



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Evaluación multicriterio de señales verticales arrow-per-
lane adaptadas a la normativa española

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Martí Talens, Pau

Tutor/a: Cuadrado Tarodo, Álvaro

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Evaluación multicriterio de señales verticales *arrow-per-lane* adaptadas a la normativa española

Presentado por

Martí Talens, Pau

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2022/2023

Fecha: Septiembre de 2023

Tutor: Cuadrado Tarodo, Álvaro



RESUMEN

En las carreteras españolas, existen numerosas divergencias donde un carril es bífido, permitiendo simultáneamente acceder a ambas vías. Ante estos carriles, la norma 8.1-IC *Señalización vertical* vigente duplica parte de los destinos en un cartel adicional y omite otros, una solución potencialmente confusa para los conductores. Se evaluó comparativamente respecto al sistema vigente una propuesta con carteles flecha por carril (*arrow-per-lane*), la tipología señalética que mejores resultados ha proporcionado en la literatura; mediante los criterios funcional, social y económico. Previamente, se repasó la normativa dentro y fuera del país, se revisó la literatura y se analizó la problemática asociada a la solución vigente, permitiendo la definición de la propuesta. Las evaluaciones compararon las señales propuestas con las vigentes en parejas, mediante experimentos con control temporal para medir elección de carril; encuestas para la identificación de carriles, la comprensión de la divergencia y las preferencias de los sujetos; y comparativas de superficie. En elección de carril, la propuesta proporcionó resultados similares que los carteles que duplicaban destinos y superiores con destinos omitidos y otras situaciones problemáticas; en identificación de carriles y comprensión de la divergencia, la propuesta indujo un número significativamente superior de respuestas correctas y fue preferida por los participantes; económicamente supuso un ahorro de superficie medio del 17,54 %. Los resultados sugieren que la mayoría de participantes malinterpretaron la duplicación de destinos y que el uso de carteles flecha por carril en su lugar sería positivo, por lo que se recomienda continuar los estudios en la materia.

ABSTRACT

In Spanish roads, several ramps can be found featuring an option lane, letting simultaneously exit and continue in the mainline. For these lanes, the current signage manual, *Norma 8.1-IC Señalización vertical*, duplicates part of the destinations in an additional sign and omits others, which can confuse drivers. An evaluation was performed comparing the current system with a proposal using arrow-per-lane signs, the design that has achieved better results in literature; following functional, social and economic criteria. Previously, signage manuals both within Spain and abroad were reviewed along with the literature on the matter, and problems associated with the current Spanish signing practices for option lanes were analyzed, enabling the definition of the proposal. Evaluations comparing the proposed signs against the current ones in pairs were performed, with time-controlled human factors experiments measuring lane choice; surveys measuring lane identification, the understanding of the road layout and the subjects' preferences; and comparisons of sign area for each sign type. Regarding lane choice, the proposed signs offered similar results to signs duplicating destinations and superior results with omitted destinations; in lane identification and road layout comprehension, the proposed signs induced a significantly larger number of correct answers and were preferred by participants; economically the proposed signs supposed a 17.54 % mean reduction in sign surface. Results suggest that destination duplication was misunderstood by the majority of subjects and that it would be positive to use arrow-per-lane signs instead in Spanish option lanes, thus further research on the matter is recommended.

RESUM

A les carreteres espanyoles, existeixen nombroses divergències on un carril és bífid, permetent simultàniament l'accés a ambdues vies. Davant aquests carrils, la norma 8.1-IC *Señalización vertical* vigent duplica part de les destinacions a un cartell adicional i n'omet d'altres, una solució potencialment confusa per als conductors. Es va avaluar comparativament respecte al sistema vigent una proposta amb cartells fletxa per carril (*arrow-per-lane*), la tipologia senyalística que millors resultats ha proporcionat a la literatura; mitjançant els criteris funcional, social i econòmic. Prèviament, es repassà la normativa dins i fora del país, es revisà la literatura i s'analitzà la problemàtica associada a la solució vigent, permetent la definició de la proposta. Les avaluacions compararen els senyals proposats amb els vigents en parelles, mitjançant experiments amb control temporal per a mesurar elecció de carril; enquestes per a la identificació de carrils, la comprensió de la divergència i les preferències dels subjectes; i comparatives de superfície. A elecció de carril, la proposta proporcionà resultats similars que els cartells que duplicaven destinacions i superiors amb destinacions omeses i altres situacions problemàtiques; a identificació de carrils i comprensió de la divergència, la proposta induí un nombre significativament superior de respostes correctes i va ser preferida pels participants; econòmicament, suposà un estalvi de superfície mitjà del 17,54 %. Els resultats suggereixen que la majoria dels subjectes va malinterpretar la duplicació de destinacions i que l'ús de cartells fletxa per carril en el seu lloc seria positiu, per la qual cosa es recomana continuar amb els estudis en la matèria.

Agradezco en primer lugar a Olivier R. Przybylski, Pablo Marinas, Jacobo Hernández Torrado, Ángel José León Alonso y en general a todos los *carreteros* y a *los del grupo de la A-62*; que además de facilitarme el acceso a numerosa documentación también me han aportado ideas y consideraciones muy útiles. Añado a mi gratitud a Jordi Prats Aloy por su imprescindible asesoramiento matemático.

Estoy en deuda también con Javier Roca Ruiz y Pilar Tejero Gimeno, de la Estructura de Recerca Interdisciplinar de Lectura de la Universitat de València. No sólo me han brindado un asesoramiento imprescindible acerca de cómo enfocar las evaluaciones funcionales con rigor, sino que generosa y desinteresadamente me han ofrecido hasta recursos y herramientas propias para ayudarme a realizar este trabajo final de grado. A ellos, muchas gracias por proporcionarme unos cimientos sólidos sobre los que levantar este trabajo.

Por otro lado, quiero agradecer al personal de las diferentes administraciones y corporaciones que me ha ofrecido su atención, ayuda y hasta documentación acerca de la señalización bajo su competencia: Dirección General de Obras Públicas e Infraestructuras, Gobierno de Navarra; Javier Navarro Martínez y Xavier Martínez Arance, Àrea Metropolitana de Barcelona.

No puedo evitar expresar mi inmensa gratitud a todas las personas que han aceptado tomar parte en los experimentos y encuestas; y todavía más a quienes las han difundido para que lleguen a más gente. Sin su participación desinteresada, este trabajo no habría sido posible.

Y por supuesto, muchas gracias a Álvaro Cuadrado Tarodo por haberse ofrecido a tutorizar este trabajo final de grado tan atípico, orientándome y prestándome su tiempo para que llegue a buen puerto.

Muchas otras personas me han ayudado en la realización de este trabajo, transmitiéndome sus conocimientos, comentarios, opiniones o simplemente su entusiasmo. Aunque resulte imposible mencionarlas a todas, quede expresado aquí mi más sentido agradecimiento.

A mis padres, y a sus padres

But let the mishap of disorientation once occur, and the sense of anxiety and even terror that accompanies it reveals to us how closely it is linked to our sense of balance and well-being. The very word "lost" in our language means much more than simple geographical uncertainty; it carries overtones of utter disaster.

Kevin Lynch, *The Image of the City*, pág. 4

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
Definiciones, glosario y alcance.....	3
Señal.....	3
Señales de orientación.....	4
Carriles bífidos	6
Diseño de las señales	10
II. ESTADO DEL ARTE	17
Señalización de carriles bífidos en la normativa española.....	17
Antecedentes	17
Subcarteles virtuales: el borrador de junio de 1991.....	20
Duplicación de destinos: la norma 8.1-IC provisional de 1997.....	21
La norma 8.1-IC vigente.....	24
El futuro.....	26
Señalización de carriles bífidos en otras normativas.....	29
Otras normativas españolas	29
Normativas extranjeras	33
Revisión de la literatura en la materia.....	57
En España	57
En el extranjero.....	57
III. SISTEMA PROPUESTO	69
Punto de partida	69
¿Cómo señalar?	69
Estado de los carriles bífidos en España	70
Problemáticas del sistema actual.....	70
Desarrollo de un sistema experimental	77
Alcance	77
Por qué flecha por carril	78
Consideraciones para la confección de los carteles.....	81
Concreción	87
IV. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	89
Evaluaciones sociofuncionales	89

Experimentos con control temporal	90
Encuestas sin control temporal	107
Evaluación económica.....	117
Discusión de los resultados	123
Experimentos con control temporal	123
Encuestas sin control temporal	124
Evaluación económica	125
V. CONCLUSIONES.....	127
VI. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. I-1.....	3
Fig. I-2	4
Fig. I-3.....	5
Fig. I-4.....	5
Fig. I-5	6
Fig. I-6.....	6
Fig. I-7.....	7
Fig. I-8.....	8
Fig. I-9.....	8
Fig. I-10.....	9
Fig. I-11.....	9
Fig. I-12.....	11
Fig. I-13.....	12
Fig. I-14.....	12
Fig. I-15.....	13
Fig. I-16.....	13
Fig. I-17.....	14
Fig. I-18.....	14
Fig. I-19.....	15
Fig. II-1.....	17
Fig. II-2.....	18
Fig. II-3.....	19
Fig. II-4.....	20
Fig. II-5.....	21
Fig. II-6.....	21
Fig. II-7.....	22
Fig. II-8.....	23
Fig. II-9.....	25
Fig. II-10.....	26
Fig. II-11.....	27
Fig. II-12.....	28
Fig. II-13.....	29
Fig. II-14.....	30
Fig. II-15.....	31
Fig. II-16.....	31
Fig. II-17.....	32
Fig. II-18.....	32
Fig. II-19.....	33
Fig. II-20.....	33
Fig. II-21.....	34
Fig. II-22.....	34

Fig. II-23.....	35
Fig. II-24.....	35
Fig. II-25	36
Fig. II-26.....	36
Fig. II-27.....	37
Fig. II-28.....	37
Fig. II-29.....	37
Fig. II-30.....	38
Fig. II-31.....	38
Fig. II-32.....	39
Fig. II-33.....	39
Fig. II-34.....	40
Fig. II-35.....	40
Fig. II-36.....	40
Fig. II-37	41
Fig. II-38.....	41
Fig. II-39.....	41
Fig. II-40.....	42
Fig. II-41.....	42
Fig. II-42.....	43
Fig. II-43.....	44
Fig. II-44.....	44
Fig. II-45.....	45
Fig. II-46.....	45
Fig. II-47	46
Fig. II-48.....	46
Fig. II-49.....	47
Fig. II-50	47
Fig. II-51.....	48
Fig. II-52.	48
Fig. II-53.....	48
Fig. II-54.....	49
Fig. II-55	50
Fig. II-56.....	50
Fig. II-57	51
Fig. II-58	52
Fig. II-59.....	52
Fig. II-60.....	53
Fig. II-61.....	53
Fig. II-62.....	54
Fig. II-63.....	55
Fig. II-64.....	55
Fig. II-65.....	55
Fig. II-66.....	56
Fig. II-67	58

Fig. II-68.....	59
Fig. II-69.....	59
Fig. II-70.....	60
Fig. II-71.....	61
Fig. II-72.....	62
Fig. II-73.....	63
Fig. II-74.....	63
Fig. II-75.....	64
Fig. II-76.....	64
Fig. II-77.....	65
Fig. II-78.....	66
Fig. II-79.....	67
Fig. III-1.....	71
Fig. III-2.....	71
Fig. III-3.....	72
Fig. III-4.....	73
Fig. III-5.....	73
Fig. III-6.....	73
Fig. III-7.....	75
Fig. III-8.....	76
Fig. III-9.....	76
Fig. III-10.....	77
Fig. III-11.....	78
Fig. III-12.....	78
Fig. III-13.....	80
Fig. III-14.....	80
Fig. III-15.....	81
Fig. III-16.....	81
Fig. III-17.....	84
Fig. III-18.....	85
Fig. III-19.....	86
Fig. IV-1.....	91
Fig. IV-2.....	91
Fig. IV-3.....	93
Fig. IV-4.....	96
Fig. IV-5.....	97
Fig. IV-6.....	97
Fig. IV-7.....	98
Fig. IV-8.....	100
Fig. IV-9.....	101
Fig. IV-10.....	101
Fig. IV-11.....	102
Fig. IV-12.....	107
Fig. IV-13.....	108
Fig. IV-14.....	109

Fig. IV-15	111
Fig. IV-16	112
Fig. IV-17.....	114
Fig. IV-18	114
Fig. IV-19	115
Fig. IV-20.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1.....	11
Tabla I-2.....	11
Tabla III-1.....	87
Tabla IV-1.....	91
Tabla IV-2.....	94
Tabla IV-3.....	108
Tabla IV-4.....	110
Tabla IV-5.....	110
Tabla IV-6.....	111
Tabla IV-7.....	113
Tabla IV-8.....	113
Tabla IV-9.....	115
Tabla IV-10.....	115
Tabla IV-11.....	116
Tabla IV-12.....	122

I. INTRODUCCIÓN

Mandaràn, que todas las Justicias de su Provincia que, para la mayor comodidad de los Traficantes y Passageros, en todos los sitios donde se junten, uno, dos ò mas Caminos, ò sendas, hagan poner un Madero levantado fixo, con una Targeta, en que se diga: Camino para tal Lugar, en disposicion, que los que passen de ida, y buelta, caminen con segura noticia, y sin rezelo de extraviarse; debiendo distinguirse, prevenirse y advertirse los que fueren para Carroage, y los de Herradura.

Ordenanza de 13 de octubre de 1749 para el restablecimiento è instruccion de intendentes de provincias y exercitos. Madrid, 1749. Artículo 29. [25:12]

Este artículo de la Ordenanza promulgada en tiempos de Fernando VI para el cuerpo de intendentes de provincia constituye la primera regulación en cuanto a señalización vertical que se ha podido localizar en la legislación española.

Que en tiempos imperiales se tuviera clara la importancia de una buena señalización vial no es por casualidad. Si se pretendía establecer una red de carreteras que articulara eficazmente el territorio de la Corona mediante la comunicación y el comercio, ésta debía poder ser transitada también por viajeros que desconocieran los caminos. Recurrir a mapas y publicaciones escritas, aunque habitual, era poco práctico; la solución pasaba por la señalización.

La cuestión viene de lejos, al fin y al cabo. Las civilizaciones más sofisticadas de la Antigüedad señalaron también sus redes de carreteras –los miliarios romanos, inicio de nuestra tradición señalética ya hace más de 2000 años, son un ejemplo cercano– con el mismo objetivo: vertebrar mejor sus vastos dominios.

La dilatada historia de la señalización vertical no la hace menos necesaria hoy en día para cohesionar territorio y sociedad. Si la aparición del automóvil con sus mayores velocidades vino acompañada de la adopción de señalización de advertencia o de reglamentación, su generalización indujo un crecimiento exponencial de la infraestructura viaria en tamaño y complejidad que aún continúa, y consecuentemente, también se incrementan las necesidades de orientación de sus usuarios.

Naturalmente, ubicarse en el camino resulta hoy mucho más sencillo que en el pasado gracias a la proliferación de sistemas de navegación que hacen uso de GPS e Internet, pero el papel que ejerce la señalización vertical como parte de la carretera se mantiene insustituible.

No obstante, en algunas ocasiones, la complejidad de las vías acaba transmitiéndose a su señalización, dando pie a que se desaproveche la infraestructura o a que el conductor se confunda, con el riesgo que ello comporta. La señalización de los carriles bífidos en España es un ejemplo de estas situaciones.

El inventariado de los mismos dentro del territorio español ha revelado que su señalización está lejos de ser ejemplar: las disposiciones de la norma para los mismos se contravienen habitualmente, observándose soluciones variopintas que no explotan la capacidad completa de la vía o que utilizan elementos de la normativa para fines no previstos.

En el extranjero, la señalización de estas configuraciones de carriles ha sido investigada evaluando diversos sistemas, concluyéndose como más provechoso el empleo de señales flecha por carril, o *arrow-per-lane*. En la actualidad, estas señales son las habitualmente empleadas en multitud de países de todo el mundo, y varias naciones han modificado sus sistemas señaléticos para adoptarlas. Sin embargo, en nuestro país la señalización de carriles bífidos no ha sido estudiada todavía.

El objetivo de este trabajo final de grado es, por tanto, ofrecer y evaluar una solución a las limitaciones del sistema actual para la señalización de carriles bífidos en España, analizando comparativamente un sistema alternativo de señalización con carteles *arrow-per-lane* respecto a la normativa vigente.

Por ello, el enfoque de este trabajo se restringe exclusivamente a las bifurcaciones y divergencias que empleen carriles bífidos, por ser éstas donde la normativa actual se ve más limitada y, en consecuencia, donde el sistema propuesto podría presentar más beneficios. No se propone ni evalúa la implementación de diseños *arrow-per-lane* en el resto de la señalización vertical española, ni se consideran otros aspectos que afectan a la legibilidad y la comprensión de las señales como su disposición, tipografía, espaciados, dimensiones, colores o uso de mayúsculas. Tampoco se evalúan cuestiones como la visibilidad o la ubicación de las señales en el espacio, por limitarse este trabajo a su diseño.

El alcance y la terminología que se seguirá durante el desarrollo de este trabajo se detallan en las páginas a continuación.

Definiciones, glosario y alcance

Señal

A efectos del presente trabajo, se considerará la definición establecida por la normativa vigente en España, la norma 8.1-IC *Señalización vertical* de la Instrucción de Carreteras, elaborada por el Ministerio de Fomento¹ en 2014. La misma define *señal* como «un elemento destinado a informar y ordenar la circulación por las carreteras» compuesto por «leyendas y/o símbolos para suministrar información», «la superficie sobre la que están inscritos [...]» y «los dispositivos específicos de sustentación; como postes, banderolas y pórticos [...]» [44:7].

Dicha definición reserva así el término *señal* para designar en exclusiva a los elementos de señalización vertical, excluyendo a las marcas viales –señalización horizontal–, semáforos, órdenes de agentes y demás conceptos considerados como *señales* por parte del Reglamento General de Circulación [7:57].

En su definición de *señal*, la norma 8.1-IC de 2014 clasifica funcionalmente las mismas en señales de advertencia de peligro, de reglamentación y de indicación; mientras que compositivamente las divide en de contenido fijo, carteles y paneles complementarios:

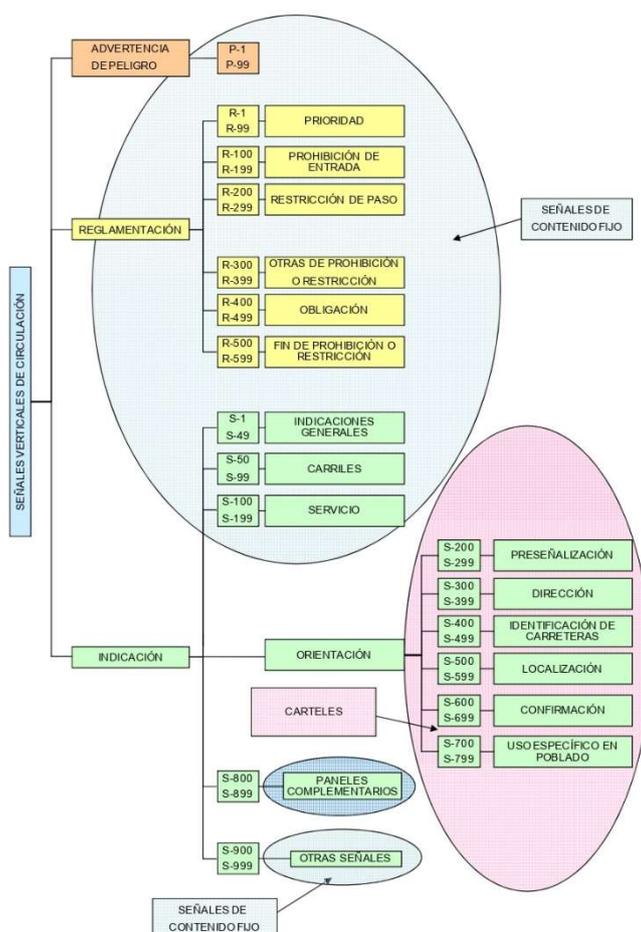


Fig. I-1. Clasificación establecida por la norma 8.1-IC de 2014 [44:11]. *Ministerio de Fomento*

¹ Denominación, antes de 2020, del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA).

Señales de contenido fijo o de catálogo

Son aquéllas con diseños predefinidos en el *Catálogo de señales verticales de circulación*, variando solamente en cuanto a tamaños o inscripciones concretas. Sus códigos de catálogo comprenden P-1 a P-99, R-1 a R-599, S-1 a S-599 y S-900 a S-999. No son objeto de este trabajo final de grado, y cuando se mencionen, será siempre con su respectivo código.

Carteles

Son las señales que ven su diseño cambiar en función de su contenido, con códigos de catálogo del S-200 al S-799. Por ello, y a diferencia de las señales de contenido fijo y los paneles complementarios, se confeccionan habitualmente con lamas metálicas en lugar de placas *de una pieza*. A ellos se limita el alcance de este trabajo, por lo que de aquí en adelante se considerará en el texto que el término *señal* se refiere en concreto a las de la tipología de *cartel*, salvo indicación expresa de lo contrario, y se emplearán indistintamente.

Paneles complementarios

Son las señales añadidas como complemento a las de contenido fijo para acotar mejor sus prescripciones, estando comprendidas en el Catálogo entre los códigos S-800 y S-899. Tampoco se tratan en el presente trabajo.



Fig. I-2. Ejemplos de la clasificación de la norma 8.1-IC (no a escala). A la izquierda, señal de contenido fijo (P-16a); en el centro, cartel (S-600); a la derecha, panel complementario (S-810). *Ministerio del Interior; elaboración propia*

Señales de orientación

Dentro de las tipologías de señales de indicación según la norma 8.1-IC vigente (véase la Fig. I-1), la única subclasificación de interés para este trabajo final de grado son las señales o carteles de orientación.

Se denominan como tales aquéllas que sitúan geográficamente al conductor haciendo referencia a destinos, que son los lugares que se pueden alcanzar siguiendo la señalización. Los mismos pueden ser

- **destinos de dirección propia:** son los destinos a los que se llega continuando por la vía en la que se está circulando; y
- **destinos de salida:** son los destinos a los que se llega desviándose de la vía.

Las señales de orientación presentan algunas subdivisiones que sí deben considerarse para el presente trabajo:

Según su estructura portante

Se distinguen entre pórticos, donde la estructura apoya el cartel o carteles en ambos lados de la calzada; banderolas, donde la estructura apoya solamente en uno de los lados; y carteles laterales, donde el cartel se sostiene con postes metálicos a un lado de la calzada.

Este trabajo final de grado se limitará únicamente a pórticos, por ser normalmente la tipología que posiciona carteles sobre cada uno de los carriles de la calzada.



Fig. I-3. Diferentes estructuras portantes para señalización de orientación. De izquierda a derecha: pórtico, banderola y cartel lateral. *Emilio J. Rodríguez Posada, Wikimedia Commons*

Según su empleo

De preseñalización

Se clasifican así las señales que, con antelación, advierten al conductor de la existencia de una salida, sus destinos y, normalmente, indican la distancia que resta hasta la misma y su número.

El presente trabajo comprenderá principalmente señales de esta tipología.

De dirección

Las señales de dirección tienen un uso similar a las de preseñalización, pero si las anteriores indicaban destinos *antes* de la carretera que tomar para alcanzarlos, éstas lo hacen ya sobre la carretera. Las mismas son categorizadas entre

- **carteles de salida inmediata:** se ubican en la salida a la que sirven, indicando los destinos desde la misma y, si lo hay, el número de salida; y
- **carteles de dirección propia:** acompañan a los carteles de salida inmediata y señalizan los destinos de dirección propia, es decir, los que se alcanzan continuando por la vía por la que se circula.

Ambas clasificaciones son, con las señales de preseñalización, principal objeto de este trabajo.



Fig. I-4. Pórtico donde se observan señales de preseñalización y de dirección. De izquierda a derecha: cartel de dirección propia, cartel de preseñalización y cartel de salida inmediata. *Wikimedia Commons*

Otras tipologías según empleo

La normativa continúa su clasificación categorizando en señales de confirmación –que únicamente indican distancias a destinos– y de localización –que denotan lugares o divisiones administrativas atravesados por la vía–. No se tratan en este trabajo.



Fig. I-5. Señales de confirmación (izquierda) y localización (centro y derecha). *Wikimedia Commons*

Carriles bífidos

El alcance de este trabajo pretende centrarse en la señalización de ciertas configuraciones concretas de calzada en las que en una bifurcación un mismo carril básico da al conductor la opción de elegir entre varias trayectorias diferentes, ya sean estas partes tronco y salida de una vía o ramales dentro de un nudo.

La literatura en inglés denomina a esta tipología de carriles con términos como *option lane*, *taper exit lane*, *optional lane* y similares, definiéndose por la opcionalidad que proporcionan.

En España, la definición más cercana es la que brinda la norma 3.1-IC *Trazado* vigente desde 2016 [3], donde se describen como *carriles bífidos* aquellos carriles de confluencia y bifurcación que «proporcionan una variación lineal del ancho de carril entre tres metros y cincuenta centímetros y siete metros», definiéndose por el ancho variable de los mismos [56:109].

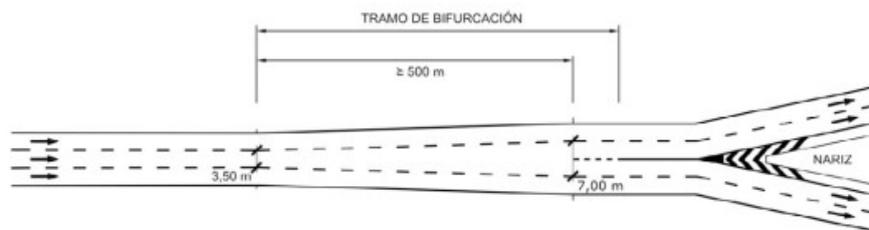


Fig. I-6. Dibujo de la norma 3.1-IC ilustrando los carriles bífidos. *Ministerio de Fomento*

Esta segunda definición, centrada en el ancho, resulta sin embargo insuficiente para describir algunas situaciones presentes en las carreteras españolas donde el empleo de marcas viales deja poco claro si existe un incremento de ancho en los carriles que en la bifurcación permiten ambas opciones.



