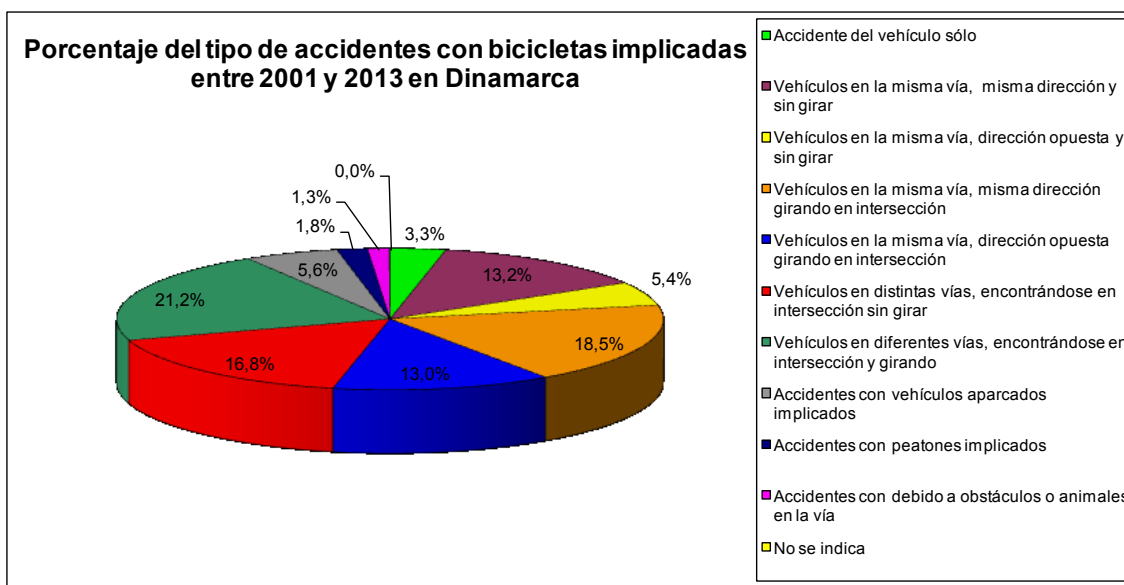


Figura 78: Distribución del nº de accidentes ciclistas en Dinamarca por tipo. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

### 2.3.2. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas

Con respecto a la evolución del número de víctimas en accidentes con bicicletas implicadas en zonas urbanas, cabe destacar la tendencia descendente desde el año 2001 al 2013. Entre estas dos fechas ha habido un descenso del 50 %. Dicho descenso también es considerable en zonas interurbanas, alcanzándose un 40%. Estas representaciones se pueden ver en la siguiente figura:

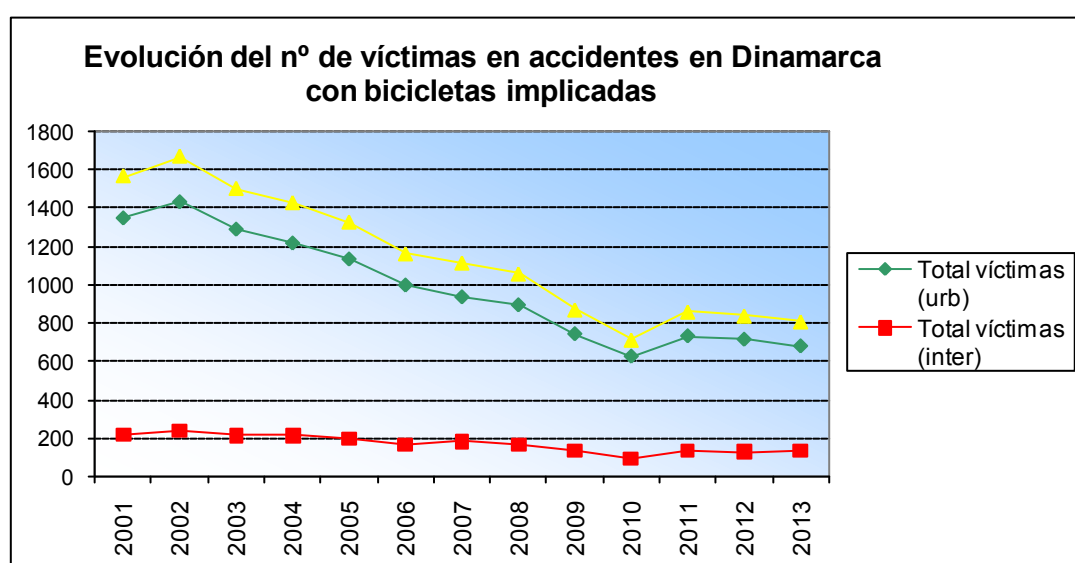


Figura 79: Evolución del nº de víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

En cuanto a la distribución de las víctimas, un 85,2% corresponde a zonas urbanas frente al 14,8% en zonas interurbanas.

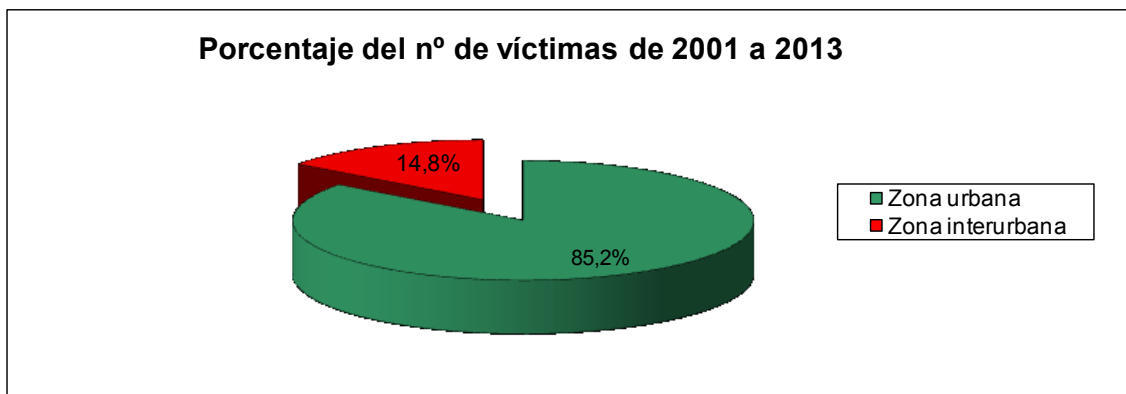


Figura 80: Distribución de las víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca por zona. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

Por otro lado, si lo que se representa es la evolución del número de muertos en este tipo de accidentes en Dinamarca, se obtiene una gráfica como la de la figura siguiente:

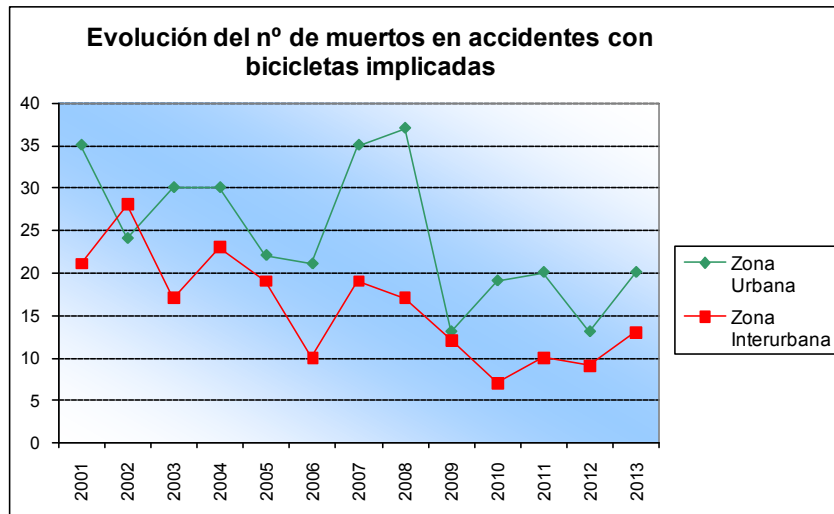


Figura 81: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en Dinamarca. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

A diferencia de los datos de evolución del nº de muertos en España, en Dinamarca, la mayoría de los mismos se producen en zona urbana (excepto en 2002). Por distribución corresponde a un 60,9% (urbana) y 39,1% (interurbana) según indica el diagrama de sectores siguiente:

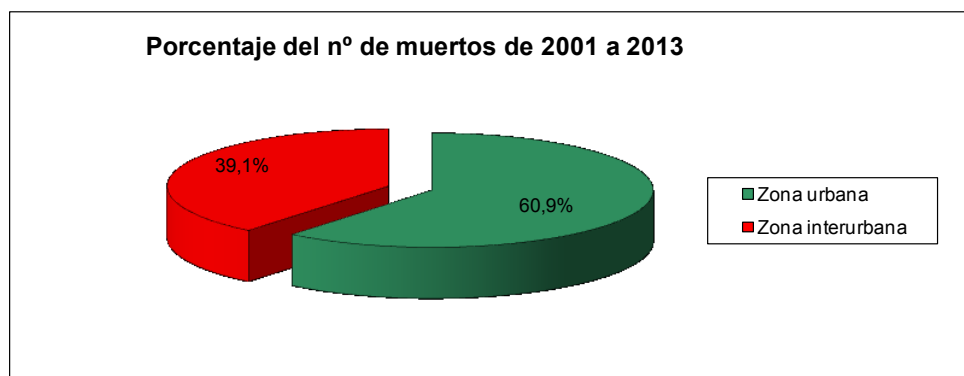


Figura 82: Distribución del nº de muertos en Dinamarca en accidentes ciclistas por zona. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistics Denmark, 2015.

Toda esta información se recoge en la siguiente tabla:

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Zona Urbana</b>	Heridos leves	718	736	613	579	539	494	430	371	306	261	279	266	242
	Heridos graves	596	674	647	608	572	481	469	484	421	342	430	432	414
	Muertos	35	24	30	30	22	21	35	37	13	19	20	13	20
	<b>Total Urb.</b>	<b>1349</b>	<b>1434</b>	<b>1290</b>	<b>1217</b>	<b>1133</b>	<b>996</b>	<b>934</b>	<b>892</b>	<b>740</b>	<b>622</b>	<b>729</b>	<b>711</b>	<b>676</b>
<b>Zona Interurbana</b>	Heridos leves	99	97	93	71	72	69	71	72	46	35	42	49	42
	Heridos graves	100	112	103	118	104	88	91	77	73	50	79	70	78
	Muertos	21	28	17	23	19	10	19	17	12	7	10	9	13
	<b>Total Interurb.</b>	<b>220</b>	<b>237</b>	<b>213</b>	<b>212</b>	<b>195</b>	<b>167</b>	<b>181</b>	<b>166</b>	<b>131</b>	<b>92</b>	<b>131</b>	<b>128</b>	<b>133</b>
<b>Total</b>	<b>1569</b>	<b>1671</b>	<b>1503</b>	<b>1429</b>	<b>1328</b>	<b>1163</b>	<b>1115</b>	<b>1058</b>	<b>871</b>	<b>714</b>	<b>860</b>	<b>839</b>	<b>809</b>	

Tabla 26: Número de víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca. Fuente: Statistiksbanken, 2015.

En la tabla de abajo, aparecen el número de víctimas en accidentes ciclistas en función del tipo de vía por el que circulan (suma de zona urbana e interurbana). Como se comenta anteriormente, observando la evolución de las víctimas en el tipo de vía donde más accidentes se producen (vías de dos carriles), se aprecia el importante descenso de las víctimas entre los años 2001 y 2013.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Autopista</b>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vía rápida</b>	0	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Entrada/salida de autopista</b>	4	4	2	0	2	1	1	0	0	2	0	2	0
<b>Vía de 4 carriles</b>	191	175	172	215	169	151	141	136	123	97	114	97	134
<b>Vía de 3 carriles</b>	38	34	36	34	30	34	32	34	27	27	37	31	30
<b>Vía de 2 carriles</b>	1046	1154	1010	956	889	780	725	709	525	470	483	566	471
<b>Vía de un carril</b>	0	0	44	97	99	88	92	83	70	64	93	76	103
<b>Vía de baja velocidad</b>	21	22	21	13	18	2	7	4	7	3	4	5	2
<b>Calle de 1 carril</b>	56	38	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Pista/camino peatonal</b>	133	160	94	82	87	90	89	76	86	26	83	40	36
<b>Plaza</b>	10	11	13	11	12	7	11	7	11	4	11	5	7
<b>Entrada/salida de edificio o aparcamiento</b>	18	26	29	13	20	8	8	8	7	5	11	6	10
<b>Otro tipo</b>	52	47	47	5	1	2	9	1	14	16	24	11	16
<b>Total</b>	<b>1569</b>	<b>1671</b>	<b>1503</b>	<b>1429</b>	<b>1328</b>	<b>1163</b>	<b>1115</b>	<b>1058</b>	<b>871</b>	<b>714</b>	<b>860</b>	<b>839</b>	<b>809</b>

Tabla 27: Número de víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca por tipo de vía. Fuente: Statistiksbanken, 2015.

Analizando la distribución del número de víctimas en accidentes ciclistas en función de la vía, se aprecia que la mayoría de las mismas (65,5%) se producen en vías de dos carriles, seguidas de lejos por vías de cuatro carriles (12,8%), caminos peatonales (7,2%) y vías de un carril (6,1%). Esta distribución aparece en la gráfica siguiente:

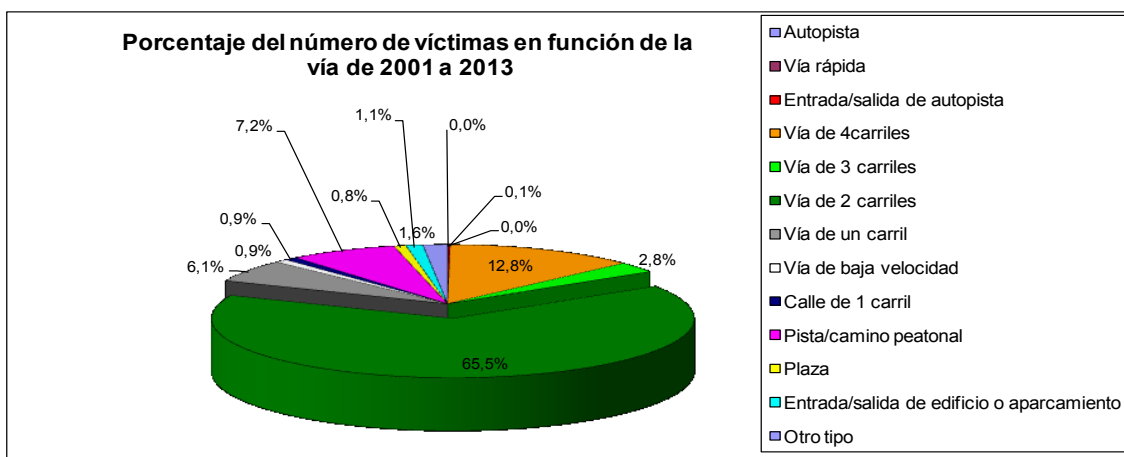


Figura 83: Distribución de las víctimas en accidentes ciclistas en Dinamarca en función de la vía. Fuente: Adaptación propia de datos de Statistiksbanken, 2015.

#### 2.4. Accidentabilidad ciclista en Alemania. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas

Otro de los países clave en materia de movilidad ciclista en Europa es Alemania. Destaca por su alto número de bicicletas por habitante (900 bicicletas por cada mil habitantes) y por el porcentaje más que aceptable de personas consideradas como ciclista habituales (33,2%).

Los datos sobre accidentabilidad ciclista han sido aportados como se dice anteriormente por la Oficina Federal de Estadística (Statistisches Bundesamt). En la tabla siguiente se pueden ver los datos de víctimas entre los años 2000 y 2013:

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Zona Urbana	Heridos	64873	63102	62348	67421	65581	70103	68945	70878	71482	68176	59030	69109	67441	64363
	Mortales	372	370	324	368	268	339	280	258	278	259	223	239	248	216
	Total Urb.	65245	63472	62672	67789	65849	70442	69225	71136	71760	68435	59253	69348	67689	64579
Zona Interurbana	Heridos	7865	7977	7815	8238	7581	7756	7623	7701	7485	7159	6162	7242	6929	6703
	Mortales	287	265	259	248	207	236	206	167	178	203	158	160	158	138
	Total Interurb.	8152	8242	8074	8486	7788	7992	7829	7868	7663	7362	6320	7402	7087	6841
<b>Total</b>		<b>73397</b>	<b>71714</b>	<b>70746</b>	<b>76275</b>	<b>73637</b>	<b>78434</b>	<b>77054</b>	<b>79004</b>	<b>79423</b>	<b>75797</b>	<b>65573</b>	<b>76750</b>	<b>74776</b>	<b>71420</b>

Tabla 28: Número de víctimas en accidentes ciclistas en Alemania. Fuente: Adaptación propia de los datos de Statistisches Bundesamt, 2015.

Representando la tabla anterior del total de las víctimas en zona urbana e interurbana se obtiene el gráfico siguiente:

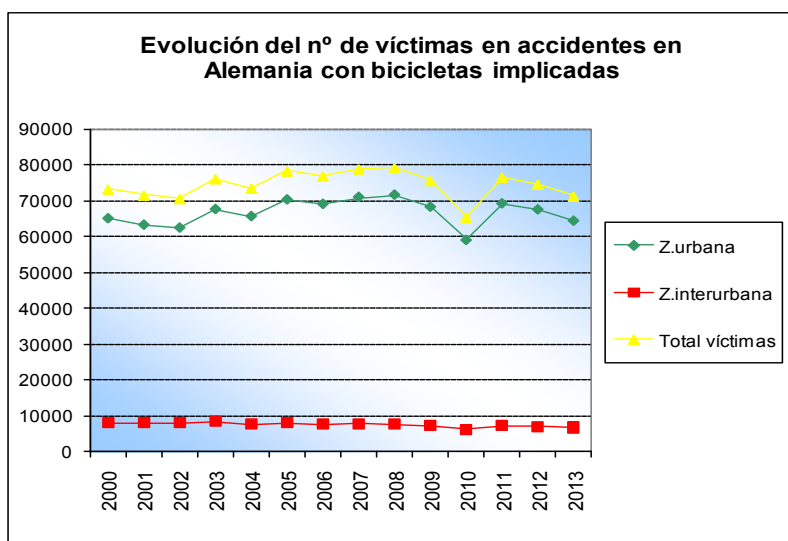


Figura 84: Evolución de las víctimas en accidentes ciclistas en Alemania. Fuente: Adaptación propia de los datos de Statistisches Bundesamt, 2015.

En el gráfico anterior se aprecia unos valores muy estables en las víctimas en zona interurbana. En zona urbana, se aprecia una tendencia ascendente a principios de la década, aunque a partir del 2008 vuelven a bajar. Al igual que sucede en otros países, el porcentaje de víctimas de accidentes en zonas urbanas es mucho mayor que en zonas interurbanas. La distribución se puede ver en la siguiente gráfica:

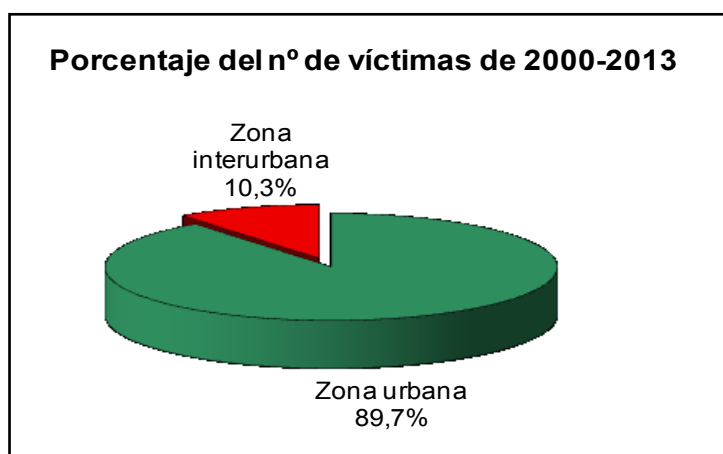


Figura 85: Distribución de las víctimas en accidente ciclista en Alemania por zona. Fuente: Adaptación propia de los datos de Statistisches Bundesamt, 2015.

Si lo que se analizan es el número de muertos, a diferencia del número de víctimas, en ambas zonas (urbana e interurbana), la tendencia es descendente. Se puede apreciar en la siguiente figura:

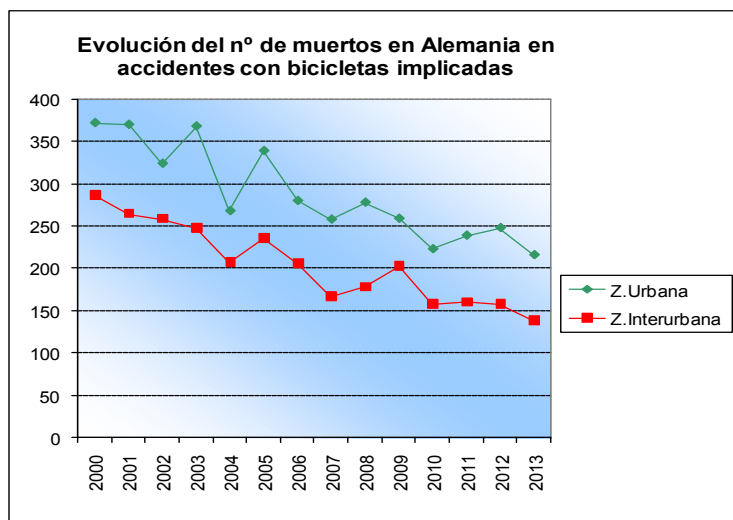


Figura 86: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en Alemania. Fuente: Adaptación propia de los datos de Statistisches Bundesamt, 2015.

Entre los años 2000 y 2013, el descenso en el número de víctimas mortales, representa un 41,9% en zonas urbana y un porcentaje aún mayor en zonas interurbanas, el 51,9%. En cuanto a su distribución en estos años, a diferencia de lo que ocurre en España y de forma similar a lo que ocurre en Dinamarca, la mayoría de los muertos en accidentes ciclistas se dan en zonas urbanas, el 58,5%, frente al 41,5% de zonas interurbanas.

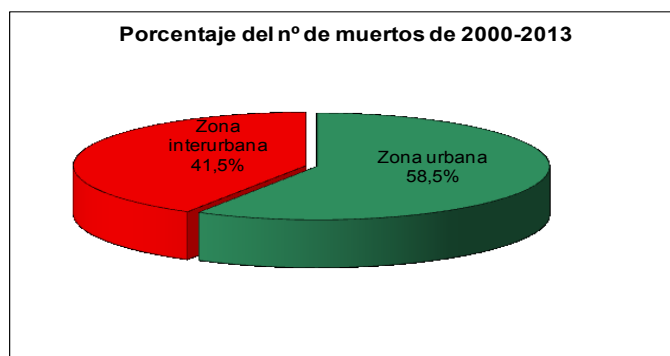


Figura 87: Distribución de las víctimas mortales en accidentes ciclistas en Alemania por zona. Fuente: Adaptación propia de los datos de Statistisches Bundesamt, 2015.

## 2.5. Accidentabilidad ciclista en Holanda

Como se puede apreciar al principio de este capítulo, Holanda es uno de los países más importantes a nivel europeo en materia de movilidad ciclista. Según los datos aportados por los autores Dekoster y Schollaert, en el estudio realizado en el año 2000, Holanda (Países Bajos), es el único país de la Unión Europea con más de una bicicleta por habitante (concretamente 1019 por cada mil). También encabeza el ranking como el país con más porcentaje de población que usa la bicicleta diariamente, el 27%.

### 2.5.1. Análisis del número de accidentes ciclistas

Los datos de accidentes con bicicletas implicadas se pueden ver en la siguiente tabla:

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Zona Urbana	16.325	14.514	13.644	13.796	12.189	12.665	12.160	12.784	11.463	9.074	3.230	217	1.350	1.549
Zona Interurbana	2.144	1.998	1.938	1.996	1.818	1.693	1.742	1.732	1.512	1.278	472	74	280	261
Desconocido	0	0	0	0	53	175	7	3	6	8	733	1.628	250	1.201
Total	18.469	16.512	15.582	15.792	14.060	14.533	13.909	14.519	12.981	10.360	4.435	1.919	1.880	3.011

Tabla 29: Número de accidentes ciclistas en Holanda. Fuente: SWOV, 2015.

Se puede apreciar que la mayoría de estos accidentes, al igual que en España y Alemania se producen en zona urbana, concretamente, el 87,7% frente al 12,3% de la zona interurbana.

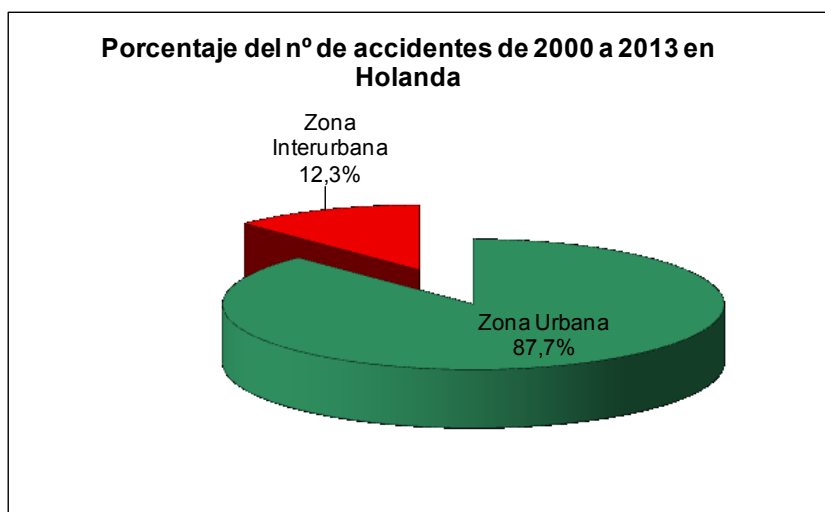


Figura 88: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda por zona. Fuente: SWOV, 2015.