Fig. I-7. Salida 31 de la autopista M-40, sentido horario. Se ha recortado la otra calzada. Nótese cómo la salida se conforma por un carril de deceleración de tipo paralelo —delimitado con la marca vial M-6.6 (taqueado para carril especial)— *pero también* por uno de tipo directo —adosado por el interior, antes de la nariz de la bifurcación— al que necesariamente se ha de acceder desde el carril básico situado más a la derecha del tronco, circunstancia acertadamente señalizada con las flechas de la calzada. *Instituto Geográfico Nacional, elaboración propia*

El tramo de carretera de la Fig. I-7 es un buen ejemplo para ilustrar estas limitaciones: la presencia de la marca M-6.6 delimitando el carril básico de la derecha respecto al de deceleración de tipo directo adosado hace válido considerar que el carril básico, pese a ofrecer opcionalidad, no ve su ancho modificarse, quedándose fuera de la definición de carril bífido que ofrece la 3.1-IC.

Por otro lado, la norma 8.1-IC se refiere difusamente a los carriles ilustrados en la Fig. I-6 como «carriles que se bifurcan», sin utilizar la terminología de la 3.1-IC, por ser posterior [44:105].

Por ello, este trabajo final de grado empleará por simplicidad léxica el término *carril bífido* pero con una definición diferente, que sí incluya por su interés los casos mencionados:

Se denomina como carril bífido a aquel carril de una carretera que, situado entre carriles del mismo sentido, permite al tráfico elegir entre trayectorias divergentes.

Por otro lado, y para facilitar la descripción del sistema de señalización descrito más adelante, se clasificarán los mismos en las siguientes dos categorías:

Se clasifica como carril bífido directo a aquel carril bífido que define bifurcaciones donde el número de carriles básicos se mantiene constante, y carril bífido indirecto a aquel carril bífido que define bifurcaciones con pérdida de carriles básicos.

Las siguientes imágenes, no a escala, ilustran dicha clasificación:



Fig. I-8. Carril bífido directo. Nótese que, pese a comenzar con tres carriles básicos, la conversión del carril derecho reduce su número a dos, número que se mantiene constante durante la bifurcación. Si el carril derecho fuera básico en todo su recorrido, sí se trataría de un carril bífido indirecto. *Elaboración propia*

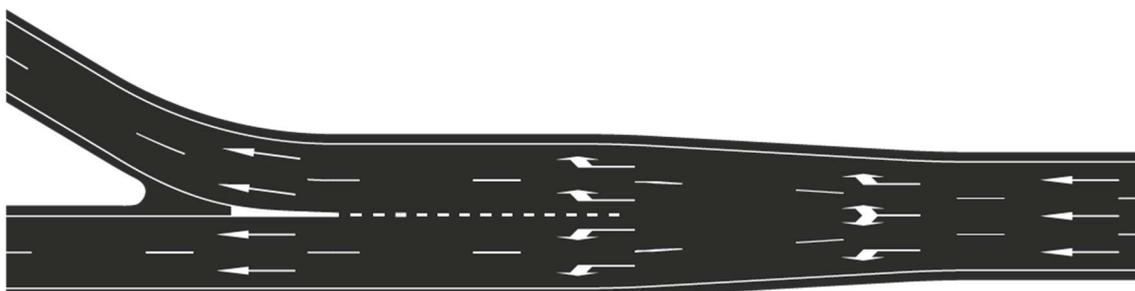


Fig. I-9. Carril bífido indirecto. Nótese cómo los tres carriles básicos antes de la bifurcación pasan a ser solamente dos tras la misma. *Elaboración propia*

Deben destacarse en la primera definición las palabras *situado entre carriles del mismo sentido*, que excluyen explícitamente a los carriles laterales de ser considerados como bífidos si carecen de carriles especiales adosados. Ello tiene un motivo, y es que, de incluirse, podrían considerarse como carriles bífidos directos a los que dan acceso a divergencias formadas por un único carril de deceleración de tipo directo (Fig. I-10, arriba izquierda), por cuñas de deceleración (Fig. I-10, arriba derecha) o incluso por carriles centrales de espera. Si bien estos elementos ofrecen opcionalidad al conductor, quedan fuera del alcance de este trabajo por ya disponer de señalización específica.

También queda excluida cualquier configuración donde la multiplicidad de carriles no se realice via carriles bífidos, o porque se adosen carriles de cambio de velocidad consecutivos (Fig. I-10, abajo izquierda) según recomienda la 3.1-IC [56:196] o porque por ausencia de marcas viales no se delimite más que un único carril de salida en la nariz de la bifurcación (Fig. I-10, abajo derecha).



Fig. I-10. Situaciones fuera del alcance de la definición establecida. *Instituto Geográfico Nacional*

De izquierda a derecha, y arriba a abajo: carril de deceleración de tipo directo; cuña de deceleración (en el cuadrante superior derecho); carril de deceleración adosado consecutivamente; bifurcación con carril único.

Respectivamente: salida 7A de la A-55, sentido sur; cruce entre la N-122 y la ZA-711; salida 4 de la Ma-13, sentido norte; y salida 22 de la M-45, sentido horario.

Cobra pues especial importancia la existencia o no de marcas viales para nuestra definición: si bien su presencia frente a la nariz no es indicativa de la tipología —nótese su ausencia en el carril de deceleración de tipo directo de la Fig. I-10, arriba a la izquierda— sí lo es en la delimitación de carriles dentro del ramal de salida. De delimitarse con las mismas claramente los dos carriles del ramal de salida desde antes de la nariz de la bifurcación, abajo a la derecha en el ejemplo de la Fig. I-10, podría considerarse el carril exterior del tronco como carril bífido directo. Si no así, un conductor saliendo del carril básico de la derecha justo antes de la nariz podría entrar en la trayectoria de los que circulan por el carril de deceleración, puesto que éstos no son canalizados todavía por ninguna marca vial:



Fig. I-11. Qué es y qué *no* es un carril bífido directo, respectivamente. Como no se delimitan dos carriles hasta haber abandonado la nariz en el ejemplo de la derecha, la salida debe considerarse como de un único carril, de ancho elevado, y por tanto sin presencia de carriles bífidos. *Elaboración propia*

Diseño de las señales

Normativa

Las carreteras españolas son señalizadas de acuerdo a diferentes normativas, dependiendo de la administración que sea responsable de las mismas.

Este trabajo propondrá un sistema alternativo para la señalización de carriles bífidos en el marco de la norma que señala la Red de Carreteras del Estado, la norma 8.1-IC *Señalización vertical* en vigor desde el 6 de abril de 2014 [5]. Se ha elegido la misma por la importancia de la red de carreteras a la que sirve y la pertenencia a la misma de buena parte de los carriles bífidos en España, por emplearse de manera oficiosa en redes de otras administraciones dentro del país y por su evidente influencia en la concepción de las otras normativas elaboradas por autonomías y demás órganos para la señalización de sus propias redes.

Elementos

Para poder hablar sobre diseño en señalización vertical, resulta necesario conocer los elementos que la conforman. Para el caso español [44:9], son los siguientes:

- **Altura básica:** abreviada como *Hb*, se trata de la altura de la letra mayúscula o el número de mayor tamaño en un cartel o, si no hubiere, la de la mayúscula correspondiente a la minúscula de mayor tamaño. La normativa española dimensiona los elementos del cartel en función de la *Hb*, determinada previamente según el tipo de cartel.
- **Subcartel:** es cada una de las partes, con orla independiente, en las que se divide un cartel para contener diferentes informaciones. También se utilizan, adosándose a la cabecera, para indicar itinerarios europeos.
- **Orla:** es el rectángulo, de trazo grueso ($1/5 Hb$) y esquinas redondeadas, que delimita los bordes de un cartel o subcartel.
- **Cajetín:** es el rectángulo, de trazo fino ($1/10 Hb$) y esquinas sin redondear, que contiene denominaciones de carreteras.
- **Flecha:** es un símbolo gráfico empleado para indicar o señalar dirección dentro de un cartel.² Se describen las establecidas por la norma 8.1-IC en las siguientes tablas:

² La norma 8.1-IC también emplea ocasionalmente el término *flecha* para referirse a los carteles flecha, los de forma poligonal terminados en una punta direccional (véase [44:9]). Se ha obviado la acepción por no resultar de interés para el presente trabajo.

Flechas tipo "f"						
f-1	f-2	f-3	f-4	f-5	f-6	f-7
						
Carteles laterales					Carteles sobre la calzada	
Señalización de dirección propia	Señalización de destinos por carril de deceleración	Señalización de destinos con giro	Señalización de destinos por carril de deceleración	Señalización de destinos con giro	Preseñalización de destinos sin pérdida de carril	

Tabla I-1. Flechas tipo "f" descritas en la normativa vigente. Pueden consultarse más detalles sobre su empleo junto a diagramas con sus dimensiones en [44:79-80, 150-154]. *Ministerio de Fomento*

Flechas tipo "F"		
F-1	F-2	F-3
		
Carteles sobre la calzada		
Señalización de destinos por carril, en dirección propia o salida con pérdida de carril	Señalización y preseñalización de destinos por carril, en salida sin pérdida de carril	

Tabla I-2. Flechas tipo "F" descritas en la normativa vigente. Pueden consultarse más detalles sobre su empleo junto a diagramas con sus dimensiones en [44:79-80, 150-154]. *Ministerio de Fomento*

Tipologías

Pueden definirse varios métodos con los que las diferentes administraciones alrededor del mundo dirigen el tráfico en pórticos de señalización, ya sea aplicándolos exclusivamente o combinando en una misma situación el uso de varios. La clasificación tipológica empleada en este trabajo es la siguiente:³

Señales basadas en texto

Este sistema, habitual en los EE. UU. y países bajo su influencia, sencillamente emplea texto para guiar al conductor, con indicaciones como «carril de la derecha» o «siguiente salida» o simplemente listando los destinos de la dirección propia. El exceso de texto que propicia y sus evidentes limitaciones están causando su rápido retroceso.



Fig. I-12. A la izquierda, señal de dirección propia sólo listando destinos y otra sólo indicando la distancia a la salida: «1/4 de milla»; a la derecha, pareja de señales indicando «siguientes dos salidas» y «salida 800 m». I-80 oeste, salida 124, Utah, Estados Unidos; M1 oeste, salida 16, Victoria, Australia. *Google Street View*

³ La ausencia de literatura en español sobre el tema ha forzado al autor a acuñar algunos nuevos términos traduciendo o reinterpretando los anglosajones existentes.

Flecha única

Esta tipología destaca por su sencillez, indicando con una única flecha la dirección por la que se alcanzan los diferentes destinos, independientemente del número de carriles. Por su simplicidad, supone la tipología más habitual en redes de baja capacidad, pero también está presente en autopistas y autovías de muchos países, en combinación con otros métodos –como España en su preseñalización de salidas sin carril dedicado (véase Fig. I-3, centro y derecha)– o incluso en solitario.



Fig. I-13. Carteles flecha única en vías de baja y alta capacidad. Nótese como se obvia indicar el número de carriles de cualquiera de las dos direcciones, incluso cuando son varios, como ocurre a la derecha. Esta práctica es muy habitual en países asiáticos como China, Taiwán, Corea del Sur o Japón. N-332 norte, PK 235+700, España; Autopista 100 (고속국도 제 100 호선) sentido horario, salida 23, Corea del Sur. *Google Street View*

Flecha abajo

Esta tipología, que es llamada en la literatura en inglés como *down arrow*, señala con carteles independientes cada grupo de destinos, dotados de flechas de pequeño tamaño sobre cada uno de los carriles, apuntando hacia abajo (véase Fig. I-14). Es una tipología muy popular en todo el mundo y es en la que se basa principalmente la señalización con pórticos en España.



Fig. I-14. Conjuntos de carteles flecha abajo en pórticos. A-6 norte, salida 522AB, España; N844 sentido horario, salida 48b, Francia. *Google Street View*

Flecha arriba

Prácticamente igual que la tipología flecha abajo, ésta simplemente modifica el sentido de las flechas para hacerlas apuntar hacia arriba. De nuevo, el rasgo más relevante es la correspondencia entre carriles y número y posición de las flechas, y el empleo de carteles independientes.



Fig. I-15. Carteles flecha arriba. D1 norte, salida «Trnava», Eslovaquia; E4 norte, salida 173, Suecia. *Google Street View*

Apilamiento de carteles

Este sistema, a veces referido como *sign stacking*, fue inventado en el Reino Unido para hacer posible la señalización en pórticos de varios grupos de destinos para un mismo carril, como complemento a otros sistemas asociados a número y posición de carriles. La solución que propone es simple pero eficaz: se colocan los carteles asociados a los carriles normalmente, sobre sus correspondientes carriles, y en caso de solapamiento, se eleva uno de los carteles sobre el otro, generalmente el de la salida.



Fig. I-16. Carteles apilados. M73 norte, salida 2, Reino Unido; Route 3 norte, salida 4, Hong Kong. *Google Street View*

Flecha por carril

Las señales realizadas según este método, denominado *arrow-per-lane*⁴ en el extranjero, también señalan los destinos con una flecha sobre cada carril. Sin embargo, en este caso las flechas no se ubican en carteles independientes, sino solamente en uno; y reflejan cada una de las maniobras que cada carril permite, pudiendo emplear para ello diseños policéfalos (véase Fig. I-17). Esta tipología es empleada en gran cantidad de países y será la considerada en este trabajo.

Por la facilidad asociativa entre flechas, esta tipología suele combinarse con carteles flecha arriba, e incluso se han observado en algunos casos diseños híbridos. Por otro lado, también

⁴ También referidas como *arrow per lane*, *APL* y similares. En la literatura más antigua, es frecuente verlas consideradas como una subclasificación de las señales diagramáticas, bajo nombres como *modified diagrammatic*.

existen otros diseños derivados omitiendo algunas flechas de la dirección propia, para ahorrar espacio.



Fig. I-17. Carteles flecha por carril. A50 oeste, nudo Hattemerbroek con A28 y N50, Países Bajos; AZ-202 este, salida 55 A-B, Arizona, Estados Unidos. *Google Street View*

Croquis

Se denominan así a las señales donde se representa el trazado geométrico de la vía, visto desde arriba, de manera simplificada y con una única línea o flecha, sin indicar carriles. En la literatura en inglés se las denomina con términos como *map type* o –poco acertadamente– *diagrammatic*. Es especialmente popular para la señalización de glorietas –la principal utilización de la misma hoy en España– y también para la preseñalización de salidas en los países anglosajones.

Se han observado algunos híbridos entre esta tipología y la flecha por carril, resultando en croquis de varias líneas donde cada una de las flechas representa un carril, pero a diferencia de las APL, sin ubicarse sobre el correspondiente carril.



Fig. I-18. Cartel croquis junto a carteles flecha única; señalización de glorieta con croquis. S11 norte, nudo con el sexto anillo de Pekín (北六环路) y la G45, China; N-420 oeste, PK 158+300, España. *Elaboración propia; Google Street View*

Diagramáticas

Estas señales, surgidas en los EE. UU., son una derivación de las señales croquis donde las líneas de las flechas basan su grosor en el ancho de la vía, y *en su interior* se trazan marcas viales que delimitan carriles. Son una opción popular para señalar carriles bífidos y divergencias relevantes. Se las denomina en la literatura como *diagrammatic*, en ocasiones sin distinguirlas de las tipo croquis –que no indican carriles– como sí se hace en este trabajo.



Fig. I-19. Cartel diagramático, ampliación en su flecha. I-85 sur, salida 118, Estados Unidos. Nótese la diferencia de grosores acorde al número de carriles. *Google Street View*

II. ESTADO DEL ARTE

Señalización de carriles bífidos en la normativa española

Antecedentes

Desde la Ordenanza citada en la introducción [25:12], la señalización vertical en el territorio español no se desarrolló demasiado en los años posteriores, con sucesivas instrucciones y reglamentos que se limitaban a establecer directrices muy básicas acerca de leguarios, hitos kilométricos, carteles e inscripciones en las casillas de los peones camineros.⁵

No sería hasta entrado el siglo XX cuando la señalización vertical española empezaría a modernizarse para adaptarse al tráfico motorizado, inducida por las primeras conferencias internacionales que se celebraron sobre la materia, en primer lugar, con los Convenios de París de 1909 y 1926 —aprobados en la *Gaceta de Madrid* del 27 de abril de 1912 [19] y del 26 de marzo de 1927 [17], respectivamente—, que influirían en las directrices establecidas para el Circuito Nacional de Firmes Especiales [93]; y posteriormente el convenio de Ginebra de 1931 de la Sociedad de las Naciones [107], aprobado como Ley en la *Gaceta* del 5 de abril de 1931 [16], ratificado el 18 de marzo de 1933 e incorporado al primer Código de Circulación español, el de 1934 [15], en su anexo quinto [14].

La siguiente normativa sobre señalización vertical habría de esperar hasta el final de la Guerra Civil, con la aprobación en agosto de 1939 de la Instrucción de Carreteras, la cual dedicaría su segunda parte a la señalización⁶ [83:41-73].

La misma partiría de las disposiciones establecidas en el convenio de 1931, ampliándolas con, entre numerosos avances, la introducción por primera vez en normativa española de los carteles croquis, la tipología más similar a los carteles *arrow per lane* que se ha empleado hasta ahora en nuestro país. La Instrucción establece su uso «si se han de señalar direcciones con ángulos agudos o direcciones múltiples», denominándolo como «cartel croquizador» donde se representa «el croquis de las direcciones» junto a los destinos y «placas de ruta», siempre «procurando la mayor claridad en el conjunto» [83:52]. Su uso pronto se extendió a la preseñalización.



Fig. II-1. Ejemplo de *cartel croquizador* ofrecido en la Instrucción [83]. *Ministerio de Obras Públicas*

⁵ Se listan algunos ejemplos en la bibliografía, como [24], [23], [22], [21], [20], [72] y [18].

⁶ Con frecuencia se denomina a las señales elaboradas siguiendo la Instrucción de 1939 como *señales Peña* y similares, por instalarse las mismas en las carreteras incluidas en el Plan General de Obras Públicas de 1940, llamado *Plan Peña* en referencia al ministro Alfonso Peña Boeuf.

La Instrucción se mantuvo vigente en cuanto a señalización durante varias décadas, hasta que, de nuevo, un tratado internacional sirvió de acicate a la ya necesaria modernización del sistema, en este caso la Convención de Ginebra de 1949, de las Naciones Unidas. La misma incluye un *Protocolo relativo a las señales carreteras* al que España se adhirió el 13 de febrero de 1958, anunciándolo en el *BOE* del 12 de abril [13] y adoptándolas en el Código de Circulación, lo cual haría obligatoria la elaboración de nueva normativa que sustituyera las veteranas señales de 1939. Mientras se redactaba la nueva disposición, se establecieron provisionalmente una serie de indicaciones en la Orden Circular 61-1960, modificando el diseño de los carteles croquis e incorporando un nuevo *cartel de salida* [42:6, 9].

La esperada norma llegaría en 1962, bajo el nombre de «Orden Circular 8.1-IC» y no sólo proporcionaría la nomenclatura todavía usada, sino que perfilaría el sustento teórico en el que la normativa hoy vigente se sigue cimentando, explicitando los objetivos y principios fundamentales de la señalización vertical española e iniciando la clasificación que se sigue empleando actualmente [41]. En cuanto a señales croquis, la OC 8.1-IC de 1962 confirmaría los cambios de la 61-1960, cambiando colores y eliminando cajetines para presentar nuevos ejemplos de diseño.



Fig. II-2. Ejemplos de los carteles C-750 en la OC 8.1-IC de 1962 [41]. *Ministerio de Obras Públicas*

Pese a su ambición, la Orden Circular de 1962 pronto se vería superada por el crecimiento de la red. A lo largo de la década de los 60, aparecen en España las primeras autopistas y resulta evidente que la normativa vigente es insuficiente para señalizarlas. Es por ello que en el Decreto 1277/1969 [11] que modifica el Código de Circulación para la circulación por las mismas también se introducen las primeras señales para autopistas, las cuales quedarían definidas mediante la comunicación ministerial 6/69 C. V. [40], no incluyéndose entre los nuevos diseños ninguna señal de orientación.

Esa circunstancia, sumada a la discusión de nuevos acuerdos a nivel europeo durante los años 70, hacía patente la necesidad de elaborar nuevas directrices. De nuevo, mientras las elaboraba, el Ministerio ofreció *adelantos* de las mismas, en este caso, presentando al público en abril de 1985 una versión preliminar del Catálogo de señales de circulación [55] y en noviembre de 1986, la definitiva [54].

Es en estas versiones del Catálogo donde con numerosas señales nuevas se describe por primera vez el sistema de señalización que conocemos para autopistas y autovías, dando inicio al uso en España de señales sobre la calzada, mediante carteles flecha abajo, y aportando los antecesores directos de las flechas “f” y “F”. Por otro lado, se mantiene el cartel croquis, bajo el código S-210, adaptado para señalizar destinos en vías de alta capacidad.

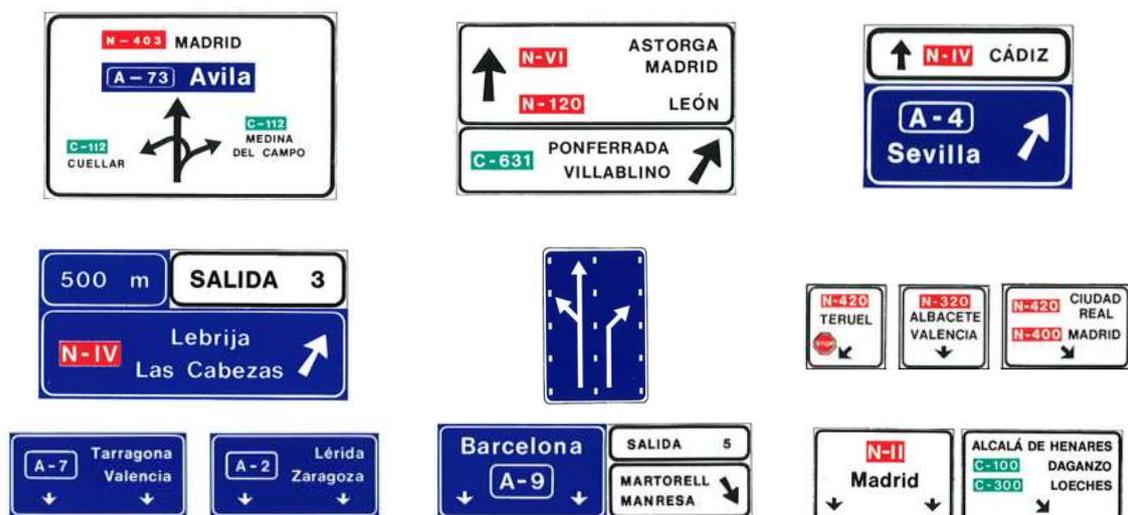


Fig. II-3. Algunas de las señales de mayor interés de las mostradas en el Catálogo de señales de circulación de 1986 [54].⁷ Nótese la presencia de la S-210, croquis, arriba a la izquierda; o la S-260 en el centro. *Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*

Además de observarse por primera vez el uso de subcarteles superiores para distancias y números de salida –si bien con colores variables y aún sin el pictograma actual–, hace su aparición la señal S-260, muy útil en algunas configuraciones complejas de calzada y ciertamente infrautilizada.

Este *avance* no fue suficiente como para consolidar, a falta de normativa, un sistema que seguir en los muchos tramos de autopista y autovía que se estaban ejecutando, resultando en señalizaciones poco uniformes o contrarias a lo previsto por el Ministerio. Ello motivó cambios de criterio en la Dirección General de Carreteras y el envío de diversas comunicaciones a las Demarcaciones [53, 51, 52]. De entre ellas destaca la nota de servicio del 11 de octubre de 1988, donde entre otras aclaraciones se dimensionan por primera vez las flechas tipo “f” y “F” actuales [52].

Entretanto, la nueva 8.1-IC seguía redactándose, constando que las Demarcaciones ya habían recibido en 1982 instrucciones sobre cómo componer carteles de acuerdo a la futura norma [52] y que un borrador de la misma ya había sido enviado a las mismas en enero del 90 [51].

No ha sido posible localizar el borrador mencionado, pero sí otro datado en junio de 1990 que se describe como «definitivo» [50]. El mismo, además de concretar la señalización en pórticos (véase Fig. II-4), aportaría muchos aspectos que se hicieron característicos en la señalización española: los pictogramas de salida, los croquis en las glorietas o los alfabetos *Autopista* y *Carretera Convencional*. Por otro lado, el borrador elimina los carteles croquis S-210 que sí aparecían en el catálogo y todavía no prevé situaciones con carriles bífidos entre sus ejemplos.

⁷ Nótese que cuando se realizó el Catálogo, la nomenclatura «A-» indicaba autopistas mientras que las autovías mantenían habitualmente la nomenclatura de carretera nacional «N-». Debe considerarse también que las ilustraciones del Catálogo tienen un fin divulgativo y no emplean en sus textos las tipografías normativas.

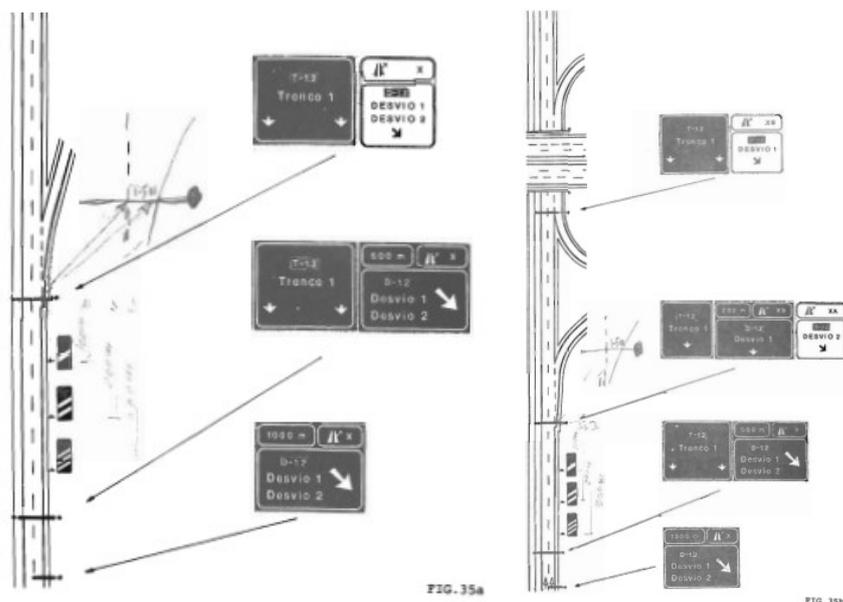


Fig. II-4. Ejemplos de señalización en divergencias, figuras 35a y 35b del borrador. *Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*

Subcarteles virtuales: el borrador de junio de 1991

Pese a la afirmación de que el borrador de junio de 1990 sería el «definitivo», un año después hace aparición otro [49] donde, entre varios cambios, se consideran por primera vez los carriles bífidos en una norma española de señalización vertical.

El apartado que se ve modificado para ello respecto al borrador del 90 es el 5.2.3 *Disposición*, dentro del punto 5.2 *Divergencias, salidas o bifurcaciones en autopistas, autovías y vías rápidas*. Mientras el borrador anterior simplemente describe cómo señalizar salidas únicas o sucesivas (concretamente, las situaciones ilustradas en la Fig. II-4), el borrador del 91 explica, dentro del subapartado 5.2.3.1 denominado *Enlace aislado con una sola divergencia*, el siguiente caso especial:

Habrá, como mínimo, un subcartel que indique destino, y cada carril tendrá una flecha F1 encima de su eje. Si un carril se bifurcara, la flecha F1 que lo marca servirá de frontera entre dos sub-carteles virtuales, cada uno de los cuales indicará su destino propio como consecuencia de la bifurcación (Fig. 35b). [49:46, énfasis a nadido]

Este párrafo, además de reiterar los principios de las señales flecha abajo, establece un peculiar sistema para indicar carriles bífidos indirectos, similar a la solución danesa (véase en el apartado *Normativas extranjeras*, pág. 42) mas omitiendo el trazado de separación gráfica entre subcarteles. No se define, por el contrario, ningún método para carriles bífidos directos.

El borrador ilustra sus explicaciones con nuevas figuras sustituyendo las de la edición anterior:

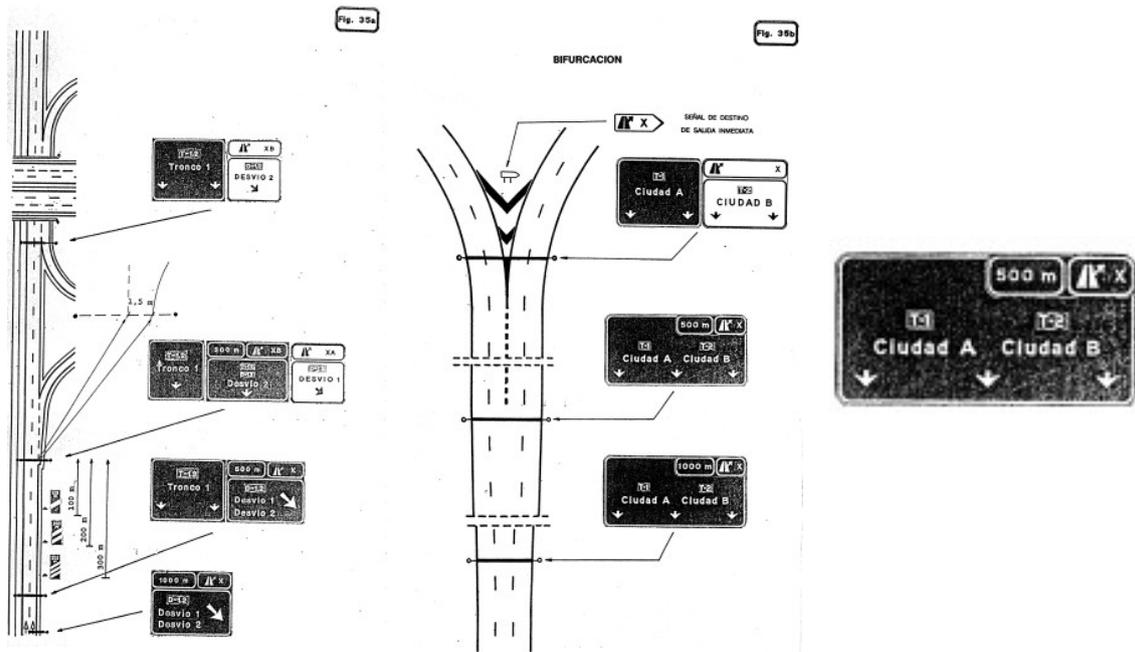


Fig. II-5. Nuevas figuras 35a y 35b en el borrador de 1991 [49]. En el centro, la señalización para carriles bífidos, a la derecha, ampliación de la preseñalización propuesta. *Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*

Debe destacarse que adosar los subcarteles superiores *por el interior* del cartel principal –seguramente por coherencia con el requisito de que no haya diferencias de altura entre carteles de un mismo pórtico– no está explicitado en la norma más allá de verse así en la Figura 35b.

Como viene siendo habitual con proyectos normativos de esta índole, pese a su carácter de borrador el documento de 1991 sirvió para señalizar carreteras en contrucción en aquel entonces. Se instalarían dichos carteles en el acceso de la N-330 al puerto de Alacant y en tramos de la AP-68 dentro del País Vasco, ya sustituidos a fecha de redacción de este trabajo:



Fig. II-6. Pórticos siguiendo el borrador de 1991 en servicio. Nótese que «Vitoria-Gasteiz» cruza la frontera entre subcarteles virtuales establecida por la flecha F-1 del centro, no respetando las indicaciones del borrador. Hoy han sido sustituidos por otros según la norma vigente de 2014, aunque obviando el carril bífido y por tanto contraviniendo de nuevo disposiciones, en este caso en cuanto a duplicación de destinos. Salidas 5 y 7 de la AP-68, sentido sur. *Google Street View*

Duplicación de destinos: la norma 8.1-IC provisional de 1997

El desarrollo de la norma siguió prolongándose a lo largo de la década de los 90, publicándose entretanto los dos tomos de un nuevo Catálogo de Señales de Circulación en 1992 [47, 48] donde ya se reflejaban los nuevos carteles de orientación del borrador del 91, con el añadido de

las propias de vías rápidas pero omitiendo cualquier referencia a la señalización de los carriles bífidos, además de incorporarse nuevas señales laterales de indicación de carriles (S-52 a S-63).

De nuevo, ante la prolongada demora, resultó necesario aportar un adelanto al sector, en este caso, con la publicación de una norma 8.1-IC provisional en 1997 [46].

Entre otras modificaciones, la norma provisional cambiaría por completo la señalización de los carriles bífidos para introducir el método actual, la duplicación de destinos. Así, el párrafo del subapartado 5.2.3.1 donde antes se describía la separación en subcarteles virtuales pasó a estar redactado de la siguiente manera:

Habrá como mínimo un cartel que indique destino y cada carril tendrá una flecha “F-1” encima de su eje. Si un carril se bifurca el cartel relativo al mismo incluirá los dos destinos correspondientes a dicha bifurcación tal y como aparece en la fig. 39. [46:49, énfasis añadido]

Los cambios quedaban ilustrados con una nueva figura:

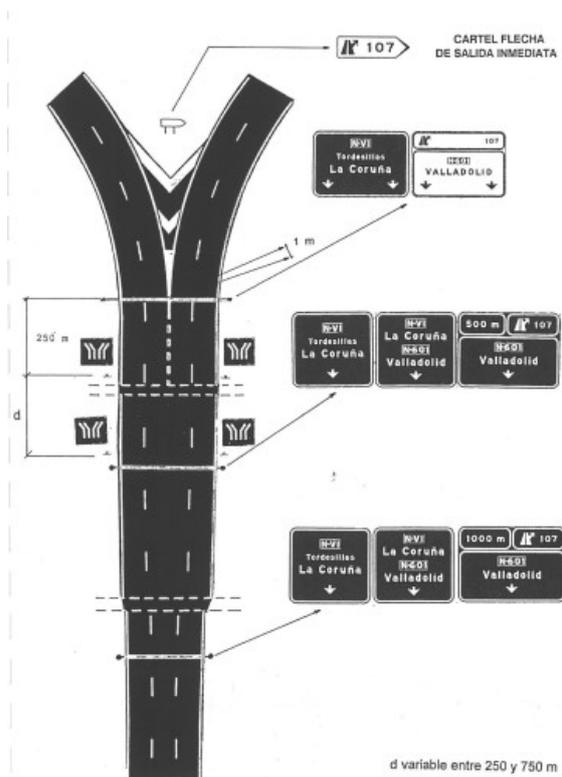


Fig. II-7. Figura 39 de la norma provisional, mostrando la duplicación de destinos [46]. Ministerio de Fomento

Por otro lado, las nuevas señales de código no son desaprovechadas, aunque sea sin indicar que uno de los carriles es bífido, como puede apreciarse en la Fig. II-7 (figura 39 de la norma):

En bifurcaciones o salidas de la calzada principal donde ésta pierda un carril, se complementará la señalización mediante señales S-60, S-61, S-62 o S-63 (apartado 2.1.1) a 250 y 150 m del pórtico de salida inmediata (fig. 38). [46:49, énfasis en el original omitido]

Estos cambios serían confirmados por la esperada versión definitiva de la norma 8.1-IC [45], aprobada por la Orden de 28 de diciembre de 1999 en el *Boletín Oficial del Estado* del 29 de enero del 2000 [8], que reproduce la indicación de la norma provisional textualmente [45:80].

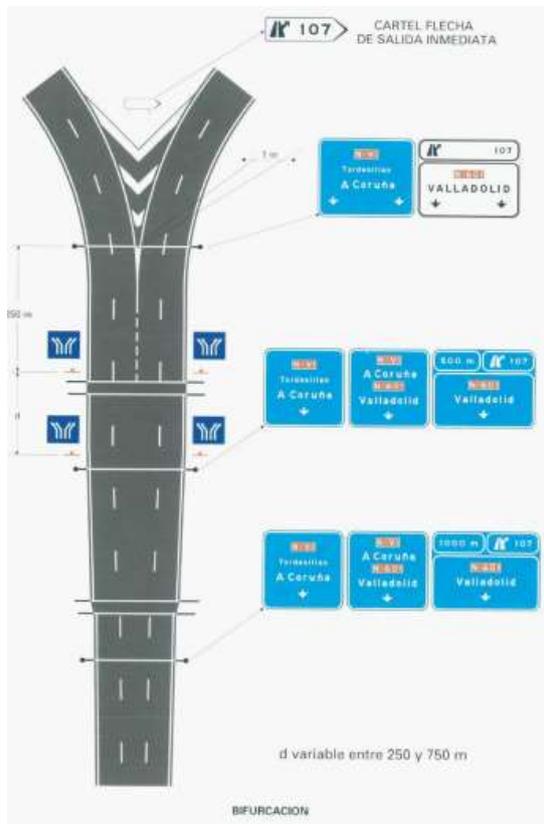


Fig. II-8. Figura 41 de la norma 8.1-IC de 1999, versión coloreada de la figura 39 de la norma provisional [45:77]. *Ministerio de Fomento*

Con tan llamativo cambio de postura entre el borrador de 1991 y la norma provisional de 1997 —que se reafirmaría con la versión definitiva de 1999—, es inmediato sospechar que dicha decisión no se tomó sin debates y discusiones entre los técnicos responsables; especialmente dado el accidentado historial de borradores y versiones hasta la 8.1-IC definitiva de 1999.

Desgraciadamente, no ha sido posible dilucidar los motivos de dicho cambio más allá de la especulación.⁸ Sí resulta razonable creer que la experiencia instalando según el borrador la señalización mencionada en la AP-68 y en Alicante —puesta a prueba de las disposiciones ante el mundo real— debió tener peso en los motivos para abandonar la propuesta *a la danesa* de 1991, pero es imposible discernir hasta qué punto.

⁸ El autor pudo localizar a los ponentes de aquella 8.1-IC gracias al intercambio dialéctico realizado entre los mismos en unos artículos de 2003 en la revista *Carreteras* ([103] y [30]), que si bien son posiblemente los únicos textos académicos sobre normativa de señalización vertical española, no tratan este cambio. Desafortunadamente, la práctica totalidad de los ponentes localizados ha fallecido, y del único todavía con vida no ha sido posible obtener respuesta. Tampoco se ha obtenido respuesta al consultarse sobre el asunto a la Dirección General de Carreteras.

En cualquier caso, la duplicación de destinos se consolidó sobre el papel como método elegido para señalar carriles bífidos indirectos, junto al resto de las disposiciones de la 8.1-IC del 1999. En esa dirección se publicó el nuevo Reglamento General de la Circulación de 2003 [7], incluyendo anexo una actualización del Catálogo con las señales del 1999, y se mantuvo la práctica señalética sin modificaciones normativas sustanciales en los años posteriores.

Reflejando esta situación normativa, en 2007 la asociación sectorial AFASEMETRA (Asociación de Fabricantes de Señales Metálicas de Tráfico) elaboró una guía de señalización, proponiendo recomendaciones para el diseño, la confección y el mantenimiento de señales verticales. Su última edición [26] fue publicada en 2013, también sustentada en la norma del 99.

Con todo, la realidad demuestra que el seguimiento de las disposiciones acerca de duplicación de destinos tuvo un seguimiento variopinto desde su inclusión en la 8.1-IC, siendo muy frecuente el observar divergencias con carriles bífidos señalizadas de maneras alternativas contrarias a la norma, como se verá más adelante.

La norma 8.1-IC vigente

El ocaso de la 8.1-IC del 1999 daría comienzo en 2008, con la divulgación de un borrador de la versión destinada a sustituirla, culminando unos años después en la publicación de la versión definitiva y vigente a fecha de redacción de este trabajo.

Se trataría de la norma 8.1-IC *Señalización vertical* de la Instrucción de Carreteras de febrero de 2014 [44], en vigor desde el día siguiente de su aprobación por la Orden FOM/534/2014, de 20 de marzo, en el *Boletín Oficial del Estado* del 5 de abril de 2014 [5].

Esta norma –bastante similar a su borrador previo– supondría grandes cambios con respecto a su predecesora de principios de siglo, desterrando el alfabeto *Autopista* y las vías rápidas, sacando los cajetines europeos fuera de los carteles o añadiendo numerosos nuevos diseños para diversas situaciones. No obstante esos cambios radicales en otros aspectos, la 8.1-IC de 2014 es completamente continuista para con su predecesora en cuanto a carriles bífidos se refiere, como el subapartado 3.5.2.4 *Bifurcaciones* demuestra:

Se colocará siempre un pórtico donde comienza la línea continua que da origen al cebreado de separación de calzadas (figura 121).

En bifurcaciones o salidas de la calzada principal donde esta pierda un carril, se complementará la señalización mediante señales S-60, S-61, S-62 o S-63, a 750 y 250 m del pórtico de salida inmediata (figura 121).

Si un carril se bifurca en los carteles de preseñalización, se incluirán los dos destinos correspondientes a dicha bifurcación tal y como aparece en la figura 121 (b). [44:105, énfasis añadido]

Si bien añade seguidamente que

El diseño de los carteles se adaptará, en cada caso, a la geometría de la bifurcación y a la disposición de los carriles en cada punto. [44:105]

La mencionada figura 121 (b) ilustraría de igual forma la práctica pero actualizándola a la nueva normativa, incluso recurriendo a los mismos destinos que las figuras de anteriores ediciones:

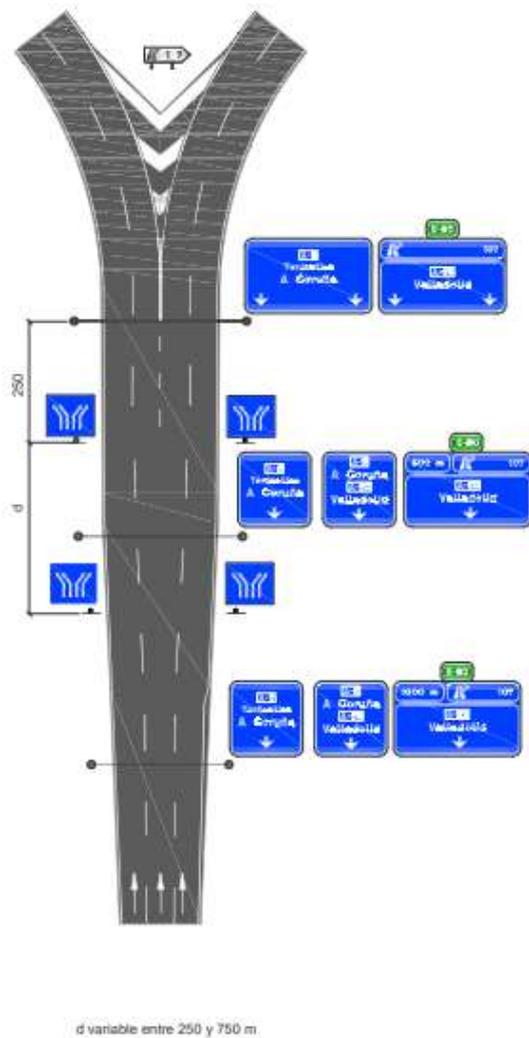


Fig. II-9. La figura 121 (b) de la norma vigente, bajo el título *Bifurcación con ampliación de carriles desde zona central* (sic). En 2014, el término *Carril bífido* no se encontraba acuñado todavía, debiendo esperarse a la versión de 2016 de la 3.1-IC para su aparición. *Ministerio de Fomento*

Así, se mantiene la práctica señalética para los carriles bífidos que en este trabajo se denominan como indirectos, y se continúa sin definir explícitamente cómo señalar los directos.

Pese al continuismo aparente, sí existen pequeños cambios en cuanto a la redacción de la disposición. Mientras que la norma del 1999 no aportaba demasiadas precisiones acerca de en qué carteles indicar la bifurcación (sólo se indica en «el cartel relativo al mismo [al carril que se bifurca]»), la del 2014 acota dicha indicación a los carteles de preseñalización.⁹ Por otro lado, puede interpretarse en las líneas añadidas al final que este sistema pretende ser flexible para

⁹ La presencia de la coma puede dar a entender que sólo se practica duplicación de destinos si «el carril se bifurca en los carteles de preseñalización» y que no se indica dónde señalar esos destinos.

Tal extraño requisito de localización ha inducido al autor a considerar la posición de la coma como una errata y a dar por supuesto que la pretensión del Ministerio era acotar la ubicación de la duplicación de destinos a los carteles de preseñalización y no la ubicación de la bifurcación del carril, que necesariamente ha de ser la calzada. El supuesto no resulta aventurado a juzgar por la claridad de la figura 121 (b) y la profusión de erratas similares en la edición vigente de la 8.1-IC.

acomodar configuraciones de calzada más allá de los ejemplos, dándose cierta libertad al técnico para señalar a discreción ante situaciones que así lo requieran, algo antes no contemplado.

En cualquier caso, no hubo variación alguna en cuanto al seguimiento normativo de las prescripciones sobre duplicar destinos en los carriles bífidos: al igual que bajo la vigencia de la versión precedente de la 8.1-IC, los carteles que las incumplen y señalizan con criterios arbitrarios son enormemente comunes.

El futuro

Las nuevas señales aparecidas con la 8.1-IC de 2014 –y las numerosas señales ya existentes que se vieron modificadas– junto a la proliferación de nuevas formas de movilidad y tipologías de carreteras hacen necesaria la elaboración de un nuevo Catálogo de señales verticales de circulación, pues a fecha de la redacción de este trabajo todavía continúa vigente el de 1992, que lleva sin modificarse desde 2003, hace más de 20 años.

Es por ello que desde el Ministerio se está trabajando en una nueva edición, cuya redacción se encuentra ya muy avanzada y que es previsible que se publique próximamente.¹⁰

El nuevo Catálogo ha sido ya adelantado mediante la publicación de borradores de sus dos tomos –[84] y [85]– en marzo de 2022,¹¹ acompañados el 28 de septiembre del mismo año de un proyecto de Real Decreto para adaptar el Reglamento General de Circulación al mismo [2], para su sometimiento a un proceso de información pública. Este avance reveló entre sus novedades cambios de especial relevancia para este trabajo.

Destaca, en primer lugar, la división de la señal S-63 para indicar bifurcaciones: por un lado, la S-63a, con el viejo diseño, y por otro la S-63b *Bifurcación en calzada de tres carriles*, de verdadero interés en cuanto a carriles bífidos.

Según el primer tomo del borrador, la S-63b «indica en una calzada con tres carriles de circulación en el mismo sentido, que se producirá una bifurcación en el carril central con cambio de dirección de los cuatro carriles resultantes, dos hacia la izquierda y dos hacia la derecha» [84:55], conformando con una flecha bicéfala en Y la primera señal española específica para la señalización de carriles bífidos hasta la fecha.

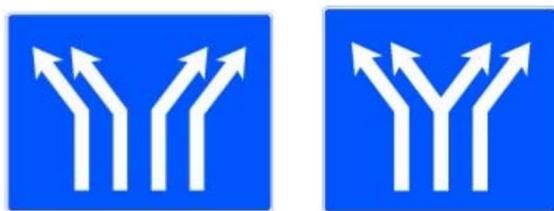


Fig. II-10. Nuevas señales S-63a y S-63b [84:55]. La S-63a presenta idéntico diseño a la S-63 del Catálogo vigente, mientras que la S-63b no tiene precedente. *Ministerio del Interior, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*

¹⁰ Se preveía en [2] una entrada en vigor para el 2 de enero de 2023, plazo ya agotado.

¹¹ Si bien se publicó en dicha fecha, consta que el borrador del Tomo II ya estaba terminado hacia el 11 de enero de 2022, mientras que el del Tomo I se concluyó el 4 de marzo.

Esta nueva señal lateral de configuración de carriles permitirá una mejor indicación de las bifurcaciones con carriles bífidos, hasta la fecha señalizadas con las S-63 y por tanto indicando incorrectamente el carril que se bifurca como si fuera dos carriles independientes (véase tal caso en el ejemplo de la 8.1-IC de la Fig. II-9); si bien no se ha propuesto un modelo donde alguna de las direcciones utilice flechas verticales, lo cual habría facilitado el señalamiento de numerosos carriles bífidos, ni se han incluido versiones con otros números de carriles.

Otro cambio que sin duda permitirá un señalamiento más adecuado para los carriles bífidos es la modificación de la señal S-260 por un nuevo diseño menos *urbano* y más similar a las señales de configuración de carriles como la citada S-63 [84:82].

La nueva S-260 *Preseñalización de carriles* indica «las únicas direcciones permitidas en el próximo nudo a los usuarios que circulan por los carriles señalizados. Sobre las flechas que indican los carriles de permanencia en la carretera por la que se circula se dispondrá el cajetín indicativo de la misma» [84:82].

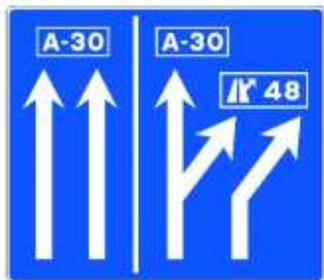


Fig. II-11. Nueva señal S-260 [84:82]. *Ministerio del Interior, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*

Adicionalmente, se limita su uso «a situaciones excepcionales donde la línea continua de separación de carriles no implique la divergencia respecto de los carriles situados a la izquierda, o a enlaces o bifurcaciones entre dos autovías o autopistas con alta intensidad de tráfico en ambas» [84:82].

El borrador no es muy preciso refiriéndose a tal *línea continua de separación de carriles*, aunque se puede asumir que más que marcas viales presentes en la calzada, tal línea será el trazo vertical visible entre las flechas del ejemplo. Sea como fuere, tampoco quedan definidos la finalidad o los criterios para el dibujo de esta línea vertical, que establece gráficamente una separación donde en principio no la hay, fuerza a la duplicación del destino del tronco y añade información superflua a una señal ya de por sí compleja.

Por otro lado, resulta notable la prescripción *sobre las flechas que indican los carriles de permanencia en la carretera por la que se circula se dispondrá el cajetín indicativo de la misma*, puesto que por un lado acotan el cajetín como único destino permitido para el tronco, pero por otro brindan libertad total a los carriles divergentes, donde el ejemplo muestra un número de salida pero donde pueden imaginarse otro cajetín o hasta un nombre geográfico. En cualquier caso, es evidente que será necesario el complemento de los carteles pórtico habituales donde aparezcan los destinos toponímicos conocidos por la mayoría de usuarios para que estas señales se entiendan correctamente.

Que ya en el ejemplo se refleje un carril bífido directo deja clara la utilidad de las nuevas S-260 para su señalamiento —y quizás su inclusión ha motivado que no se ofrezcan ejemplos *rectos* de la S-63—; en cualquier caso, tal utilidad sólo se hará efectiva si, a diferencia de la S-260 ahora vigente, se generaliza el uso de las mismas hasta que se hagan habituales para el conductor.

Al igual que en procesos legislativos anteriores sobre la materia, ya se ha observado la instalación de algunas señales según el nuevo Catálogo aunque todavía no se encuentre vigente, siendo en algunos casos el propio Catálogo en desarrollo el que las ha incluido *a posteriori* con tal de eliminar la alegalidad de prácticas señaléticas habituales.