Fijándose en la evolución de este indicador (figura siguiente), se puede apreciar una importantísima tendencia descendente en los accidentes tanto en zona urbana (descenso del 90,5% entre 2000 y 2013) como en interurbana (descenso del 87,8%).

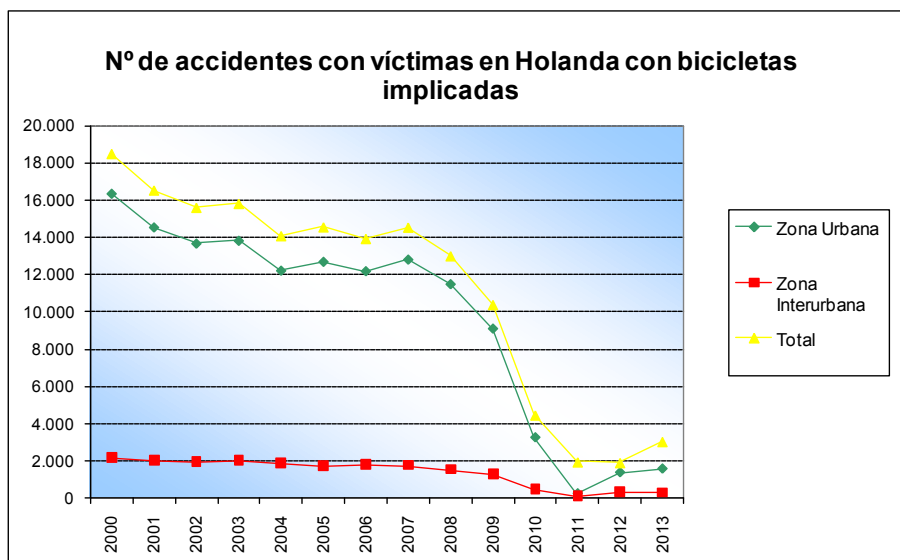


Figura 89: Evolución del nº de accidentes ciclistas en Holanda. Fuente: SWOV, 2015.

En cuanto la distribución del número de accidentes en zona urbana y en función de la hora del día, en el siguiente diagrama se puede observar como al igual que en el caso español hay dos máximos que corresponden a horas punta, en torno a las 8 de la mañana y en torno a las 3 y 4 de la tarde, que coincidirá con las horas de más afluencia de vehículos en las ciudades de Holanda.

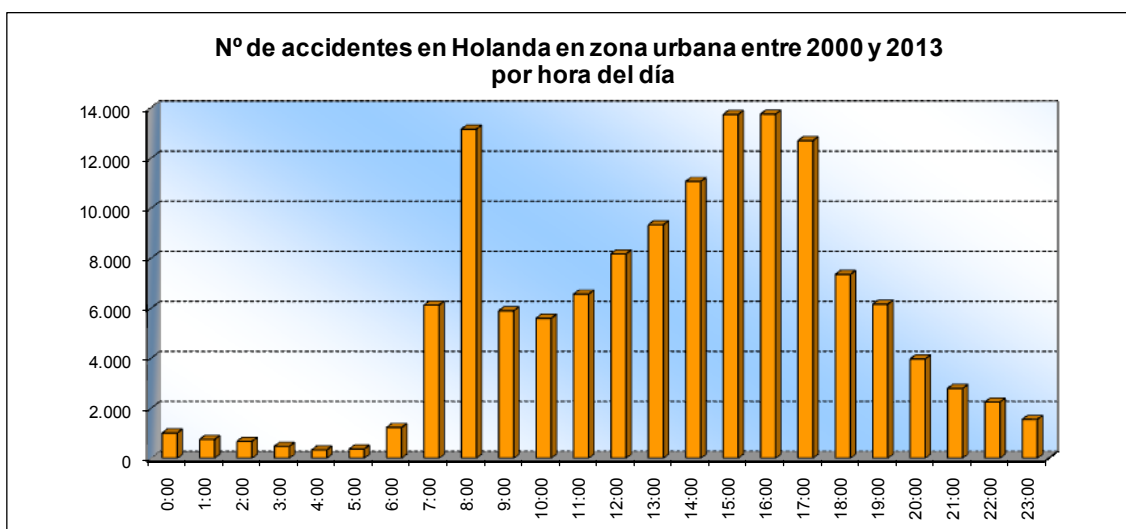


Figura 90: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en función de la hora y en zona urbana.

Fuente: SWOV, 2015.

Para conocer más detalladamente el tipo de accidente que se produce en Holanda en zonas urbanas, se analizarán otros datos que aparecen a continuación.

En primer lugar, se estudia la distribución del número de accidentes en función de si se producen dentro o fuera de las intersecciones. El siguiente diagrama de sectores muestra que el 66,1% de los mismos se produce dentro de las mismas y el 33,9% fuera.

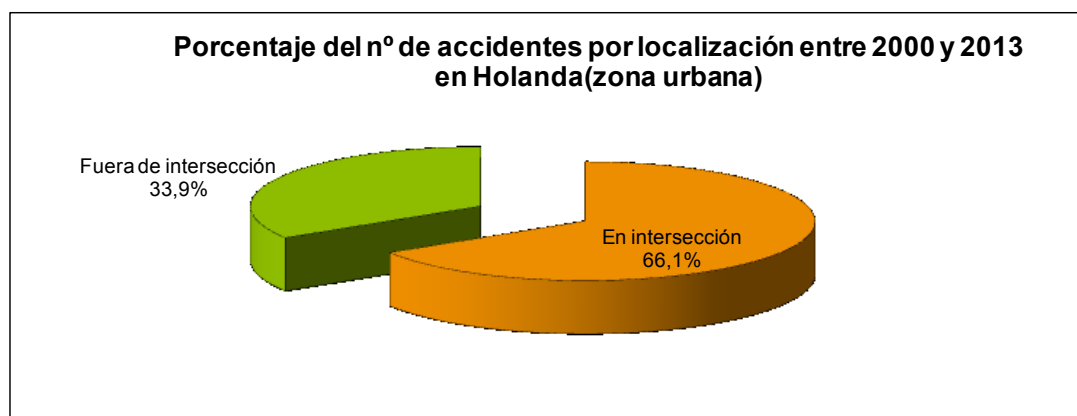


Figura 91: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en zona urbana en función de la localización. Fuente: SWOV, 2015.

Por otro lado, se analiza el lugar en el que se produce el accidente. Se puede apreciar en la siguiente gráfica de sectores que la mayoría se producen en cruces de 4 vías (31,8%), rectas (30,9%) y cruces de 3 vías (27,8%). Más lejos le siguen las rotondas con un 6,4% de los accidentes.

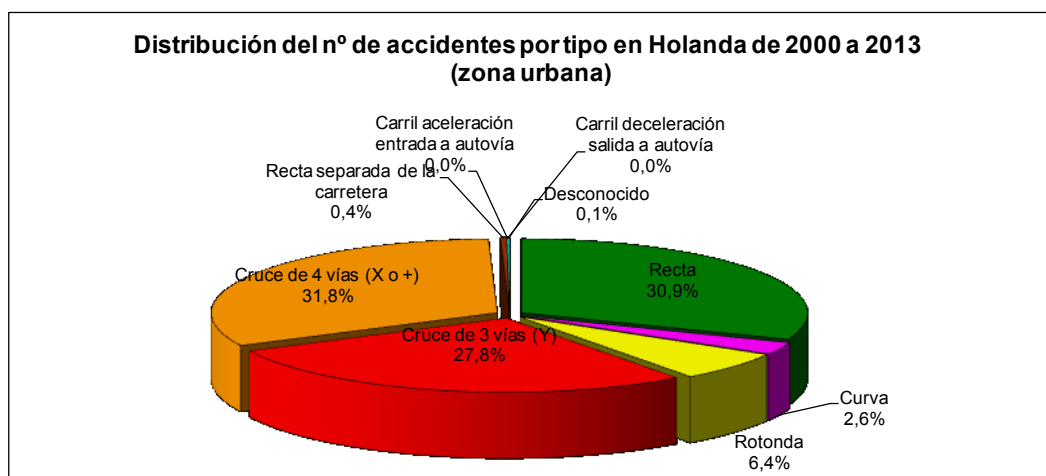


Figura 92: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en zona urbana por tipo de vía. Fuente: SWOV, 2015.

Otra información importante que aporta el SWOV, es la distribución de los accidentes en zona urbana según las condiciones de luminosidad. Se puede apreciar que la mayoría de los mismos se producen durante el día, con el 77,8 %. Este dato es lógico ya que la mayoría de los desplazamientos se realizan en horario diurno, sin embargo, hay que considerar también los accidentes en horario de oscuridad, con el 14,2% de los mismos o durante el crepúsculo, con el 5,7%.

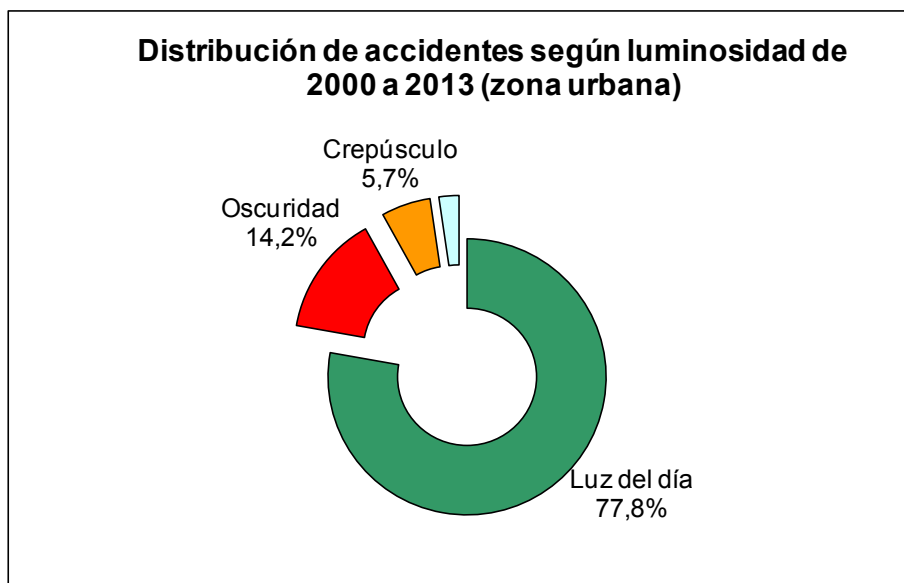


Figura 93: Distribución de los accidentes ciclistas en Holanda en zona urbana según las condiciones de luminosidad. Fuente: SWOV, 2015.

### 2.5.2. Análisis del número de víctimas en accidentes ciclistas

En cuanto a las víctimas en accidentes entre los años 2000 y 2013 en función de la zona, como en otros países analizados, la mayoría se producen en zona urbana con la distribución que aparece en el siguiente gráfico:



Figura 94: Distribución del número de víctimas en accidentes ciclistas en Holanda por zona. Fuente: SWOV, 2015.

Por otro lado, en cuanto al número de muertes en accidentes con bicicletas implicadas, también se puede apreciar una tendencia descendente en los últimos años. Los datos aparecen en la siguiente figura:

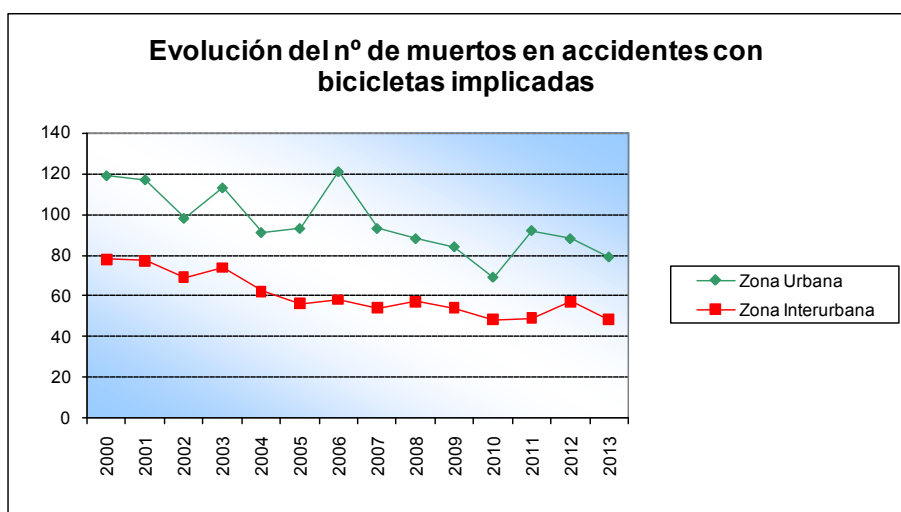


Figura 95: Evolución del nº de muertos en accidentes ciclistas en Holanda. Fuente: SWOV, 2015.

En la distribución del porcentaje de muertes en función de la zona, al igual que sucede en Dinamarca y Alemania, la mayor parte de los mismos se dan en zona urbana, el 61,5%, frente al 38,5% de los de zona interurbana.

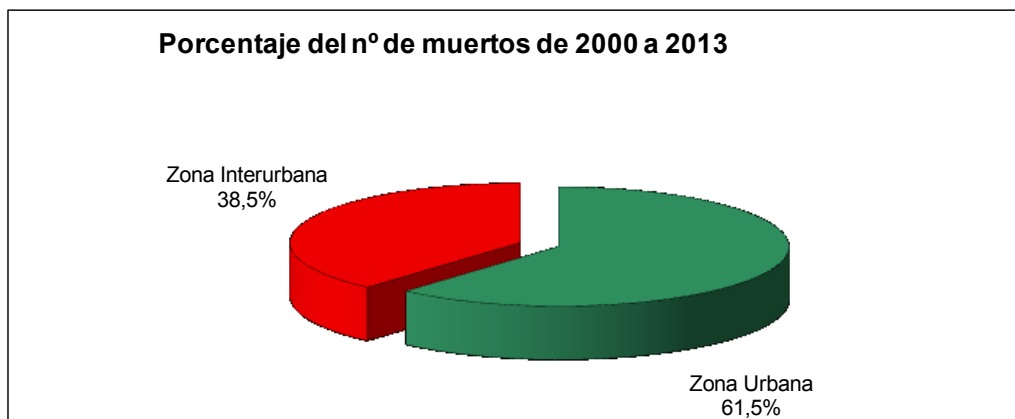


Figura 96: Distribución de los muertos en accidentes ciclistas en Holanda por zona. Fuente: SWOV, 2015.

## 2.6. Análisis comparativo entre los países estudiados

En el presente epígrafe se realizará un estudio comparativo de algunos de los indicadores de accidentabilidad ciclista en los distintos países que se analizan en epígrafes anteriores.

El primer indicador que se analiza, es la distribución de las víctimas en accidentes con bicicletas implicadas en función de que dicho accidente sea en zona urbana o interurbana. Por víctimas, se recogen las personas heridas leves, heridas graves y muertos. Los datos son recogidos entre los años 2000 y 2013, y dicha comparativa se puede ver en la figura siguiente:

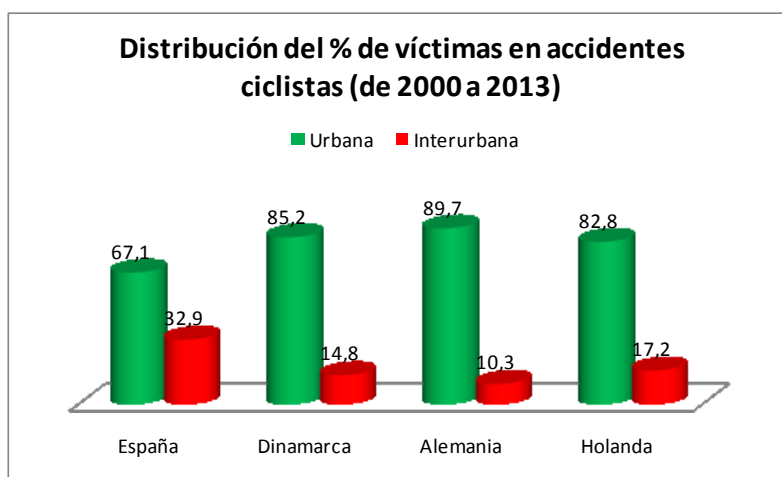


Figura 97: Comparativa por países de la distribución de víctimas en accidentes ciclistas por zona. Fuente: Elaboración propia, 2015.

Como se aprecia en la figura anterior, en todos los países comparados se verifica que la mayoría de las víctimas se producen en zonas urbanas. A excepción de España, en los otros tres países estudiados, los porcentajes de víctimas de accidentes en zona urbana están todos por encima del 80%.

Si de los datos anteriores se extraen solamente las víctimas mortales, surgen algunas diferencias entre países. Como se aprecia en la figura siguiente e igualmente que en el gráfico anterior, existe una gran similitud entre Dinamarca, Alemania y Holanda, con una distribución aproximada del 60% en zona urbana, contra el 40% en zona interurbana. Los datos de España difieren por completo. En este país, la amplia mayoría de los muertos en accidentes con bicicletas involucradas, el 78,5%, se producen en zonas interurbanas. El resto, el 21,5%, en zonas urbanas. Por lo tanto, destaca tanto la mayor diferencia de porcentajes entre ambas zonas como la distribución a la inversa.

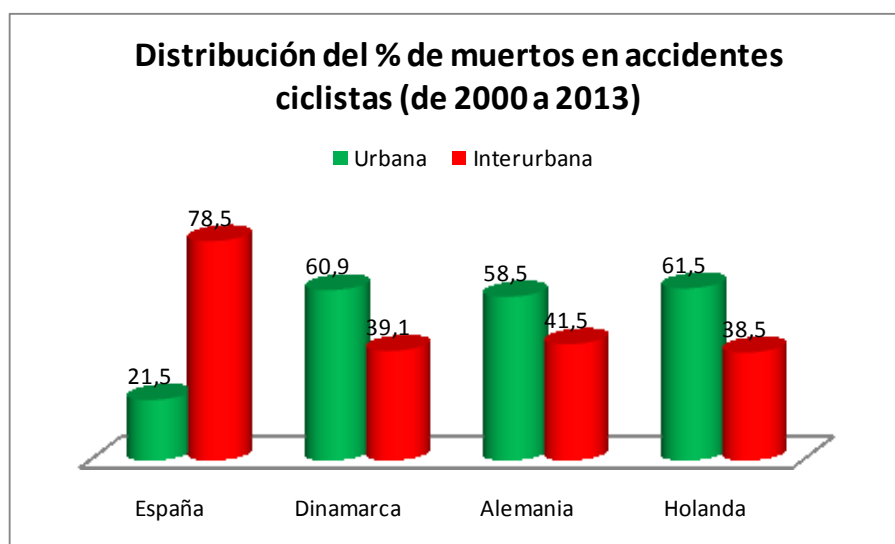


Figura 98: Comparativa por países de la distribución de muertos en accidentes ciclistas por zonas.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se comparan los accidentes en función del lugar de la vía en que se producen (dentro o fuera de las intersecciones). En este caso, como se aprecia en la siguiente figura, hay dos países (España y Dinamarca) con datos muy similares, distribuyéndose el tipo de accidente al 50% cada uno aproximadamente. Sin embargo, los datos de Holanda difieren con respecto a los anteriores. En este último país, la mayoría de los accidentes se producen en intersecciones, el 66,1%, frente al 33,9% que se producen fuera de dichas intersecciones.

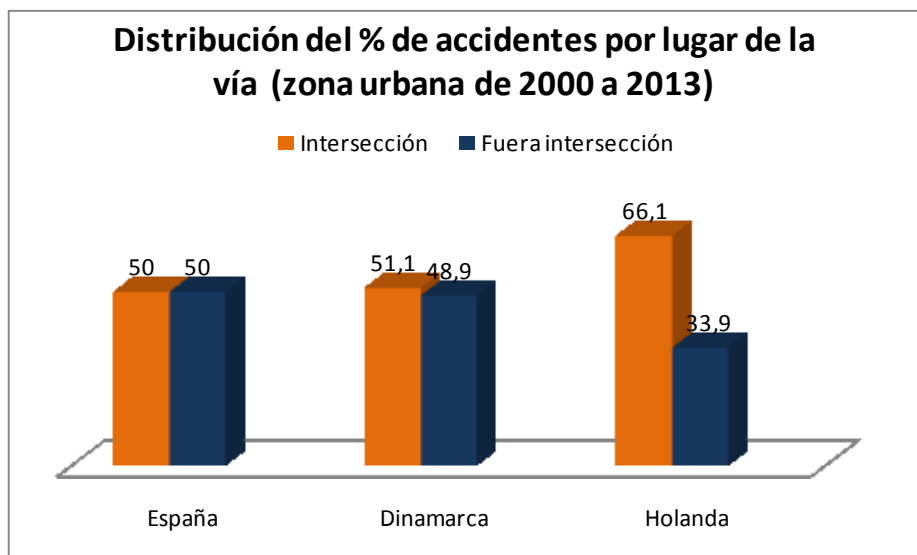


Figura 99: Comparativa por países de la distribución de accidentes ciclistas por lugar de la vía en zona urbana. Fuente: Elaboración propia, 2015.

Si lo que se analiza y compara es el tipo de intersección donde se produce el accidente, los datos entre los países analizados son también bastante similares. La mayoría de los accidentes en intersecciones se producen en las del tipo “4 carriles” (47,1% en España y 47,6% en Holanda). El segundo tipo de intersección donde más accidentes se producen es el de “3 carriles”, seguido por las intersecciones giratorias donde se incluyen las rotondas y glorietas. En la figura siguiente se recogen estos datos:

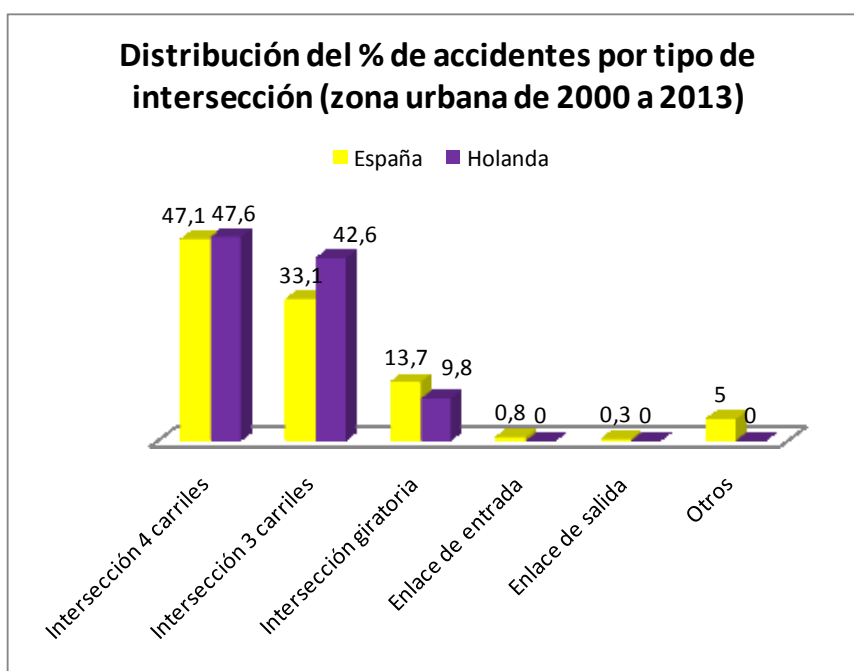


Figura 100: Comparativa por países de la distribución de accidentes ciclistas por tipo de intersección en zona urbana. Fuente: Elaboración propia, 2015.

## 2.7. Encuesta a usuarios de la bicicleta en la ciudad de Málaga

En el presente epígrafe se presenta el resultado de la encuesta realizada a los socios de la principal asociación de usuarios de la bicicleta en la ciudad de Málaga, denominada Ruedas Redondas. El objetivo de dicha encuesta es tener una referencia de la opinión de dichos usuarios en relación con algunos de los puntos planteados en el capítulo 1 de la presente tesis (como el uso de la bicicleta en la ciudad, barreras para dicho uso o la valoración de las instalaciones ciclistas) así como otros aspectos relacionados con la accidentabilidad tratados en el presente capítulo.

Para la recogida de los datos del cuestionario ha sido creado un sitio web. Dicha dirección web ha sido distribuida mediante correo electrónico a cada uno de los socios de la asociación ciclista para su cumplimentación. El resultado a cada una de las cuestiones planteadas se ha almacenado en una base de datos del sitio web, exportable a hojas de cálculo, para poder realizar el tratamiento de los mismos.

Analizando el resultado, referente al sexo de los encuestados, el 73,3% eran hombres y el 26,7% mujeres. La edad media de los mismos era de 43,5 años (45,9 hombres y 39,2 mujeres), donde el 93,3% disponían de carnet de conducir. Las preguntas con el resto de los resultados se presentan a continuación:

- Pregunta 1: ¿Con que frecuencia usa la bicicleta en la ciudad?
  - a) Casi nunca: 16,7%
  - b) 2-3 veces a la semana: 26,7%
  - c) Casi todos los días: 40,0%
  - d) Todos los días: 16,7%
  
- Pregunta 2: Indique el motivo principal por el que usa la bicicleta en la ciudad:
  - a) Para desplazamientos al trabajo: 30,0%
  - b) Para otros desplazamientos: 36,7%
  - c) Para hacer deporte: 23,3%
  - d) Como diversión: 10,0%

- Pregunta 3: ¿Considera suficientes las instalaciones ciclistas en Málaga (carriles bici, aparcamientos, etc)?
  - a) SI: 0,0%
  - b) NO: 100,0%
  
- Pregunta 4: ¿Considera seguras las instalaciones ciclistas en Málaga?
  - a) SI: 6,7%
  - b) NO: 93,3%
  
- Pregunta 5: ¿Cree que están bien interconectados los carriles bici en Málaga?
  - a) SI: 3,3%
  - b) NO: 96,7%
  
- Pregunta 6: ¿Qué factor le desmotiva más para coger la bicicleta en la ciudad?
  - a) Falta de carriles bici o mal comunicados: 40,0%
  - b) Falta de aparcamientos para bicicletas: 23,3%
  - c) La inseguridad o riesgo de accidente: 36,7%
  
- Pregunta 7: ¿Se siente seguro en los carriles bici a nivel de calzada?
  - a) SI: 50,0%
  - b) NO: 50,0%
  
- Pregunta 8: ¿Cree que los automovilistas respetan lo suficientemente los carriles bici?
  - a) SI: 3,3%
  - b) NO: 96,7%
  
- Pregunta 9: ¿Cree que los peatones respetan los carriles bici situados en la acera?
  - a) SI: 6,7%
  - b) NO: 93,3%
  
- Pregunta 10: ¿Cómo prefiere montar en bicicleta por la ciudad?
  - a) Compartiendo calzada con los vehículos: 6,7%

- b) Por un carril bici anexo a la calzada : 20,0%
  - c) Por una vía ciclista separada de la calzada: 73,3%
- Pregunta 11: De las siguientes situaciones, cual considera más peligrosa circulando con bicicleta por zona urbana y SIN CARRIL BICI:
- a) Circular por tramos rectos: 3,3%
  - d) Circular por una intersección: 33,3%
  - e) Circular por una rotonda: 63,3%
- Pregunta 12: De las siguientes situaciones, cual considera más peligrosa circulando con bicicleta por zona urbana y CON CARRIL BICI:
- a) Circular por tramos rectos: 3,3%
  - b) Circular por una intersección: 66,7%
  - c) Circular por una rotonda: 30,0%
- Pregunta 13: ¿Ha sufrido algún accidente usando la bicicleta en la ciudad?
- a) NO: 73,3%
  - b) Sí, en un tramo recto con carril bici: 13,3%
  - c) Sí, en un tramo recto sin carril bici: 0,0%
  - d) Sí, en una rotonda con carril bici: 0,0%
  - e) Sí, en una rotonda sin carril bici: 6,7%
  - f) Sí, en una intersección con carril bici: 6,7%
  - g) Sí, en una intersección sin carril bici: 0,0%
- Pregunta 14: Que tipo de rotonda considera más peligrosa para circular en bicicleta:
- a) Rotonda sin carril bici: 76,7%
  - b) Rotonda con carril bici anexo a la calzada: 16,7%
  - c) Rotonda con carril bici separado de la calzada: 6,7%

Como se puede apreciar en las respuestas de los encuestados, la amplia mayoría está descontenta con las instalaciones ciclistas en la ciudad de Málaga, ya que las consideran insuficientes (100%), inseguras (93,3%) y con los carriles bici mal interconectados entre ellos, siendo este último factor el que más desmotiva para coger la

bicicleta (40%), seguido de la seguridad (36,7%) y por la falta de aparcamientos ciclistas (23,3%).

Otro aspecto interesante a destacar y que puede resultar una barrera para el uso de la bicicleta, es que los ciclistas sienten que los carriles bici no son respetados por los conductores de otros vehículos (93,3%) ni por los viandantes (96,7%).

En cuanto al tipo de instalación ciclista, el 73,3% prefiere las vías separadas de la calzada, seguidos por los carriles bici anexos a la calzada (20%) y en último lugar compartiendo calzada con los vehículos a motor (6,7%).

En último lugar, respecto a las intersecciones, y en ausencia de carril bici, la mayoría considera más insegura las rotondas (63,3%) que las intersecciones (33,3%), mientras que con carril bici, consideran más peligrosas las intersecciones (66,7%) que las rotondas (30%). Respecto al tipo de rotonda, los encuestados consideran más peligrosa la rotonda sin carril bici (76,7%) frente a la que lleva el carril bici anexo a la calzada (16,7%) o la separado de la misma (6,7%).

## 2.8. Conclusiones

El uso de la bicicleta está cada vez más extendido en Europa, siendo Holanda, Alemania y Dinamarca los países que copan las primeras posiciones según distintos indicadores y quedando España muy lejos de los mismos. Entre los indicadores mencionados anteriormente destacan el número de bicicletas por cada mil habitantes, el porcentaje de ciclistas habituales o el número de kilómetros recorridos por habitantes y año.

Analizando la accidentabilidad ciclista en España entre los años 2000 y 2013, hay que destacar que los usuarios de la bicicleta se dividen entre los que la usan como medio de transporte, por ocio o para practicar deporte. Durante los últimos años se ha ido incrementando el número de accidentes y víctimas, siendo la mayoría de ellos en zonas urbanas (67,1%), por el contrario, el mayor número de muertos (78,5%) se producen en zonas interurbanas y su tendencia va en descenso. Centrándose en zona urbana, resulta interesante remarcar que la mitad de los accidentes se produce en intersecciones y la

otra mitad fuera de las mismas. En cuanto a las intersecciones, la mayoría de los accidentes se producen en las de 4 ramales (prácticamente la mitad de ellas), seguidas por las de 3 ramales (33,1%) y las rotondas a continuación (13,7%). Por otro lado, fuera de las intersecciones, la amplia mayoría de los accidentes en zona urbana se producen en recta (91,6%), seguida muy de lejos por los producidos en curva suave (6,8%). El análisis de esa información ha sido posible gracias al tratamiento de los datos almacenados en las bases de datos de la Dirección General de Tráfico.

En cuanto a la accidentabilidad ciclista en Dinamarca (datos extraídos del Banco Oficial de Estadística de Dinamarca o Statistiksbanken), lo más importante es la tendencia a la baja del número de accidentes desde 2001 hasta 2013. En cuanto a la casuística del accidente, el primer tipo de ellos es en el que dos vehículos en diferentes vías se encuentran en una intersección y girando (21,2%), seguido por dos vehículos en distintas vías que se encuentran en una intersección y sin girar (16,8%). Continuando con el número de víctimas, la tendencia también es a la baja en los últimos años, siendo la mayoría de ellas en zonas urbanas (85,2%) al igual que el número de muertos (60,9%).

En cuanto al análisis de la accidentabilidad ciclista en el tercer país investigado, Alemania, los datos se extrajeron de la Oficina Federal de Estadística (Statistisches Bundesamt). Los datos de víctimas entre 2000 y 2013 se han mantenido bastante estables con una leve tendencia decreciente y similarmente al caso de Dinamarca, la gran mayoría de las mismas (89,7%) se registran en zona urbana. Sí existe una tendencia clara a la baja en el número de fallecidos, donde el porcentaje en zona urbana alcanza el 58,5%.

El último país investigado ha sido Holanda, donde los datos se han extraído a través de la base de datos del Instituto Nacional de Investigación en Seguridad Vial (SWOV). La tendencia del número de accidentes es también a la baja entre los años 2000 y 2013, produciéndose el 87,7% de los mismos en zonas urbanas, y dentro de estas zonas, el 66,1% se producen en intersecciones (el 31,8% en cruces de 4 vías, 27,8% en cruces de 3 vías y 6,4% en rotondas). Mencionar también que el 30,9% de los accidentes en zonas urbanas se producen en rectas. Por otro lado, la tendencia del número de fallecidos en accidentes ciclistas se mantiene estable aunque ligeramente

decreciente, con un 61,5% de los mismos en áreas urbanas. Finalmente, otra información que se ha analizado para este país, es como se distribuyen los accidentes por franjas horarias o condiciones de luminosidad. La mayoría de los mismos se producen entre las 15:00 y las 17:00 (horas normales de máxima intensidad media de tráfico), y en función de la luminosidad, el 77,8% durante la luz del día, el 14,2% en la oscuridad y el 5,7% en el crepúsculo.

Por último, en cuanto al análisis comparativo entre países, resaltar que en todos ellos, la gran mayoría de los accidentes se producen en zona urbana, donde Alemania recoge el valor máximo (89,7%) y España el mínimo (67,1%). Respecto a la distribución del número de muertos por zona, cabe resaltar que también en todos los países los datos son bastante similares, con un porcentaje de fallecidos aproximado del 60% en zonas urbanas y sin embargo en España, la mayoría de ellos se producen en zonas interurbanas (78,5%). En cuanto a la distribución de accidentes en zona urbana y por ubicación, en todos los países que proporcionan este dato, alrededor de la mitad se producen en intersecciones y la otra mitad fuera de las mismas, excepto en Holanda, donde el porcentaje sube al 66,1% en el interior de intersecciones. Tanto en España como en Holanda que son los países que proporcionan este dato, los accidentes en intersecciones en zonas urbanas se producen mayoritariamente en cruces de 4 vías, seguidos de cruces de 3 vías y en tercer lugar en rotondas.

**CAPÍTULO 3:**  
**ACCIDENTABILIDAD CICLISTA EN**  
**ROTONDAS. ESTABLECIMIENTO DE**  
**UNA METODOLOGÍA PARA EL**  
**DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS**  
**SEGURAS PARA CICLISTAS EN**  
**ENTORNOS URBANOS**



**CAPÍTULO 3: ACCIDENTABILIDAD CICLISTA EN ROTONDAS.  
ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE  
INFRAESTRUCTURAS SEGURAS PARA CICLISTAS EN ENTORNOS  
URBANOS**

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Justificación de la aplicación de la metodología a las rotondas.
- 3.3. Ventajas de las rotondas para la movilidad urbana sostenible.
  - 3.3.1. Ventajas de las rotondas en la seguridad.
  - 3.3.2. Ventajas ambientales de las rotondas.
- 3.4. Influencia en la seguridad ciclista de la conversión de intersecciones en rotondas.
- 3.5. Elementos que definen una rotonda.
- 3.6. Metodología para el diseño de una infraestructura segura para ciclistas. Aplicación a una rotonda de un solo carril con tráfico mixto.
  - 3.6.1. Establecimiento de los parámetros de diseño de una rotonda.
  - 3.6.2. Recopilación de los valores recomendados de los parámetros de diseño de la rotonda.
  - 3.6.3. Propuesta y justificación de los valores óptimos de los parámetros de diseño.
  - 3.6.4. Desarrollo del cuestionario para la evaluación de la propuesta mediante el Juicio de Expertos.
  - 3.6.5. Selección del número de expertos.
  - 3.6.6. Evaluación de los expertos.
  - 3.6.7. Validación de los resultados mediante el Método Delphi.
- 3.7. Otros condicionantes que influyen en la seguridad ciclista en rotondas.
- 3.8. Conclusiones.



### 3.1. Introducción

Existen multitud de recomendaciones a nivel internacional para cualquier tipo de infraestructura segura para ciclistas que se pretenda diseñar. Sin embargo, van a surgir dos inconvenientes a destacar.

El primero de ellos es que la mayoría de las propuestas están pensadas para una movilidad donde el principal papel está asignado al vehículo a motor (Wegman, Zhang y Dijkstra., 2012). Esto quiere decir que la mayoría de las infraestructuras están diseñadas para que los vehículos a motor puedan circular por ellas a velocidades elevadas y manteniendo flujos de tráfico constante. Sin embargo, lo anterior se traduce en una falta de planificación y diseño donde se tenga en cuenta a los ciclistas. Ésto va a producir consecuencias importantes, ya que los usuarios de la bicicleta son vulnerables en la carretera, y en caso de accidente las lesiones pueden ser graves o mortales.

El segundo inconveniente es que existe mucha variabilidad en las propuestas o recomendaciones de diseño que se establecen, incluso dentro de un mismo país. Esta variabilidad resulta un obstáculo a la hora de que dichas recomendaciones puedan ser normalizadas y que los diseños puedan estar enfocados a la seguridad vial de todos los usuarios, ya sean vehículos a motor, peatones o ciclistas.

En el presente capítulo de la tesis doctoral se ha desarrollado una metodología que permite establecer una propuesta de parámetros de diseño de las infraestructuras que afectan a ciclistas. El desarrollo de la metodología se basa en el modelo tradicional del Proceso de Diseño de Ingeniería, donde quedan desglosadas sus etapas en distintas publicaciones (Goetschalckx, 2011; Kamrani y Nasr, 2010). Basándose en este modelo, y una vez definido el problema de la accidentabilidad ciclista en los capítulos iniciales de la presente tesis, se han ido siguiendo sus pasos. Estos pasos han consistido en la investigación del problema y selección de las distintas alternativas para la selección de una solución óptima. Esta solución ha sido evaluada para confirmar su idoneidad.

Esta metodología será aplicada al diseño de una rotonda de un solo carril con tráfico mixto y en zonas urbanas, por lo tanto, al principio de este capítulo se van a estudiar las ventajas e inconvenientes de las rotondas así como su relación con la movilidad ciclista.

### 3.2. Justificación de la aplicación de la metodología a las rotondas

Como se aprecia en el capítulo 2 de la presente tesis, la mayoría de los accidentes ciclistas en los países analizados, se producen en zona urbana y a su vez en intersecciones. Cuando se analizan estos accidentes, prácticamente la totalidad de los mismos se producen en dos tipos de intersecciones: intersecciones señalizadas de 3 o 4 ramales y giratorias (rotondas).

Por otro lado, existe una importante tendencia a la construcción de rotondas por sus efectos positivos tanto para la seguridad de forma general como para el medio ambiente, siendo hoy en día las rotondas de un solo carril las más comunes (FHWA, 2014). Cabe destacar que las rotondas con tráfico mixto, donde los vehículos a motor y los ciclistas comparten la calzada de circulación, son la solución más habitual y el estándar empleado en muchos países (Daniels *et al.*, 2009), ya sea debido a las condiciones de espacio y/o restricciones económicas.

Desde el punto de vista de la seguridad, las dos principales ventajas de una rotonda son la reducción de la velocidad en los vehículos y la reducción de los puntos de conflicto (Daniels y Wets, 2005; Daniels *et al.*, 2011). Está demostrado también que una rotonda puede causar una reducción en la severidad de un accidente (Qin *et al.*, 2011; Zheng *et al.*, 2013) y disminuir la media de accidentes entre un 30 y un 50% (Elvik, 2003).

A pesar de lo explicado anteriormente, dichas ventajas no son tan claras para los vehículos de dos ruedas (Polders *et al.*, 2014; Moller y Hels, 2008; Daniels, Nuyts, y Wets, 2008). Dichos vehículos intervienen en la mitad de los accidentes con víctimas, o sea, de 10 a 15 veces la siniestralidad de los coches. En España, las bicicletas, que representan menos del 2% del tráfico total, se ven implicadas en el 15% de los accidentes (Ministerio de Fomento, 1999).

Es por todo esto por lo que resulta fundamental considerar a los ciclistas a la hora de diseñar una rotonda en zona urbana que resulte segura para todos los usuarios de la misma, particularizando en la presente tesis doctoral en una rotonda de un solo carril y con tráfico mixto, que como se ha visto en capítulos anteriores, no son la solución más segura, sin embargo, su uso está extendido.

### **3.3. Ventajas de las rotondas para la movilidad urbana sostenible**

Como se explica anteriormente, las rotondas son un elemento clave para el fomento de una movilidad sostenible en las ciudades debido a sus ventajas ambientales y de seguridad.

Desde el punto de vista de la seguridad, las ventajas de las rotondas destacan por sus efectos en la velocidad de los vehículos que la atraviesan y por la reducción de los puntos de conflicto que se generan (Daniels y Wets, 2005; Daniels *et al.*, 2011).

Además de estas ventajas que aparecen anteriormente, también hay que destacar que los usuarios que se aproximan tienen que dar prioridad a los que circulan en la rotonda y que todo el tráfico circula en un mismo sentido (Elvik, 1997).

Fuera del ámbito de la seguridad, pero relacionada con la movilidad, otra ventaja importante de las rotondas sobre las intersecciones tradicionales es que disponen de mayor capacidad de tráfico.

#### **3.3.1. Ventajas de las rotondas en la seguridad**

A) Efecto de las rotondas en la velocidad:

Debido a su diseño (forma circular), las velocidades en rotondas suelen ser bajas y homogéneas.

El propio desplazamiento lateral que tienen que realizar los vehículos para evitar el centro de la rotonda, también es el uno de los causantes de la disminución de velocidad en este tipo de instalaciones.

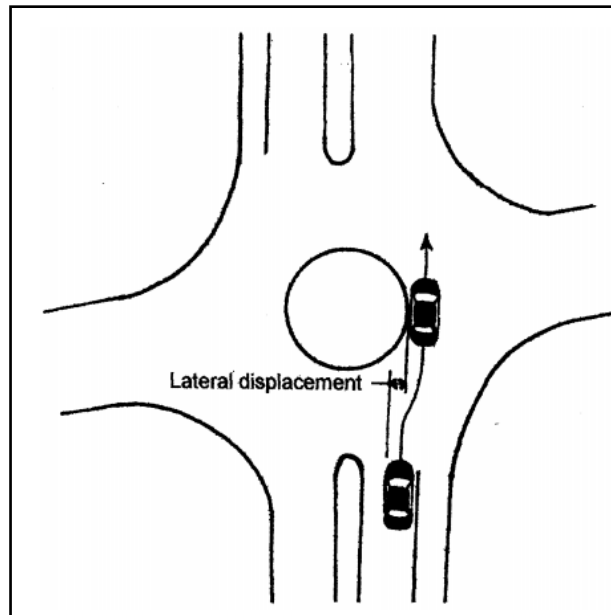


Figura 101: Desplazamiento lateral de un vehículo al paso por una rotonda. Fuente: Hydén y Várhelyi, 2000.

En la siguiente figura se aprecia como el desplazamiento lateral tiene una influencia en la velocidad de entrada en la rotonda:

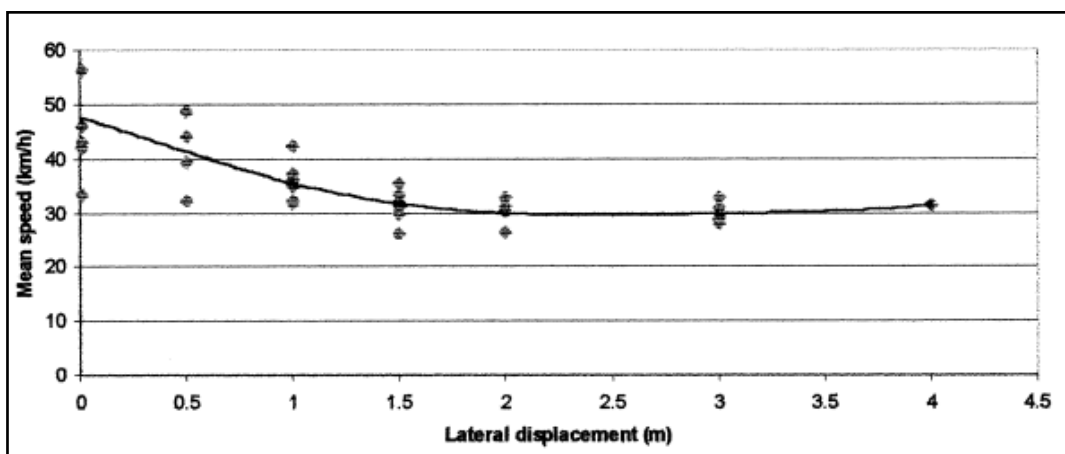


Figura 102: Relación entre el desplazamiento lateral y la velocidad de entrada en la rotonda. Fuente: Hydén y Várhelyi, 2000.

Aparte del desplazamiento lateral, hay otros aspectos que van a condicionar la velocidad en una rotonda. Estos aspectos son (Brüde y Larsson, 2000):

- La velocidad máxima permitida en la rotonda. Como es lógico, las velocidades en las rotondas serán superiores con límites de 70 Km/h que con límites de 50 Km/h.

- La velocidad media es mayor si la rotonda tiene varios carriles.
- La velocidad es menor si el radio de la isleta central es de 10-20 metros que si es más pequeño o más grande.
- El balizamiento a la izquierda al acercarse a la rotonda reduce la velocidad.

Esta disminución en la velocidad proporciona a su vez a los conductores mayor tiempo de reacción en caso de conflicto. Además, en caso de accidente, las bajas velocidades relativas entre usuarios hace que éstos sean de menor gravedad (Rodegerdts *et al.*, 2010).

En la siguiente figura se aprecia la reducción de velocidad que puede suponer el sustituir una intersección tradicional en una rotonda, eliminando prácticamente el exceso de velocidad con el que estaba regulada la intersección de inicio.

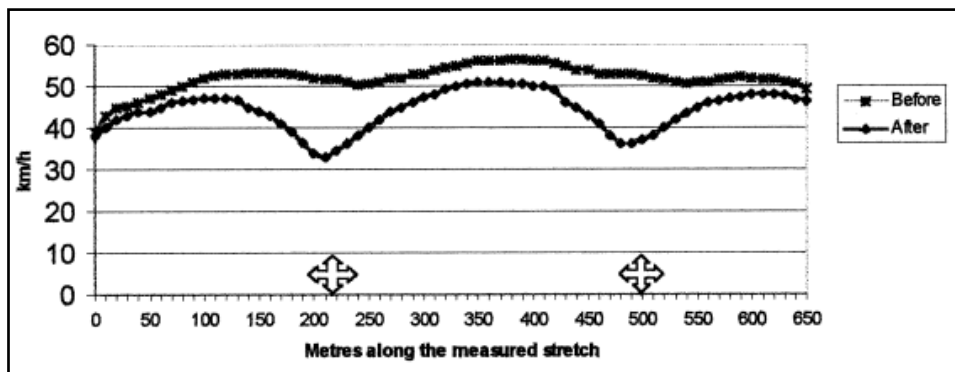


Figura 103: Perfil de la velocidad media en una intersección (antes) y en una rotonda (después). Fuente: Hydén y Várhelyi, 2000.

Aparte de la reducción de velocidad en la propia rotonda, también se reduce en el tramo entre dos rotondas vecinas. Éste último valor depende de la distancia entre intersecciones. Cuando es superior a 300 m, prácticamente no hay reducción (Hydén y Várhelyi, 2000).

## B) Efecto de las rotondas en los conflictos:

Un conflicto se define como una situación en la que dos usuarios de la carretera se acercan en espacio y tiempo siendo inminente una colisión si alguno de ellos no modifica sus movimientos (Sakshaug *et al.*, 2010).

En Estados Unidos, la Federal Highway Administration, define a un punto de conflicto como un lugar en la intersección donde dos vehículos (incluyendo bicicletas o peatones) hacen cola, convergen en el camino, se fusionan o se cruzan.

Los puntos de conflicto se pueden clasificar las siguientes categorías:

- Conflictos por cola: se producen cuando un vehículo circula detrás de otro produciéndose una cola de vehículos. La disminución de velocidad del vehículo que va delante debido a que va a realizar algún tipo de maniobra provoca estos tipos de conflictos. Son los de menor gravedad debido a las bajas velocidades de los implicados y a que en caso de colisión, ésta se produce contra las partes más seguras de los vehículos.
- Conflictos por divergencia: se producen por la separación de dos flujos de tráfico. Suelen provocar también colisiones en la parte delantera y trasera de los vehículos.
- Conflictos por convergencia: causados por la unión de dos flujos de tráfico. Suelen ser más graves que los anteriores ya que hay más probabilidad de choques laterales.
- Conflictos por cruce: cuando se produce una intersección de dos flujos de tráfico. Son los más graves y los que tienen más probabilidad de producir lesiones graves o muertes. Un ejemplo son los accidentes en ángulo recto.

Como se puede apreciar de estas definiciones, la frecuencia de accidentes en una intersección va a estar directamente relacionada con el número de puntos de conflicto en la misma así como el flujo de vehículos en dichos puntos. La utilización de elementos

de regulación del tráfico puede reducir el número de conflictos pero nunca los van a erradicar por completo debido a que no siempre los usuarios cumplen con las normas de circulación.

En una rotonda se eliminan muchos conflictos potenciales con respecto a intersecciones normales. Esta reducción es debido principalmente a (Daniel y Wets, 2005):

- Solo hay que mirar en una dirección ya que todo el flujo de tráfico va en un sentido.
- El tráfico entrante tiene que dar prioridad al que circula en la rotonda, por lo tanto los conductores toman precauciones al entran en la misma.

Como se puede ver en la siguiente figura, los puntos de conflicto en una intersección de tres ramales (tipo T) y doble sentido de circulación con respecto a una rotonda para los mismos ramales, pasan a ser de 9 a 6. Los puntos negros son conflictos por divergencia de flujos de tráfico (salida), los blancos y negros por convergencia (entrada) y los solamente blancos por cruce.