Fig. II-12. Variantes de la señal S-63, con carril bífido, anteriores al borrador del Catálogo. Nótese el útil añadido de los cajetines o el empleo de flechas verticales en el segundo y tercer ejemplos, lo cual no se prevé en el borrador. A-8 este, salida 130; A-7 sur, salida 51; A-66 sur, salida 205A. *Google Street View*

Con todo, su inclusión en el Catálogo denota, al menos superficialmente, el creciente interés del Ministerio por mejorar la señalización de estas configuraciones de calzada y hace esperable que en ulteriores documentos normativos el asunto reciba más atenciones.

Señalización de carriles bífidos en otras normativas

Otras normativas españolas

Más allá del Ministerio de Transportes, la mayoría de las otras administraciones titulares de redes de carreteras han adaptado con mejor o peor fortuna la norma 8.1-IC a sus necesidades. Algunas administraciones han ido más allá y han establecido sistemas propios no escritos formalmente, y un pequeño número de ellas ha llegado a elaborar hasta normativas propias de señalización; sin embargo, la señalización de carriles bífidos no es tratada explícitamente en ninguna de las normativas no estatales consultadas, debiendo recurrirse al examen de la señalización instalada:

Carencia de normativa propia, situación similar a la RCE

En la mayoría de carriles bífidos examinados que no son titularidad del Estado donde no existe una normativa propia definida no se ha apreciado aparentemente el seguimiento sistemático de metodologías específicas para los carriles bífidos, sino más bien señalizaciones variopintas, oscilando del seguimiento estricto de las duplicaciones de la 8.1-IC al uso arbitrario de otros elementos de la norma, tal y como ocurre en los carriles bífidos señalizados por el Ministerio.

Se incluyen en este grupo las señales elaboradas para carreteras titularidad de las Diputaciones Forales de Álava, Guipúzcoa y Vizcaya; la Comunidad Foral de Navarra, la Junta de Andalucía,¹² la Generalitat Valenciana, el Consell Insular de Mallorca y el Cabildo Insular de Tenerife.¹³

Debe destacarse, entre estas administraciones, la citada observación en carriles bífidos alaveses de señales realizadas según el borrador de la norma 8.1-IC de 1998 (véase Fig. II-6).



Fig. II-13. A la izquierda, carteles de la Diputación Foral de Álava siguiendo los postulados de la norma 8.1-IC, duplicando destinos; a la derecha, señales de la Diputación Foral de Gipuzkoa con más flechas que carriles y empleando gratuitamente carteles de dirección propia. Respectivamente: salida 78 de la A-1, sentido norte; bifurcación sin numerar inmediata a la salida 130 de la A-8, sentido este. *Google Street View*

¹² La Junta de Andalucía sí elaboró en octubre de 1996 una orden circular [43] sobre señalización vertical, pero ésta se limita a ciertos elementos donde implementar su identidad propia, como hitos kilométricos y carteles institucionales; no a carteles como los tratados en este trabajo.

¹³ El Cabildo Insular de Tenerife dispone, aparentemente, de un sistema propio de señalización con diferencias notables a la 8.1-IC, pero no consta que disponga de legislación específica definiéndolo. La escasez de carriles bífidos en las carreteras tinerfeñas y el empleo de señalización estándar en lugar de la propia del Cabildo para su indicación ha hecho que dicho sistema no se juzgue de interés para el presente trabajo.

Existencia de normativa propia, situación similar a la RCE

Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid sí dispone de directrices propias sobre señalización vertical: son sus *Recomendaciones de Señalización Vertical* de 1997 [37] y su *Manual de identidad visual para carreteras de la Comunidad de Madrid* de 2009 [38].

No obstante, como las primeras no contemplan el caso de los carriles bífidos y el segundo es en realidad un manual de marca corporativa, nada regula *de iure* los carriles bífidos madrileños, y a juzgar por el caos señalético observado, tampoco *de facto*.



Fig. II-14. Carteles de la Comunidad de Madrid señalizando el carril bífido de manera completamente arbitraria. Salida 10 de la M-501, sentido este. *Google Street View*

Rondes de Barcelona

Aunque la Ronda Litoral y la Ronda de Dalt están divididas en tramos titularidad de hasta tres administraciones diferentes –Ministerio, Generalitat y Àrea Metropolitana de Barcelona–, su trazado está señalizado de acuerdo a un mismo sistema propio,¹⁴ el *Projecte de Senyalització de les Rondes de Barcelona* elaborado en diciembre de 1991 bajo la tutela del Ayuntamiento de la ciudad y publicado en mayo de 1992 [28].

Este documento, ciertamente ambicioso para la época, enfoca el diseño de la señalización desde el análisis del contexto urbano para cada salida de las *Rondes*, pero como su nombre indica, no es un manual al uso, sino un proyecto que define individualmente cada una de las señales del tronco.

Como los carriles bífidos que se han inventariado que aparentemente forman parte de las *Rondes* se encuentran en realidad en ramales fuera del tronco, no forman parte de dicho *Projecte* y por tanto no se define en el mismo su señalización. Resulta entonces razonable asumir que se señalaron, a falta de un manual con directrices concretas, imitando los carteles instalados en el tronco –que señalizan configuraciones de calzada mucho más sencillas– con mejor o peor fortuna, lo cual explicaría la hibridación observada con la 8.1-IC y las grandes inconsistencias observadas entre los cuatro carriles bífidos identificados.

¹⁴ Exceptuando el tramo Cornellà-Montjuïc, más interurbano, señalizado según la 8.1-IC.



Fig. II-15. Diferencias en diseño de carteles en ramales con carriles bífidos de las Rondes. *Google Street View*. A la izquierda, pórtico muy similar a los carteles del tronco, empleando el verde, la tipografía *Helvetica* y flechas lineales; señala el carril bífido con más flechas que carriles; a la derecha, pórtico mucho más cercano a la 8.1-IC pese al empleo de *Helvetica* y la profusión de destinos típica de las Rondes, en este caso la divergencia se señala duplicando destinos, como indica la 8.1-IC. Respectivamente: ramal de la B-20 sentido este hacia la B-10, dentro del *Nus de la Trinitat*; salida de la C-58 sentido sur hacia el ramal de Sant Andreu del *Nus de la Trinitat*.

Carencia de normativa propia, seguimiento de métodos de facto

Ayuntamiento de Madrid

Aunque no consta que el consistorio madrileño haya elaborado regulaciones formales para señalar la M-30,¹⁵ sí se observa en sus varios carriles bífidos que se opta sistemáticamente por no señalar sobre los mismos la opción de salida sino únicamente la de dirección propia.



Fig. II-16. A la izquierda, señalización en la salida 25 de la M-30, sentido antihorario, mostrando al carril bífido como únicamente de dirección propia; a la derecha, la escisión unos metros después. No obstante, nótese el descentrado en la flecha F-1 del cartel de salida inmediata, no repetido en los otros carteles que señalizan carriles bífidos en la circunvalación madrileña. Este error de diseño seguramente fue inducido por la presencia del carril bífido. Préstese atención también a las marcas viales, donde las flechas sí indican la opcionalidad del carril. *Google Street View*

Normativa propia, seguimiento de métodos de facto

Generalitat de Catalunya

La Generalitat de Catalunya, en sus esfuerzos por diferenciar las carreteras bajo su titularidad de las del Estado, ha venido elaborando desde finales del siglo pasado una serie de manuales de señalización de creciente complejidad.

¹⁵ Sí está parcialmente documentado el sistema *de facto* seguido para el proyecto Madrid Calle 30 en [102], sin mención a los numerosos carriles bífidos. Se ha consultado a la empresa municipal encargada de la M-30 acerca de la existencia de manuales internos, sin obtener respuesta.

En el caso de los carriles bífidos, la versión vigente del *Manual de disseny de la senyalització interurbana d'orientació de Catalunya* —una amalgama de elementos de las normativas española y francesa— [90] no opta por adoptar ni la solución nacional ni la gala, simplemente los omite como situación a señalar, pese a estar presentes en numerosas carreteras de la red de la Generalitat.

Si bien no se expresa ninguna metodología específica, sí se observa, no obstante, el seguimiento tácito de una norma no escrita en un número notable de los carriles bífidos de las carreteras catalanas, indicando carriles de idéntica forma en la preseñalización que en la salida inmediata, aunque ello implique disponer más flechas que carriles (véase la Fig. II-17).



Fig. II-17. Preseñalización del nacimiento de la C-35 desde la C-65, sentido oeste. El carril bífido es el central. Nótese cómo el uso de carteles de dirección propia elimina indicaciones de distancia o número de salida y confunde al no especificar en cuál carretera se circula y a cuál se accede. *Google Street View*

Por otro lado, tanto el *Manual* vigente como su edición de 2016 describen una tipología de señales ciertamente interesante: las denominadas como *alerta llunyana* (alerta lejana), indicadas para «atraer la atención del conductor antes de llegar a la preseñalización de una salida, especialmente si es de tipología compleja [...]», teniendo un uso «excepcional» y diseño «adaptable». [90:13; 91:14, traducción propia] Éstas consisten en carteles laterales empleando croquis para la indicación de las maniobras correspondientes a cada carril, señalizando con flechas de manera muy similar a las señales de catálogo S-60 a S-63 y S-270, y más aún con la S-260 del borrador.



Fig. II-18. Señales d'alerta llunyana para vías de gran capacidad. [90:13, 63] *Generalitat de Catalunya*

Si bien la configuración como cartel lateral y la aseveración «antes de llegar a la preseñalización de una salida» excluyen a las mismas de emplearse sobre carriles bífidos a modo flecha por carril, la poca claridad del manual catalán brinda libertad para que puedan servir de apoyo a la señalización con pórticos. Su uso para estos supuestos, sin embargo, no parece haberse aprovechado demasiado.

Normativas extranjeras

Europa

Los países de nuestro continente señalizan en sus carteles pórtico con una miríada de sistemas. De las naciones que albergan carriles bífidos en sus redes de carreteras, algunas han optado por no señalar la opcionalidad que proporcionan —Francia, Portugal, Luxemburgo, Polonia, Noruega, Islandia, Lituania o Grecia son ejemplos de ello— mientras que otras señalizan sus carriles bífidos con disposiciones específicas. Se examinan éstas a continuación:

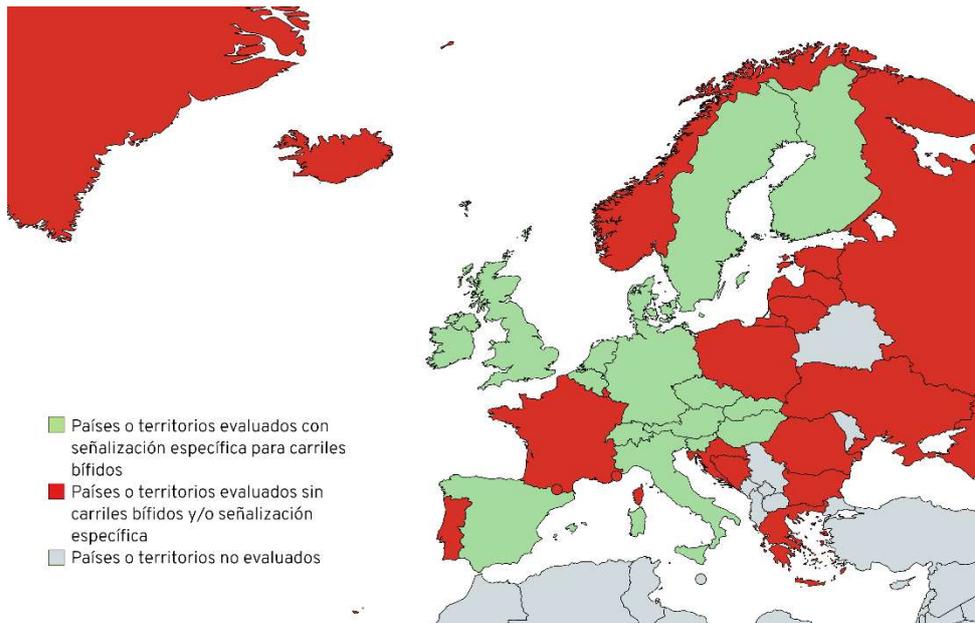


Fig. II-19. Países europeos analizados en esta sección. *Elaboración propia*

Reino Unido

El Reino Unido, que emplea cotidianamente señales flecha abajo, dispone en sus *Traffic Signs Regulations and General Directions* [39] de diversos recursos para señalar carriles bífidos.

Por un lado, es el país inventor de la metodología de apilamiento de carteles, la cual aplica para señalar opcionalidad en carriles en pórticos basados en carteles flecha abajo.



Fig. II-20. Apilamiento de carteles en la bifurcación entre las autopistas inglesas M20 y M26, sentido oeste. *Google Street View*

Por otro lado, a los pórticos con carteles flecha abajo apilados la norma les proporciona como apoyo los siguientes diseños, flechas y símbolos para carteles laterales, considerando explícitamente, además, los diferentes tipos de carriles bífidos posibles:

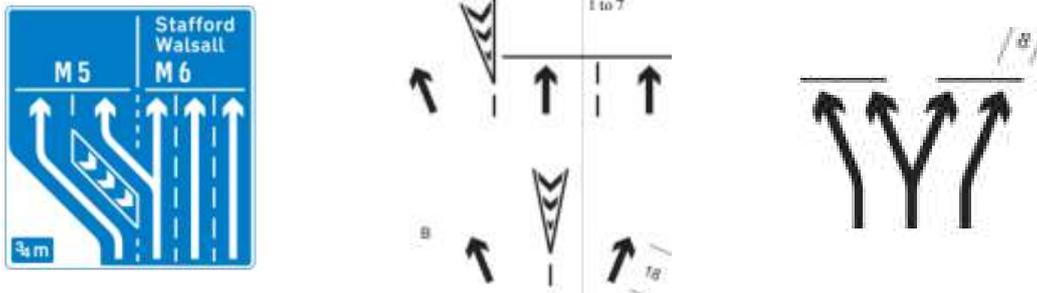


Fig. II-21. A la izquierda, señal lateral para indicar destinos en carriles bífidos directos; al centro y a la derecha, ejemplos de algunas de las flechas y símbolos disponibles en las *Traffic Sign Regulations* para ilustrar carriles bífidos [39]. *Department for Transport*

Irlanda

La república insular utiliza en sus pórticos señalización similar –que no igual– a la británica, descrita en el segundo capítulo de su exhaustivo *Traffic Signs Manual*, en vigor desde noviembre de 2021 [29].

Las diferencias con el país vecino comienzan en cuanto al apilamiento de carteles, que Irlanda no practica, recurriendo a una solución *a la española*, duplicando destinos para indicar la opcionalidad (véase la Fig. II-22).

Por otro lado, sí se dispone de carteles laterales con gran flexibilidad de flechas y símbolos para orientar al conductor en cuanto a la elección de carriles (*lane destination signs*), al igual que el Reino Unido. Las enormes posibilidades que suponen han provocado su uso ocasional en algunas señales pórtico (Fig. II-23), lo cual la normativa no prevé.



Fig. II-22. Señalización irlandesa, con duplicación de destinos; a la izquierda, salida inmediata en carril bífido directo; a la derecha, preseñalización en carril bífido indirecto. Respectivamente: M11, salida 17, sentido norte, y M1, salida 1, sentido sur. *Google Street View*



Fig. II-23. Señalización irlandesa empleando simbología y diseños propios de las *lane destination signs* en un cartel en pórtico, contraviniendo el *Traffic Signs Manual*. Salida 3 de la M50, sentido este. *Google Street View*

Italia

La normativa italiana para la señalización, parte del *Codice dalla strada* [10], establece el uso de carteles flecha abajo para la señalización en pórticos; no obstante, desde la *Circolare n. 400* de febrero de 1979 [86] se introduce para las *segnali di preselezione* un diseño flecha por carril apto para señalar carriles bífidos, con flechas bicéfalas y separando los carriles en subcarteles independientes con una línea intermitente. Este diseño, creado pensando en un ámbito urbano, también se contempla como solución válida fuera de las ciudades, pero la escasez de carriles bífidos en la red de carreteras interurbanas ha impedido atestiguar su uso.



Fig. II-24. Una *Segnale di preselezione* señalizando en Bolzano, aunque prescindiendo de la línea intermitente mostrada en normativa. Este cartel se encuentra actualmente sustituido por una versión flecha abajo que no indica el desvío a la derecha. Salida 12 de la SS12, sentido norte. *Google Street View*

Suiza

El estado alpino emplea, siguiendo su *Signalisationsverordnung* [105], sistemas flecha abajo, pero ante *bifurcaciones* —que es como la normativa se refiere explícitamente a las divergencias con carriles bífidos—, se preseñaliza el carril que presenta la opcionalidad de destino con un *panel de bifurcación* y sin indicar sus destinos hasta que la escisión se haga efectiva (véase la Fig. II-25), empleándose como señalización inmediata si fuera necesario.

El *panel de bifurcación* es del mismo tamaño que el resto de carteles del pórtico, sólo contiene un croquis consistente en una flecha bicéfala de gran tamaño acompañado de su identificación y no varía de diseño aunque la bifurcación no sea en Y, como es el caso de los carriles bífidos directos.



Fig. II-25. Preseñalización con el *panel de bifurcación* en la salida 45 de la A2, sentido sur. *Google Street View*

Por otro lado, en algunas instancias se ha observado un sistema parecido al español, no explicado en la normativa suiza, con duplicación de destinos en el carril bífido y sin recurrir al *panel de bifurcación* (véase la Fig. II-26). Dado que se presenta en pórticos con carteles variables de prismas giratorios, es razonable creer que tenga el objetivo de permitir el guiado del tráfico por el carril bífido hacia un destino, otro o ambos, según las condiciones de la circulación requieran.



Fig. II-26. Señalización de la salida 31a de la A3, sentido sur. Nótese la duplicación de «Gotthard, Luzern» y «Bern Basel, Westring-Zürich» en los carteles verdes, y el uso de prismas para hacerlos variables. Las flechas abajo son señalizadas electrónicamente en las pantallas inferiores. *Google Street View*

Alemania

La señalización de las autopistas alemanas se realiza según las *Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen* (RWBA),¹⁶ en vigor desde su introducción por la circular 26/2000 del Ministerio Federal de Transporte, Construcción y Vivienda [34].

Grosso modo, Alemania instala en sus pórticos carteles de los sistemas flecha por carril y flecha arriba. Se usan grandes carteles flecha por carril para preseñalizar divergencias carentes de carril dedicado (Fig. II-27, izda.) o que emplean carriles bífidos (Fig. II-28), mientras que se

¹⁶ De acceso restringido. Se han analizado sus directrices examinando señalización real.

recurre a conjuntos de carteles flecha arriba para la señalización de preseñalización con carril dedicado, salida inmediata o confirmación (Fig. II-27, dcha.).

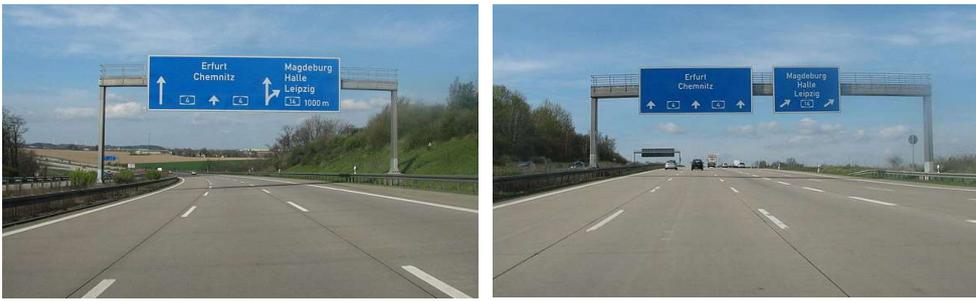


Fig. II-27. A la izquierda, señalización con un cartel flecha por carril por no disponer todavía de carriles dedicados; a la derecha, señalización de la misma salida unos metros después con carteles flecha arriba, por ya existir carriles para la misma. Salida 76 «Autobahndreieck Nossen» de la A4 en el nudo con la A14, sentido este. *Wikimedia Commons*.



Fig. II-28. Señalización alemana para carriles bífidos, preseñalizando con un único cartel flecha por carril. Salida 52 «Mellendorf» de la A7 hacia la A352, sentido sur. *Wikimedia Commons*

Eslovenia

El reglamento eslovaco, el *Pravilnik o prometni signalizaciji in prometni opremi na cestah*, define para preseñalizar carriles bífidos explícitamente una señal flecha por carril, con el código 3411 [80:49], empleando en el resto de pórticos o bien señales flecha arriba de manera similar a Alemania o bien flecha abajo como en Irlanda, sin que se distinga un criterio claro.



Fig. II-29. De izquierda a derecha, carteles de preseñalización flecha por carril para carril bífido directo e indirecto. Respectivamente, salida 31 «razcep Malence» de la A1, sentido este; salida 36 «razcep Kozarje» de la A2, sentido oeste. *Google Street View*

Eslovaquia

La legislación de Eslovaquia, el decreto del 20 de febrero de 2020, también preseñaliza los carriles bífidos explícitamente con la señal de código 360 [126:51], pero debe decirse que se han

observado pocos ejemplos de la misma en los carriles bífidos que alberga la red eslovaca de carreteras, siendo mucho más común el método empleado para pódicos en general: carteles flecha arriba, omitiendo la opcionalidad.



Fig. II-30. Preseñalización de carril bífido directo. Nudo de la D1 en Ovsíšte, sentido oeste. *Google Street View*

Hungría

La normativa húngara, el documento *Közúti jelzőtáblák* [59], define sistemas flecha arriba para los pódicos, pero no dispone nada concreto para los carriles bífidos. Para los mismos, tras un examen de la señalización instalada, parece ser habitual el empleo de señales flecha por carril para preseñalizar, como se hace en Alemania.



Fig. II-31. Bifurcación con carril bífido indirecto señalizada con cartel flecha por carril. M1 en el nudo con la M7, sentido oeste. *Google Street View*.

Países Bajos

Las normas de señalización neerlandesas están establecidas en la *Richtlijn bewegwijzering* de 2014,¹⁷ según la publicación 322 de la fundación CROW.

Entre otros cambios, la versión de 2012 de esta publicación sustituyó en los pódicos el sistema flecha abajo a flecha arriba y por carril, permitiendo la señalización de carriles bífidos, antes omitida. El caso neerlandés es de especial interés por haberse evaluado empíricamente¹⁸ el efecto sobre tráfico real del cambio [89], resultando en una mejora del flujo y velocidad de la circulación.

¹⁷ De acceso restringido. Se han analizado sus directrices examinando señalización real.

¹⁸ Véanse más detalles acerca de los estudios acometidos en el epígrafe *Países Bajos*, dentro de la revisión de literatura, en la página 60.

La normativa emplea flechas de diferentes tamaños de acuerdo con la tipología de la señal: alargadas para carteles de preseñalización y más cortas en los de señalización inmediata, y como Alemania, emplea flecha por carril para preseñalizar carriles todavía no incorporados a la vía.



Fig. II-32. A la izquierda, pórtico según la antigua normativa no señalizando que el carril central permite también acceder a la salida por ser bífido directo; a la derecha, el mismo pórtico tras ser renovados los carteles. Nótese el uso de flechas alargadas en este último, por tratarse de una preseñalización. A20 sentido oeste en el nudo Terbregseplein con la A16. *Google Street View*

Además, la normativa permite disponer flechas con mucha flexibilidad para reflejar la configuración de la vía, haciéndola capaz de señalar disposiciones de carriles complejas.



Fig. II-33. Pórtico de la A4 sentido sur en el nudo Badhoevedorp con la A9. Nótese cómo aquí se refleja mediante la inclinación de las flechas del cartel derecho un carril bífido en *el ramal de salida*, y el uso de flechas cortas en el cartel izquierdo por ser un cartel de señalización inmediata. *Mavas, Wegenforum.nl*

Austria

Straßenverkehrszeichenverordnung es el nombre que recibe la ordenanza de señalización seguida en Austria [9]. Pese a tal denominación, es muy escueta en sus disposiciones y no define explícitamente la señalización de los carriles en un pórtico, aún menos los bífidos.

En la práctica, puede observarse que Austria también emplea señalización similar a la alemana, con pórticos flecha arriba y flecha por carril, utilizando en carriles bífidos los primeros para señalización de salida inmediata y los segundos para preseñalizar.



Fig. II-34. Preseñalización y señalización de salida inmediata. Nótese que esta última se ubica varias decenas de metros antes de la escisión del carril bífido. Ramal desde la salida «Wienn Altmannsdorf» de la A2 hacia la B17, sentido norte. *Google Street View*

Si se destacaba en los Países Bajos la sofisticación de los diseños flecha por carril para reflejar configuraciones de carriles complejas, en el caso austriaco alcanza un grado superlativo, con algunos ejemplos verdaderamente intrincados.



Fig. II-35. Doble preseñalización de carril bífido. A2 sentido norte, preseñalización de la salida «Knoten Schwechat». *Google Street View*

Bélgica

En Bélgica, la señalización de las carreteras está regulada por un real decreto y un decreto ministerial que únicamente establecen para el diseño de los carteles en pórticos que «las flechas apuntando hacia abajo o hacia arriba indican las direcciones continuando en línea recta», que «las flechas oblicuas apuntando hacia abajo o hacia arriba indican las direcciones de salida» y que «el número de flechas corresponde al número de carriles» [82, 81; traducción propia].

La laxitud de las prescripciones permite que, además de carteles flecha abajo y flecha arriba, también se observen diseños flecha por carril ante situaciones como los carriles bífidos o soluciones híbridas (véase la Fig. II-36).



Fig. II-36. Combinación entre carteles flecha arriba y flecha por carril. Nótesen las líneas intermitentes separando carriles dentro de cada uno. Salida «Sint-Stevens-Woluwe» de la E40, sentido este. *Google Street View*.