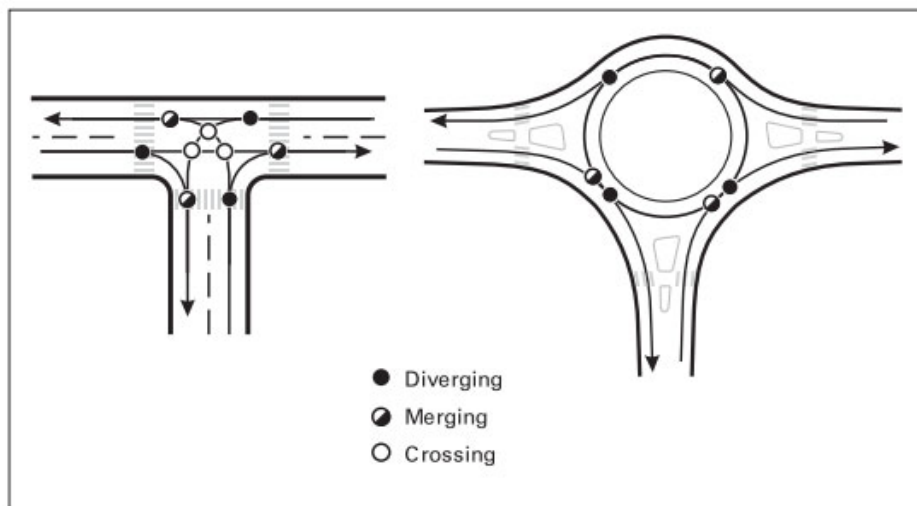


Figura 104: Puntos de conflicto en intersección y rotonda de 3 ramales. Fuente: Rodegerdts *et al.*, 2010.

Si lo que se compara es una intersección de 4 ramales con doble sentido de circulación con una rotonda a la que podría reemplazar, los puntos de conflicto entre vehículos pasan de 32 a 8. Estos puntos se pueden ver en la figura siguiente:

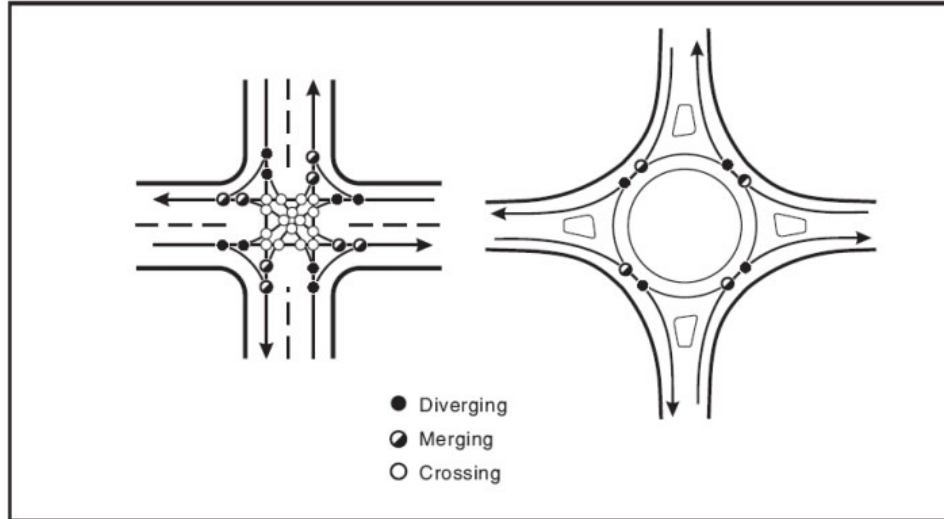


Figura 105: Puntos de conflicto en intersección y rotonda de 4 ramales. Fuente: Rodegerdts *et al.*, 2010.

Estos puntos de conflicto que se muestran en las dos imágenes anteriores, representan flujos de tráfico normales de los vehículos a motor. Si se considera a los ciclistas como un usuario especial de la vía, surgen puntos de conflicto adicionales, ya que por tendencia natural, éstos suelen ocupar la parte derecha de la calzada, poniendo en peligro su seguridad al crear conflicto con los vehículos que van a girar a la derecha.

Si se analiza una intersección de 4 ramales y se representa el flujo de tráfico que puede seguir un ciclista en la misma, se generarán unos puntos de conflicto adicionales como muestran la siguiente figura:

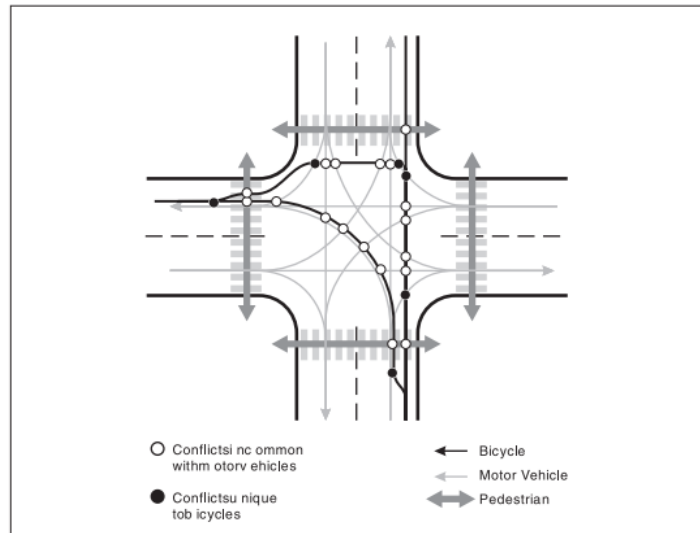


Figura 106: Puntos de conflicto de ciclistas en intersección de 4 ramales. Fuente: Rodegerdts *et al.*, 2010.

En la figura anterior se muestra como surgen algunos conflictos adicionales en el flujo que puede seguir un ciclista en la intersección y que está representado por la línea negra.

Un conflicto que no aparece en la figura anterior pero que también se suele dar es el originado por ciclistas experimentados. Estos ciclistas suelen unirse al flujo de tráfico antes de entrar en la intersección, creando este conflicto adicional pero evitando otros más graves que pueden ocurrir dentro.

También hay que reseñar los conflictos de los ciclistas en los pasos de peatones. Estos pueden ser con los propios peatones si circulan como un vehículo por la calzada, o con los vehículos, si atraviesan dichos pasos como un peatón más.

Por último, cabe reseñar que la presencia o no de una instalación ciclista en una intersección va a influir también en el número de puntos de conflicto. Una vía ciclista separada de la intersección, disminuye considerablemente estos conflictos.

### 3.3.2. Ventajas ambientales de las rotondas

Los beneficios ambientales de las rotondas con respecto a las intersecciones tradicionales son básicamente debido a la reducción de emisiones contaminantes, debido a la reducción del consumo de combustible y debido a la reducción de ruido.

Existen estudios de investigación que demuestran la disminución de emisiones contaminantes debido a la reducción del tiempo de actividad del vehículo en las mismas. Comparando una rotonda con una intersección controlada por señal de STOP, la reducción de contaminantes es la siguiente (Mandavilli, Rys y Russell, 2008):

- Entre el 21 y 42% de emisiones de Monóxido de Carbono (CO).
- Entre el 16 y 59% de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).
- Entre el 20 y 48% de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- Entre el 17 y 65 % de Hidrocarburos (HC).

Ligado a esta ventaja anterior está el consumo de combustible. En los vehículos de combustión, generalmente el consumo es mayor cuando el vehículo se encuentra a ralentí o cuando se interrumpe la marcha, que cuando circula a una velocidad constante. En las rotondas, siempre y cuando no haya cola de vehículos, la circulación se va a producir de forma más constante que si la intersección es controlada por semáforo o por señal.

Otro beneficio ambiental importante del uso de rotondas es la disminución del nivel de ruido. Un estudio de la Universidad de Lund en Suecia (Hydén y Várhelyi, 2000), comparó los niveles de ruido antes y después de construir rotondas en tres intersecciones distintas. Se produjeron reducciones de 3.9, 4.2 y 1.6 dB(A) respectivamente. Estos valores se pueden apreciar en la siguiente tabla:

	Nivel de Ruido [dB(A)]		
	Intersección 1	Intersección 2	Intersección 3
Antes	69	64,7	68,6
Después	65,1	60,5	67
Diferencia	-3,9	-4,2	-1,6

Tabla 30: Reducción del nivel de ruido en rotondas. Fuente: Hydén y Várhelyi, 2000.

Según los autores, estos mismos descensos del nivel de ruido se pueden alcanzar disminuyendo el flujo de vehículos en un 50% para las dos primeras rotondas y en un 25% para la tercera.

### **3.4. Influencia en la seguridad ciclista de la conversión de intersecciones en rotondas**

Como se aprecia en el epígrafe 3.2, por lo general, las rotondas son más seguras que las intersecciones, por lo tanto, convertir una intersección tradicional en una rotonda debería suponer una mejora de la seguridad para los usuarios de la misma.

Cuando se analizan las mejoras en términos generales de esta conversión y sin considerar al tipo de usuario, existen muchos estudios que demuestran dicha mejora.

Elvik, en el año 2003, estudiando distintas investigaciones realizadas fuera de Estados Unidos establece lo siguiente (Elvik, 2003):

- La conversión de intersecciones a rotondas supone una reducción media del porcentaje de accidentes con lesiones de entre un 30 y un 50%.
- Las rotondas reducen la severidad de las lesiones. Los accidentes fatales se reducen entre un 50 y un 70% dependiendo del control del tráfico previo en la intersección.

Cuando se estudian los porcentajes de reducción de accidentes, hay que considerar que dependiendo del país donde se hayan realizado los estudios, estos porcentajes son distintos (Macioszek, Sierpiński y Czapkowski, 2010).

La reducción de los accidentes se puede clasificar en la siguiente forma:

- Austria entre -41% y -61%.
- Alemania - 36%.
- Países Bajos - 47%.
- EE.UU. - 37%.

Lo mismo ocurre con la reducción de los accidentes con víctimas:

- Austria - entre 45% y 87%
- Francia - entre 57% y 78%.
- Reino Unido - entre 25% y 39%.
- EE.UU. - 51%.

Otras investigaciones realizadas en Estados Unidos (Persaud *et al.*, 2001), estimaron reducciones de hasta el 80% en la reducción de accidentes con lesiones y 90 % de reducción de accidentes fatales, cuando la intersección es reemplazada por una rotonda.

También resulta interesante estudiar como esta mejora depende del tipo de señalización que controle la intersección a la que sustituye la rotonda. La disminución en el número de accidentes con víctimas es más alta en intersecciones que fueron controlados por señales de prioridad que en las intersecciones que fueron controladas por semáforo (Schoon y Van Minnen, 1994). Estos mismos autores establecen que este aumento de la seguridad de las rotondas es mayor en zonas no urbanas que en zonas urbanas. La misma conclusión de mayor aumento de seguridad en zonas interurbanas también aparece en otro estudio realizado en Estados Unidos (Gross *et al.*, 2013), donde también se concluye que los beneficios son mayores cuando las intersecciones (previamente señalizadas) son de 4 ramales y no de 3. Finalmente, también otro estudio realizado en Estados Unidos, donde solo se emplearon rotondas de un solo carril, y la intersección que reemplazaban estaba señalizada por señal de stop, muestra evidencias de mejoras en la seguridad tras la implantación de las mismas (Flannery, 2001).

Cabe resaltar que aunque estos datos muestran mejora en la seguridad, si el análisis se centra en los ciclistas como usuarios, la amplia mayoría de los estudios realizados muestran un empeoramiento para la seguridad de los mismos cuando una intersección se convierte en rotonda.

Una investigación realizada en Bélgica muestra que la construcción de una rotonda, en general, aumenta el número de lesiones graves en accidentes con ciclistas independientemente del tipo de diseño de las infraestructuras ciclistas (incremento del 27% en el número de accidentes ciclistas con lesiones cerca de la rotonda e incremento

de accidentes graves o mortales entre 42 y 46%). Los datos revelan cierta tendencia a que las rotondas con vías ciclistas separadas se comportan peor, pero este efecto es inseguro. Estos efectos perjudiciales se producen sobre todo en zonas urbanas, mientras que en zonas interurbanas las diferencias de la conversión son poco significativas (Daniels *et al.*, 2009).

Por otro lado, otras investigaciones (Brude y Larsson, 2000) encontraron una reducción del 20% en accidentes con lesiones en ciclistas pero en rotondas de un solo carril. Por el contrario estimaron un aumento del 112% en rotondas de varios carriles.

Un estudio realizado en Flandes (Bélgica) entre los años 1994 y 2000 analiza también los efectos de la seguridad al convertir intersecciones en rotondas. Analizando las rotondas de zonas urbanas (intersecciones con límite de velocidad de 50 Km/h) y a los efectos en usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motocicletas), se apreció que los efectos globales son también positivos (14% de reducción de accidentes en usuarios vulnerables). Sin embargo, esta reducción se debe principalmente a que muchas de las rotondas sustituyeron a intersecciones sin regulación por semáforo. Cuando solamente se analizan las rotondas que suplantán a intersecciones previamente controladas por semáforo, se concluye que hay un aumento del 28% de accidentes con lesiones a usuarios vulnerables. Este estudio también desvela que el número de víctimas mortales en accidentes grave se quintuplica en rotondas que sustituyen a intersecciones reguladas por semáforo y se dobla en rotondas que sustituyen a intersecciones sin regular por semáforo (De Brabander y Vereeck, 2007).

### 3.5. Elementos que definen una rotonda

Como se define en el capítulo 1, una rotonda es un tipo de intersección donde el flujo de tráfico sigue una trayectoria circular y en un solo sentido. Estas rotondas pueden disponer de uno o varios carriles, los cuales definirán su diámetro total. El número de ramales de salida y entrada dependerán del número de vías que se crucen en la intersección.

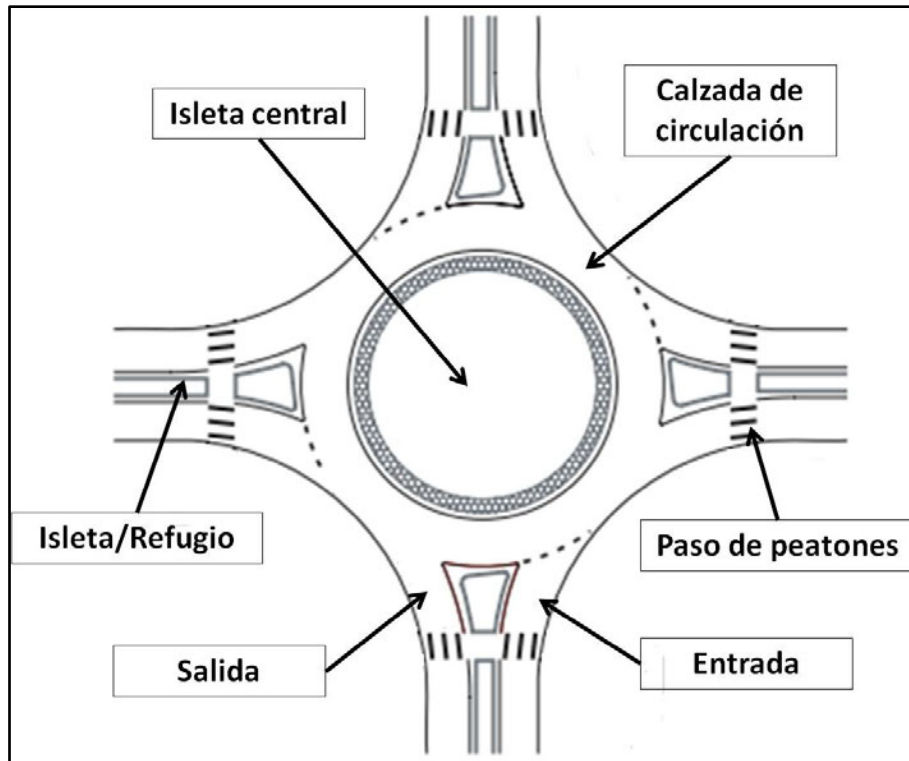


Figura 107: Elementos que definen una rotonda. Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la anterior figura se pueden apreciar las partes principales que componen una rotonda. Dichas partes van a definir una serie de parámetros de diseño, en este caso se trata de una rotonda de un solo carril de circulación donde se puede distinguir:

- Calzada de circulación: también denominada calzada anular. Es el espacio asfaltado comprendido entre el diámetro inscrito y la isleta central. Esta es la zona que está destinada a la circulación de los vehículos. Recoge el tráfico de la intersección, reconduciéndolo hacia las salidas y obligando a un único sentido de circulación. Su característica principal es la anchura.
- Isleta central: zona no transitable por vehículo ni peatones en el centro de la rotonda (interior de la calzada anular). Suele ser circular aunque en algunas ocasiones son ovaladas o elípticas. Entre sus funciones principales, destaca por un lado la creación de un obstáculo para que los vehículos que se aproximan a la rotonda disminuyan su velocidad y cambien de dirección. Ello obliga a los vehículos a realizar la denominada “deflexión” (desviación de la trayectoria del vehículo alrededor de la isleta). Por otro lado, sirven también como elemento para resaltar la presencia de la rotonda y así avisar a los conductores de los

vehículos. Esta isleta puede tener el borde transitable (bordillo achaflanado) para facilitar la circulación de vehículos de grandes dimensiones. La característica principal es su diámetro.

- **Isleta o Refugio:** se les denomina también isletas deflectoras y son una zona no transitable para los vehículos y que sirve como refugio de los peatones. Además de proteger a dichos peatones, realizan las siguientes funciones: regular la velocidad de circulación en la aproximación a la rotonda, señalar dicha rotonda, generar la deflexión adecuada a la entrada y la salida o separar los sentidos de circulación en cada uno de los ramales. Sus características principales son la longitud y anchura.
- **Entradas:** son los lugares de acceso a la rotonda. Las características de las entradas son clave para la seguridad de la misma. Sus características más importantes son su anchura, el radio y el ángulo de entrada.
- **Salidas:** son los lugares por donde se abandona la rotonda. Al igual que las entradas, sus características más importantes son su anchura, radio y ángulo.

### **3.6. Metodología para el diseño de una infraestructura segura para ciclistas. Aplicación a una rotonda de un solo carril con tráfico mixto**

Como se explica en la introducción, en el presente capítulo se pretende establecer una metodología que permita el diseño de infraestructuras seguras para ciclistas. El desarrollo de la metodología se basa en el modelo tradicional del Proceso de Diseño de Ingeniería (Goetschalckx, 2011; Kamrani y Nasr, 2010). Los pasos de este modelo se muestran en la figura siguiente:

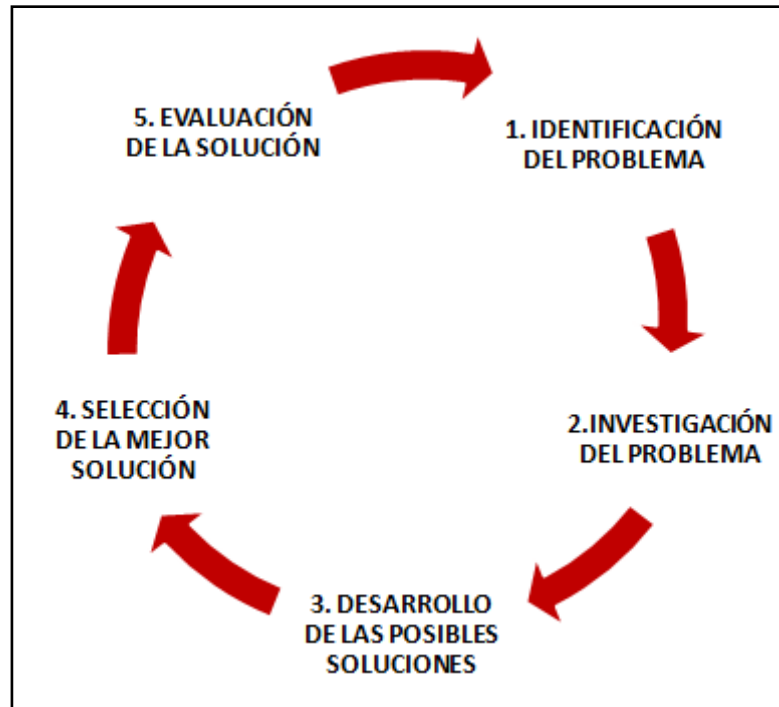


Figura 108: Pasos para un proceso de diseño de ingeniería. Fuente: Elaboración propia adaptado de Kamrani y Nasr, 2010.

- Paso 1: Identificación del problema. Durante el capítulo 2 y 3 de la presente tesis doctoral se ha analizado la accidentabilidad ciclista, identificando el problema de seguridad al que se ven sometidos los usuarios de la bicicleta.
- Paso 2: Investigación del problema. En el apartado 3.2. del presente capítulo queda justificada la aplicación de esta metodología al diseño de rotondas en zonas urbanas. Distintos estudios demuestran que el diseño geométrico es el factor que más contribuye en un accidente (Montella, 2011), por lo que tras un proceso de investigación se establecerán los parámetros más importantes en el diseño de una rotonda.
- Paso 3: Desarrollo de las posibles soluciones. Se realizará una recopilación de los valores recomendados de los parámetros de diseño, mediante la consulta de fuentes de referencia.
- Paso 4: Selección de la mejor solución. Dentro de las distintas soluciones investigadas, se justificará la solución óptima estableciendo una propuesta de infraestructura segura para ciclistas.

- Paso 5: Evaluación de la solución. Para la evaluación y validación de la solución aportada se ha elegido la realización de un Juicio de Expertos analizando el resultado mediante el Método Delphi. En la metodología establecida, este paso se ha dividido a su vez en varias etapas: desarrollo del cuestionario, selección del número de expertos, evaluación de los expertos y validación del resultado.

Siguiendo los pasos del modelo anterior y aplicándolo al diseño de una instalación segura para ciclistas, se ha establecido una metodología basada en las siguientes etapas, las cuales serán desarrolladas en los siguientes epígrafes:

- a) Establecimiento de los parámetros de diseño de la infraestructura, destacando aquellos que puedan influir directamente a la seguridad ciclista.
- b) Recopilación de los valores recomendados de los parámetros de diseño mediante la consulta de fuentes de referencia de países donde la movilidad ciclista está más desarrollada.
- c) Propuesta y justificación de los valores óptimos en los parámetros de diseño. Para la selección de dichos valores se tendrá en cuenta aquellos que potencien directamente la seguridad, argumentando dicha selección.
- d) Desarrollo del cuestionario para la evaluación de la propuesta mediante el Juicio de Expertos. En dicho cuestionario se mostrarán los valores propuestos y la justificación.
- e) Selección del número de expertos. Los mismos deberán poseer experiencia en la materia.
- f) Evaluación de los expertos. Dicha evaluación servirá para elegir aquellos expertos considerados aptos para tal fin.
- g) Validación de los resultados del mediante el Método Delphi. Dicho método permitirá reajustar los valores propuestos en caso de que haya desacuerdo permitiendo su validación cuando se produzca un consenso.