República Checa

Chequia define estas señales explícitamente en su decreto 294/2015 Sb [87], con carteles únicos flecha por carril o combinaciones de carteles flecha arriba con flecha por carril, con los códigos *ES 6b*, *6f* y *6g*. Es común, por contra, ver omisión de la opcionalidad en la señalización.



Fig. II-37. Carril bífido directo señalizado combinando sistema flecha por carril con flecha arriba. *Městský okruh* de Praga, salida hacia la D0, sentido horario. *Google Street View*

Suecia

La norma sueca de señalización vertical, la SFS 2007:90 [6], define muy vagamente cómo señalar las salidas. En la práctica, se emplean pórticos con carteles flecha arriba y ocasionalmente flecha por carril; y para carriles bífidos, carteles flecha por carril en la mayoría de los casos.



Fig. II-38. A la derecha, cartel flecha por carril señalizando un carril bífido; a la izquierda, un ejemplo de las soluciones peculiares cuando no se usan carteles flecha por carril: carteles flecha arriba apilados individualmente y con duplicación de destinos. Respectivamente: E4, salida 155, sentido norte; E45, salida 77, sentido norte. *Google Street View*

Finlandia

Finlandia señala con carteles flecha arriba según las sucintas explicaciones de la *Tieliikennelaki* aprobada por el decreto 10.8.2018/729 y modificada en 2023 [1], que se apilan en carteles individuales en los escasos carriles bífidos del país para reflejar su opcionalidad.



Fig. II-39. Apilamiento para señalar un carril bífido. Salida 49 de la E18, sentido oeste. *Google Street View*

Dinamarca

La señalización danesa emplea señales de prácticamente todas las tipologías, según la situación. Para los carriles bífidos en autopistas, el manual nacional, el *Håndbog - Vejvisning på motorveje* [123], proporciona explícitamente las señales *J11*, que emplean una disposición flecha abajo pero con un único cartel [123:27], de una forma que recuerda al borrador de la 8.1-IC de 1991 [49:46-47] (véase la subsección dedicada, en la página 20). El manual proporciona abundantes ejemplos ilustrativos en su anexo de dibujo [124:84, 87].



Fig. II-40. Carril bífido señalizado a la salida «Aarhus Syd» de la E45, sentido norte. *Google Street View*.

Más allá de Europa, numerosos otros países disponen de normativas de interés para la señalización de carriles bífidos. Se tratan aquellas consideradas más relevantes a continuación:

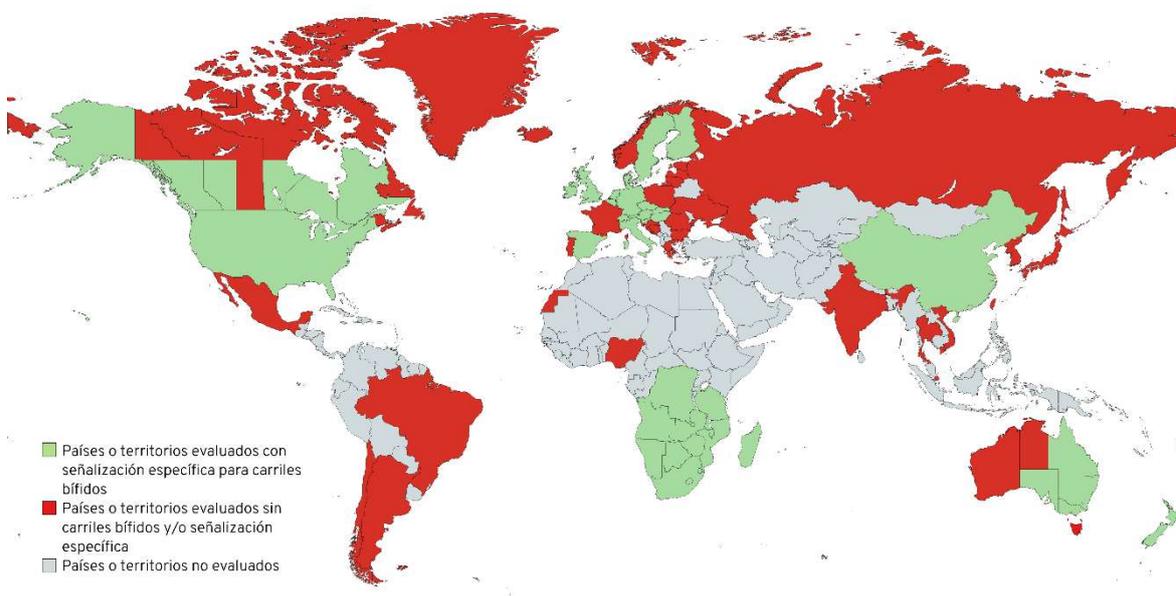


Fig. II-41. Países o territorios del mundo evaluados durante la documentación de este trabajo. *Elaboración propia*

América

El nuevo continente presenta especial interés para este trabajo por haberse desarrollado en Norteamérica la mayoría de la investigación en la materia.

Estados Unidos

La señalización vertical en los Estados Unidos está regulada por la edición de 2009 del *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD) de la Federal Highway Administration (FHWA), actualizada en julio de 2022 [61], que brinda gran opcionalidad en sus meticulosas prescripciones para dar cabida legal a los diferentes sistemas propios que los estados han definido, puesto que las carreteras federales son señalizadas por los mismos. Debe destacarse, no obstante, que el seguimiento del MUTCD por parte de las administraciones estatales no suele ser muy escrupuloso.

Esta opcionalidad –que permite en los pórticos señalización de prácticamente todas las tipologías– también se refleja en el caso de los carriles bífidos: el MUTCD no sólo dispone de una detallada sección dedicada en exclusiva a los *option lanes*; en la cual permite al ingeniero su señalización con hasta 3 alternativas [61:193-198], si bien prioriza el uso de tipología flecha por carril, habiendo inducido su adopción por parte de la mayoría del país:

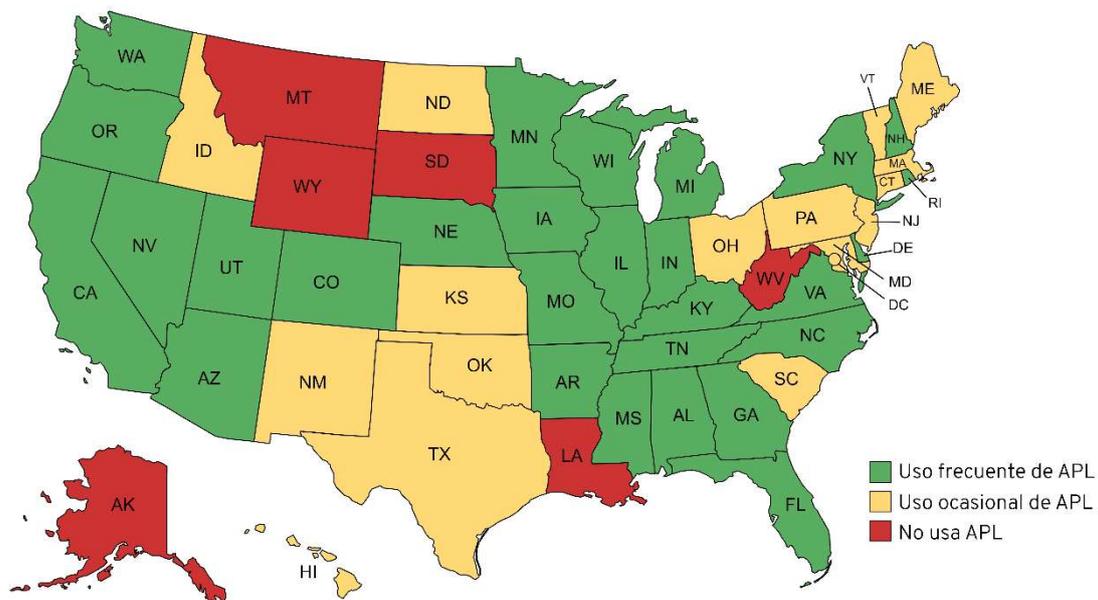


Fig. II-42. Uso de señales flecha por carril (*arrow-per-lane*) en los diferentes estados a diciembre de 2021. Traducido de webny99, AARoads [128].

Flecha por carril

En primer lugar, el MUTCD prescribe en su sección 2E.20 que en todas las salidas en nudos «principales»¹⁹ y en todas las bifurcaciones con presencia de carriles bífidos se señalicen los

¹⁹ Según la clasificación de nudos ofrecida en la sección 2E.32 [61:216], que jerarquiza entre nudos principales, intermedios y menores.

mismos con señales flecha por carril o diagramáticas, a la vez que proscribire estas tipologías de situaciones en donde no haya carriles bífidos. Además, recomienda su uso para salidas ubicadas en nudos de menor jerarquía y las describe como «superiores» a otras tipologías [61:233, traducción propia].

Por otro lado, el *Manual* acota el uso de las señales flecha por carril con mucha concreción en cuanto a su ubicación, explícitamente exigiendo que se ubiquen encima de la divergencia o antes, pero proscribiendo su uso sobre la *nariz teórica*²⁰ de la salida.

Adicionalmente, establece directrices para las flechas: las que indican carriles del tronco han de ser siempre verticales, excepto al señalar carriles «con una trayectoria significativamente curva tras la nariz teórica», en cuyo caso deberá reflejarse el grado de dicha curvatura con el grado de la curvatura de las flechas, y se prohíbe señalar con las mismas otras divergencias posteriores a la señalizada. También establece dimensiones mínimas y recomienda que las que señalen carriles del tronco sean más altas que las que señalen la salida.

Finalmente, se requiere la separación con una línea vertical de los grupos de destinos en los carteles, recomendando que se limite el número de destinos a uno por movimiento.



Fig. II-43. Cartel flecha por carril en la salida 67 de la I-485, sentido horario. Nótese que no se cumple la recomendación limitando el número de destinos. *Google Street View*

Como se introdujo, es muy habitual el incumplimiento de estas directrices, especialmente para ahorrar costes o ante configuraciones complejas donde la rigidez normativa hace difícil la labor señalética. De entre los variopintos y alegales carteles flecha por carril observados, algunos presentan soluciones interesantes para la elaboración de la propuesta que realiza este trabajo.



Fig. II-44. Uso simultáneo de dos flechas bicéfalas para señalar y preseñalar una pareja de carriles bífidos en sucesión, contraviniendo el MUTCD. Salida 294A-C de la I-15, sentido norte. *Google Street View*

²⁰ Definida según el punto 230 de la sección 1A.13 [61:21].



Fig. II-45. Uso de flechas incumpliendo el tamaño mínimo del MUTCD para ahorrar espacio en el cartel. Salida 59 de la CA-180, sentido oeste.

Diagramáticas

Las señales diagramáticas son reguladas en la sección 2E.22, si bien la misma desaconseja su uso frente a las flecha por carril «por ser menos efectivas». En la misma se establecen numerosas regulaciones y recomendaciones acotando el diseño de las flechas, controlando la ubicación de las señales con prescripciones idénticas a las flecha por carril y prohibiendo la señalización de otras divergencias.

Son la tipología a la que suelen acudir los estados que rechazan señalar con carteles flecha por carril ante configuraciones de carriles bífidos, y en ocasiones, ante divergencias convencionales.



Fig. II-46. Cartel diagramático preseñalizando carril bífido directo. Salida 77 de la I-29 sur. *Google Street View*

Señalización «convencional»

El *Manual* permite el uso de señalización «convencional» en nudos y salidas con carriles bífidos donde se haya decidido prescindir de señales flecha por carril, permitiendo optar entre carteles flecha abajo y basados en texto. La solución que la sección 2E.23 describe simplemente no señala la opcionalidad del carril bífido [61:203], y de hecho prohíbe explícitamente su preseñalización con flechas abajo.

Este modelo presentado por el MUTCD es en realidad bastante poco común en las carreteras estadounidenses, observándose gran variedad de soluciones contrarias a sus prescripciones. Se destacan de entre las mismas algunas con implementaciones interesantes.

Una de ellas es la inclinación de las flechas en carteles flecha abajo más pequeños (*dancing arrows*, en la jerga del sector), que fue la solución estándar en el pasado ante carriles bífidos para estados como Kansas y Ohio, alcanzando una elevada sofisticación (véase Fig. II-47).

Otra digna de mención es la empleada a fecha de redacción de este trabajo por Minnesota y otros estados, que, como Dinamarca, usan carteles flecha abajo divididos por líneas (véase Fig. II-48).



Fig. II-47. Cartel con *dancing arrows* en la salida 12 de la I-435, sentido sur. En este caso, el carril bífido es preseñalizado con las flechas diagonales interiores. *Google Street View*



Fig. II-48. Preseñalización –sin indicar distancia– a la danesa en la salida 88A de la I-35, sentido norte. *Google Street View*

Canadá

Como los EE. UU., Canadá establece directrices para sus señales de tráfico mediante su *Manual for Uniform Traffic Control Devices for Canada* (MUTCDC)²¹ y luego las diferentes provincias incorporan sus recomendaciones a la hora de señalizar. En cuanto a la señalización de carriles bífidos, algunas provincias disponen de sistemas dignos de mención.

²¹ El MUTCDC no tiene el carácter normativo del MUTCD, no obstante, pues no es desarrollado por el gobierno federal sino por la Transport Association of Canada, una organización sectorial. Su acceso se encuentra restringido.

Quebec

Quebec, que señala según el *Tome V – Signalisation Routière*,²² emplea habitualmente carteles flecha abajo. Ante carriles bífidos, preseñaliza sustituyendo las flechas y distancias por miniaturas de la señal de código que ilustra la disposición de carriles (Fig. II-49., izda.), aunque también ocasionalmente ha recurrido a carteles diagramáticos (Fig. II-49. dcha.).



Fig. II-49. Preseñalización –sin indicar distancia– con señales de código, a la izquierda; a la derecha, cartel diagramático. De izquierda a derecha: A-25, salida 8-0, sentido norte; A-40, salida 142, sentido este. *Google Street View*

Ontario

Ontario regula su señalización vertical con el completísimo *Ontario Traffic Manual*, clasificando las señales de orientación como «de clase I» [117:13] y dedicándoles su octavo libro [116].

Para preseñalizar en general, Ontario utiliza unos carteles que denomina como *overhead advance signs*, siendo carteles flecha por carril cuando hay carriles bífidos (Fig. II-50) y flecha arriba cuando no (Fig. II-52), omitiendo distancias [116:59].²³



Fig. II-50. Preseñalización y señalización inmediata de salida con pérdida de carril y no bífida, empleando las *overhead advance signs* con flechas unicéfalas. Nótese la posición del destino de la salida a la izquierda de la flecha. Salida sin numerar de la Highway 401 sentido este, calzadas *express*, a la altura de la salida 375 de la colectora sentido este. *Google Street View*

La característica que los diferencia de los carteles flecha por carril convencionales y los acerca a los croquis es que, al preseñalizar salidas, los carriles de la dirección propia se indican con una única flecha carente de destino y no sobre cada carril, lo cual permite prescindir de los grandes carteles que requerirían las anchas autopistas de la región, entre las más transitadas del planeta

²² De acceso restringido. Se han analizado sus directrices examinando señalización real.

²³ Pueden consultarse las directrices para su diseño en [118:57].

y repletas de salidas con carriles bífidos directos. En consecuencia, los destinos de la salida se emplazan en el lado *contrario* a donde se señalarían en un cartel flecha por carril habitual. Sólo se indican el resto de los carriles de dirección propia en las señales de salida inmediata, donde se emplean carteles flecha abajo.

Por otro lado, el OTM también permite el uso de carteles diagramáticos para algunas situaciones complejas [116:67].



Fig. II-51. Preseñalización y señalización inmediata de carriles bífidos, con flechas bicéfalas y luego carteles diagramáticos y flecha abajo. Salida 399 de la Highway 401, sentido oeste. *Google Street View*



Fig. II-52. El sistema de Ontario puede inducir a confusión. Nótese cómo en la preseñalización, cuando todavía no ha comenzado el carril de deceleración, un conductor no familiarizado con los carteles podría pensar que se preseñaliza una salida directa a izquierdas hacia la Highway 401, curvándose los carriles de dirección propia a la derecha, cuando ocurre lo contrario. Salida 312 de la Highway 407, sentido oeste. *Google Street View*

Columbia Británica

La provincia más occidental del país señala *a la alemana*, disponiendo en su *Manual of Standard Traffic Signs and Pavement Markings* el uso de carteles flecha arriba o flecha abajo cuando existen carriles dedicados a cada destino y carteles flecha por carril cuando todavía no los hay o ante carriles bífidos [88:4.18]. Por otro lado, se aprecia mayor flexibilidad en el diseño de las flechas que en el país europeo.



Fig. II-53. Preseñalización con carteles flecha por carril, ante salidas directas y carriles bífidos. Nótese la curvatura de las flechas en el cartel de la izquierda. Salida sin numerar de la calzada colectora de la Trans-Canada Highway, sentido oeste, a la altura de la salida 44; salida 28B de la Trans-Canada Highway, sentido oeste. *Google Street View*

Otras provincias con carriles bífidos

En el resto de las provincias canadienses donde se encuentran carriles bífidos, las soluciones son de menor interés: Manitoba preseñaliza sus escasos carriles bífidos con carteles flecha abajo al modo de algunos estados estadounidenses, indicando la opcionalidad de los mismos mediante las cajas de *exit only*; Saskatchewan emplea carteles diagramáticos y Alberta combina ambas soluciones.

Asia

La mayoría de los países del continente no resultan de relevancia para este trabajo, o bien por emplear sistemas flecha única y croquis no asociados al número de carriles (véase Fig. I-13, en la página 12) o bien por no señalizar la opcionalidad de sus carriles bífidos. Sí tienen cierto interés, sin embargo, los casos de Hong Kong y China.

Hong Kong

El pasado colonial del *Puerto Fragante* ha influenciado enormemente el diseño de su señalización vial, estableciéndose en su *Transport Planning & Design Manual* (TPDM)²⁴ prescripciones evidentemente derivadas de las *Traffic Sign Regulations* del Reino Unido.



Fig. II-54. Carteles flecha abajo y apilados, indicando salida inmediata (13A) y preaviso (13B). Salida 13A de la Route 7, sentido oeste. *Elaboración propia*

Para los carriles bífidos, la solución británica de apilamiento de carteles no se ha adoptado en su totalidad, optando por apilar carteles pero de manera individual sobre cada carril, aunque ello suponga dividirlos y por tanto duplicar destinos (véase Fig. II-55, izda.). Además, las amplias posibilidades que presentan las señales laterales en la legislación británica para indicar movimientos de carril también se ofrecen en Hong Kong (véase Fig. II-55, dcha.).

²⁴ De acceso restringido. Se han analizado sus directrices examinando señalización real y recurriendo a los excelentes trabajos de la Road Research Society sobre el tema, [129] y [130].



Fig. II-55. A la izquierda, pórtico con apilamiento de carteles y la duplicación del destino «Kowloon (E) / 九龍(東)» ante carril bífido directo; a la derecha, cartel lateral –con exceso de información– a la inglesa. Salida 5 de la Route 4, sentido oeste; proximidades de la salida 7 de la Victoria Park Road, sentido oeste. Google Street View

El TPDM fue actualizado en otoño de 2022, incorporando entre otros cambios un nuevo tipo señal lateral para preseñalizar salidas con pérdida de carriles (véase Fig. II-56), muy similar a las señales croquis de preseñalización del Reino Unido pero incorporando un número de líneas acorde al número de carriles de la salida, quedando así pues señalizada ésta en su totalidad y la dirección propia de la vía con una sola línea, de manera comparable al sistema de Ontario [129]. Estos diseños ofrecen representaciones gráficas a considerar a la hora de señalar configuraciones bífidas (véase Fig. II-56, derecha).



Fig. II-56. Algunos ejemplos de las nuevas señales hongkonesas. Gary Yau, Benson Wong, 道路研究社 Road Research Society

China

La República Popular China ha señalado históricamente sus autopistas de manera similar a otros países de su entorno, como Taiwán, Corea del Sur o Japón, es decir, con croquis y carteles flecha única (véase el ejemplo de la Fig. I-13, en la página 12); también ante carriles bífidos.

El estándar GB 5768.2, que regula la señalización vertical y horizontal en China, no reflejó los carriles bífidos como una posible situación a señalar hasta la publicación de la edición vigente, la de 2022 [133]. Se prescribe un sistema similar al estadounidense, con carteles flecha por carril para preseñalización y con carteles flecha abajo y flecha arriba para señalización inmediata, resaltando en amarillo los carriles únicamente empleables para la salida.

La novedad del estándar justifica que no se haya observado ningún ejemplo de los nuevos carteles en funcionamiento tras examinar varios carriles bífidos en el país.

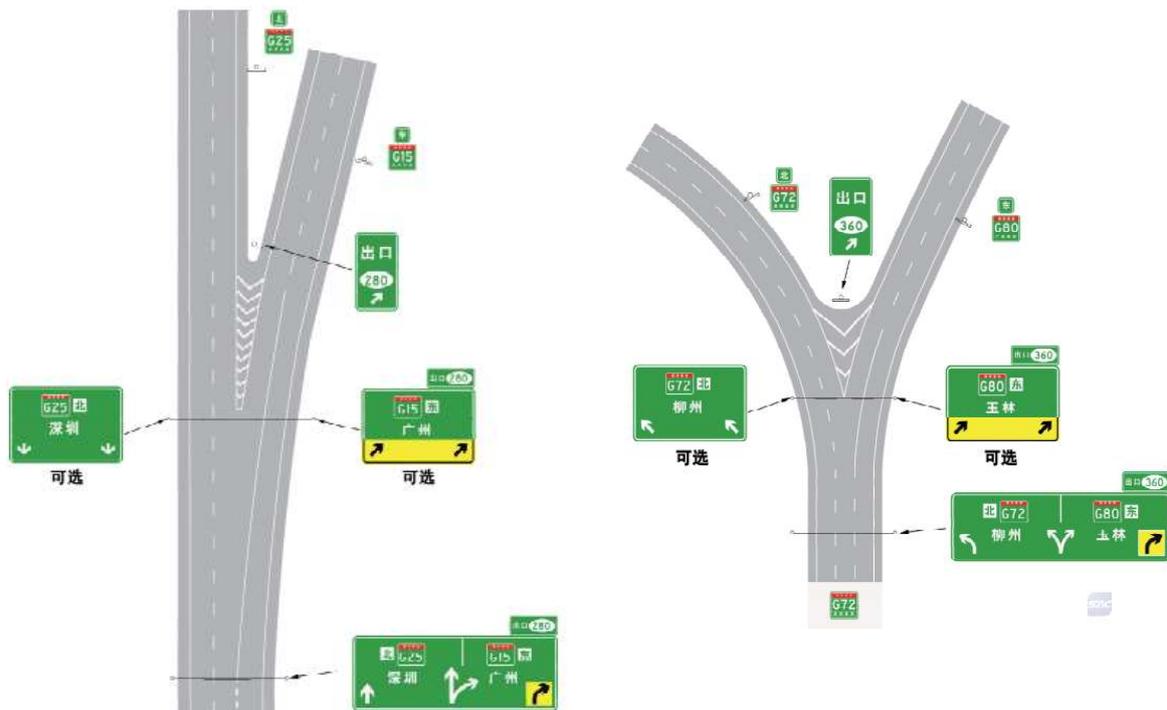


Fig. II-57. Diagramas ilustrando la señalización de carriles bífidos directos e indirectos en el estándar GB 5768.2-2022 [133:125-126]. Nótese el empleo de amarillo también en las flechas de los carteles flecha por carril. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会

Oceanía

Australia

La nación insular emplea señalización similar a la de los países norteamericanos y también la regula a nivel federal con un *Manual of Uniform Traffic Control Devices* (estándar AS 1742)²⁵ al que se adaptan los diferentes estados, encargados de señalar las carreteras dentro de su territorio. La sección dedicada a la señalización de orientación es la *Part 15: Direction signs, information and route numbering* (AS 1742.15:2019).

Nueva Gales del Sur

El manual *Guide Signposting* [98], anejo estatal del AS 1742.15:2019, aunque preseñaliza habitualmente con carteles laterales tipo croquis, al estilo inglés, describe para cuando es necesaria la preseñalización con pórticos (*advance direction gantry*) el uso de carteles flecha abajo o flecha por carril, según sea apropiado para la configuración de la calzada. En el caso de los carriles bífidos, se usan *ambos* sistemas en función de la distancia a donde el carril bífido se escinda. Para ello, los grupos de destinos asociados a cada maniobra posible son contenidos en *cajas* dentro de cada cartel, que se sitúan sobre las flechas según sea necesario, sin indicar distancias (véase Fig. II-58, en la página siguiente).

²⁵ De acceso restringido.



Fig. II-58. Uso de carteles flecha por carril y flecha abajo para carriles bífidos, indicando la opcionalidad con la división de las cajas sobre las flechas. La señal de la derecha se encuentra a cierta distancia de la escisión del carril bífido, mientras que la de izquierda es mucho más próxima. Bifurcación del final de la M7 sentido sur en el nudo Roden Cutler, bifurcación del final de la M1 sentido oeste en el nudo con M5 y A1. *Google Street View*

También se incluyen las *lane allocation signs* complementarias: carteles laterales o banderolas con flechas asociadas a los movimientos de cada carril, con diseños similares a su contraparte británica o a soluciones sudafricanas que se tratarán más adelante, y que sí indican distancias [98:9].



Fig. II-59. *Lane allocation sign* preseñalizando un carril bífido directo, sí indicando distancia. No es extraño en este estado que una salida no se señalice con pórticos en ningún punto, recurriéndose únicamente a carteles laterales. Bifurcación del final de la M5 sentido oeste en el nudo Roden Cutler. *Google Street View*

Queensland y Australia Meridional

Los suplementos estatales de Queensland y Australia Meridional solo enumeran sus divergencias respecto al MUTCD estatal, sin servir como manual de señalización. Un examen de la señalización instalada revela ante carriles bífidos el empleo de carteles flecha por carril prácticamente idénticos a los pórticos de Nueva Gales del Sur.