La equivalencia entre el modelo clásico y la metodología propuesta se puede ver en la siguiente figura:

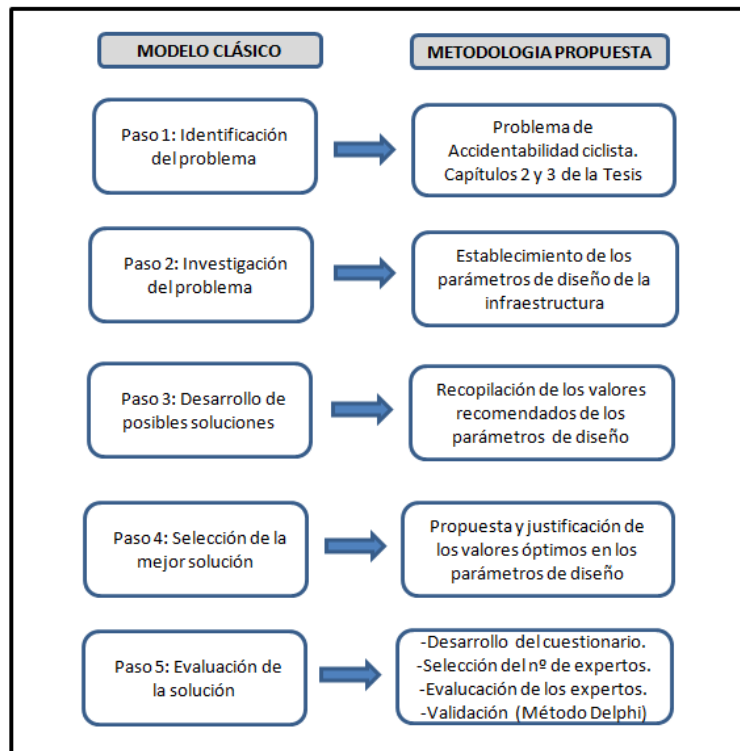


Figura 109: Equivalencia entre el modelo clásico y la metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 3.6.1. Establecimiento de los parámetros de diseño de una rotonda

Cuando se diseña una rotonda segura para ciclistas se tienen que considerar cuidadosamente una serie de parámetros de diseño. Está demostrado que el diseño geométrico es el factor que más contribuye en un accidente (Montella, 2011), por lo tanto es fundamental para la seguridad de la misma (Montella *et al.*, 2012). Los valores de estos parámetros quedan definidos en distintas recomendaciones que existen hoy en día a nivel internacional, sin embargo, las discrepancias entre las distintas fuentes hacen difícil tener una idea clara a la hora de diseñar una rotonda segura para ciclistas. De acuerdo con las fuentes consultadas (CROW, 1998; Vejdirektoratet, 2012; FGSV, 2008; Hoz y Pozueta, 1995; Rodegerdts *et al.*, 2010), los principales parámetros a tener en cuenta a la hora de diseñar una rotonda son: la anchura de la entrada, la anchura de la salida, la anchura de la calzada, el diámetro de la isleta central, el diámetro inscrito, el

radio de entrada, el radio de salida y el ángulo de entrada. Todos estos parámetros de diseño se indican en la siguiente figura:

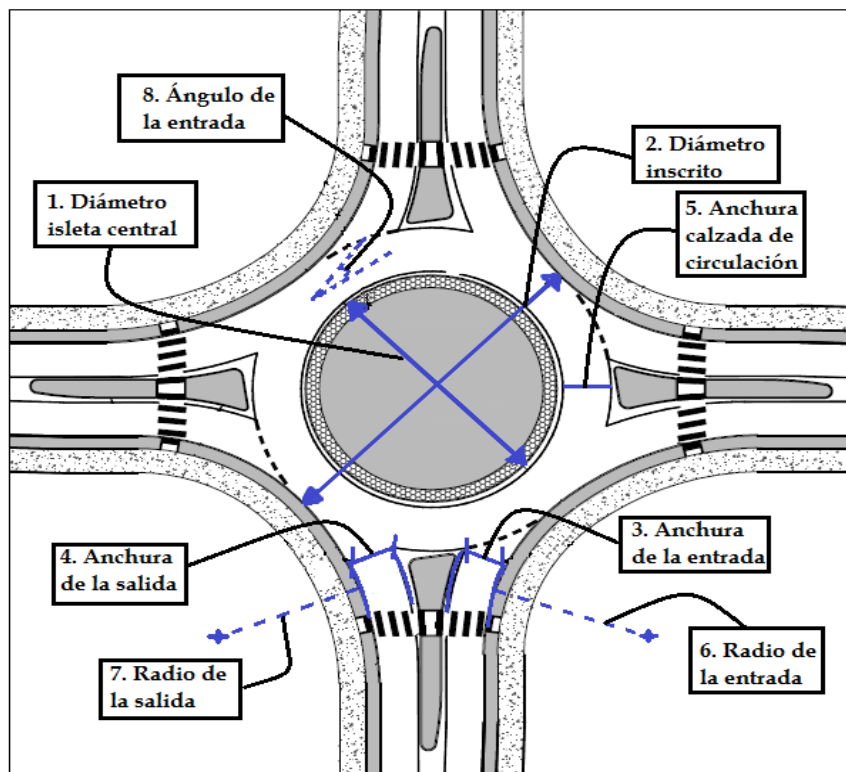


Figura 110: Principales parámetros de diseño de una rotonda. Fuente: Elaboración propia, 2014.

- Diámetro inscrito: es el diámetro de la circunferencia inscrita hasta el borde de la calzada. Coincide con la suma del diámetro de la isleta central y la anchura de la calzada de circulación.
- Anchura de la entrada: es la anchura del acceso a la rotonda. Es un parámetro muy importante ya que va a definir la capacidad de la misma. Por otro lado, está directamente relacionada con la velocidad de circulación. A mayor anchura, mayor velocidad, y por lo tanto mayor riesgo de accidente.
- Radio de la entrada: es el radio de la curva que describe la parte exterior del ramal de entrada de la rotonda. Este parámetro también es importante ya que influye en la deflexión de los vehículos, su velocidad y en la capacidad de la rotonda. Mayores radios de entrada propician también la posibilidad de mayores velocidades de circulación.

- **Ángulo de la entrada:** es el ángulo que forma la trayectoria recta de entrada en la rotonda con la trayectoria recta de salida por el siguiente ramal. Los ángulos demasiado pequeños interfieren el funcionamiento propio de la rotonda, pues obligan a los conductores a mirar hacia atrás si viene algún vehículo y favorecen la entrada a velocidad elevada, incluso sin respetar la prioridad del tráfico que circula por la calzada anular. Los ángulos demasiado grandes también interfieren el funcionamiento normal de la rotonda, pues favorecen los conflictos en forma de cruce. Esto se puede ver en la figura siguiente:

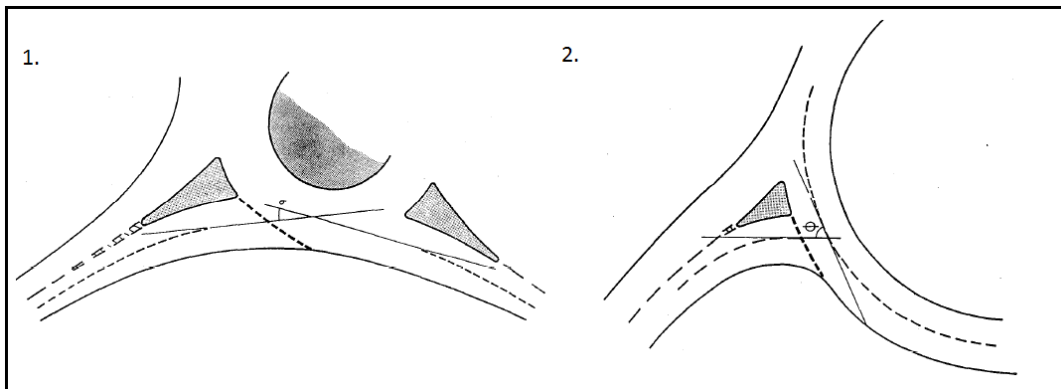


Figura 111: Ángulos de entrada demasiado pequeño (1) y demasiado grande (2) en una rotonda. Fuente: Ministerio de Fomento, 1999.

- **Anchura de la salida:** anchura del ramal salida de la rotonda.
- **Radio de salida:** al igual que el de la entrada, es el radio de la curva que describe la parte exterior del ramal de salida de la rotonda.
- **Diámetro/radio de la isleta central:** es el radio/diámetro de la zona no transitable en el centro de la rotonda.

### 3.6.2. Recopilación de los valores recomendados de los parámetros de diseño de la rotonda

La selección comienza mediante la búsqueda y elaboración de una tabla resumen con los valores recomendados de los parámetros de diseño de la rotonda. Esta tabla se obtiene a través de un profundo análisis de fuentes internacionales en la materia. El análisis se centra en las normas y recomendaciones de distintos países donde de acuerdo a diferentes autores (Dekoster y Schollaert, 2000), la movilidad ciclista está más desarrollada, por lo que se eligen fuentes de Holanda (CROW, 1998), Dinamarca (Vejdirektoratet, 2012) y Alemania (FGSV, 2008). En estos países, dichas fuentes son seguidas por distintas instituciones para el diseño de rotondas.

Por otro lado, el análisis también incluye las recomendaciones en España (país donde se realiza la presente tesis) con las fuentes de Ministerio de Fomento (1999) y Hoz y Pozueta (1995). Estas dos referencias se identifican como A y B en la siguiente tabla.

Finalmente, puesto que tanto Estados Unidos como Gran Bretaña tienen bastante estandarizado el diseño de rotondas, se decide incluir una fuente de ambos países, como son Rodegerdts *et al.* (2010) y Department for Transport (2007).

La tabla resumen definitiva con todos estos valores recomendados se puede ver a continuación:

		FUENTE BIBLIOGRAFICA INTERNACIONAL						
		1. España A	2. EEUU	3. España B	4. Inglaterra	5. Holanda	6. Alemania	7. Dinamarca
PARÁMETRO DE DISEÑO	Diámetro de isleta central (m)	4 mínimo		Entre 15-30	4 mínimo	21 típico		
	Diámetro inscrito (m)	Entre 28-36	Entre 27-46		Entre 28-100	32 típico	Entre 26-40	
	Anchura de la entrada-Ae (m)	2,5 mínimo	Entre 4,2-5,5		Entre 3-4,5	4 típico	Entre 3,25-3,75	3 típico
	Anchura de la salida (m)	Entre 7-7,5			Entre 7-7,5	4,5 típico	Entre 3,5-4	3 típico
	Anchura de la calzada anular (m)	(1-1,2)xAe			(1-1,2)xAe.	5,5 típico	Entre 6,5-9	
	Radio de la entrada (m)	20 mínimo	Entre 15-30	Entre 10-20	10 mínimo	8-12 típico	Entre 10-14	Entre 8-10
	Radio de la salida (m)	20 mínimo	15 mínimo. Entre 30-60 típico	Entre 15-25	Entre 20-100 40 típico	12-15 típico	Entre 12-16	Entre 8-10
	Ángulo de entrada (grados)	Entre 20-60. Típico 25	Entre 20-40	Entre 20-60	Entre 20-60			

Tabla 31: Valores de parámetros de diseño recomendados por países para una rotonda de un solo carril.

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Los datos de la tabla confirman lo que se explica anteriormente, es decir, la diferencia en las recomendaciones dependiendo de la fuente.

### 3.6.3. Propuesta y justificación de los valores óptimos de los parámetros de diseño

Una vez que las recomendaciones para los valores de cada parámetro fueron compiladas, las diferentes opciones han sido evaluadas después de un detallado estudio de la literatura. Posteriormente se han elegido los valores óptimos. Para ello se han tenido en cuenta los estudios de investigación que existen en el diseño de rotondas que argumenten los valores seleccionados. En la mayoría de los casos, la selección de los valores de los parámetros se realizó en base a la reducción de velocidad que dichos parámetros producen al circular por la rotonda.

A continuación se argumenta parámetro a parámetro las justificaciones de la selección de los valores. Dichas justificaciones están basadas en recomendaciones internacionales, estudios de investigación y/o regulaciones legales.

1. Diámetro de la isleta central: existen estudios que vinculan este radio con la seguridad ciclista (Brüde y Larsson, 2000). Como se ha visto en epígrafes anteriores, este parámetro está muy vinculado con la velocidad de circulación en la rotonda.

A mayores radios interiores, mayores velocidades, por lo tanto, cuanto mayor es este radio, mayor es la tasa de accidentes (Brüde y Larsson, 2000). Además, estos mismos autores especifican que son más seguras las rotondas con un radio de la isleta central entre 10 y 25 metros, si se comparan con rotondas con radios mayores o menores. Los modelos de predicción de este estudio sueco, establecieron que una rotonda con una isleta central no transitable con un radio mayor de 10 metros reduce el número de accidentes (reduce tanto el nº de accidentes al año y el ratio de accidentes de ciclistas por millón de ciclistas). Estos datos se reflejan en la siguiente tabla:

Radius of central island	Veh. per day, average	Cycles per day, average	No. of roundabouts	No. of accident years	Observed No. of accidents	Pred. No. of accidents
< 10 m	9464	1050	30	87	19	18.4
> 10 m	12782	1101	28	76	9	17.2

Tabla 32: Número de accidentes en función del radio de la isleta central. Fuente: Brüde y Larsson, 2000.

Estos datos se justifican por el hecho de que a radios menores de 10 metros o mayores de 25, permiten a los vehículos que pasen la rotonda de forma más recta, lo que permite mayores velocidades y por tanto aumentar el ratio de accidentes y de ciclistas heridos.

Sin embargo, otros autores (Hall y McDonald, 1988), estudiaron mediante modelos de regresión binomial la relación entre el índice de accidentes y el diámetro de la isleta central sin encontrar ninguna evidencia de dicha vinculación. A esta misma conclusión llegaron en un estudio holandés, aunque estos investigadores si encontraron que cuanto más grande es la isleta central, hay más accidentes de un solo vehículo (Daniels *et al.*, 2011).

Por otro lado, Elvik en el año 2003, realiza un meta-análisis donde concluye que en la mayoría de los estudios analizados, se asocia un diámetro pequeño de isleta central con un bajo índice de accidentes con lesiones, aunque no todos siguen la misma tendencia.

De acuerdo a los datos anteriores, **se puede establecer una propuesta inicial de un radio de isleta central entre 10 y 25 m (diámetro entre 20 y 50 m).**

2. Diámetro inscrito: este parámetro de diseño está muy relacionado con el diámetro de la isleta central, ya que éste último va a influir en tamaño final de la misma. Este factor está directamente relacionado en la velocidad de circulación. Como se indica anteriormente es el diámetro de la circunferencia inscrita hasta el borde de la calzada. Es por éste motivo por el que el tamaño de la rotonda tiene también importancia en la seguridad de los ciclistas.

A mayores radios, los conductores pueden circular a mayor velocidad y tienden a adelantar a los ciclistas. Además también se tenderá a una mayor velocidad de aproximación a la rotonda y por tanto aumentará la frecuencia de una posible colisión (Chen *et al.*, 2013). Para aumentar la seguridad, en Bélgica se consideran algunas normas en función del tamaño de la rotonda. Las que tienen radio menores de 22 metros, las vías ciclistas no deben de estar separadas de la rotonda por marcas viales. Las velocidades de ciclistas y vehículos son muy similares y los conductores no tienden a adelantar a los ciclistas. En este caso, la vía ciclista debe terminar 15 metros antes y ceder el paso al tráfico principal. Para las rotondas mayores de 22 metros de radio, las vías ciclistas deben de estar señaladas en la rotonda por marcas viales (Macioszek, Sierpiński y Czapkowski, 2010).

Otros autores también hacen referencia al tamaño de las rotondas estableciendo que las rotondas pequeñas de una sola vía son más seguras que rotondas de dos o más vías (Brude y Larsson, 1996).

Para situaciones de rotondas con tráfico mixto, tampoco favorece a la seguridad ciclista las rotondas de grandes dimensiones. El motivo es porque la circulación dentro es larga y los conductores se cansan de ir tras los ciclistas, tendiendo a su adelantamiento (Hydén y Várhelyi, 2000). Otra razón es porque los ciclistas tampoco se atreven a circular tanto trayecto por mitad de la rotonda, lo que favorecería la circulación de los vehículos detrás de los mismos. En estas condiciones, el ciclista tiende también a orientarse en la zona derecha de la calzada propiciando el adelantamiento de los vehículos que están circulando.

Por lo tanto, se recomiendan rotondas de diámetros inscritos pequeños siempre y cuando permitan circulación de vehículos largos (Rodegerdts *et al.*, 2010), siendo en España el radio de giro mínimo de los vehículos pesados es 12,5 m (Ministerio de fomento, 2008).

Teniendo en cuenta estas consideraciones anteriores, **se propone un diámetro inscrito mínimo de 26 m** (que permita la circulación de vehículos pesados) y **máximo de 36 m** (mínimo valor de todos los máximos recomendados recogidos en la tabla 31).

3. Anchura de la entrada: las investigaciones demuestran que las rotondas con mayor anchura de entrada tenderán a tener una mayor velocidad media de aproximación a la rotonda (Chen *et al.*, 2013). Estas anchuras que fomenten la alta velocidad de entrada aumentarán el riesgo de accidentes (Orozova y Helz, 2007). Con todo esto la propuesta para este parámetro será un **valor mínimo de 2,6 m**, que puede ser la anchura máxima de los vehículos (Ministerio del Interior, 2008) y **un máximo de 3,75 m** (mínimo de los máximos recomendados en la tabla 31). Sin embargo, el valor máximo dependerá de los requisitos de capacidad.

4. Anchura de la salida: distintas recomendaciones proponen elegir una anchura de la salida mayor que la anchura de la entrada para evitar una situación en la que una avería podría causar un colapso del flujo de tráfico en la rotonda (Ministerio de Fomento, 1999). Considerando esto último, **se propondrá una anchura de salida entre 3,75 m** (mínimo valor de las máximas anchuras de entrada recomendadas en la tabla 31) y **5,2 m** (para que puedan pasar dos vehículos en caso de avería de uno de ellos).

5. Anchura de la calzada de circulación: al igual que sucede con la anchura de entrada, valores bajos de este parámetro deben utilizarse a fin de evitar altas velocidades en el interior de la rotonda. **Se recomiendan valores de entre 2,6 y 3,75 m** (similar a la anchura de entrada).

Llegados a este punto es necesario llevar a cabo una revisión de la propuesta inicial del diámetro de la isleta central. Este diámetro no puede ser mayor que el diámetro inscrito, lo que supone una restricción. Por otro lado hay que considerar la

restricción de que los diámetros inscritos no pueden ser inferiores a 26 metros para que puedan circular vehículos pesados y de que la anchura de la calzada no puede ser inferior a 2,6 m. Teniendo esto en cuenta, el diámetro de la isleta central no puede ser superior a 30,8 m (los 36 máximos del diámetro inscrito menos dos veces la anchura de la calzada mínima). Por otro lado, el diámetro de la isleta mínimo hay que incrementarlo al menos a 21,8 m, para que sumando dos veces la anchura de la calzada mínima, el diámetro inscrito llegue al mínimo restringido a 26 m. **Esto lleva a unos valores recomendados de diámetro de isleta central entre 21,8 y 30,8 m.**

6. Radio de la entrada: investigaciones realizadas en Gran Bretaña (Kimber, 1980) muestran que los radios inferiores a 15 m afectan a la capacidad y por encima de 20 m no la aumentan. Como se muestra anteriormente, este parámetro es fundamental para definir la capacidad de la rotonda y además, grandes radios fomentan las altas velocidades en la rotonda (Rodegerdts *et al.*, 2010). Por ello se **propone un radio máximo de 20 m** (radios por encima de estos valores no son necesarios ya que no se obtienen beneficios de capacidad), **y un radio mínimo de 8 m** (valor mínimo recomendado en Holanda y Dinamarca según la tabla 31). Por razones de capacidad, el mínimo podría aumentar a 15 m.

7. Radio de salida: como se puede ver en la tabla 31, distintas fuentes coinciden en que los radios de salida deben de ser similares a los de la entrada (fuentes de España y Dinamarca). Por otro lado, se debe tender a elegir ángulos bajos de salida, pero siempre debe ser mayor o igual que los radios de entrada (Rodegerdts *et al.*, 2010). **Por lo tanto se propone un radio de salida de 20 m** (similar al radio máximo de la entrada propuesto).

8. Ángulo de entrada: todas las fuentes de la tabla 31 recomiendan un mínimo de 20 grados. Esto es debido a que las investigaciones confirman que ángulos que son demasiado agudos reducirán la visibilidad en la rotonda (Departamento de Transportes, 2007; Rasanen y Summala, 2000). Por otro lado, EE.UU. es el único país que recomienda un máximo de 40 grados (el resto recomiendan 60 grados).

Con todo ello **se propondrá un mínimo de 20 grados** (coincidiendo con todas las fuentes) **y un máximo de 60 grados**, ya que los problemas con ángulos amplios producirán conflictos en la rotonda (Ministerio de Fomento, 1999).

En la siguiente tabla se puede ver un resumen de la propuesta de los valores de los parámetros de diseño que se van a evaluar en el Juicio de Expertos:

PARÁMETRO DE DISEÑO	RESULTADO
Diámetro de la isleta central	Entre 21,8 y 30,8 m
Diámetro inscrito	Entre 26 y 36 m
Anchura de la entrada	Entre 2,6 y 3,75 m
Anchura de la salida	Entre 3,75 y 5,2 m
Anchura de la calzada	Entre 2,6 y 3,75 m
Radio de entrada	Entre 8 y 20 m
Radio de salida	20 m
Ángulo de entrada	Entre 20 y 60 °

Tabla 33: Propuesta de parámetros de diseño para el Juicio de Expertos. Fuente: elaboración propia, 2014.

### 3.6.4. Desarrollo del cuestionario para la evaluación de la propuesta mediante el Juicio de Expertos

Para la evaluación de la propuesta realizada en el apartado anterior, se ha desarrollado un cuestionario donde se presentan los datos de cada uno de los parámetros de diseño. El experto elegirá entre 5 niveles de idoneidad en cuanto a la justificación del parámetro investigado (Blasco *et al.*, 2010). Estos niveles son: muy adecuado (MA), bastante adecuado (BA), adecuado (A), poco adecuado (PA) o inadecuado (I).

El objetivo no es la evaluación del valor numérico del parámetro en sí, sino confirmar que la justificación y el valor propuesto son correctos. Es por ello por lo que la información de dicha justificación está incluida en el cuestionario enviado a los expertos. Las cuestiones se plantearán de la siguiente forma:

*Parámetro 1: Diámetro de la isleta central. Cuál es tu opinión sobre la justificación de este parámetro?*

<i>MA</i>	<i>BA</i>	<i>A</i>	<i>PA</i>	<i>I</i>
-----------	-----------	----------	-----------	----------

*Rellenar lo siguiente si lo considera poco adecuado o inadecuado:*  
*Nuevo valor propuesto:* \_\_\_\_\_  
*Justificación:* \_\_\_\_\_

Figura 112: Estructura de las preguntas del cuestionario a expertos. Fuente: elaboración propia, 2014.

Por lo tanto, si el resultado del análisis de datos es que la justificación de cualquiera de los parámetros es poco adecuada o inadecuada, los nuevos valores y justificaciones propuestas por los expertos se vuelven a considerar. A partir de aquí, un cuestionario con las nuevas propuestas se reenvía hasta que se alcance un elevado consenso (al menos se consideren adecuados todas las justificaciones de los parámetros y sus valores).

Los resultados del cuestionario se analizarán utilizando el Método Delphi. Estudios demuestran que esta herramienta es muy popular (Okoli y Pawlowski, 2004), sobre todo cuando no se dispone de una información de campo exacta y se pretende recoger conocimiento de expertos de una forma estructurada y sistemática (Steurer, 2011). Por otra parte, diferentes estudios muestran que es una herramienta ampliamente utilizada y aceptada para lograr el consenso de opinión de un panel de expertos (Fernández Llamazares *et al.*, 2013).

### 3.6.5. Selección del número de expertos

Aunque investigaciones recientes consideran que el número de expertos no es importante, afirmando que no existen reglas para la selección del número de participantes (Steurer, 2011), distintos estudios consideran que paneles formados por entre 5 y 8 expertos son los óptimos (Gustafson *et al.*, 2013). Por otra parte, hay estudios que utilizan la relación entre el error promedio del grupo y el número de expertos para el cálculo de la misma (García y Fernández, 2008). Esta relación indica que por debajo de 9 empieza a aumentar el error promedio del grupo, y por encima de

25, no se mejoran significativamente los resultados. Teniendo en cuenta estas investigaciones previas, un grupo de 8 expertos se consideró apropiado para el propósito de este estudio.

Aunque el estudio se realizó con 8 expertos, 11 candidatos de diferentes nacionalidades fueron propuestos (Holanda, Polonia, Hungría y España) con el fin de elegir los ocho mejores.

Las dos condiciones para definir el grupo de expertos fueron las siguientes:

1. Un grupo de personas de diferentes nacionalidades: es importante comprobar si la opinión puede cambiar dependiendo del país.

2. Un grupo multidisciplinar: el grupo de expertos final tiene que contener personas con trabajos relacionados con este campo (diseño de rotondas, seguridad vial o movilidad urbana) en una institución pública o privada, y con al menos 5 años de experiencia. Los candidatos tienen que ser investigadores o técnicos (ingenieros, arquitectos o consultores) con experiencia en proyectos internacionales.

### 3.6.6. Evaluación de los expertos

En la primera parte del cuestionario enviado a los expertos, las competencias de cada uno de los mismos han sido evaluadas en relación con el objetivo del estudio (autoevaluación para el cálculo de su nivel de conocimiento en la materia). Con los datos obtenidos, se ha evaluado la aptitud a través del cálculo del coeficiente de competencia (K). Dicho coeficiente se obtiene a través de la siguiente expresión matemática (Llorente, 2013):

$$K = \frac{1}{2}(K_c + K_a)$$

K<sub>c</sub> se denomina coeficiente de conocimiento, y representa la información que el experto tiene sobre el tema. Su cálculo se basa en la autoevaluación realizada por él mismo en una escala de 0 a 10, dividiéndolo por 10. Por otra parte, K<sub>a</sub> es el coeficiente

de argumentación, y se obtiene a través de una tabla en función las diferentes fuentes de argumentación que el experto podría haber utilizado (Krause y Krzemień, 2014).

Cuando  $K < 0.5$ , la competencia del experto es baja. Si  $0.5 \leq K < 0.8$  el experto se considera de competencia media. Y si  $0.8 \leq K \leq 1$ , el experto se considera altamente competente.

Utilizando la fórmula que se ha explicado anteriormente, las competencias de los 11 expertos fueron evaluadas y se seleccionaron los 8 con mejor coeficiente de competencia. Sus resultados se muestran a continuación:

Experto	Kc	Ka	K	Resultado
Experto 1	0.8	0.9	0.85	Alto
Experto 2	0.9	0.93	0.915	Alto
Experto 3	0.7	0.8	0.75	Medio-Alto
Experto 4	0.7	0.79	0.745	Medio-Alto
Experto 5	0.7	0.85	0.775	Medio-Alto
Experto 6	0.6	0.82	0.71	Medio-Alto
Experto 7	0.9	0.85	0.875	Alto
Experto 8	0.8	0.82	0.81	Alto
Experto 9	0.6	0.53	0.565	Medio (No seleccionado)
Experto 10	0.6	0.75	0.675	Medio (No seleccionado)
Experto 11	0.6	0.75	0.675	Medio (No seleccionado)

Tabla 34: Resultado de la evaluación de los expertos. Fuente: elaboración propia, 2014.

### 3.6.7. Validación de los resultados mediante el Método Delphi

En primer lugar se ha creado una tabla de doble entrada con los resultados del cuestionario (frecuencias absolutas) de la siguiente forma:

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación					Total de Expertos
	MA	BA	A	PA	I	
Diámetro isleta central		4	1	3		8
Diámetro inscrito	2	2	2	1	1	8
Anchura de la entrada		2	4	2		8
Anchura de la salida	2		3	3		8
Anchura de la calzada		2	1	3	2	8
Radio de la entrada		3	3	2		8
Radio de la salida	1	2		5		8
Ángulo de la entrada	1	3	2	2		8

Tabla 35: Frecuencias absolutas para el Método Delphi. Fuente: elaboración propia, 2014.

Posteriormente, se obtiene la tabla de frecuencias acumuladas y acumuladas relativas:

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación (frecuencias acumuladas)					Niveles de evaluación (frecuencias acumuladas relativas)				
	MA	BA	A	PA	I	MA	BA	A	PA	I
Diámetro isleta central	0	4	5	8	8	0	0,5	0,625	1	1
Diámetro inscrito	2	4	6	7	8	0,25	0,5	0,75	0,875	1
Anchura de la entrada	0	2	6	8	8	0	0,25	0,75	1	1
Anchura de la salida	2	2	5	8	8	0,25	0,25	0,625	1	1
Anchura de la calzada	0	2	3	6	8	0	0,25	0,375	0,75	1
Radio de la entrada	0	3	6	8	8	0	0,375	0,75	1	1
Radio de la salida	1	3	3	8	8	0,125	0,375	0,375	1	1
Ángulo de la entrada	1	4	6	8	8	0,125	0,5	0,75	1	1

Tabla 36: Frecuencias acumuladas y acumuladas relativas para el Método Delphi. Fuente: elaboración propia, 2014.

Una vez llegado a este punto, se obtienen los valores correspondientes a la curva de probabilidad normal de la tabla anterior, consultando directamente la tabla o mediante la función DISTR.NORM.ESTAND.INV() del programa de hojas de cálculo Microsoft Excel:

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación				
	MA	BA	A	PA	I
<b>Diámetro isleta central</b>	-3,50	0,00	0,32	3,50	N/A
<b>Diámetro inscrito</b>	-0,67	0,00	0,67	1,15	N/A
<b>Anchura de la entrada</b>	-3,50	-0,67	0,67	3,50	N/A
<b>Anchura de la salida</b>	-0,67	-0,67	0,32	3,50	N/A
<b>Anchura de la calzada</b>	-3,50	-0,67	-0,32	0,67	N/A
<b>Radio de la entrada</b>	-3,50	-0,32	0,67	3,50	N/A
<b>Radio de la salida</b>	-1,15	-0,32	-0,32	3,50	N/A
<b>Ángulo de la entrada</b>	-1,15	0,00	0,67	3,50	N/A

Tabla 37: Valores de probabilidad normal para el Método Delphi. Fuente: elaboración propia, 2014.

A continuación, se calcula la suma algebraica (columna  $\Sigma$ ) de cada uno de los valores de los distintos parámetros a evaluar (líneas de la tabla) y el promedio del sumatorio dividido entre el número de niveles de evaluación que aparecen con datos (columna P). Por otro lado, se obtienen los denominados puntos de corte. Se calculan sumando las columnas de un mismo nivel de evaluación y dividiendo entre el número de parámetros a evaluar (8 parámetros en este caso):

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación					$\Sigma$	P
	MA	BA	A	PA	I		
<b>Diámetro isleta central</b>	-3,50	0,00	0,32	3,50	N/A	0,32	0,08
<b>Diámetro inscrito</b>	-0,67	0,00	0,67	1,15	N/A	1,15	0,29
<b>Anchura de la entrada</b>	-3,50	-0,67	0,67	3,50	N/A	0,00	0,00
<b>Anchura de la salida</b>	-0,67	-0,67	0,32	3,50	N/A	2,47	0,62
<b>Anchura de la calzada</b>	-3,50	-0,67	-0,32	0,67	N/A	-3,82	-0,95
<b>Radio de la entrada</b>	-3,50	-0,32	0,67	3,50	N/A	0,36	0,09
<b>Radio de la salida</b>	-1,15	-0,32	-0,32	3,50	N/A	1,71	0,43
<b>Ángulo de la entrada</b>	-1,15	0,00	0,67	3,50	N/A	3,02	0,76
	<b>-2,21</b>	<b>-0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>2,85</b>		5,21	

Tabla 38: Valores de las sumas algebraicas y promedios para el Método Delphi. Fuente: elaboración propia, 2014.

Una vez aquí, se obtienen las distancias (columna N-P) que indicarán en qué lugar se encuentra el parámetro (nivel de evaluación) en función de los puntos de corte. N se calcula de la siguiente forma:

$$N = \frac{\Sigma \text{ de la suma por parámetros}}{n^{\circ} \text{ de niveles} \times n^{\circ} \text{ parámetros}} = \frac{5,21}{8 \times 5} = 0,13$$

$$N = \frac{5,21}{8 \times 5} = 0,13$$

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación					Σ	P	N-P	Resultado
	MA	BA	A	PA	I				
Diámetro isleta central	-3,50	0,00	0,32	3,50	N/A	0,32	0,08	0,05	A
Diámetro inscrito	-0,67	0,00	0,67	1,15	N/A	1,15	0,29	-0,16	A
Anchura de la entrada	-3,50	-0,67	0,67	3,50	N/A	0,00	0,00	0,13	A
Anchura de la salida	-0,67	-0,67	0,32	3,50	N/A	2,47	0,62	-0,49	BA
Anchura de la calzada	-3,50	-0,67	-0,32	0,67	N/A	-3,82	-0,95	1,08	PA
Radio de la entrada	-3,50	-0,32	0,67	3,50	N/A	0,36	0,09	0,04	A
Radio de la salida	-1,15	-0,32	-0,32	3,50	N/A	1,71	0,43	-0,30	A
Ángulo de la entrada	-1,15	0,00	0,67	3,50	N/A	3,02	0,76	-0,63	BA
<b>PUNTOS DE CORTE</b>	<b>-2,21</b>	<b>-0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>2,85</b>		<b>5,21</b>	<b>1,30</b>		

Tabla 39: Valores de los puntos de corte para el Método Delphi. Fuente: elaboración propia, 2014.

Comparando estas distancias “N-P” con su ubicación en los puntos de corte, se obtiene el resultado de la evaluación que el conjunto de expertos ha asignado a cada parámetro.

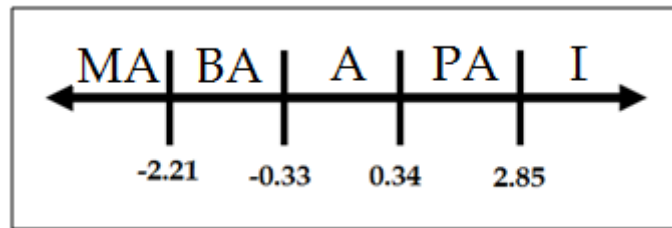


Figura 113: Resultado de los puntos de corte. Fuente: elaboración propia, 2014.

Como se puede apreciar en la figura anterior, al cruzar cada una de las distancias de los parámetros analizados con los puntos de corte se obtiene el siguiente resultado:

PARÁMETRO DE DISEÑO	RESULTADO
Diámetro de la isleta central	Apropiado
Diámetro inscrito	Apropiado
Anchura de la entrada	Apropiado
Anchura de la salida	Bastante apropiado
Anchura de la calzada	Poco apropiado
Radio de entrada	Apropiado
Radio de salida	Apropiado
Ángulo de entrada	Bastante apropiado

Tabla 40: Resultado del Método Delphi para cada parámetro de diseño. Fuente: elaboración propia, 2014.

De acuerdo a estos resultados, todos los parámetros se pueden considerar apropiados excepto la anchura de la calzada de circulación. Para el consenso de este valor, se realizará una segunda vuelta incluyendo una nueva recomendación de acuerdo a las propuestas realizadas por los expertos. La mayoría coincide en que es necesario incrementar esta anchura para que los vehículos de mayor envergadura no interfieran con los ciclistas. Así, se pasará del intervalo inicial propuesto de entre 2,6 y 3,75 metros, a un nuevo intervalo de entre 4 y 5 metros.

Con esta nueva propuesta, se ha obtenido la siguiente respuesta:

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación					Total
	MA	BA	A	PA	I	
<b>Anchura de la calzada</b>	1	3	2	2	0	8

Tabla 41: Frecuencias absolutas para el Método Delphi (segunda ronda). Fuente: elaboración propia, 2014.

Incluyendo esta información junto al resto de los parámetros de la primera vuelta se obtiene el siguiente resultado:

Parámetro a evaluar	Niveles de evaluación					$\Sigma$	P	N-P	Resultado
	MA	BA	A	PA	I				
Diámetro isleta central	-3,50	0,00	0,32	3,50	N/A	0,32	0,08	0,22	A
Diámetro inscrito	-0,67	0,00	0,67	1,15	N/A	1,15	0,29	0,01	A
Anchura de la entrada	-3,50	-0,67	0,67	3,50	N/A	0,00	0,00	0,30	A
Anchura de la salida	-0,67	-0,67	0,32	3,50	N/A	2,47	0,62	-0,32	BA
Anchura de la calzada	-1,15	0,00	0,67	3,50	N/A	3,02	0,76	-0,45	BA
Radio de la entrada	-3,50	-0,32	0,67	3,50	N/A	0,36	0,09	0,21	A
Radio de la salida	-1,15	-0,32	-0,32	3,50	N/A	1,71	0,43	-0,13	A
Ángulo de la entrada	-1,15	0,00	0,67	3,50	N/A	3,02	0,76	-0,45	BA
<b>PUNTOS DE CORTE</b>	<b>-1,91</b>	<b>-0,25</b>	<b>0,46</b>	<b>3,21</b>		<b>12,06</b>	<b>3,01</b>		

Tabla 42: Valores de los puntos de corte para el Método Delphi (segunda ronda). Fuente: elaboración propia, 2014.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, con los nuevos puntos de corte y las nuevas distancias se obtienen el siguiente resultado:

PARÁMETRO DE DISEÑO	RESULTADO
Diámetro de la isleta central	Apropiado
Diámetro inscrito	Apropiado
Anchura de la entrada	Apropiado
Anchura de la salida	Bastante apropiado
Anchura de la calzada	Bastante apropiado
Radio de entrada	Apropiado
Radio de salida	Apropiado
Ángulo de entrada	Bastante apropiado

Tabla 43: Resultado del Método Delphi para cada parámetro de diseño (segunda ronda). Fuente: elaboración propia, 2014.

### 3.7. Otros condicionantes que influyen en la seguridad ciclista en rotondas

Aparte de los propios parámetros de diseño de una rotonda, que como se ha visto anteriormente, tienen una influencia muy importante en la seguridad ciclista, hay otros condicionantes que también son influyentes. Estos condicionantes aparecen a continuación:

- Número de ramales: el número de ramales de una rotonda es una característica interesante para investigar su influencia en la seguridad ciclista. Algunos autores establecen que hay tendencia a cuanto más ramales en las rotondas, más accidentes (Orozova y Hels, 2007).

Otros investigadores holandeses (Daniels *et al.*, 2011), compararon el comportamiento en materia de seguridad de rotondas con tres y con cuatro ramales. Concluyeron que las de tres ramales tienen peor comportamiento que las de cuatro. Una posible explicación de este efecto puede ser la siguiente. Las velocidades en las rotondas de tres ramales es probable que sean un poco mayor, ya que los ángulos de aproximación y salida son, en principio, algo más anchos (en promedio de 120) que en el caso de una rotonda de cuatro ramales (en promedio de 90).

Otro análisis interesante de los ramales surge cuando se produce una conversión de intersección en rotonda. En este caso tiene mayor efecto en la mejora de la seguridad las intersecciones de cuatro ramales que las intersecciones de 3, aunque este efecto es difícil de asegurar (Elvik, 2003). Para ambos casos, el número de accidentes (accidentes en general, no solamente ciclistas) con víctimas se reduce considerablemente, aunque la reducción es más evidente para las rotondas de 4 ramales. Los porcentajes de reducción son mayores en los accidentes fatales y los accidentes graves como se ve en la siguiente tabla:

Number of legs	Type of traffic control	Accident severity	Percentage change of the number of accidents	
			Best estimate	95% confidence interval
3	Yield	Fatal	-49	(-97, +708)
		Injury, severity not stated	-29	(-83, +183)
		Serious injury	-33	(-87, +238)
		Slight injury	-31	(-85, +216)
		Property damage only	+37	(-68, +487)
	Traffic signals	Fatal	-42	(-97, +928)
		Injury, severity not stated	-20	(-85, +320)
		Serious injury	-24	(-87, +355)
		Slight injury	-22	(-86, +332)
		Property damage only	+55	(-71, +736)
4	Yield	Fatal	-64	(-97, +416)
		Injury, severity not stated	-50	(-86, +86)
		Serious injury	-53	(-90, +114)
		Slight injury	-51	(-88, +102)
		Property damage only	-3	(-75, +273)
	Traffic signals	Fatal	-59	(-97, +273)
		Injury, severity not stated	-43	(-87, +157)
		Serious injury	-46	(-90, +177)
		Slight injury	-45	(-88, +166)
		Property damage only	+10	(76, +412)

Tabla 44: Reducción de accidentes en rotondas de 3 y 4 ramales. Fuente: Elvik, 2003.

- Número de carriles: este aspecto va a estar relacionado con la intensidad de tráfico de la zona donde esté ubicada la rotonda. Si en dicha zona esta intensidad es muy elevada, la rotonda tendrá que disponer de varios carriles para que disponga de una capacidad elevada que absorba toda la corriente de tráfico.

Investigaciones realizadas encontraron que el número de accidentes ciclistas en una rotonda depende también del número de carriles que tenga la misma (Brüde y Larsson, 2000).

En la siguiente figura se pueden ver los datos del estudio mencionado anteriormente. La mayor siniestralidad en las rotondas de más de dos carriles puede resultar lógica, ya que la media de vehículos que circulan al día por la misma dobla prácticamente a los de las de un solo carril.

No. of lanes	No. of roundabouts	Veh. per day average	Cycles per day average	No of accident years	Observed number of					Predicted number of				
					Accidents	Injury accidents	Fatalities	Serious injuries	Light injuries	Accidents	Injury accidents	Fatalities	Serious injuries	Light injuries
1 lane	58	11066	1075	163	28	24	0	5	19	35,7	30,2	0,1	9,6	19,5
≥ 2 lanes	14	23375	1397	53	39	34	0	5	29	19	16	0,3	5	9,9

Tabla 45: Accidentes ciclistas en rotondas de uno y dos o más carriles. Fuente: Brüde y Larsson, 2000.

Otro factor con el que está relacionado este parámetro y que ya se ha mencionado anteriormente es la velocidad. La velocidad media es mayor si la

rotonda tiene varios carriles, por lo tanto, a mayor velocidad, se ha demostrado que existe mayor probabilidad de accidente.

- Bypass: Otra característica que influye en la seguridad de los ciclistas en las rotondas son los bypass. Un bypass consiste en añadir un carril adicional que bordea la rotonda para dar la posibilidad de un giro en una dirección sin tener que usar dicha rotonda. En la siguiente imagen se puede ver una figura de una rotonda con bypass.

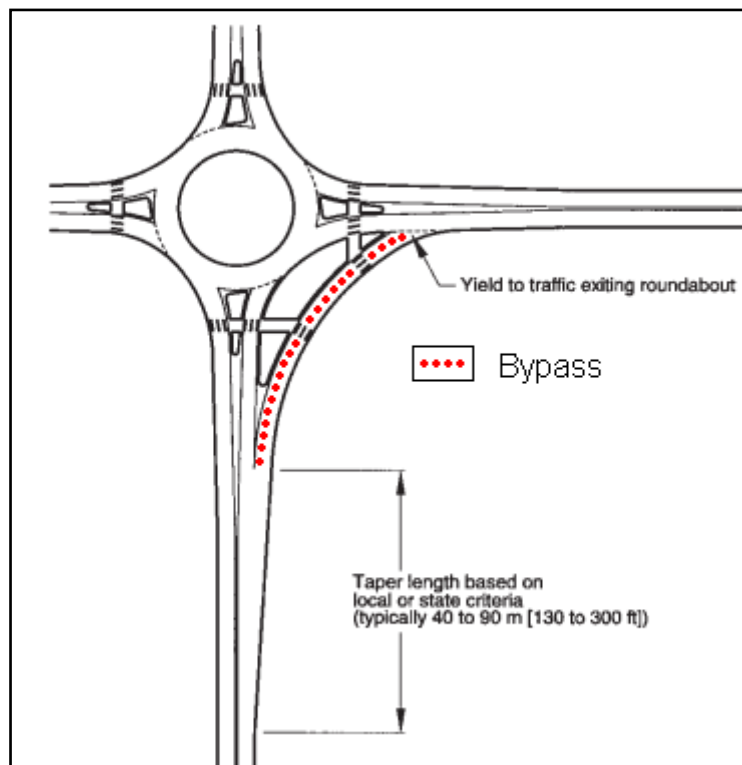


Figura 114: Rotonda con bypass. Fuente: Elaboración propia adaptada de Rodegerdts, *et al.*, 2010.

Está demostrado que hay más accidentes en las rotondas con bypass. Esto puede deberse a incrementos de velocidades o a la aparición de nuevos puntos de conflicto, por lo que este tipo de rotondas debe evitarse (Daniels *et al.*, 2011).

- Iluminación de la rotonda: una adecuada iluminación es clave para que una rotonda sea segura durante la noche. Dicha iluminación debe de estar focalizada en los lugares de conflicto. Otra consideración importante es que si no hay una iluminación continua a lo largo de la vía, debe de haber una adaptación en las

proximidades de la rotonda, es decir, el nivel de luminosidad debe de ir de menor a mayor en las aproximaciones.

La ubicación exacta de las fuentes de luz va a depender del estudio fotométrico realizado en función de las características de la intersección, pero generalmente, existen dos formas básicas de iluminar una rotonda:

1. Iluminación perimetral: consiste en ubicar los puntos de luz alrededor de la rotonda. Para la circulación en bicicleta, ésta es la mejor solución ya que permite altos niveles de luminosidad focalizados en los principales puntos de conflicto con los ciclistas.
2. Iluminación central: consiste en focalizar los puntos de luz en el centro de la rotonda. Aunque tiene la ventaja de mejorar la visibilidad general de la misma desde la distancia y se necesitan usar menos puntos de iluminación, para los ciclistas resulta más inseguro al tener menor luminosidad en accesos o salidas de dicha rotonda.

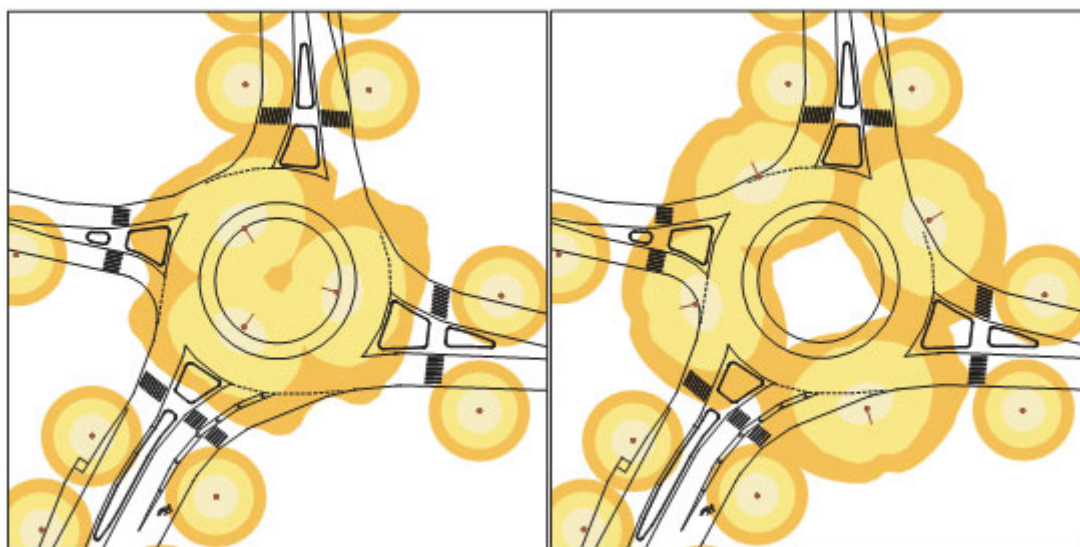


Figura 115: Rotonda con iluminación central y perimetral respectivamente. Fuente: Rodegerdts, *et al.*, 2010.

- Flujo de tráfico de ciclistas y/o vehículos: lógicamente, cuanto más tráfico circule por una rotonda, más accidentes se van a producir. Algunos autores establecen que por norma general, las rotondas con bajo tráfico de vehículos

(menos de 10.000 veh/día y 1.000 ciclistas/día) son más seguras que las rotondas de alto volumen de vehículos (Brüde y Larsson, 2000). Estos mismos autores, mediante el empleo de modelos de predicción estudiando rotondas de Suecia, Dinamarca y Holanda, en el año 1996, establecieron que cuando el tráfico en las mismas superan los 12.000 veh/día y las 4000 bicicletas/día, los accidentes de ciclistas en rotondas son un 71% menos frecuentes que en intersecciones convencionales.

Otros autores (Schoon y Van Minnen, 1994) establecieron que en rotondas con un flujo de tráfico menor de 8000 vehículos al día, no hay relación entre la presencia de una instalación ciclista y los accidentes. Por encima de este valor, se recomienda una vía ciclista separada del tráfico.

- Regulación de la prioridad: como es sabido, en una rotonda tienen preferencia los vehículos que se encuentran circulando dentro de la misma. Por otro lado, una característica propia de las rotondas es que el tráfico siempre debe circular en sentido antihorario. Con relación a esto, estudios holandeses indican que el 13% de los ciclistas circulan en dirección contraria y que el 40% no cede el paso al entrar en la rotonda (Hyden y Varhelyi, 2000).

Pueden existir distintas causas por la que un ciclista no cede el paso cuando ha de hacerlo al entrar en una rotonda. Una de esas causas puede ser el desconocimiento. Un estudio realizado en Dinamarca establece que el 11% de los ciclistas no conocen las reglas de ceder el paso en las rotondas. De ese porcentaje, el 60% de los ciclistas eran de 45 años o más. También de ese 11%, el 47% de los mismos tenía carnet de conducir y conducían un vehículo regularmente (Møller y Hels, 2008).

Respecto a esta misma causa, otro estudio sueco afirma que más del 40% de los ciclistas que llegan a la rotonda no ceden el paso adecuadamente a los vehículos que circulan por el interior. Mientras que la mayoría de los vehículos si ceden el paso a los ciclistas que circulan en la rotonda (Hydén y Várhelyi, 2000).

### 3.8. Conclusiones.

En primer lugar, cabe destacar como conclusión que la metodología empleada para el diseño de la infraestructura segura para ciclistas ha funcionado y ha resultado plenamente utilizable. Dicha metodología ha permitido que posteriormente a una propuesta inicial de parámetros de diseño, se hayan elegido unos expertos cualificados que han validado dicha propuesta. Aunque los datos han reproducido el problema de la diversidad de recomendaciones encontradas, el acotamiento de los mismos y una segunda ronda en el Método Delphi, han permitido un consenso, fijando los valores idóneos para el diseño.

Centrándose en la aplicación práctica de la metodología, las conclusiones específicas en el trabajo desempeñado tratan de realizar una propuesta de diseño de una rotonda en zona urbana, de un solo carril y con tráfico mixto, que fomente la seguridad ciclista en la misma. A continuación se enumeran una serie de consideraciones básicas que se han obtenido en base a las fuentes de referencia consultadas:

- La velocidad es un factor de riesgo fundamental. Los diseños deben de minimizar las velocidades de los vehículos y acercarla a la de los ciclistas. Las características de diseño de tráfico lento como la curvatura y la anchura de la entrada en la rotonda o la alineación radial de los accesos a la misma se consideran características importantes para la seguridad de los ciclistas.
- Esta propuesta de rotonda de tráfico mixto sin ninguna instalación ciclista adicional y de un solo carril es adecuada cuando los volúmenes de tráfico son bajos (hasta 8.000 veh/día). Cuando el tráfico de vehículos y ciclistas es alto, es más seguro introducir vías separadas para ciclistas, pero evitando carriles bici en el borde exterior de la calzada de circulación.

Estas instalaciones para ciclistas deben de cruzar la vía al menos a una distancia de la longitud de un vehículo desde el borde exterior de la rotonda y anexa a los pasos de peatones. En algunos países y sobre todo en zonas urbanas, los ciclistas tienen preferencia a la salida y entrada de vehículos (p.e. Alemania). Otros países (Holanda) prefieren dar la prioridad a los vehículos, señalando

específicamente dicha prioridad en la vía ciclista. Esta última solución es la usada como estándar en la mayoría de las zonas rurales (interurbanas) de los países europeos (Rodegerdts, *et al.*, 2010).

- Realizar el diseño de la rotonda de tal forma que se reduzcan al máximo los puntos de conflictos de los ciclistas tanto con los vehículos como con los peatones.
- Evitar cuando sea posible las rotondas de tres ramales, y siempre que las características de la intersección lo permitan, diseñar las mismas con cuatro ramales ya que son más seguras.
- Evitar la inclusión de bypass en las rotondas.
- Realizar la iluminación de la misma de forma perimetral y no de forma central.