Victoria

Según su *Supplement to AS 1742.15:2007* [125], Victoria señala salidas inmediatas y preseñalizaciones con diversos métodos según la situación, estableciendo carteles pórtico flecha por carril (GE1-V14-1, GE1-V14-2) para salidas de dos carriles o muy próximas –lo cual incluye carriles bífidos–, en combinación con carteles basados en texto para salidas con poco tránsito y preseñalizando la divergencia desde el principio para salidas transitadas [125:107].

Victoria, como Nueva Gales del Sur, divide los movimientos posibles en *cajas*, pero alcanza un grado de sofisticación mucho mayor, haciendo al sistema capaz de describir configuraciones muy complejas. Los ejemplos ficticios que incluye el suplemento estatal ilustran sus posibilidades y son de verdadero interés:



Fig. II-60. Algunos ejemplos ofrecidos en el *Supplement* para las señales GE1-V14, empleando carteles flecha por carril y *cajas*. *VicRoads*

Arriba izquierda, preseñalización de un carril bífido directo empleando cartel flecha por carril convencional; a la derecha, señalización de dos salidas próximas y sucesivas por carriles dedicados.

Abajo izquierda, doble salida con carril bífido directo hacia ambos sentidos de una misma carretera, la A66, quedando el carril izquierdo hacia «City – Werribee» y el derecho para «Geelong»; a la derecha, cartel donde los dos carriles de la salida permiten el acceso a la salida 14 hacia «Eastern Rd», mientras que el más exterior *también* da acceso simultáneo a la 13 «Nepean Rd»; el color azul indica que la M9 es de peaje.

Por otro lado, también sigue en ocasiones la práctica de Ontario de obviar la mayoría de los carriles de la dirección propia.



Fig. II-61. Preseñalización indicando sólo uno de los cuatro carriles de tronco. Salida 16, M1 sentido oeste. *Google Street View*

Nueva Zelanda

El *Traffic Control Devices Manual* neozelandés describe en su parte segunda las *advance lane designation signs* para preseñalizar con pórticos intersecciones y divergencias concurridas o con varios carriles, lo cual incluye carriles bífidos. Las mismas pueden ser conjuntos de carteles flecha abajo o carteles flecha por carril [127:4-20].



Fig. II-62. Carteles flecha por carril neozelandeses. Nótese que los tres carriles de la izquierda son salidas sucesivas. State Highway 1, sentido sur, salidas 424 A, B-C y D. *Google Street View*

África

La señalización de las carreteras de buena parte de los países africanos no es de relevancia para este trabajo. Sí lo es, especialmente ante el caso de los carriles bífidos, el sistema común adoptado por los estados miembros de la Comunidad de Desarrollo de África Austral (SADC)²⁶, que regula las señales de orientación en autopistas en el capítulo 6 de su *Road Traffic Signs Manual* (RTSM) [109:6.0.1].

SADC

El sistema empleado en los países que forman parte de la Comunidad para la señalización en autopistas es en general similar al británico, excepto cuando se llega a la señalización de pórticos (*overhead*), lo cual incluye carriles bífidos.

En ese caso, el *Manual* establece un híbrido entre las señales flecha por carril tradicionales y las croquis con indicación de carriles que usan los británicos en carteles laterales. La solución de la SADC pasa por agrupar todas las flechas que habitualmente irían sobre cada carril en un único grupo de flechas (llamado *cluster*) en el centro o a un lado del cartel, según la geometría que se señalice [109:6.4.1].

²⁶ Los países que la conforman son Angola, Botswana, Comoras, Eswatini, Lesoto, Madagascar, Malawi, Mauricio, Mozambique, Namibia, República Democrática del Congo, Seychelles, Sudáfrica, Suazilandia, Tanzania, Zambia y Zimbabwe.



Fig. II-63. Salida en curva con carril bífido directo y tres carriles dedicados, señalizada según el *Manual*. Salida 105 de la N12, sentido sur, Sudáfrica. *Google Street View*

La simplicidad del sistema no menoscaba su capacidad ante configuraciones complejas en la vía (véase Fig. II-64), que se apoya en la detallada gama de flechas estandarizadas que el RTSM proporciona (véase Fig. II-65), si bien separa salidas sucesivas en varios carteles, para evitar confusiones (véase Fig. II-66, en la página siguiente).



Fig. II-64. Señalización de salida inmediata. Nótese la inclinación del grupo de flechas en el cartel izquierdo para recalcar su posición dentro del ramal o el descentrado a la derecha de las del cartel de dirección propia. Salida 113 de la R24, sentido oeste, Sudáfrica. *Google Street View*

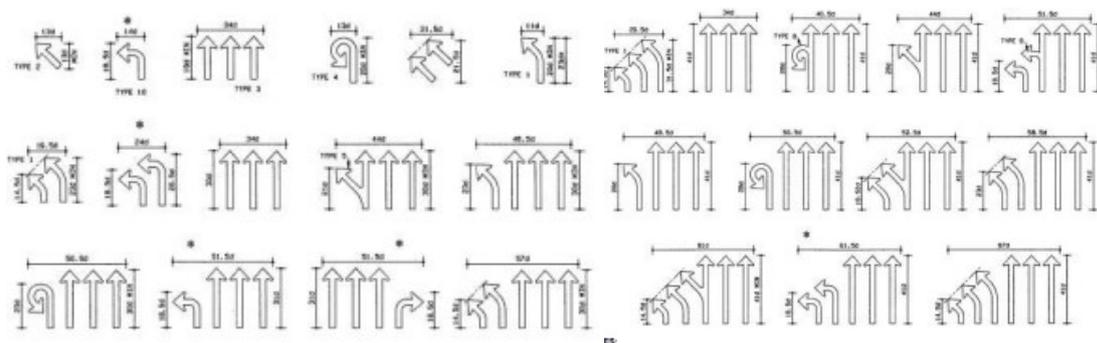


Fig. II-65. Algunas de las flechas que el *Manual* ofrece. Nótese la presencia de flechas especiales para lazos (abajo izquierda). *South African Development Community*



Fig. II-66. Señalización de salida inmediata omitiendo la referencia al carril bífido directo que se puede observar, debido a la presencia de la salida posterior al destino «(M2 W) Johannesburg», a 200 m. Salida 105A de la N3, sentido norte, Sudáfrica. *Google Street View*

Revisión de la literatura en la materia

En España

La mayoría de los estudios acerca del contenido de los carteles de señalización vertical en nuestro país se han desarrollado desde el ámbito de la psicología, centrándose mayormente en la percepción e interpretación de las señales.²⁷ Destacan de entre ellos los avances alcanzados en el estudio de conductores con dificultades en lectura.²⁸

Aunque algunas de las investigaciones mencionadas tocan tangencialmente la influencia del diseño de la señalización en su desempeño, no consta ningún estudio centrado en el tema, y mucho menos en ámbitos específicos como los carriles bífidos.

Pese a sus numerosos cambios, tampoco ha sido posible localizar literatura académica evaluando la normativa del Ministerio más allá de la disputa que Sandro Rocci mantuvo con otros ponentes de la 8.1-IC de 1999 en los artículos [103] y [30] de la revista *Carreteras*, donde ni se trata la señalización de carriles bífidos ni se llega a conclusiones de relevancia para el arte.

En el extranjero

Estados Unidos

Sin duda alguna, los EE UU son la nación donde se han conducido más investigaciones en materia de carriles bífidos.

En primer lugar, resulta fundamental el informe que Fontaine *et al* realizaron en 2002 para la FHWA, repasando toda la literatura previa sobre la señalización de orientación de las autopistas estadounidenses [65]. El mismo incluye una sección dedicada a los carriles bífidos, que ha servido como punto de partida para el presente epígrafe.

Primeras investigaciones significativas

Tras varias décadas realizando sucesivos estudios comparando señales diagramáticas contra flecha abajo con resultados poco concluyentes, en 1990 el Texas Transportation Institute (TTI) realizó una serie de encuestas [33] probando por primera vez unas nuevas señales experimentales, las flecha por carril, contra diagramáticas.²⁹ El TTI discernió que

- Las señales flecha por carril fueron un 10 % mejores que las diagramáticas indicando salidas inmediatas para el carril derecho, y un 13 % mejores indicando carriles bífidos.
- El uso de indicaciones textuales como *EXIT ONLY*, *NEXT LEFT*, etc. fue frecuentemente causa de confusiones en los conductores.

²⁷ Publicaciones notables al respecto son [35], [100], [112] o [113]. En concreto, se ha prestado especial atención a la señalización variable, con estudios como [68], [101] o [115].

²⁸ Son dignos de mención los estudios en dicho ámbito de la ERI-Lectura de la Universitat de València como [99], [111] o [114].

²⁹ Este informe, al igual que muchas otras publicaciones tempranas, se refiere a las señales flecha por carril como *modified diagrammatic signs* y a las señales diagramáticas como *conventional diagrammatic signs*. Por aquel entonces, las señales flecha por carril todavía eran una novedad experimental fuera del MUTCD.

- La agrupación en una línea de destinos o escudos de ruta inducía a creer que su acceso se realizaba desde carriles diferentes. El uso de varias líneas mejoró la comprensión.
- El número de flechas en los carteles flecha por carril debía ser coincidente con la calzada bajo el pórtico. Añadir flechas preseñalizando carriles añadidos más adelante incrementó la confusión.

A partir de estos resultados, el Center for Transportation Research de la Universidad de Texas en Austin realizó ulteriores encuestas, confirmando la necesidad de ser coherente con el número de carriles en los carteles flecha por carril y afirmando que la efectividad de las señales diagramáticas se reducía con el añadido de demasiada información a las mismas [58].

Este estudio de 1990 indujo a que un informe de 2001 con recomendaciones para conductores más longevos [110] sugiriera el empleo de carteles flecha por carril en lugar de las señales diagramáticas entonces estándar del MUTCD, si bien su carácter anormativo requería la aprobación previa de la FHWA en los proyectos que así lo hicieran.

Skowronek trató también la señalización de nudos en Houston con carteles flecha por carril en su tesis de 1990 [106]. Su investigación comparó señales flecha abajo con diagramáticas y flecha por carril, concluyendo que

- La posición de los carteles sobre los carriles, para las señales flecha abajo y flecha por carril, tenía un impacto significativo en la adecuación de los cambios de carril realizados.
- Las señales flecha por carril fueron aparentemente superiores a las otras tipologías señalizando carriles bífidos.

Poco después, en 1992, el TTI estudió otra vez el tema, presentando sus resultados en un artículo del *Transportation Research Record* [32], y discerniendo que

- Las señales diagramáticas no fueron muy efectivas indicando al conductor en qué carril debía circular.
- Las señales flecha por carril se comportaron un 10 % mejor indicando carriles bífidos.
- Los carteles flecha abajo con *dancing arrows* no fueron bien entendidos en cuanto al posicionamiento de carriles, pero su sustitución por carteles flecha abajo convencionales ubicados sobre los carriles no supuso beneficios significativos.
- Los mensajes *NEXT RIGHT* y *NEXT LEFT* eran frecuentemente malinterpretados.

El TTI trató de nuevo los carriles bífidos en un informe de 1996 [108]. Las encuestas realizadas pretendían probar sistemas alternativos de señalización inmediata de salidas con carriles bífidos directos, proponiendo señales similares a las usadas en Ontario (véase Fig. II-67), y razonó que

- Las flechas bicéfalas confundieron a muchos participantes.
- El añadido del mensaje *MAY EXIT* suponía una mejora en la comprensión.

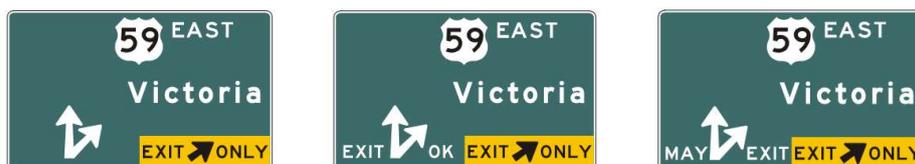


Fig. II-67. Señalización mostrada en las encuestas de [108]. Nótese la omisión, al estilo de Ontario, del resto de carriles del tronco. *Texas Transportation Institute*

Upchurch *et al* examinaron señalización similar en 2003 [122], evaluando con un simulador cuatro diseños distintos (véase Fig. II-68) para la señalización de carriles bífidos. En este estudio, las señales diagramáticas salieron mejor paradas, recomendándose el uso de señales diagramáticas en los preavisos y flecha abajo con dirección propia en los carteles de salida inmediata.



Fig. II-68. Los cuatro diseños evaluados en el estudio, de izquierda a derecha: señales diagramáticas estándar del MUTCD, carteles flecha por carril al estilo de Ontario, carteles flecha abajo con y sin cartel de dirección propia. *Jonathan Upchurch, Donald L. Fisher y Bhupinder Waraich*

Evaluación de diseños alternativos

Habiéndose constatado las carencias de los carteles al estilo de Ontario para la señalización de carriles bífidos, nuevas alternativas más similares a los primeros estudios con carteles flecha por carril fueron evaluadas.

La investigación realizada por Hice y Chrysler en 2006 [69] comparó señales flecha por carril ante diagramáticas y flecha abajo en carriles bífidos directos, pero señalizando en este caso todos los carriles y no sólo los de salida. De las señales evaluadas, las flecha por carril fueron las reconocidas a mayor distancia.

Dicha investigación fue ampliada por Chrysler *et al* [36] en 2007, evaluando con encuestas diversos tipos de señales ante configuraciones de calzada complejas, incluyendo carriles bífidos. Para carriles bífidos directos, el estudio examinó hasta seis diseños diferentes, con cuatro modalidades diferentes de carteles flecha por carril.

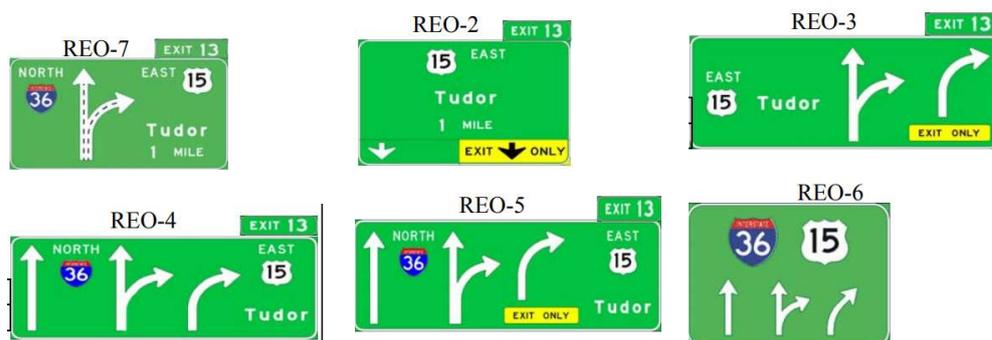


Fig. II-69. Los seis diseños evaluados. REO-7: cartel diagramático estándar del MUTCD de entonces, REO-2: cartel flecha abajo, REO-3: cartel flecha por carril indicando sólo carriles de salida y bífidos, al estilo de Ontario; REO-4, 5 y 6: diferentes configuraciones de carteles flecha por carril indicando los tres carriles. *Susan T. Chrysler, Alicia A. Willams, Dillon S. Funkhouser, Andrew J. Holick y Marcus A. Brewer*

Para las diferentes señales, el estudio concluyó que

- Los carteles estándar REO-7 eran correctamente interpretados por sólo la mitad de conductores.

- Ante los carteles REO-2 los sujetos identificaron los carriles de salida con mucha confianza, pero sus respuestas fueron abrumadoramente incorrectas.
- La identificación de carriles del tronco en los REO-2 obtuvo resultados algo mejores, pero con niveles de confianza reducidos.
- Los carteles REO-3 tuvieron un desempeño mediocre, y la omisión de la flecha izquierda provocó que muchos sujetos únicamente identificaran el carril central como perteneciente al tronco.
- Las señales REO-4 y REO-6 tuvieron los mejores resultados en todos los ensayos, ligeramente mejores en esta última seguramente por la omisión de información.
- La mayoría de sujetos no identificó la opcionalidad en el carril central ante el cartel REO-5, probablemente por la inclusión del rótulo *EXIT ONLY*, pero sí tuvo resultados similares a REO-4 y 6 en cuanto a identificación de carriles del tronco.

La investigación evaluó además carriles bífidos indirectos, pero sin probar carteles flecha por carril (véase Fig. II-70). Para ese caso, los carteles flecha abajo con más flechas que carriles fueron los que proporcionaron mejor resultado.

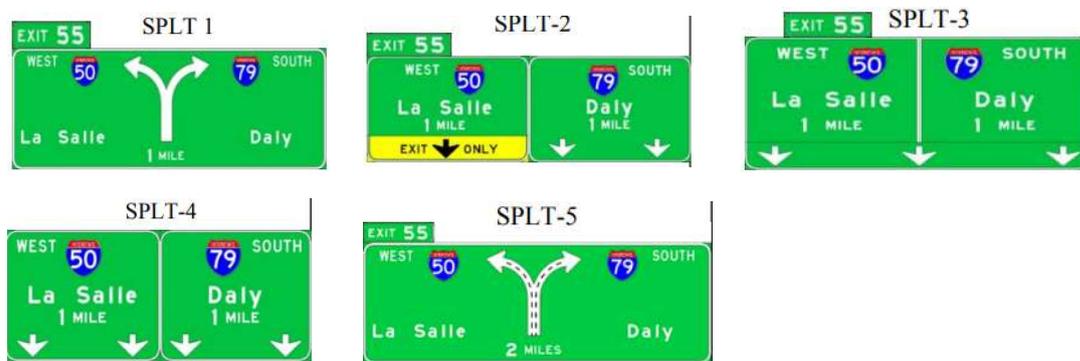


Fig. II-70. Diseños probados para carril bífido indirecto, en una bifurcación. SPLT-1: croquis, SPLT-2: flecha abajo omitiendo opcionalidad, SPLT-3: flecha abajo a la danesa, SPLT-4: flecha abajo con más flechas que carriles, SPLT-5: diagramático estándar del MUTCD. Susan T. Chrysler, Alicia A. Williams, Dillon S. Funkhouser, Andrew J. Holick y Marcus A. Brewer

El mismo estudio también evaluó las señales en un simulador de conducción. Para el caso de los carriles bífidos directos, se evaluaron las siguientes combinaciones:

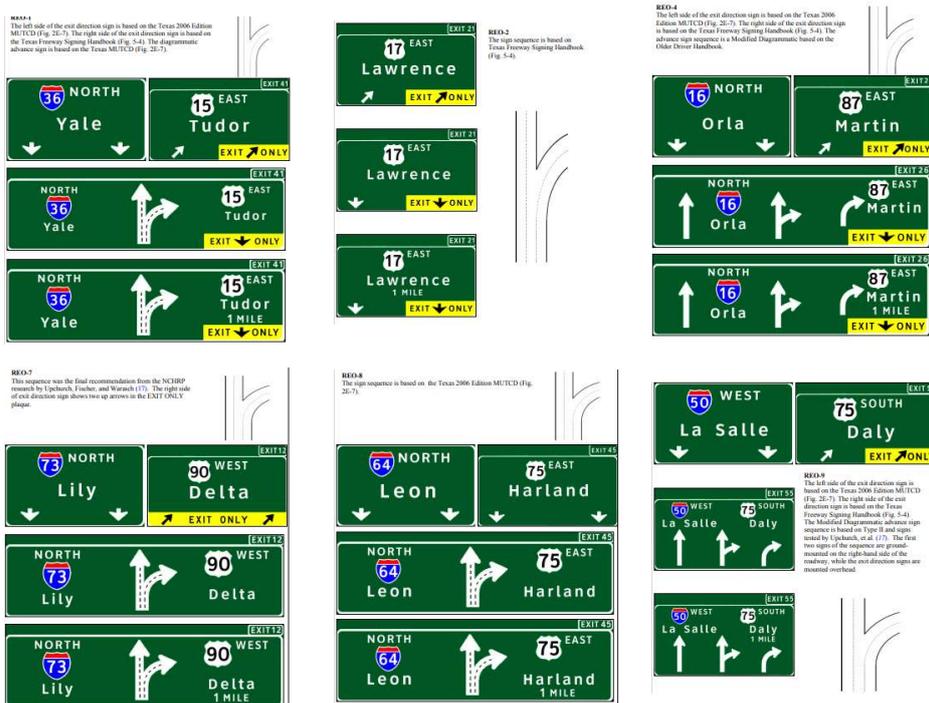


Fig. II-71. Carteles ensayados. De izquierda a derecha, y de arriba a abajo: REO-1: estándar MUTCD para Texas en 2006, REO-2: manual de señalización de Texas, REO-4: recomendaciones para conductores longevos [110], REO-7: recomendación de Upchurch *et al* [122], REO-8: basada en estándar MUTCD, REO-9: cartel lateral combinación de diversas fuentes. Susan T. Chrysler, Alicia A. Willams, Dillon S. Funkhouser, Andrew J. Holick y Marcus A. Brewer

La investigación razonó que

- Los carteles REO-1, diagramáticos, si bien fueron los interpretados más rápido por los conductores, también propiciaron el mayor número de cambios de carril innecesarios.
- Los carteles REO-9, flecha por carril, produjeron cambios de carril más cerca de la nariz pero también los menores números de cambios de carril innecesarios.
- REO-1, REO-2 y REO-4 tuvieron mejor desempeño cuando el destino era el tronco, mientras que REO-7, REO-8 y REO-9 lo tuvieron para la salida.

Evaluando carriles bífidos indirectos, los resultados del simulador de nuevo hicieron superior la señalización flecha abajo con más flechas que carriles ante los diagramáticos, sin incluir carteles flecha por carril entre los ensayados.

En 2008, un informe de Golembiewski y Katz para la FHWA [67] evaluó mediante simulación carteles flecha por carril contra varias modalidades de diagramáticos en varias configuraciones de carriles, incluyendo mayormente carriles bífidos directos, concluyendo que

- Las señales flecha por carril fueron las que indujeron mayor número de respuestas correctas en cuanto a elección de carriles.
- Las señales flecha por carril fueron las que proporcionaron una mayor distancia de decisión.
- Los sujetos de edad avanzada se beneficiaron significativamente de las señales flecha por carril, especialmente en cuanto a distancia de decisión.

Los resultados de este informe, junto a todas las investigaciones realizadas sobre el asunto, influyeron en que la FHWA añadiera los carteles flecha por carril a la nueva edición del MUTCD publicada en 2009 [61], pasando a ser no sólo uno de los estándares para señalizar carriles bífidos, sino a considerarse explícitamente «preferible» al uso de carteles diagramáticos o flecha abajo.

Puesta a prueba del nuevo estándar

Que las señales flecha por carril pasaran a ser práctica parte de la normativa no indujo que dejaran de ser evaluadas, todo lo contrario.

Fitzpatrick *et al*, en su informe para la FHWA de 2013 [64], evaluaron con un simulador la señalización de carriles bífidos directos, entre otros asuntos. La investigación comparó carteles flecha por carril contra dos combinaciones de carteles *convencionales* flecha abajo y flecha arriba en una vía de tres carriles.



Fig. II-72. Carteles ensayados. De izquierda a derecha: flecha por carril, *convencionales* con dirección propia y sin dirección propia. Kay Fitzpatrick, Susan T. Chrysler, Marcus A. Brewer, Alicia Nelson y Vichika Irigavarapu

Las observaciones del estudio fueron que

- Las señales *convencionales* sin el cartel de dirección propia fueron las que propiciaron menos cambios de carril innecesarios en todos los casos. Con todo, hubo numerosos cambios de carril innecesarios para todas las tipologías.
- Las señales *convencionales* con cartel de dirección propia fueron las que causaron más cambios de carril innecesarios cuando se pedía al sujeto tomar la salida.
- Las señales flecha por carril fueron las que motivaron más cambios de carril innecesarios cuando se pedía al sujeto seguir en el tronco.
- Las señales *convencionales* con y sin cartel de dirección propia también fueron las que indujeron más cambios de carril incorrectos, todos ellos cuando el destino era el tronco.
- Las señales flecha por carril no propiciaron ningún cambio de carril incorrecto.

Ese mismo año, Richard y Lichty también evaluaron la señalización de carriles bífidos para otro informe de la FHWA [96], comparando señales de tipologías idénticas a las del estudio de Fitzpatrick *et al* mediante encuestas.



Fig. II-73. Carteles ensayados. De izquierda a derecha: flecha por carril (A), convencionales con dirección propia (B) y sin dirección propia (C). *Christian M. Richard y Monica G. Lichty*

De este estudio se ha podido desprender lo siguiente:

- Los carteles A (flecha por carril) fueron los que indujeron un mayor uso correcto del carril bífido en general.
- Los carteles B y C (*convencionales*) tuvieron ligeramente mejor desempeño –en ese orden– que los A haciendo que los sujetos que comenzaban en el carril central bífido no cambiaran innecesariamente del mismo cuando se les pedía continuar en el tronco.
- Los carteles B provocaron sistemáticamente los mayores números de cambios de carril innecesarios cuando se solicitó a los sujetos tomar la salida, especialmente al comenzar desde el carril izquierdo.

Por otro lado, Richard y Lichty también investigaron las preferencias de los conductores comparando otros cuatro sets de señales:

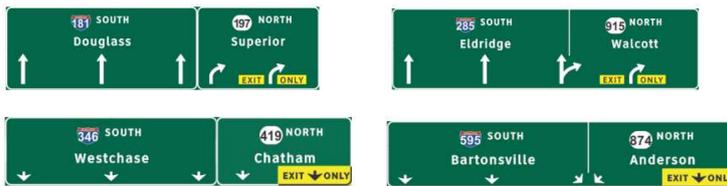


Fig. II-74. Carteles ensayados. De izquierda a derecha, y de arriba a abajo: flecha arriba (A), flecha por carril (B), flecha abajo (C), flecha abajo con *dancing arrows* (D). *Christian M. Richard y Monica G. Lichty*

De los experimentos se pudo inferir que

- La integración de las flechas (bicefalia o separación) no se consideró estadísticamente significativa en la elección de los carriles bífidos al comparar A contra B y C contra D.
- Los carteles B (flecha por carril) fueron los que proporcionaron mejores resultados en cuanto a aprovechamiento del carril bífido.
- Los carteles D y C indujeron un desempeño significativamente peor que B y A.