Aparte de estas consideraciones anteriores, y como resultado propio de la investigación, se proponen una serie de dimensiones de los principales elementos geométricos que componen la rotonda y que son base en la seguridad. Estas dimensiones son las que se han obtenido a través de la metodología desarrollada durante este capítulo y los valores se ven en la siguiente figura:

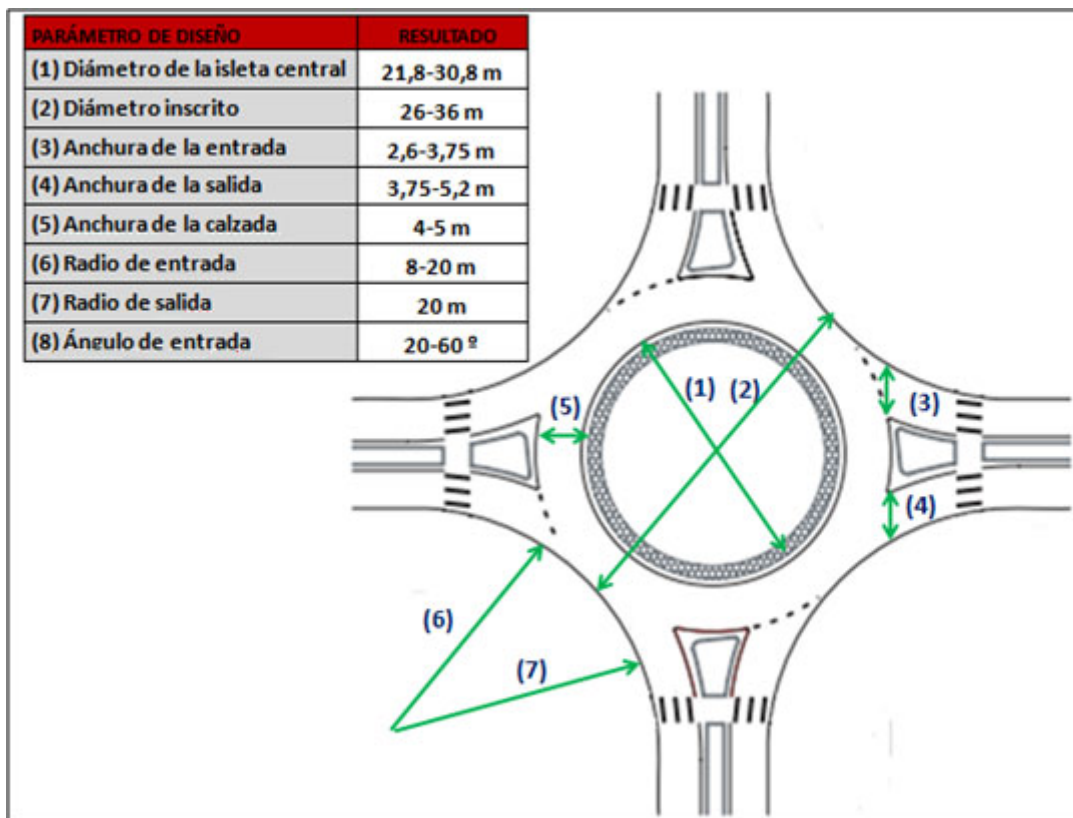


Figura 116: Propuesta de rotonda segura para ciclistas. Fuente: Elaboración propia, 2015.



# CAPÍTULO 4:

## CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

4.1. Conclusiones

4.2. Futuras líneas de investigación.



## 4.1. Conclusiones

Del trabajo derivado de la presente Tesis Doctoral, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La Movilidad Sostenible es un factor clave debido a las necesidades de desplazamiento de la sociedad actual, jugando la movilidad en bicicleta un papel fundamental.
- Los principales inconvenientes que frenan el uso de la bicicleta son la peligrosidad, la falta de infraestructuras o la influencia de las condiciones meteorológicas.
- Para mitigar los inconvenientes de la movilidad ciclista es imprescindible que los usuarios de la bicicleta se sientan seguros y que realmente esa seguridad sea un hecho. Todo ello pasa por el diseño de infraestructuras seguras y que pongan a los ciclistas en una situación aventajada sobre los usuarios de los vehículos a motor.
- En cuanto a la legislación, es importante que se regule la movilidad en bicicleta. A nivel nacional destacan las distintas revisiones de la Ley de Seguridad Vial, donde cada vez aparecen más artículos relacionados con la movilidad ciclista. Por otro lado, a nivel local, en España son cada vez más las ciudades y pueblos que disponen de una ordenanza de movilidad incluyendo a los ciclistas. En el caso de Málaga, esto ha quedado refrendado en la reciente Ordenanza de Movilidad, que ha sustituido a dos anteriores, una de movilidad en general y otra particular para usuarios de la bicicleta.
- En cuanto a los datos de accidentabilidad por países, se concluye que la gran mayoría de los accidentes se producen en zona urbana, donde Alemania recoge el valor máximo y España el mínimo.

- Respecto a la distribución del número de muertos por zona, resaltar que también en todos los países los datos son bastante similares, produciéndose la mayoría de fallecidos en zonas urbanas (excepto en España, donde destacan las víctimas mortales en zonas interurbanas).
- En cuanto a la distribución de accidentes en zona urbana y por ubicación, alrededor de la mitad se producen en intersecciones y la otra mitad fuera de las mismas, excepto en Holanda, donde la mayoría se produce en el interior de intersecciones.
- Los accidentes en intersecciones en zonas urbanas se producen mayoritariamente en cruces de 4 vías, seguidos de cruces de 3 vías y en tercer lugar en rotondas.
- Existe una importante tendencia a la construcción de rotondas debido a sus efectos positivos de seguridad sobre los vehículos a motor. Destacan las rotondas de un solo carril y tráfico mixto por su sencillez. A pesar de los beneficios contrastados sobre el tráfico motorizado, dichos beneficios no son tan claros para los ciclistas.
- Como se ha visto, resulta complicado la selección de parámetros de diseño ideales. Distintas normativas e investigadores proponen a veces parámetros muy dispares. Esto hace necesario establecer un procedimiento para determinar los valores más adecuados.
- La metodología desarrollada en la presente tesis doctoral ha sido implementada en una rotonda de un solo carril con tráfico mixto, dando lugar a las siguientes pasos: establecimiento de los parámetros de diseño de la infraestructura, recopilación de los valores recomendados de los parámetros de diseño, propuesta y justificación de los valores óptimos en los parámetros de diseño, desarrollo del cuestionario para la evaluación de la propuesta mediante el Juicio de Expertos, selección del número de expertos, evaluación de los expertos y validación de los resultados mediante el Método Delphi.

- La metodología mencionada previamente, ha funcionado y ha resultado plenamente utilizable, ya que ha permitido que, posteriormente a una propuesta inicial de parámetros de diseño, se hayan elegido unos expertos cualificados que han validado dicha propuesta. Aunque los datos han reproducido el problema de la diversidad de recomendaciones encontradas, el acotamiento de los mismos y una segunda ronda en el Método Delphi han permitido un consenso, fijando los valores idóneos para el diseño de dicha rotonda.

#### **4.2. Futuras líneas de investigación**

El trabajo desarrollado nos lleva a plantear las siguientes futuras líneas de investigación:

- Analizar cómo influye la implantación de las infraestructuras ciclistas propuestas en el tráfico de vehículos a motor.

Para que la movilidad en la ciudad se lleve a cabo de forma eficaz es necesario que exista un equilibrio entre los distintos tipos usuarios. Tomar medidas a favor de usuarios de la bicicleta puede tener consecuencias en el tráfico rodado que pueden ser negativas, como pueden ser el aumento de la congestión entre otras.

- Analizar los conflictos que puedan generarse con los peatones una vez que se ha diseñado la infraestructura considerada segura para los ciclistas.

De manera similar al punto expuesto anteriormente, los peatones son otro tipo de usuario de las vías. La movilidad peatonal también resulta básica para el fomento de la movilidad sostenible, por lo que las ciudades tienen que estar diseñadas de tal forma que facilite la coexistencia entre peatones y ciclistas.

- Analizar si las infraestructuras implementadas a través de esta metodología tiene efectos distintos al aplicarse en zona urbana o en zona interurbana.

Como se muestra en la presente tesis, la mayoría de accidentes ciclistas se producen en zona urbana. Sin embargo, en España, la mayoría de víctimas mortales ciclistas se producen en zonas interurbanas. Fuera de las ciudades, son distintos los flujos de tráfico o los límites de velocidad entre, otros aspectos. Por ello resulta interesante conocer el efecto de la implementación de este tipo de infraestructuras en zonas urbanas e interurbanas.

- Comparar los efectos de la implantación de infraestructuras seguras para ciclistas en diferentes países para evaluar si diferentes culturas afectan también de forma diferente a los resultados.

El comportamiento de peatones, ciclistas o usuarios de vehículos a motor va a ser muy distinto dependiendo del grado de desarrollo de la movilidad ciclista. Por todo lo anterior resulta interesante este tipo de estudio.

- Analizar la accidentabilidad en función del pavimento empleado en las infraestructuras ciclistas.

En la presente tesis se presentan los principales tipos de pavimentos empleados en las vías ciclistas. Cada pavimento posee unas características que afectan a la calidad de la vía.

- Analizar la relación entre los accidentes ciclistas y el tipo de iluminación (perimetral o central) empleado en las rotondas.

# BIBLIOGRAFÍA



**BIBLIOGRAFIA**

- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2000). *Ficha 5.3. Intersecciones giratorias o glorietas*. Instrucción de vía pública. Madrid.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2008). *Plan Director de Movilidad Ciclista de Madrid*. Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos.
- AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA (1990). *Reglamento para la prestación del servicio público de transporte urbano colectivo de viajeros*. Empresa Municipal de Transportes. Gerencia Municipal de Urbanismo, Obras e Infraestructuras. Málaga.
- AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA (2008). *Plan Director de Bicicletas. La inclusión de la bicicleta en los sistemas de movilidad de Málaga*. Gerencia Municipal de Urbanismo, Obras e Infraestructuras. Málaga.
- AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA (2014). *Ordenanza de Movilidad de la Ciudad de Málaga*. Boletín Oficial de la Provincia, 13 de Enero de 2014, núm. 7, pp. 2-39.
- BELLO, A. y FONSECA J.M. (1985). *Manual para el Planeamiento, Proyecto y Ejecución de Pistas Ciclistas*. Asociación Española Permanente de la Carretera. ISBN: 978-84-39855-46-0.
- BLASCO, J.E., LÓPEZ, A. y MENGUAL, S. (2010). “Validación mediante método Delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las actividades acuáticas con especial atención al windsurf”. *Ágora para la EF y el deporte*, N°12 (1) p.p.75-96.
- BOTMA, H. y PAPENDRECHT, H. (1991). “Traffic Operations of Bicycle Traffic”. *Transportation Research Record*, n. 1320, pp. 65-72.
- BRÜDE, U. y LARSSON, J. (1996). *The Safety of Cyclists at Roundabouts: a Comparison Between Swedish, Danish and Dutch Results*. Swedish National Road and Transport Research Institute.

- BRÜDE, U. y LARSSON, J. (2000). "What roundabout design provides the highest possible safety?" *Nordic Road and Transport Research*, n. 2, pp. 17-21.
- CANADIAN INSTITUTE OF PLANNERS (1990). *Community Cycling Manual. A Planning and Design Guide*.
- CHEN, Y., PERSAUD B., SACCHI E. y BASSANI M. (2013). "Investigation of models for relating roundabout safety to predicted speed". *Accident Analysis and Prevention*, 50, pp. 196– 203.
- CROW (1998). *Eenheid in rotondes*. Publicatie nr. 126. ISBN: 90-6628-266-5.
- CROW (2007). *Design Manual For Bicycle Traffic*. Record N°. 25. Center for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering C.R.O.W, Ede. ISBN: 978-90-6628-494-4.
- DANIELS, S. y WETS, G. (2005). "*Traffic Safety Effects of Roundabouts: a review with emphasis on Bicyclist's Safety*". Proceedings of the 18th ICTCT workshop. Helsinki, Finland.
- DANIELS, S., NUYTS, E. y WETS, G. (2008). "The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: an observational study". *Accident Analysis & Prevention*, vol. 40 (2), pp. 518–526.
- DANIELS, S., BRIJS, T., NUYTS, E., y WETS, G (2009). "Injury crashes with bicyclists at roundabouts: influence of some location characteristics and the design of cycle facilities". *Journal of Safety Research*, vol. 40 (2), pp. 141–148.
- DANIELS, S., BRIJS, T., NUYTS, E., y WETS, G. (2011). "Extended prediction models for crashes at roundabout". *Safety Science*, vol. 49 (2), pp. 198–207.
- DE BRABANDER, B. y VEREECK, L. (2007). "Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users". *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39 (3), pp. 591–599.

- DECOSTER, J. y SCHOLLAERT, U. (2000). *En bici, hacia ciudades sin malos humos*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo. ISBN: 92-828-5721-2.
- DEPARTMENT FOR TRANSPORT (2007). TD 16/07. *Geometric design of roundabouts. Design manual for roads and bridges*. Volume 6 Road Geometry. Section 2 Junctions. Part 3.
- DIJKSTRA, A. (2004). *Rotondes met vrijliggende fietspaden ook veilig voor fietsers? Welke voorrangsregeling voor fietsers is veilig op rotondes in de bebouwde kom?* R-2004-14. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam, Nederland.
- DIPUTACIÓN FORAL DE VIZCAYA (2002). *La bicicleta como medio de transporte. Directrices para su implantación*. Departamento de Obras Públicas y Transportes, Bilbao.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (1999). *Señalización vertical. Instrucción de Carreteras. Norma 8.1-IC*. Centro de publicaciones del Ministerio de Fomento. Madrid.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2004). *Secciones de firme. Instrucción de Carreteras. Norma 6.1-IC*. Centro de publicaciones del Ministerio de Fomento. Madrid.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2011). *Trazado. Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC*. Centro de publicaciones del Ministerio de Fomento. Madrid.
- ELVIK, R., MYSEN A.B. y VAA, T. (1997). *Trafikksikkerhets handbok. (Road Safety Handbook. In Norwegian)* Transportøkonomisk Institutt, Oslo, Norway
- ELVIK, R. (2003). *Effects on road safety of converting intersections to roundabouts: A review of evidence from non-US studies*. TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM. Institute of Transport Economics. PO Box 6110 Etterstad. N-0602, Oslo, Norway.

- ESPAÑA. Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el Texto Articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial. *Boletín Oficial del Estado*, 14 de Marzo de 1990, núm. 63, pp. 7259-7270.
- ESPAÑA. Ley 43/1999, de 25 de noviembre, sobre adaptación de las normas de circulación a la práctica del ciclismo. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de noviembre de 1999, núm. 283, pp. 40947 -40949.
- ESPAÑA. Ley 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, aprobado por Real Decreto legislativo 339/1990, de 2 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 20 de Diciembre de 2001, núm. 304, pp. 48427-48437.
- ESPAÑA. Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de Diciembre de 2003, núm. 306, pp. 45684-45772.
- ESPAÑA. Ley 6/2014, de 7 de abril, por la que se modifica el texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 8 de Abril de 2014, núm. 85, pp. 29508-29528.
- FEDERACIÓN DE CICLISMO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA (2003). *Estudio sobre accidentalidad ciclista en España. Período 1996-2001*. Comisión por la Seguridad Vial del Ciclista.
- FERNÁNDEZ-LLAMAZARES, C.M., HERNÁNDEZ-GAGO, Y., POZAS, M., CABAÑAS, M.J., FEAL, B., VILLARONGA, M., ÁLVAREZ-DEL-VAYO, C. y VALVERDE, E. (2013). “Two-round Delphi technique for the consensual design of a paediatric pharmaceutical care model”. *Pharmacological Research*, 68, p.p. 31– 37.

- FERRANDO, H., MARTÍN, M., MOLINERO, P., LÓPEZ, J. y GARCÍA, O. (2011). *Estudio sobre las estrategias de promoción de la bicicleta como medio de transporte en las ciudades españolas*. Bicicleta Club de Catalunya.
- FHWA (2014). *Modern Roundabouts: A Safer Choice*. U.S. Department of Transportation's Federal Highway Administration
- FLANNERY, A. (2001). "Geometric design and safety aspects of roundabouts". *Transportation Research Record*, n. 1751, pp 76-81. Washington DC, National Research Council.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT für Straßen und Verkehrswesen, *FGSV* (2008). *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen*.
- GARCÍA, L. y FERNÁNDEZ S. J. (2008). "Procedimiento de aplicación del trabajo creativo en grupo de expertos". *Energética*, Vol. XXIX, No. 2, pp. 46-50.
- GABINETE DE ESTUDIOS SOCIALES Y OPINIÓN PÚBLICA, GESOP (2011). *Barómetro anual de la bicicleta*. España. Informe de resultados.
- GOETSCHALCKX, M. (2011). *Supply Chain Engineering*. International Series in Operations Research & Management Science. Springer US.
- GROSS, F., LYON, C., PERSAUD, B. y SRINIVASAN, R. (2013). "Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts". *Accident Analysis and Prevention*, 50 pp. 234-41.
- GUSTAFSON L.L., GUSTAFSON, D.H., ANTOGNOLI, M.C. y REMMENGA, M.D. (2013). "Integrating expert judgment in veterinary epidemiology: Example guidance for disease freedom surveillance". *Preventive Veterinary Medicine*, 109, p.p. 1-9.
- GUTIERREZ O.M., DE ANDRÉS, J.R. y NEBRO J.J. (2012). "Accidentabilidad de la movilidad ciclista en España". *Securitas Vialis*, 13, pp. 39-60.

- HALL, R. y MCDONALD, M. (1988). *Junction design for safety*. Paper presented at Roads and Traffic 2000, International Road and Traffic. Conference, Berlin, 6-9 September 1988. Proceedings, Vol 4 (2), pp. 147-151.
- HILLMAN, M. (1992). *Cycling: Towards Health and Safety*. BMA, Oxford University Press.
- HOZ, C. y POZUETA, J. (1995). *Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras suburbanas*. Consejería de Política Territorial, Dirección General de Transportes. Madrid. ISBN: 978-84-45109-61-8.
- HUDSON, M. (1978). *The Bicycle Planning Book*. Open Books Publishing Ltd. ISBN: 978-0729101721.
- HUNT, J. y ABRAHAM, J. (2007). “Influences on bicycle use”. *Transportation: Planning, Policy, Research, Practice*, Volume 34(4), pp. 453-470.
- HYDÉN, C. y VÁRHELYI, A. (2000). “The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study”. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 32 (1), pp. 11–23.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2009). *Manual de aparcamientos de bicicletas*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. DECRETO 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas para la accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 21 de Julio de 2009, núm. 140, pp. 114-157.
- KAMRANI, A.K. y NASR, E.A. (2010). *Engineering Design and Rapid Prototyping*. Springer US. ISBN: 978-0-387-95862-0.

- KIMBER, R.M. (1980). *The traffic capacity of roundabouts*. TRRL Laboratory Report LR 942. Crowthorne, England: Transport and Road Research Laboratory.
- KRAUSE, E. y KRZEMIENI, K. (2014). “Methane risk assessment in underground mines by means of a survey by the panel of experts (SOPE)”. *Journal of Sustainable Mining*, 13 (2), pp. 6–13.
- LLORENTE, M.C. (2013). “Assessing Personal Learning Environments (PLEs). An expert evaluation”. *New approaches in educational research*, Vol. 2. No. 1, p.p. 39–44.
- MACIOSZEK, E., SIERPINSKI, G. y CZAPKOWSKI, L. (2010). *Problems and Issues with Running the Cycle Traffic through the Roundabouts*. Transport Systems Telematics 10th Conference, TST 2010, Katowice – Ustroń, Poland, October 20-23, 2010. Selected Papers.
- MANDAVILLI, S., MARGARET J. R. y RUSSELL, E. (2008). “Environmental Impact of Modern Roundabouts”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.37, Issue 2.
- MCCLINTOCK, H. y CLEARY, J. (1996). “Cycle facilities and cyclists safety”. *Transport Policy*, 3 (1/2), 67-77.
- MINISTERIO DE FOMENTO (1999). *Recomendaciones sobre glorietas*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento. Madrid. ISBN.: 84-7433-616-3.
- MINISTERIO DE INTERIOR (2001). *Manual de recomendaciones de diseño, construcción, infraestructura, señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento del carril bici*. Dirección General de Tráfico. Madrid.
- MINISTERIO DE INTERIOR (2008). *Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías, seguro de automóviles y tramitación administrativa*. Publicaciones del Ministerio de Interior. Madrid.

- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1987). *Norma de Carreteras 8.2-IC*. Marcas viales. Textos de la Dirección General de Carreteras. ISBN: 84-7433-456-X.
- MINISTRY OF TRANSPORT, PUBLIC WORKS AND WATER MANAGEMENT (2009). *Cycling in the Netherlands*. La Haya.
- MOLINA, E. y SANZ, A. (1980). “Transporte en modos no motorizados”. *Ciudad y Territorio*, 2, 1980.
- MOLLER, M. y HELS, T. (2008). “Cyclists perception of risk in roundabouts”. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 40 (3), pp. 1055–1062.
- MONTELLA, A. (2011). “Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types”. *Accident Analysis and Prevention*, 43, pp. 1451–1463.
- MONTELLA, A., TURNER, S., CHIARADONNA, S. y ALDRIDGE, D. (2012). “Proposals for Improvement of the Italian Roundabout Geometric Design Standard”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, pp. 189- 202.
- MORRIS, M., STEINBERG, H., SYKES, E.A. y SALMON, P. (1990). “Effect of temporary withdrawal from regular running”. *Journal of Psychosomatic Research*, 34(5), 493-500.
- NADAL, M., TOMÁS, E., DOMBRIZ, M.A., BEDOYA, A., MEDINA, L. y HERNÁNDEZ, L. (2008). *Manual para el diseño de vías ciclistas de Cataluña*. Generalitat de Cataluña. Departamento de Política Territorial y Obras Públicas. ISBN: 978-84-39377-53-5.
- OKOLI, C. y PAWLOWSKI S.D. (2004). “The Delphi method as a research tool: an example design considerations and applications”. *Information & Management*, 42, p.p. 15–29.
- OROZOVA-BEKKEVOLD, I. y HELS, T. (2007). “The effect of roundabout design features on cyclist accident rate”. *Accident Analysis and Prevention*, 39, pp. 300–307.

- PARKIN J. y MEYERS C. (2010). “The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic”. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42(1), pp. 159-65.
- PARKIN, J., WARDMAN, M. y PAGE, M. (2007). “Models of perceived cycling risk and route acceptability”. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, pp. 364–371.
- PERSAUD, B., RETTING R., GARDER, P. y LORD, D. (2001). “Safety Effects of Roundabout Conversions in the United States: Empirical Bayes Observational Before-and-after Study”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1751, pp. 1-8.
- POLDERS, E., DANIELS, S., CASTERS, S., CASTERS, W. y BRIJS, T. (2014). “Identifying crash patterns on roundabouts”. *Traffic Injury Prevention*. Online version.
- QIN, X., KHAN, G., BILL, A. y NOYCE, D.A. (2011). “Comprehensive Safety Evaluation of Roundabouts in Wisconsin”. *Journal of Transportation Safety & Security*, 3:4, pp. 289-303.
- RÄSÄNEN, M. y SUMMALA, H. (2000). “Car Drivers Adjustment to Cyclists at Roundabouts”. *Transportation Human Factors*, n. 2, pp. 1-17.
- REYNOLDS, C., HARRIS, M.A., TESCHKE, K., CRIPTON, P.A. y WINTERS, M. (2009). “The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature”. *Environmental Health*, 8:47.
- RODEGERDTS, L., BANSEN, J., TIESLER, C., KNUDSEN, J., MYSERS, E., JOHNSON, M., MOULE, M., PERSAUD, B., LYON, C., HALLMARK, S., ISEBRANDS, H., BARRY, R., GUICHET, B. y O'BRIEN, A. (2010). *NCHRP Report 672: Roundabouts: an Informational Guide*. Transportation Research Board, Washington, D.C. ISBN 978-0-309-15511-3.

- SAKSHAUG, L., LAURESHYN, A., SVENSSON, A. y HYDEN, C. (2010). “Cyclists in roundabouts. Different design solutions”. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42 (4), pp. 1338–1351.
- SANZ, A., MARTÍN, I., CID, J.F., IRAZUSTA, A. y EIZAGIRRE, I. (2006). *Manual de las vías ciclistas de Guipúzcoa. Recomendaciones para su planificación y proyecto*. Diputación Foral de Guipuzkoa. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. ISBN: 84-7907-526-0.
- SCHOON, C. y VAN MINNEN, J. (1994). “The safety of roundabouts in the Netherlands”. *Traffic Engineering and Control*, vol.35 (3), pp. 142-148.
- STEURER, J. (2011). “The Delphi method: an efficient procedure to generate knowledge”. *Skeletal Radiol*, 40, pp. 959–961.
- SUSTRANS (2014). *Handbook for cycle-friendly design*. Sustrans. Bristol
- UMWELT UND PROGNOSE INSTITUT, UPI (1981). *Informe UPI*. Citado por el Ministerio de Transporte de Alemania. Heidelberg.
- VAN WIJNEN J.H., VERHOEFF, A.P., JANS, H.W. y VAN BRUGGEN, M. (1995). “The exposure of cyclists, car drivers and pedestrians to traffic-related air pollutants”. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 67, pp. 187-93.
- VEJDIREKTORATET (2012). *Håndbog. Rundkørsler i åbent land*. Anlaeg og planlægning. ISBN: 87-7060-535-1.
- VICENTE, T. y HORMAECHE, I. (2006). *La bicicleta como medio de transporte. Punto de vista de las personas usuarias y expertas*. ISBN: 84-457-2506-8.
- WANG, Y. y NIHAN, N. (2004). “Estimating the risk of collisions between bicycles and motor vehicles at signalized intersections”. *Accident Analysis and Prevention*, 36, pp. 313-321.
- WARDMAN M., TIGHT M. y PAGE M. (2007). “Factors influencing the propensity to cycle to work”. *Transportation Research, A*, 41 (4). pp. 330-350.