Búsqueda de posibles mejoras al estándar

En 2014, el uso de flechas bicéfalas en señalización de carriles bífidos fue tratado en un artículo de Katz *et al* en el *Transportation Research Record* [73]. Se estudiaron con encuestas hasta cinco configuraciones de carteles:



Fig. II-75. Las cinco configuraciones evaluadas. De izquierda a derecha: flecha por carril al estilo de Ontario indicando la dirección del tronco (A), flecha por carril (B), flecha por carril al estilo de Ontario indicando la dirección del tronco en un cartel independiente (C), carteles *convencionales* indicando *EXIT ONLY* en ambos carriles (D) y en sólo el carril derecho (E). *Bryan J. Katz, Erin E. Dagnall, Mary Anne Bertola, Cara C. O'Donnell y Jim Shurbutt*

Las evaluaciones resultaron en que

- Los sujetos proporcionaron el mayor número de respuestas correctas con las señales flecha por carril de tipo B.
- Las alternativas A, D y E tuvieron ratios de comprensión muy reducidos, incluso siendo las señales E las utilizadas en el área de residencia de los sujetos.
- Las mejores puntuaciones de las señales B y C fueron especialmente significativas cuando se pedía a los sujetos tomar la salida.

Otro estudio de Katz *et al* en 2014 trató los pórticos de asignación de carriles [74], en este caso, evaluando cómo diferentes opciones de su diseño podían ser percibidas por los conductores.

La investigación evaluó numerosas combinaciones de diferentes opciones posibles en cuanto a distribución y elección de flechas: separación o no de grupos de destinos con líneas o en carteles independientes y uso de flechas simbólicas o de señales de código al estilo de Quebec, dentro o fuera del cartel.



Fig. II-76. Algunas de las parejas de combinaciones del estudio. *Bryan J. Katz, Gary Golembiewski, Erin E. Dagnall, Cara C. O'Donnell y Jim Shurbutt*

Ninguna opción prevaleció especialmente sobre las demás y todas proporcionaron resultados satisfactorios, concluyéndose del estudio que cualquiera de las alternativas resultaba válida.

Una opinión divergente a la literatura hasta la fecha fue ofrecida por Upchurch en la 94.^a reunión anual de la Transportation Research Board, en 2015 [121].³⁰

Según Upchurch, las conclusiones del informe de 2008 que indujo a la FHWA a incluir carteles flecha por carril como estándar en el MUTCD –[67], tratado previamente, en la pág. 62– debían ser cuestionadas. El investigador afirmó que el tamaño de las flechas en los carteles flecha por

³⁰ No ha sido posible acceder más que al resumen de la misma.

carril podía reducirse y que en cuanto a distancia de decisión las señales diagramáticas tenían un desempeño similar a las flecha por carril, indicando que el incremento de distancia para las flecha por carril observado en el informe carecía de relevancia práctica y no justificaba modificaciones radicales de los estándares nacionales.

No obstante, ese mismo año, la Universidad Western Michigan elaboró un informe [75] evaluando las distintas medidas que desde 2004 el estado había venido implementando para ayudar a los conductores de edades avanzadas, entre ellas el uso de señales flecha por carril, que de nuevo concluiría en su idoneidad.

De las encuestas y análisis coste-beneficio realizados para el mismo en diferentes localizaciones, se desprende que

- La mayoría de los conductores encuestados prefirió las señales flecha por carril a otras tipologías, independientemente de si ya estaba familiarizado con su uso o no.
- Las señales flecha por carril fueron sistemáticamente más caras que sus contrapartes diagramáticas.
- Las señales flecha por carril supusieron según los autores «una reducción significativa» del número de accidentes en los lugares de estudio, con mejoras de un 42 % en general y hasta un 68 % en conductores de edad avanzada.
- Incluso considerando el incremento de coste económico que supone un cartel flecha por carril respecto a otras tipologías de menor tamaño, el ratio coste-beneficio medio de instalar una señal flecha por carril fue de 1:1440.

La última investigación en la materia que se ha localizado es el informe del Turner-Fairbank Highway Research Center de la FHWA de 2023 [27], donde se evaluó con encuestas el uso de flechas más pequeñas (véase Fig. II-77) y diseños al estilo de Ontario (véase Fig. II-78) en carteles flecha por carril, buscando una mayor economía.



Fig. II-77. Diferentes flechas evaluadas, estándar y modificadas. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Estándar del MUTCD (A), estándar reducido (B), estándar alargado y reducido (C), estándar alargado y reducido más (D). *Ananna Ahmed, Starla Weaver, Szu-Fu Chao y Mathew Marchese.*

Al respecto de las diferentes flechas estudiadas, se concluyó que

- El diseño A, el estándar del MUTCD, fue menos preferido por los conductores que el resto de diseños.
- El diseño C obtuvo las mejores puntuaciones de efectividad, seguido de A. Se recomienda su uso.



Fig. II-78. Diferentes configuraciones ensayadas, estándar y al estilo de Ontario. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Cartel flecha por carril estándar (A), cartel *ontariano* con línea separadora y cartel de dirección propia (B), cartel *ontariano* sin línea separadora (C), cartel *ontariano* con línea separadora (D), cartel *ontariano* sin línea separadora y con cartel de dirección propia (E). Ananna Ahmed, Starla Weaver, Szu-Fu Chao y Mathew Marchese.

En cuanto a las configuraciones de diseño, los investigadores determinaron que

- El cartel estándar flecha por carril, A, proporcionó las respuestas más correctas, menores tiempos de reacción y mayor confianza de los sujetos en la elección tomada, sistemáticamente.
- Para las señales no estándar, si se usan carteles de dirección propia (casos B y E), el uso de la línea separadora es beneficioso (B). Si no es así (C y D), es preferible no usarla (C).

La FHWA parece haberse decidido a añadir al MUTCD carteles flecha por carril parciales tras los resultados de estos estudios, puesto que se incluyeron en el borrador de la 11.ª edición del *Manual*, acompañados por una alternativa flecha abajo [60].

Países Bajos

Si bien las investigaciones norteamericanas son de enorme interés, resulta muy provechoso para el trabajo poder disponer de un punto de vista europeo. La señalización española no es tan similar a la estadounidense como lo es a la de los países del resto del continente, mas por desgracia ha sido imposible localizar literatura sobre la materia escrita fuera de los EE UU.

No obstante, sí se ha podido encontrar documentación de un caso de especial interés, el de los Países Bajos, por haber transicionado este país de carteles flecha abajo a flecha por carril.

En mayo de 2007, se expuso en una reunión de Rijkswaterstaat –la administración responsable de las carreteras nacionales neerlandesas– que la señalización de autopistas del país necesitaba una actualización. Las señales utilizadas hasta entonces, flecha abajo, comenzaban a ser incapaces de describir claramente las crecientes cantidades de información que los conductores requerían, y la complejidad de la red de carreteras era mucho mayor que cuando se concibieron.

Buscando atajar estos problemas, los técnicos de Rijkswaterstaat plantearían un cambio radical del sistema vigente por nuevas señales basadas en tres principios: nuevos destinos primarios, nueva señalización de servicio y, sobre todo, nuevas flechas y composiciones de carteles [97].

Así, los Países Bajos pasaban de usar en pórticos carteles flecha abajo a flecha arriba y flecha por carril, haciendo posible señalizar los carriles bífidos, que antes simplemente eran omitidos; y también empleándolas para preseñalizar movimientos posibles en carriles convencionales.

El sistema experimental elaborado fue puesto a prueba empíricamente en 2007, en el marco de la iniciativa FileProof, una serie de experimentos para estudiar la mejora del flujo del tráfico en las autopistas con intervenciones menores [95].

Concretamente, los nuevos carteles flecha por carril se evaluaron mediante diferentes proyectos FileProof en tramos específicos de la red: la A12 entre Alemania y Arnheim y los nudos Velperbroek, Zaandam, Valburg, Lunetten y Maanderbroek; donde se sustituyeron los carteles flecha abajo por carteles experimentales con flecha arriba y flecha por carril.³¹

Las investigaciones concluyeron que

- La velocidad media aumentó hasta en 10 km/h.
- Las filas de vehículos comenzaban a reducirse hasta media hora antes.
- Los conductores estaban mejor informados, realizando menos maniobras erráticas al cambiar de carriles.

Dados los resultados satisfactorios de los estudios, Rijkswaterstaat anunció en 2008 que el sistema experimental de señalización sería adoptado, bajo el nombre de *Nieuwe Bewegwijzering Autosnelwegen* (NBA), y empezó a trabajar en el desarrollo de la nueva normativa. La misma fue publicada por la CROW en 2012, y es la base en la que se sustenta la hoy vigente, de 2014.³²



Fig. II-79. Señalización antes y después de la adopción de las nuevas señales. Nótese cómo el carril bífido directo pasa de omitirse a estar claramente señalizado. Salida 8 «Leidschendam», A4 sur. *Google Street View*

En definitiva, salvando las evidentes diferencias entre países y sistemas señaléticos, los resultados obtenidos por los carteles flecha por carril en EE. UU. y Países Bajos hacen deseable la realización de estudios en España como el propuesto en este trabajo, especialmente porque las investigaciones extranjeras no tratan el sistema de la normativa en nuestro país: la duplicación de destinos.

³¹ Estos estudios fueron realizados internamente por Rijkswaterstaat, pero existen detalles básicos sobre los mismos y sus conclusiones en la contribución de Molenkamp y de Mos al Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk de 2008 [89].

³² Véase el epígrafe *Países Bajos* en la página 35 para más detalles acerca de la señalización neerlandesa vigente.

III. SISTEMA PROPUESTO

Punto de partida

¿Cómo señalar?

La conducción de un vehículo es un proceso complejo que requiere a los conductores dedicar la mayor parte de su atención al control y guiado del automóvil, dejando sólo cortos lapsos de tiempo para tareas secundarias como la orientación en la carretera. Es en esos breves momentos cuando los conductores pueden detectar, interpretar y reaccionar a las señales que encuentran.

Si la circulación se realiza a grandes velocidades y por zonas con configuraciones de calzada complicadas, como ocurre en el caso de los carriles bífidos, resulta fundamental que la señalización sea efectiva, considerando las necesidades y limitaciones de los conductores.

A tal efecto, la normativa española también contiene una serie de indicaciones y directrices al respecto, que se seguirán en este trabajo final de grado. Según la norma 8.1-IC [44:5], los cuatro objetivos fundamentales de toda señalización son

- aumentar la **seguridad** de la circulación,
- aumentar la **eficacia** de la circulación,
- aumentar la **comodidad** de la circulación, y
- facilitar la **orientación** de los conductores.

Un nuevo sistema de señalización debería diseñarse buscando contribuir mejor que la solución actual al alcance de estos objetivos. Para ello, continúa la norma, se hace necesario el seguimiento de cuatro principios «básicos» para garantizar «una buena señalización» [44:5]:

- **Claridad**, porque los mensajes transmitidos deben ser fácilmente comprensibles por los usuarios, no recargar su atención y restringir al mínimo la circulación.
- **Sencillez**, para minimizar el número de elementos.
- **Uniformidad**, garantizando la normatividad de los elementos utilizados, su implantación y sus criterios de aplicación.
- **Continuidad**, de destinos.

Los fabricantes españoles de señales listan otros cuatro requisitos «imprescindibles» [26] que también pueden ser un buen marco hacia el que orientarse:

- **visibilidad**, pues la señal debe verse correctamente y llamar la atención del conductor;
- **legibilidad**, pues también debe poder leerse bien;
- **comprensibilidad** de su mensaje, y
- **credibilidad**, para que sea seguida por el conductor.

También se tendrá en cuenta en este trabajo, por otro lado, la metodología *Positive Guidance* desarrollada por la FHWA [77], junto a la guía y recomendaciones de diseño del *Ontario Traffic Manual* [120], [119:5-6; 18-21] y [116:9-10]; las más completas que se han hallado durante el análisis de normativa internacional.

Considerando estos objetivos y principios, y empleando dicha metodología, se podrá emprender el desarrollo de un sistema de señalización alternativo para los carriles bífidos españoles.

Estado de los carriles bífidos en España

No se puede analizar la señalización de los carriles bífidos de nuestro país ni mucho menos evaluar una señalización alternativa para los mismos si no se conoce adecuadamente su contexto.

Para ello, se ha realizado un reconocimiento visual mediante el examen de imágenes por satélite de todas y cada una de las vías de gran capacidad en territorio español, independientemente de su titularidad.

En el proceso se han identificado 120 carriles bífidos diferentes, de acuerdo con la convención utilizada en este trabajo de fin de grado, definida en la página 6, con 22 divergencias de tipo directo y 99 de tipo indirecto.³³ Tras la identificación de cada carril bífido, se procedió al inventariado del mismo, examinándolo mediante Google Street View para registrar aspectos como su ubicación, el titular de la vía, la configuración de los carriles o la señalización empleada. El inventario resultante se puede consultar en el anejo 1.

Esta tarea no sólo ha proporcionado escala al problema, sino que también ha revelado valiosa información acerca de cómo se señalizan los carriles bífidos españoles actualmente.

Problemáticas del sistema actual

Si bien un examen superficial de la normativa al respecto pudiera hacer creer que la señalización del centenar de carriles bífidos en nuestro país resulta adecuada, un análisis más profundo hace ver que hay amplio margen para la mejora.

La señalización de orientación fue precisamente la peor parada en las encuestas realizadas a conductores acerca de señalización por parte de la Fundación Española para la Seguridad Vial (Fesvial) en 2010 [63:43-46]. Casi un 40 % de conductores declaró haberse «perdido alguna vez a causa de las señales», un 36 % consideró que las hay «equivocadas o mal puestas» y un 32 % afirmó sentirse «nervioso y estresado» por causa de su exceso; y lo que es más peligroso: un 31 % denunció «haberse visto obligado a realizar maniobras bruscas» por culpa de «la mala señalización» y hasta un 19 % declaró «haber tenido o poder haber tenido un accidente» por causa de la misma.

Ello debe considerarse en el contexto actual de envejecimiento progresivo de la población. La población de más edad es incapaz de procesar información visual con los reflejos y velocidad de individuos más jóvenes, por lo que requiere a menudo de medidas específicas. De los más de 15 millones de conductores españoles censados en 2022 por la DGT, 3 370 527 tienen 65 años o más, un 21 %, y es esperable que dicha proporción continúe aumentando [57]. Precisamente, de entre los encuestados en otro estudio de Fesvial dirigido a los mayores de 65, más de la mitad afirmó que «las vías deberían estar mejor señalizadas» [62:37].

³³ Uno de los carriles bífidos inventariados presenta dos escisiones sucesivas, siendo indirecto primero y directo después, lo que explica la suma mayor que el total.

En el contexto complejo que suponen los carriles bífidos, con altas velocidades, configuraciones de calzada inesperadas para los conductores y frecuentes maniobras erráticas fruto de la indecisión, resulta evidente que toda actuación que pueda simplificar y hacer más clara la orientación por los mismos es más que bienvenida.

Tiempo de lectura y número de destinos

El primer problema que se detecta en el sistema de la 8.1 actual es el tiempo destinado a la lectura. No hay más que leer el término, *duplicación de destinos*: las señales elaboradas con este método tendrán, evidentemente, *el doble* de destinos que una configuración sin carriles bífidos.

El incremento de texto es evidente si comparamos, para divergencias de tan sólo dos destinos, la señalización de carriles convencionales (Fig. III-1) contra la de un carril bífido (Fig. III-2):

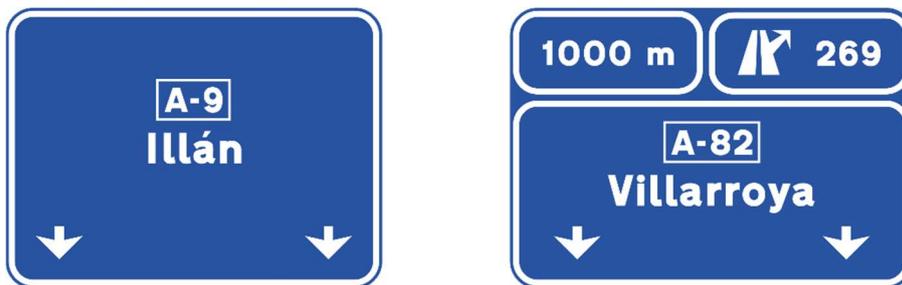


Fig. III-1. Carteles preseñalizando una bifurcación convencional, según la 8.1-IC, con sólo dos destinos, ficticios. Carteles confeccionados según la 8.1-IC posicionados sobre cuatro carriles de 3,5 m, a escala, con Hb=400 mm, mínimo permitido en la norma [44:84]. *Elaboración propia*



Fig. III-2. Carteles preseñalizando una bifurcación con carril bífido directo, según la 8.1-IC, con los mismos destinos que los de la Fig. III-1. Carteles confeccionados según la 8.1-IC posicionados sobre tres carriles de 3,5 m, a escala, con Hb=400 mm, mínimo permitido en la norma [44:84]. *Elaboración propia*

Como puede apreciarse en la Fig. III-2, incluso señalizando el mínimo posible de destinos, uno por movimiento, el cartel central que corresponde al carril bífido requiere cuatro líneas, alcanzando el máximo de líneas establecido por la 8.1-IC en [44:85].

No constan investigaciones evaluando la duplicación de destinos para carriles bífidos, pero sí numerosas estudiando tiempos de lectura en señalización.³⁴ Tomando el cálculo más favorable que se ha encontrado en la literatura, el tiempo de lectura requerido para cada palabra es, por lo menos, de 333 milisegundos [64:14]. Hasta con el mínimo de direcciones mostrado en las figuras

³⁴ Puede consultarse una revisión sobre la literatura acerca del tema en [64:14-17]. Como es esperable, el consenso general es que a más palabras e información en un cartel, más tiempo requiere su lectura, siendo objeto de estudio la cuantía de dicho tiempo.

anteriores, una divergencia que podría leerse en 1,3 segundos pasa a requerir 2,7 segundos si contiene un carril bífido; el doble de destinos también implica el doble de tiempo para su lectura, incluso teniendo *menos* carriles, como puede verse en el ejemplo.

Considerando que la cifra de 333 milisegundos es evidentemente optimista y que la situación de la imagen rara vez se da, más bien todo lo contrario –ese máximo de cuatro líneas por cartel es frecuentemente superado *en cada movimiento* de las divergencias–, el incremento de tiempo de lectura debido a la duplicación se convierte en algo complicado de asumir.



Fig. III-3. Preseñalización de la salida 177 de la A-3, sentido este. Incluso omitiendo destinos, el cartel central contiene la friolera de siete líneas. Hasta empleando la cifra favorable de 333 ms por palabra se requiere de más de 5 segundos para leer este pórtico, algo inasumible. *Google Street View*

Irónicamente, hasta la nueva señal lateral S-260 (véase la Fig. II-11, en la página 27), que seguramente ha sido concebida para el atajo de las confusiones causadas por la señalización actual de carriles bífidos, peca también de emplear el método de duplicación de destinos.

Ante esta tesitura, una opción para el técnico es decirse que *dura lex, sed lex* y proceder al seguimiento estricto de la 8.1-IC y su máximo de cuatro líneas por cartel, pero esta «solución normativa» al problema no sólo continúa implicando una duplicación de tiempo de lectura, sino que crea otro problema a su vez.

Si para un cartel hay más destinos a señalar que líneas disponibles, se deberá consecuentemente eliminar o reducir alguno de los mismos, aunque se pueda acceder al mismo por los carriles que indica.

Una manera rápida de hacerlo es abreviar los destinos en el cartel central. Indicar sólo los pictogramas o cajetines de los destinos de los demás carteles es una forma de respetar el máximo de líneas y reducir el tamaño del cartel central, especialmente si esos topónimos asociados tienen una longitud considerable, como puede verse en la figura a continuación. Sin embargo, la mayoría de conductores españoles se orientan habitualmente siguiendo topónimos más que identificadores de carreteras, por lo que esta solución tiene un uso muy limitado.



Fig. III-4. Preseñalización de la salida 31 de la M-31, sentido sur. *Google Street View*

Otra solución puede ser unir dos destinos en una sola línea, separándolos con un guión o con una barra, una solución de normatividad poco clara y que en absoluto contribuye a reducir el tiempo de lectura. A modo de ejemplo, véanse en la Fig. III-5 las uniones de destinos «Burgos/Bilbao» y «Santander-puerto» para cumplir el máximo de cuatro líneas en todos los carteles:



Fig. III-5. Preseñalización de la salida 199AB de la A-67, sentido norte. *Google Street View*

Resulta sencillo apreciar en la Fig. III-5 que, además de esta unión de destinos, también se ha omitido en el cartel central la señalización de «La Albericia» y «N-611 Cuatro Caminos».

La omisión de algunos de los destinos, normalmente realizada con los destinos secundarios en el cartel central, es la práctica más extendida; mucho más popular que su acortamiento o unión. Ha sido necesario recurrir a la misma en la práctica totalidad de los 17 carteles españoles que sí duplican destino, y alcanza hasta a los ejemplos dados por la norma, como puede verse en la Fig. II-9, en la página 25, donde el destino secundario «Tordesillas» es omitido en el cartel central. La mayoría de los carteles que recurren a esta práctica superan el máximo de cuatro líneas de todas maneras, como puede apreciarse en la Fig. III-3, en la página anterior.

Más allá de la inherente reducción de información transmitida al conductor, la omisión de destinos puede dar pie a situaciones genuinamente peligrosas. Tomando un ejemplo real: ¿hacia qué lado de la divergencia deberá dirigirse un conductor que quiere ir al aeropuerto?



Fig. III-6. Preseñalización de la salida 1A de la LE-30, sentido sur. *Google Street View*

No es hasta la visualización de los carteles de salida inmediata, ubicados más allá de la nariz, que se confirma al conductor que la dirección a tomar era la derecha —la asociada a «A-66 Madrid», pese a la separación—; con el consiguiente riesgo de frenazos y maniobras erráticas.

Irónicamente, este pórtico tan poco afortunado es de los que menos incumple los demás aspectos de la 8.1 IC de entre los inventariados con duplicación de destinos.

Esta situación donde quedan destinos *huérfanos* en el cartel central, por desgracia, no se limita al pórtico de la imagen. El lector perspicaz ya habrá apreciado la presencia de esta problemática para los destinos «Alicante» y «Murcia» en el pórtico de la Fig. III-3, que en la página 72 servía de ejemplo del incumplimiento de los máximos de líneas, y se repite esta peligrosa circunstancia en otros a lo largo del país, con el riesgo que ello supone.

Pese a la carencia de investigación específica que haga posible cuantificar hasta qué punto el sistema actual dificulta la comprensión de los conductores, resulta innegable que el mismo se encuentra lejos de los principios de «sencillez» y «claridad» que la norma 8.1-IC considera «fundamentales para una buena señalización» [44:5].

Al fin y al cabo, como indicaba la vieja Orden Circular en su introducción, «cualquier mal uso o abuso de la señalización produce mayores perjuicios que los que intenta remediar» [41:1].

Señalización de carriles bífidos directos

Los únicos carriles bífidos que aparecen en la 8.1-IC, los del subapartado 3.5.2.4 *Bifurcaciones*, son descritos como «carriles que se bifurcan», lo cual acota sus prescripciones a los carriles bífidos indirectos, que de hecho son mostrados explícitamente en ilustraciones. Esto implica que los carriles bífidos directos —aquéllos en divergencias sin pérdida de carriles básicos— queden omitidos, y por tanto en un limbo normativo sobre cómo señalarlos.

La aproximación más rigurosa de acuerdo con su inexistencia en la normativa vigente es simplemente no señalarlos, indicando carriles como si de una salida convencional se tratara, y por tanto no señalando la opcionalidad al conductor, aunque ello implique una disminución de capacidad. Esta opción, que de paso evita las problemáticas asociadas a la duplicación de destinos, ha sido el protocolo observado en casi todos los casos inventariados; limitándose a un par de ejemplos los carriles bífidos directos donde sí se duplica.

La omisión normativa puede parecer entendible. Al fin y al cabo, los carriles bífidos directos son poco comunes en España, sólo habiendo una veintena en las carreteras de nuestro país, y su inclusión en la 8.1-IC puede parecer innecesaria.

Sin embargo, eso no es así. En el contexto actual, donde las constricciones de espacio y presupuesto hacen complicado cualquier aumento de capacidad de las vías, una salida con un carril bífido directo *cuya opcionalidad se señalice al conductor* añade un carril de salida extra a la nariz, lo cual supone una mejora en los niveles de servicio a tener en cuenta.

Esta solución podría beneficiar a numerosas divergencias³⁵ en toda España que ya disponen de ancho suficiente en la nariz y resultaría muy fácil y económica de implementar por limitarse al

³⁵ Puede consultarse algunos ejemplos en el anejo 1.

repintado de marcas viales, pero sólo si se acompañara de una señalización que indicara la opcionalidad para que el carril bífido fuera aprovechado.