-WEGMAN F., ZHANG F., DIJKSTRA A. (2012). “How to make more cycling good for road safety?” *Accident Analysis and Prevention*, 44, pp. 19-29.

-ZHENG, D., QUIN, X., TILLMAN, R. Y NOYCE, D.A. (2013). “Measuring Modern Roundabout Traffic Conflict Exposure”. *Journal of Transportation Safety & Security*, 5:3, pp. 208-223.

### Recursos electrónicos

-CYCLEPODS. Transforming bikes storage. [en línea]  
[www.cyclepods.co.uk](http://www.cyclepods.co.uk) [Consulta: Junio 2013]

- BROXAP. Design/Manufacture/Installation. [en línea]  
[www.broxap.com](http://www.broxap.com). [Consulta: Junio 2013]

-DANMARKS STATISTIK. Statistiksbanken. [en línea]  
<http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1366>. [Consulta: Marzo 2015]

-DEPARTMENT OF TRANSPORT. Cycling England. [en línea]  
<http://www.dft.gov.uk/cyclingengland/>. [Consulta: Junio 2013]

- DEPT. OF TRANSPORTATION METRO TRANSIT DIVISION (Seattle). [en línea]  
<http://metro.kingcounty.gov/tops/bike/bikeride.html>. [Consulta: Junio 2013]

-DESTATIS. Statistisches Bundesamt. [en línea]  
<https://www.destatis.de/DE/Startseite.html>. [Consulta: Marzo 2015]

-SWOV. Institute for Road Safety Research. [en línea]  
<https://www.swov.nl/ibmcognos/>. [Consulta: Marzo 2015]



# ANEXOS



## ANEXOS

Anexo 1: Modelo de cuestionario a expertos

Anexo 2: Modelo de cuestionario a la Asociación Ciclista Ruedas Redondas

Anexo 3: Publicación de artículo sobre accidentabilidad ciclista en España

Anexo 4: Mención del artículo en prensa



## Anexo 1: Modelo de cuestionario a expertos

Estimado colaborador;

El uso de bicicleta como medio de transporte en la ciudad es básico para el fomento de la movilidad urbana sostenible. Sin embargo, existen barreras que limitan su uso, siendo la seguridad una de las más importantes.

La presente investigación trata de estudiar la accidentabilidad ciclista y establecer unas pautas de diseño de rotondas seguras para los usuarios de la bicicleta.

El cuestionario que les adjunto pretende validar los criterios de diseño establecidos mediante el empleo del Método Delphi. Su participación en el mismo como experto en la materia es muy importante y supone una valiosa aportación.

Muchas Gracias por su colaboración  
Oscar M. Gutiérrez



VALIDACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE  
UNA ROTONDA SIMPLE EN ZONA URBANA  
MEDIANTE EL MÉTODO DELPHI



### AUTOEVALUACIÓN DE LOS EXPERTOS PARTICIPANTES

#### 1. Coeficiente de conocimiento:

Marque con una X sus conocimientos en la materia (0=sin conocimiento; 10=pleno conocimiento)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

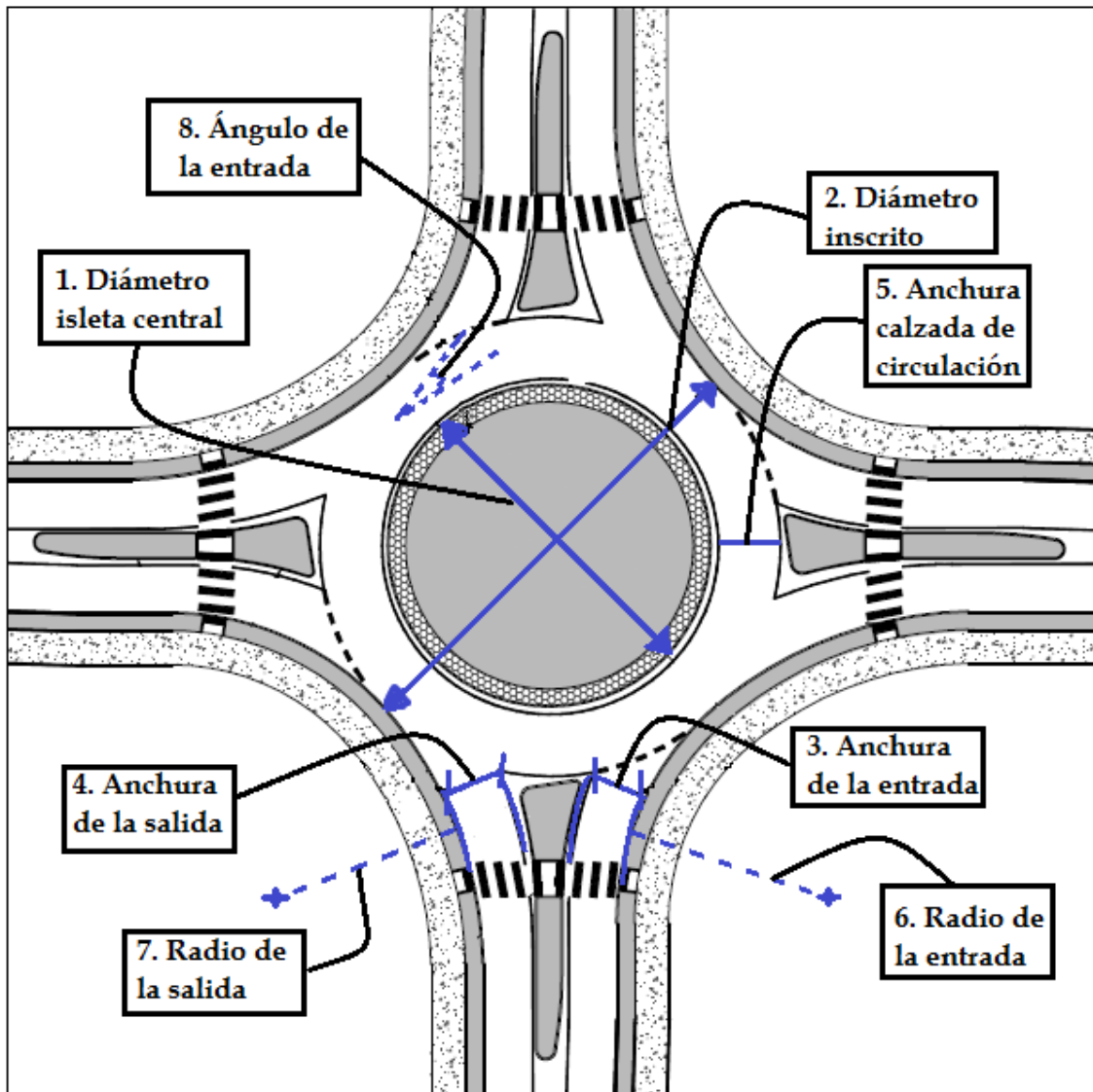
#### 2. Coeficiente de argumentación:

Marque con una X el grado de influencia que cada una de las 5 fuentes presentadas ha tenido en su conocimiento de la materia relacionada con la presente investigación.

Fuentes	Grado de influencia		
	Alto	Medio	Bajo
1. Experiencia teórica en el tema			
2. Experiencia práctica en el tema			
3. Trabajos de autores nacionales consultados			
4. Trabajos de autores extranjeros consultados			
5. Su intuición			

NOTA: SOLO SE RELLENAN LAS CELDAS EN GRIS

Página 1





## VALIDACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA ROTONDA SIMPLE EN ZONA URBANA MEDIANTE EL MÉTODO DELPHI

**NOTA: SOLO SE RELLENAN LAS CELDAS EN GRIS**

### PARÁMETRO 1: Diámetro de la isleta central (metros)

**Definición:** Diámetro de la zona central no transitable de la rotonda. Este parámetro es importante para la deflexión de los vehículos en el paso por la rotonda.

**Impliaciones de seguridad:** Influye en la curvatura de la trayectoria del vehículo. A mayor curvatura menor velocidad pero una excesiva curvatura puede aumentar el riesgo de accidente por colisiones laterales.

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
4 mínimo	-	Entre 15-30	4 mínimo	21 típico	-	-

**Justificación propia en trabajo de investigación:** Existen importantes discrepancias entre las recomendaciones establecidas en las distintas fuentes bibliográficas. Un reciente estudio asegura que radios mayores de 25 m aumentan la velocidad en la rotonda considerablemente y menores de 10 hacen un paso muy recto por la misma. Las restricciones al no poder ser mayor que el diámetro inscrito y considerando la anchura de la calzada de circulación, se recomienda un diámetro mínimo de 21,8 m y máximo de 31,8 m

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: \_\_\_\_\_

-Justificación: \_\_\_\_\_

### PARÁMETRO 2: Diámetro inscrito (metros)

**Definición:** la suma del diámetro de la isleta central y el doble de la anchura de la calzada de circulación.

**Impliaciones de seguridad:** El diámetro inscrito está relacionado directamente con la velocidad de circulación de los vehículos en la rotonda. A mayor diámetro, menos curvatura y más velocidad.

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
Entre 28-36	Entre 27-46	-	Entre 28-100	32 típico	Entre 26-40	-

**Justificación propia en la trabajo de investigación:** Se aconsejan diámetros lo más pequeños posibles pero a su vez deben permitir el paso de vehículos largos. El máximo radio de giro de vehículos pesados es 12,5 m (Reglamento veh. pesados). Por lo tanto se recomienda entre 26 (diámetro de giro) y 36 m (mínimo de los máximos recomendados).

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: \_\_\_\_\_

-Justificación: \_\_\_\_\_

**PARÁMETRO 3: Anchura de la entrada (metros)**

**Definición:** Anchura del ramal de entrada al borde de la rotonda. Su anchura debe de ser considerada para el acceso de vehículos y de su valor depende la capacidad de la rotonda.

**Impliaciones de seguridad:** Rotondas con anchuras de entrada de gran tamaño van a favorecer las altas velocidades y aumentar la frecuencia de accidentes (modelo de predicción de accidentes inglés).

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
2,5 mínimo	Entre 4,2-5,5	-	Entre 3-4,5	4 típico	Entre 3,25-3,75	3 típico

**Justificación propia en el trabajo de investigación:** Hay que evitar anchuras de entrada elevadas para tender a reducir la velocidad. Se recomienda un mínimo de 2,6 m (anchura máxima de vehículos de 2,6 según anexo IV Reg. Gral. Veh.) y un máximo de 3,75 m (mínimo de los máximos recomendados). Aunque el valor máximo dependerá de las exigencias de capacidad.

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: _____
-Justificación: _____

**PARÁMETRO 4: Anchura de la salida (metros)**

**Definición:** Anchura del ramal de salida al borde de la rotonda.

**Impliaciones de seguridad:** Al contrario que en las entradas, en las salidas hay que intentar que los vehículos abandonen la rotonda de forma rápida y segura. Se deben "abocinar" para disminuir la velocidad una vez que se abandona..

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
6 mínimo en aproximación Entre 7-7,5	-	-	6 mínimo en aproximación Entre 7-7,5	4,5 típico	Entre 3,5-4	3 típico

**Justificación propia en el trabajo de investigación:** Se debe de elegir anchura de carriles mayores que a la entrada e intentando que una posible avería de vehículo no provoque colapso en la rotonda. Se recomienda entre 3,75-5,2 (el mínimo es el máximo valor de la anchura de la entrada. El máximo es el doble para que pasen dos vehículos anchos)

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: _____
-Justificación: _____

**PARÁMETRO 5: Anchura de la calzada de circulación (metros)**

**Definición:** Anchura del espacio asfaltado comprendido entre el diámetro inscrito y la isleta central y destinado a la circulación de vehículos.

**Impliaciones de seguridad:** Grandes anchuras van a fomentar la circulación de vehículos a alta velocidad.

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
Entre (1-1,2)x anchura de la entrada	-	-	Entre (1-1,2)x anchura de la entrada	5,5 típico	Entre 6,5-9	-

**Justificación propia en el trabajo de investigación:** Al igual que con la anchura de las entrada, hay que tender al uso de valores pequeños de anchura para que se eviten altas velocidades en el interior de la rotonda. Se recomienda valores entre 2,6 y 3,75 (valores similares a la anchura de la entrada).

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: \_\_\_\_\_

-Justificación: \_\_\_\_\_

**PARÁMETRO 6: Radio de la entrada (metros)**

**Definición:** Es el radio de la curva que describe la parte exterior del ramal de entrada de la rotonda

**Impliaciones de seguridad:** Es uno de los parámetros que influyen en la deflexión del vehículo en la misma. A mayor radio de la entrada, mayor velocidad de entrada y mayor capacidad .

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
20 mínimo	Entre 15-30	Entre 10-20	10 mínimo	Entre 8-12	Entre 10-14	Entre 8-10

**Justificación propia en el trabajo de investigación:** Investigaciones realizadas en Inglaterra demuestran que radios por debajo de 15 m afectan a la capacidad y por encima de 20 no la incrementan. Se recomienda un radio mínimo de 8 m (valor mínimo en distintas recomendaciones) y máximo de 20 m (no tiene sentido radios por encima ya que no se obtendrán beneficios de capacidad). Por cuestiones de capacidad se podría incrementar el mínimo hasta 15m.

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: \_\_\_\_\_

-Justificación: \_\_\_\_\_

**PARÁMETRO 7: Radio de la salida (metros)**

**Definición:** Es el radio de la curva que describe la parte exterior del ramal de salida de la rotonda

**Implicaciones de seguridad:** Radios muy pequeños pueden provocar ralentización y colapso en la rotonda y demasiado grandes pueden provocar altas velocidades de vehículos en la salida de la rotonda.

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
20 mínimo	15 mínimo. Entre 30-60 típico	Entre 15-25	Entre 20-100 40 típico	Entre 12-15	Entre 12-16	Entre 8-10

**Justificación propia en el trabajo de investigación:** Se deben elegir radios de salida pequeños pero siempre mayores o iguales que los de entrada. Se recomienda un radio de 20 m.

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: \_\_\_\_\_

-Justificación: \_\_\_\_\_

**PARÁMETRO 8: Ángulo de la entrada (grados)**

**Definición:** Ángulo de conflicto entre el tráfico entrante y el tráfico que circula.

**Implicaciones de seguridad:** Si los ángulos son muy pequeños pueden producir problemas de visibilidad a la izquierda. Si los ángulos son muy grandes se reduce la capacidad de la rotonda y provoca una deflexión excesiva (rotondas de alta velocidad).

**Recomendaciones de diseño en fuentes bibliográficas internacionales de importancia:**

1. (España)	2. (EEUU)	3. (España)	4. (Inglaterra)	5. (Holanda)	6. (Alemania)	7. (Dinamarca)
20-60. Typ 25	20-40	20-60	20-60	-	-	-

**Justificación propia en el trabajo de investigación:** Todas las fuentes recomiendan un mínimo de 20 grados. Por otro lado, EEUU es la única que recomienda un máximo de 40 grados (resto 60 grados). Se recomienda mínimo 20 grados (coincidiendo con todas las fuentes) y máximo 60 grados ya que los problemas con ángulos grandes están asociados a velocidades de aproximación altas, lo que no es el caso al centrarnos en zona urbana.

**Juicio de los expertos:** ¿Como considera de apropiada la justificación anterior?

Muy apropiada	Bastante apropiada	Apropiada	Poco apropiada	Inapropiada

**Consideraciones de los expertos:** Si lo considera poco apropiado o inapropiado rellene lo siguiente:

-Valor del parámetro propuesto: \_\_\_\_\_

-Justificación: \_\_\_\_\_



## Anexo 2: Modelo de cuestionario a la Asociación Ciclista Ruedas Redondas



### CUESTIONARIO SOBRE SEGURIDAD CICLISTA EN ZONAS URBANAS

\*Marcar con una X las casillas sombreadas

INFORMACIÓN GENERAL	
SEXO:	Hombre <input type="checkbox"/> Mujer <input type="checkbox"/>
CARNET DE CONDUCIR:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
EDAD:	_____ años
CUESTIONARIO	
<b>Pregunta 1:</b> ¿Con que frecuencia usa la bicicleta en la ciudad?	
<i>Casi nunca</i>	<input type="checkbox"/>
<i>2-3 veces a la semana</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Casi todos los días</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Todos los días</i>	<input type="checkbox"/>
<b>Pregunta 2:</b> Indique el motivo principal por el que usa la bicicleta en la ciudad	
<i>Para desplazamientos al trabajo</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Para otros desplazamientos</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Para hacer deporte</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Como diversión</i>	<input type="checkbox"/>
<b>Pregunta 3:</b> ¿Considera suficientes las instalaciones ciclistas en Málaga (carriles bici, parkings,...)?	
<i>SI</i>	<input type="checkbox"/>
<i>NO</i>	<input type="checkbox"/>
<b>Pregunta 4:</b> ¿Considera seguras las instalaciones ciclistas en Málaga?	
<i>SI</i>	<input type="checkbox"/>
<i>NO</i>	<input type="checkbox"/>
<b>Pregunta 5:</b> ¿Cree que están bien interconectados los carriles bici en Málaga?	
<i>SI</i>	<input type="checkbox"/>
<i>NO</i>	<input type="checkbox"/>
<b>Pregunta 6 :</b> ¿Qué factor le desmotiva más para coger la bicicleta en la ciudad?	
<i>Falta de carriles bici o mal comunicados</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Falta de aparcamientos para bicicletas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>La inseguridad o riesgo de accidente</i>	<input type="checkbox"/>
<b>Pregunta 7:</b> ¿Se siente seguro en los carriles bici a nivel de calzada?	
<i>SI</i>	<input type="checkbox"/>
<i>NO</i>	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 8:** ¿Cree que los automovilistas respetan lo suficientemente los carriles bici?

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 9:** ¿Cree que los peatones respetan los carriles bici situados en la acera?

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 10:** ¿Cómo prefiere montar en bicicleta por la ciudad?

Compartiendo calzada con los vehículos	<input type="checkbox"/>
Por un carril bici anexo a la calzada	<input type="checkbox"/>
Por una vía ciclista separada de la calzada	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 11:** De las siguientes situaciones, cual considera mas peligrosa circulando con bicicleta por zona urbana y **SIN CARRIL BICI:**

Circular por tramos rectos	<input type="checkbox"/>
Circular por una intersección	<input type="checkbox"/>
Circular por una rotonda	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 12:** De las siguientes situaciones, cual considera mas peligrosa circulando con bicicleta por zona urbana y **CON CARRIL BICI:**

Circular por tramos rectos	<input type="checkbox"/>
Circular por una intersección	<input type="checkbox"/>
Circular por una rotonda	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 13:** ¿Ha sufrido algún accidente usando la bicicleta en la ciudad?

NO	<input type="checkbox"/>
SI, en un tramo recto <b>con</b> carril bici	<input type="checkbox"/>
SI, en un tramo recto <b>sin</b> carril bici	<input type="checkbox"/>
SI, en una rotonda <b>con</b> carril bici	<input type="checkbox"/>
SI, en una rotonda <b>sin</b> carril bici	<input type="checkbox"/>
SI, en una intersección <b>con</b> carril bici	<input type="checkbox"/>
SI, en una intersección <b>sin</b> carril bici	<input type="checkbox"/>

**Pregunta 14:** Que tipo de rotonda considera más peligrosa para circular en bicicleta:

Rotonda <b>sin</b> carril bici	<input type="checkbox"/>
Rotonda <b>con</b> carril bici anexo a la calzada	<input type="checkbox"/>
Rotonda <b>con</b> carril bici separado de la calzada	<input type="checkbox"/>

### Anexo 3: Publicación de artículo sobre accidentabilidad ciclista en España



Accidentology

Securitas Viatis

October 2012, Volume 4, Issue 3, pp 97-104

First online: 17 January 2013

## Accidentabilidad De La Movilidad Ciclista En España

- Oscar M. Gutiérrez Roldán
- , Jose Ramón Andrés Díaz
- , Jose Juan Nebro Mellado

### Resumen

El empleo de la bicicleta como medio de transporte es esencial para que se lleve a cabo una movilidad sostenible en las ciudades. A pesar de sus contrastadas ventajas, la peligrosidad en este tipo de desplazamientos crea una barrera para su utilización. En este artículo se estudia la accidentabilidad ciclista en España analizando distintas variables como el número de accidentes, el número de víctimas, los tipos de accidentes o su localización entre otras.

### Palabras clave

bicicleta accidente carril bici movilidad ciclista

## Cycling mobility accidentability in Spain

### Abstract

The bicycle use as a means of transport is basic to improve the sustainable mobility in cities. Despite their contrasting advantages, the risk in this type of travel creates a barrier to their use. This article studies the cycling accidentability in Spain, analyzing different variables as the number of accidents, the number of victims, types of accidents or location among others.

### Keywords

Bicycle Accident Bike line Sustainable mobility  
Internal Server Error

## Bibliografía

- 1-1-  
*Decoster, J., & Schollaert, U. (2000). En bici, hacia ciudades sin malos humos. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.*
- 2-2-  
*Dirección General de Tráfico (2012). Base de Datos de la DGT. Ministerio de Interior. Madrid.*
- 3-3-  
*FHWA (2010). Pedestrian vs bicyclist safety and mobility in Europe. Publicación FHWA-PL-10-010.*
- 4-4-  
*Pucher, J. y Dijkstra, L. (2000). Making Walking and Cycling Safer: Lessons from Europe. Transportation Quarterly, Vol. 54, No. 3.*
- 5-5-  
*Wegman, F., Zhang, F., & Dijkstra, A. (2012). How to make more cycling good for road safety? Accident Analysis and Prevention, 44, 19–29. CrossRef [http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.010]*

## About this Article

### Title

Cycling mobility accidentability in Spain

### Journal

*Securitas Vialis*

Volume 4, Issue 3 , pp 97-104

### Cover Date

2012-10

### DOI

10.1007/s12515-012-9060-1

### Print ISSN

1888-9697

### Online ISSN

1989-1679

### Publisher

Etrasa Editorial Trafico Vial, S.A.

### Additional Links

- + [Register for Journal Updates](#)
- + [Editorial Board](#)
- + [About This Journal](#)
- + [Manuscript Submission](#)

### Topics

- + [Engineering, general](#)

### Keywords

- Bicycle
- Accident
- Bike line
- Sustainable mobility
- bicicleta
- accidente
- carril bici
- movilidad ciclista

#### Authors

- Oscar M. Gutiérrez Roldán <sup>(1)</sup>
- Jose Ramón Andrés Díaz <sup>(2)</sup>
- Jose Juan Nebro Mellado <sup>(3)</sup>

#### Author Affiliations

- 1. Ingeniero en Organización Industrial. Investigador en formación en la Universidad de Málaga e Ingeniero de Calidad en PREMO SLU. C/. Doctor Ortiz Ramos (Teatinos) 29071. Tlf. 952952272, Malaga, Spain
- 2. Profesor Titular del Área de Proyectos de Ingeniería de la ETSII de la Universidad de Málaga. C/. Doctor Ortiz Ramos (Teatinos) 29071. Tlf. 951952272, Malaga, Spain
- 3. Profesor Titular del Área de Organización de Empresas de la ETSII de la Universidad de Málaga. C/. Doctor Ortiz Ramos (Teatinos) 29071. Tlf. 951952272, Malaga, Spain



## Anexo 4: Mención del artículo en prensa

**Málaga hoy** MÁLAGA

PORTADA MÁLAGA PROVINCIA DEPORTES ANDALUCÍA ACTUALIDAD TECNO CULTURA TV SALUD OPINIÓN SEMANA SANTA

MÁLAGA

Málaga Hoy, Noticias de Málaga y su Provincia >> Málaga >> Málaga >> La provincia registró 446 accidentes de bicicletas entre 2000 y 2010

### La provincia registró 446 accidentes de bicicletas entre 2000 y 2010

L.G. MÁLAGA | ACTUALIZADO 11.02.2012 - 01:00

0 comentarios 0 votos

Share

Un total de 446 accidentes de bicicletas se han registrado entre los años 2000 y 2010 en la provincia, según datos de la Dirección General de Tráfico. El número de siniestros en el que se ven envueltos estos vehículos es mayor en zonas urbanas. De hecho, dos de cada tres (66,3%) se producen en estos núcleos. El tercio restante (33,7%) corresponde a accidentes ocurridos en tramos interurbanos; de modo que las zonas urbanas doblan a las interurbanas como escenarios de siniestros.

Sin embargo, según concluye el estudio *Accidentalidad de la movilidad ciclista en España*, correspondiente a todo el territorio nacional, "el mayor número de muertos se producen en zonas interurbanas". Una realidad que el trabajo sugiere que "puede ser debido a la velocidad de los vehículos involucrados" dado que la limitación a 50 km/h en núcleos urbanos "hace que las consecuencias del impacto entre la bicicleta y el otro vehículo implicado sean menores".

PUBLICIDAD