Por otro lado, el empleo de carriles bífidos directos que estén correctamente señalizados puede permitir también mitigar el efecto del trenzado o incluso eliminarlo del todo:

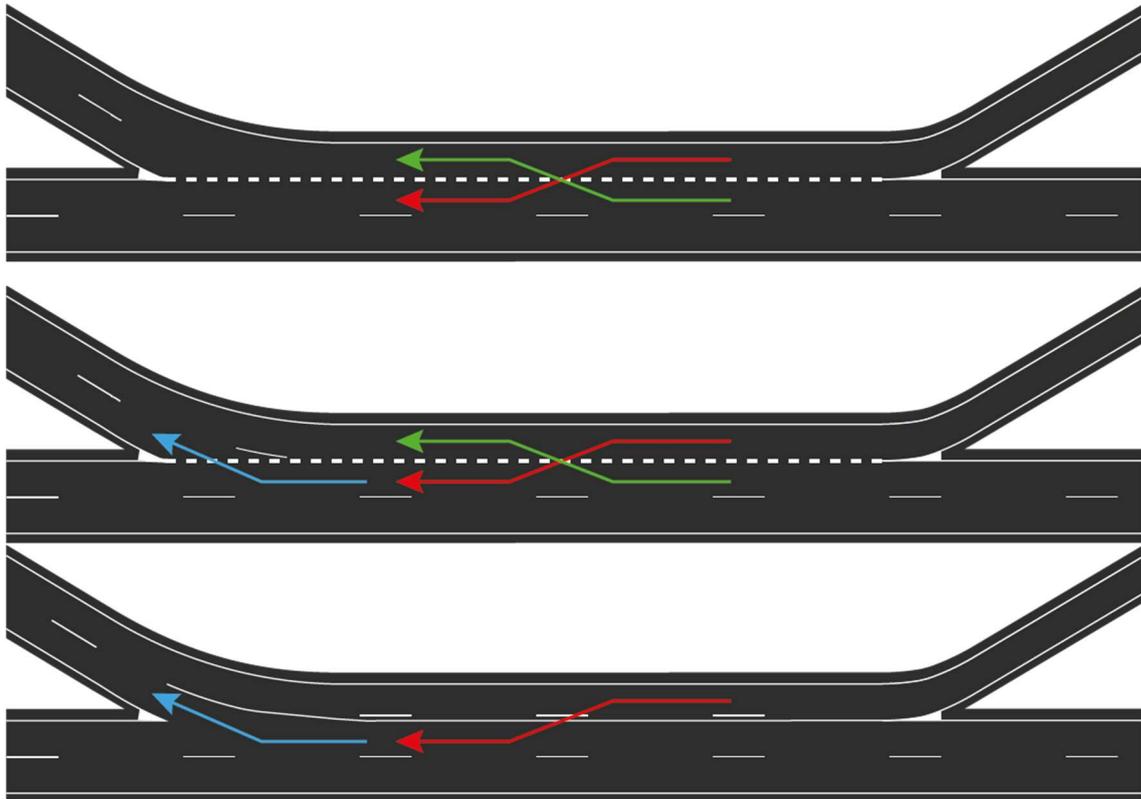


Fig. III-7. La configuración de un carril bífido directo supone el añadido del movimiento azul, segregado del trenzado; en el ejemplo inferior, su combinación con marcas viales *ad hoc* directamente elimina el trenzado. *Elaboración propia*

Dilemas técnicos

De los 85 carriles bífidos indirectos en la Red de Carreteras del Estado que inequívocamente deberían haberse señalado mediante la 8.1-IC, solamente en 17 se ha seguido la norma duplicando destinos, incluyéndose en estos 17 numerosas infracciones de otros aspectos de la misma como número de líneas, uso de flechas o subcarteles superiores.

Que en solamente el 20 % de las ubicaciones inventariadas se haya señalado con duplicación de destinos hace evidente que las directrices de la normativa acerca de carriles bífidos son o malinterpretadas o directamente incumplidas a sabiendas por muchos técnicos.

Ello no resulta extraño. Es posible que esta omisión de la duplicación sea una decisión tomada para evitar contradecir la normativa, dado que el sistema propuesto en el subapartado 3.5.2.4 *Bifurcaciones* induce al incumplimiento de otros aspectos como el ya referido máximo de cuatro líneas por cartel o también el 3.3.3.2 *Posición*, que obliga a situar las flechas tipo “F” «sobre el centro del carril al que se refieran» [44:81]:

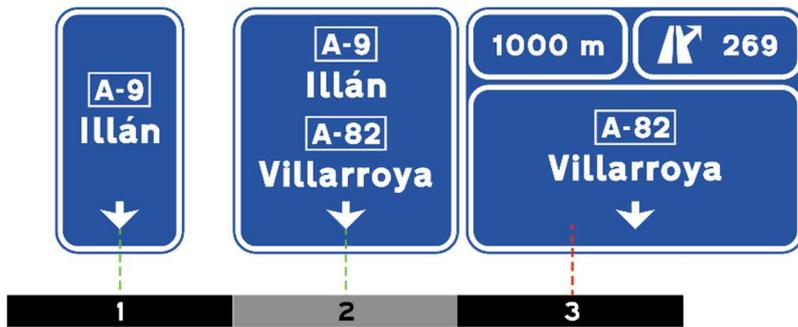


Fig. III-8. La suma de anchos entre el cartel central y el lateral con subcarteles de salida hace imposible que se ubiquen todas las flechas tipo “F” sobre el centro de los carriles. Carteles confeccionados según la 8.1-IC posicionados sobre tres carriles de 3,5 m, a escala, con Hb=400 mm, mínimo permitido en la norma [44:84]. *Elaboración propia*

También es posible que la decisión sea fruto del criterio de técnicos que consideraron el sistema previsto en la normativa como inadecuado y, con buena fe, deciden prescindir del mismo. Al fin y al cabo, la norma implica prácticas cuestionables como la eliminación de destinos o la sobrecarga de información en el conductor, y no sorprende que muchos profesionales prefieran omitir la opcionalidad o recurrir a métodos *de cosecha propia*, en ocasiones con peor fortuna que la norma que pretenden evitar.

En otros casos, ocurre lo contrario; quizás por confusión o por exceso de celo. En hasta cuatro ubicaciones diferentes encontramos carriles que no son bífidos señalizados como si lo fueran, duplicando, y por tanto indicando destinos que realmente no se pueden alcanzar por el carril en el que se circula; proporcionando otra fuente posible de maniobras erráticas.



Fig. III-9. Pórticos con duplicación de destinos incorrecta. Salidas 999 y 992, A-7 norte; salida 112, A-30 norte; salida 79, A-31 este. *Google Street View*

Ateniéndose a todas estas problemáticas, cabe preguntarse si no serán aquellas últimas líneas del subapartado 3.5.2.4 *Bifurcaciones* –más que una clarificación sobre flexibilidad– una excusa para evitar enfrentar a la norma con las contradicciones que supone emplearla en la práctica, dejando esa tarea al técnico.

Sea como fuere, resulta evidente que la normativa vigente no sólo supone complicaciones a los conductores, también a los profesionales que confeccionan las señales.

Desarrollo de un sistema experimental

Alcance

La primera cuestión que abarcar en el desarrollo de un sistema alternativo que evaluar para la señalización de carriles bífidos es el alcance del mismo.

En primer lugar, se ha elegido limitar el sistema a la confección de carteles para la señalización de carriles bífidos y no de divergencias de otro tipo. Este trabajo pretende superar las limitaciones del sistema actual en una situación específica concreta: los carriles bífidos, y por ello su alcance se limita a los mismos, como se había indicado en las secciones iniciales. Por ello, aunque podría ser provechoso el estudiar su uso en otras configuraciones de calzada donde la 8.1-IC no se desempeña tan mal, no se emprenderá dicha tarea, que además aumentaría sobremanera la complejidad de las evaluaciones.

Adicionalmente, el empleo de un sistema especial para los carriles bífidos tampoco parece desaconsejable; al fin y al cabo, son una disposición de calzada compleja y poco habitual, y el empleo de carteles especiales para las mismas puede inducir al conductor a prestar más atención.

El estudio de la señalización en vías con más carriles que tres se ha desechado para las evaluaciones funcionales por hacerlas menos comparables. Tres carriles es el ancho mínimo para emplazar un carril bífido. No obstante, no se ha establecido este límite para la evaluación económica por basarse en factores empíricos.

No se ha previsto tampoco la señalización simultánea de divergencias sucesivas, sean con carriles bífidos o convencionales, pues ello implicaría el emplazamiento de varias flechas bicéfalas en los carteles experimentales o su convivencia en un mismo pórtico con carteles convencionales. Así, sólo se contempla su uso en situaciones donde haya dos grupos de destinos que se separen en una misma divergencia, y no más allá. Aunque no resulta complicado encontrar maneras de incluir en un sistema alternativo tales señalizaciones (véase ejemplos reales en las Fig. III-10 y Fig. III-11), sin duda tal cosa requeriría evaluaciones independientes que sobrepasan las posibilidades de este trabajo final de grado.

Por otro lado, tampoco se señalizan actualmente esos casos en España con duplicación de destinos, sino asignándoles carriles independientes, y el estudio de un método alternativo para ello nos lleva al primer punto; como se indicaba, cambiar la manera de señalar en España *todas* las divergencias en general no es lo que pretende este trabajo.



Fig. III-10. A la izquierda, cartel diagramático indicando una divergencia múltiple; ejemplo ofrecido en el *Manual of Uniform Traffic Control Devices for Canada*. A la derecha, cartel diagramático preseñalizando dos salidas sucesivas; I-70 sentido este, salidas 418B y A, Texas, Estados Unidos. *Transportation Association of Canada; Google Street View*.



Fig. III-11. A la izquierda, cartel flecha por carril donde, con dos flechas bífidas, se indican sucesivas divergencias con carril bífido; I-15 sentido norte, salida 294 A-C, Utah, Estados Unidos. A la derecha, cartel basado en texto acompañando en el pórtico a otro flecha por carril, para indicar una salida próxima que se encuentra en la pata derecha de la divergencia. A15 sentido norte, salida 9, Países Bajos. *Google Street View, Google Street View*

Por qué flecha por carril

Si bien en este trabajo final de grado desde un inicio se decidió el empleo de carteles flecha por carril para el desarrollo del sistema experimental, esta postura no es arbitraria. Las reflexiones que motivaron la misma se exponen a continuación.

Empleo de soluciones con recursos de la 8.1-IC

Una primera aproximación que podría haberse considerado es el empleo de las herramientas que ya proporciona la norma 8.1-IC. Las soluciones *creativas* que se observaban anteriormente como ejemplo de incumplimientos normativos o la metodología propuesta en el borrador de 1991 salen a colación ante tal idea:



Fig. III-12. Versiones anormativas del pórtico correspondiente a la preseñalización a 500 metros de la salida 51 de la A-7, sentido sur, provista de carril bífido. *Elaboración propia*

En primer lugar, se ha rechazado la señalización mediante parejas de flechas tipo “f” tal y como se muestra en la Fig. III-12, arriba a la izquierda. Esta solución, que anormativamente se ha adoptado en carriles bífidos españoles, no sólo no aclara la función del carril que se bifurca sino que además supone el empleo de flechas usadas en el resto de situaciones para preseñalizar salidas sin carril dedicado, algo diametralmente opuesto a la configuración de una divergencia con carriles bífidos y también contrario al principio de uniformidad que la 8.1-IC establece. Por

otro lado, tampoco parece posible la señalización de carriles bífidos directos mediante este diseño, por lo que queda rápidamente descartado.

El empleo de carteles con más flechas tipo “F” que carriles, mostrado en la Fig. III-12, arriba a la derecha, pudiera parecer a priori más prometedor. El conductor español está más acostumbrado a guiarse por carteles flecha abajo y ubicar parejas de las mismas encima del carril bífido podría funcionar. No obstante, ya se constató en la revisión de literatura sobre el tema (véase la pág. 57) que aunque su desempeño es superior a otras tipologías, como los carteles diagramáticos, no lo ha sido ante carteles flecha por carril, más bien lo contrario, por lo que resultaría más relevante considerar estos últimos en su lugar [32, 69, 36 y 96]. Además, esta solución depende de la correcta colocación de las parejas de flechas encima del área central del carril bífido, y ya se han podido ver en páginas anteriores las dificultades que supone el seguimiento de la 8.1-IC para con la disposición de flechas en los centros de carril.

La opción del borrador de 1991 —en la Fig. III-12, abajo, a la izquierda con subcarteles incrustados y a la derecha adosados a la parte superior— también recurre a las familiares flechas “F” pero señalizando *a la danesa*, y también parece factible. Sin embargo, además de las razones desconocidas que llevaron al Ministerio a su abandono, estos diseños también quedaron malparados en la revisión de literatura [36].

Empleo de soluciones con recursos ajenos a la 8.1-IC

En primer término, se ha rechazado cualquier alternativa que no suponga el emplazamiento de carteles en pórticos sobre los carriles. Desde el abandono de los carteles croquis en el siglo pasado, en las vías de gran capacidad el conductor español está acostumbrado a guiarse hacia los carriles correspondientes a su destino mediante carteles con flechas sobre los mismos, no mediante carteles laterales.

Aunque las señales laterales S-63 tengan un uso muy extendido, éstas se limitan a indicar los movimientos de los carriles y no a informar sobre los destinos; trasladar la información de orientación exclusivamente a carteles laterales no sólo rompería con el principio de uniformidad de la norma sino que también defraudaría las expectativas de los conductores. Por ello, pese a las virtudes de los carteles laterales al estilo británico, se prescinde de los mismos en la definición del sistema propuesto, no negando su posible utilidad como complemento a otras señalizaciones que sí usen pórticos.

Continuando con soluciones al estilo británico, tampoco se considera el empleo de carteles apilados en los pórticos. Aun considerando sus ventajas, esta metodología induce conjuntos de carteles mucho más altos y apoyados unos sobre otros, lo cual requiere el empleo de estructuras de soporte mucho más robustas que las empleadas habitualmente en las carreteras españolas. Debe por otro lado repararse también en la profusión de destinos que suelen señalar los carteles de nuestro país y en la altura adicional que suponen los subcarteles superiores correspondientes a la salida, los cuales induce habitualmente al dimensionado de carteles mucho más altos que los británicos (véase la Fig. III-13). Además, se suman a los inconvenientes la ausencia de señalización similar que facilite la comprensión y la difícil integración de esos subcarteles superiores en el conjunto sin hacerlo confuso.

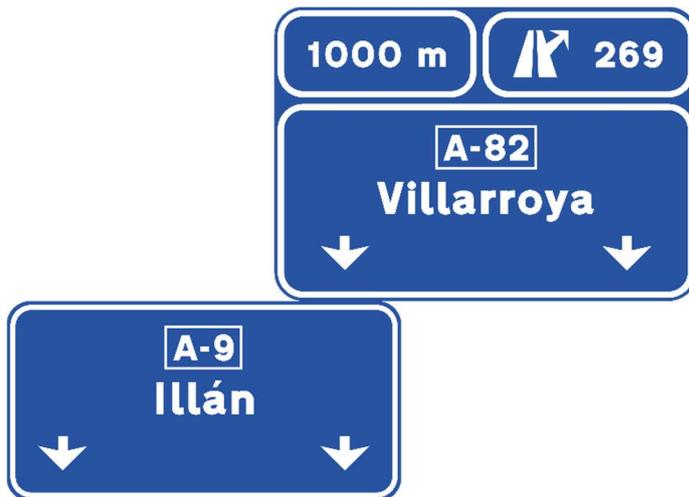


Fig. III-13. Versión *británica* de los carteles de la Fig. III-2 (en la página 71) para indicar el carril bífido. La altura del conjunto es de 6,475 metros. Resulta complicado imaginar maneras con las que hacer factible su construcción con los esbeltos soportes de los pórticos españoles, muy distintos a las contundentes estructuras empleadas en el Reino Unido (véase la Fig. II-20, en la página 33). Carteles confeccionados según la 8.1-IC posicionados sobre tres carriles de 3,5 m, a escala, con Hb=400 mm, mínimo permitido en la norma [44:84]. *Elaboración propia*

Restan entonces dos tipologías: los carteles diagramáticos y los flecha por carril.

Ambas comparten numerosas ventajas respecto a las demás alternativas. Por un lado, la diferencia que suponen respecto al resto de carteles de la 8.1-IC puede servir para acentuar la atención ante una configuración compleja, por otro, las similitudes que presentan con la señalización vigente facilitan su comprensión. No obstante, también comparten el inconveniente de requerir el empleo de carteles de gran tamaño que suponen pesos y cargas de viento considerables.

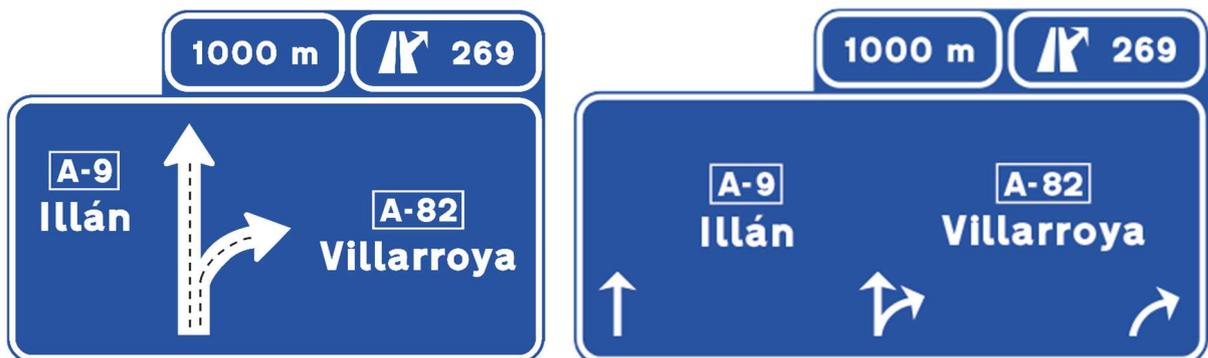


Fig. III-14. Versiones diagramática y flecha por carril de los carteles de la Fig. III-2 (en la página 71) para indicar un carril bífido directo. La flecha del cartel diagramático ha sido tomada de señalización canadiense. *Elaboración propia*

De entre estas tipologías, la flecha por carril es la que tiene un mejor desempeño según el consenso en la literatura hasta la fecha, como se constató en la revisión del estado del arte.³⁶ También es la más coherente para con la 8.1-IC vigente, ofreciendo diseños con flechas sobre

³⁶ Las publicaciones que así lo atestiguan son [33, 110, 106, 32, 69, 36, 67, 61, 64, 96, 73, 75, 27 y 89].

cada carril y esquemas similares a las señales S-63, y encuentra numerosos paralelos en el otros países del continente, circunstancias que no ocurren con las diagramáticas.

Por ello, los carteles flecha por carril han sido los seleccionados.

Consideraciones para la confección de los carteles

Tamaño

En los países donde se han implementado, la principal crítica a los carteles flecha por carril radica en su tamaño. Las flechas propias de esta tipología son mayores que las habituales e inducen carteles más altos y costosos.



Fig. III-15. La diferencia de tamaño entre el autobús escolar y el cartel ilustra cómo el diseño de las señales flecha por carril puede resultar en carteles muy grandes. I-278 este, salida 35 A-B, Nueva York, EE UU. *Google Street View*

Esto no se limita a los carteles en sí. El incremento de la superficie del cartel no sólo supone un incremento en coste de materiales, también en el peso y la carga de viento. Ello puede traducirse en requerir soportes especiales más robustos y mucho más costosos que los que se podrían utilizar con otras alternativas.



Fig. III-16. En las señales flecha por carril más grandes, el peso propio y la carga de viento pueden convertirse en acciones importantes, requiriendo pórticos mucho más robustos. Nótese también los apoyos adicionales, apuntalando diagonalmente el cartel por detrás. Salida 53 de la I-90, sentido este, Nueva York, EE UU. *Google Street View*

Salte a colación de estas cuestiones un informe publicado por la FHWA estadounidense en 2014, elaborado tras entrevistar a numerosos profesionales del sector acerca de la señalización de nudos complejos. Muchos de los entrevistados consideraron la altura de flecha mínima entonces

establecida en el MUTCD para los carteles flecha por carril, 6 pies (1,83 m), como problemática por suponer carteles demasiado altos y con elevados costes de instalación [76].

Esta cuestión volvió a tratarse en los EE. UU. en 2020, cuando el National Committee on Uniform Traffic Control Devices elaboró un listado de modificaciones recomendadas para la nueva edición del MUTCD [92]. Según el NCUTCD, el uso de carteles flecha por carril de acuerdo al estándar estadounidense supone incrementos de coste de hasta medio millón de dólares respecto a otros tipos de señalización.

Apoyándose en investigaciones al respecto [121],³⁷ el NCUTCD recomendó reducir las dimensiones de las flechas de 66 pulgadas (1,68 m) a 42 (1,07 m), afirmando que las flechas reducidas habían sido usadas en algunos estados con un notable ahorro de costes y legibilidad satisfactoria [92:30].

A vista de estas consideraciones, el sistema alternativo que se proponga no deberá caer en tamaños de cartel excesivos, especialmente por ser ese un problema ya presente en la solución de duplicado de destinos establecida en la 8.1-IC vigente.

La opción de elegir carteles parciales al estilo de Ontario que tanto se ha ensayado en los Estados Unidos para atajar los tamaños excesivos de los carteles flecha por carril se ha rechazado por varios motivos. Por un lado, el emplazamiento de los destinos es completamente opuesto a la práctica señalética habitual en España (véase la Fig. II-52, en la página 48) y lograr la familiarización de los conductores españoles con el mismo siendo un sistema limitado a los carriles bífidos se antoja imposible. Por el otro, esta tipología ha demostrado repetidamente su inferioridad respecto a los carteles flecha por carril completos [108, 122 y 27].

En su lugar, se buscará una orientación más cercana a los carteles flecha por carril europeos, con flechas de menor tamaño y un uso más racional del espacio para no omitir ninguna información al conductor, pero sin terminar en los descomunales carteles estadounidenses.

En primer término, se ha determinado en 86 cm la altura máxima para las futuras flechas del sistema alternativo, limitándose al doble de altura que las flechas F-1, 43 cm, y no suponiendo más espacio añadido al cartel que el que se dedica a una línea de texto.

Por otro lado, como el sistema actual induce carteles con mucha mayor altura debido al duplicado de destinos en el central, ofrecer una alternativa donde esa duplicación no se practique resultará previsiblemente en la mayoría de los casos en carteles de menor altura.

A ello se añade el requisito de la 8.1-IC por igualar la altura de todos los carteles en un mismo pórtico, lo cual provoca que también los carteles que acompañan al que duplica destinos deban tener su altura, aunque ello suponga simplemente espacio vacío.

Respecto al ancho, debe considerarse también que los carteles estadounidenses suelen señalar carreteras más anchas que las españolas. Mientras los 6 carriles por sentido en las calzadas de la AP-7 por el Papiol son una excepción de récord,³⁸ en las sobredimensionadas

³⁷ Tratada en la revisión del estado del arte, en la página 61.

³⁸ De hecho, la norma 3.1-IC *Trazado* prohíbe expresamente las calzadas de más de cuatro carriles básicos [56:75].

autopistas norteamericanas los tramos con esos anchos son habituales, por lo que puede entenderse la búsqueda de métodos alternativos como los adoptados en Ontario.

De nuevo, también el sistema actual supone en principio conjuntos de carteles más anchos que si se emplearan carteles flecha por carril debido al añadido del cartel central donde se duplican los destinos, como puede apreciarse en la Fig. III-8, en la página 76.

Con todo, esta ventaja presupuesta en cuanto a tamaño de los carteles flecha por carril deberá confirmarse con una evaluación rigurosa.

Diseño

El diseño de los carteles experimentales para carriles bífidos deberá ser, en la medida de lo posible, coherente y uniforme con el resto de carteles de la 8.1-IC para garantizar la comprensión por parte de los conductores, siguiendo los principios de claridad, sencillez y uniformidad.

Por ello, más allá del uso de flechas bicéfalas hacia arriba y la distribución de los grupos de destinos en un solo cartel, no se proponen otras modificaciones a lo establecido por la 8.1-IC.

Se rechaza así el ubicar cajetines o destinos en el espacio vacío entre flechas como sí se hace en numerosos países europeos por minimizar la superficie de los carteles, pues esas otras naciones recurren a esta práctica en el conjunto de su señalización y resulta habitual a sus conductores.

Se ha considerado seriamente la separación de los grupos de destinos con una línea vertical en la frontera virtual entre grupos de destinos. Dicho elemento podría facilitar la comprensión de los carteles al establecer una división física entre los grupos de destinos directamente sobre la flecha que indica la divergencia, y es empleado en alguno de los países que utilizan carteles flecha por carril. Finalmente, se ha decidido prescindir de la misma por añadir complejidad a los carteles, no desmereciendo su posible papel para futuras mejoras y estudios.

En cuanto al emplazamiento de los subcarteles superiores correspondientes a número y distancia de salida, se ha elegido romper con la horizontalidad que la 8.1-IC prescribe a la parte superior de los carteles y adosarlos *por fuera*.

Tal decisión responde a dos motivos: el primero, que adosarlos por dentro como se hacía en el borrador de 1991 supone el añadido de espacio vacío a la parte del cartel correspondiente a la dirección propia; el segundo, que su emplazamiento exterior los hace más visibles, y como acertadísimo elemento de alta identificabilidad de nuestra señalización, hacerlos más perceptibles al conductor se considera especialmente deseable.

No se ha obviado la necesidad de soportes adicionales a las lamas que ello supone, pero existiendo como hay ejemplos –anormativos– de subcarteles adosados en las carreteras españolas, tal práctica se demuestra técnicamente factible sin especial dificultad como ya lo lleva siendo el adosado de los cajetines europeos desde el 2014.

Finalmente, también se ha decidido romper con la simetría que la 8.1-IC exige para ahorrar materiales. Se establece, por tanto, el dimensionado independiente de cada una de las divisiones del cartel sin el añadido de espacio vacío a la menor. Si bien las señales simétricas pueden resultar más estéticas, no se considera que añadir espacio vacío para igualar anchos a ambos

lados vaya a mejorar el funcionamiento de los carteles y sí supone un incremento de superficie y por tanto de peso propio y carga de viento.

Desarrollo de nuevas flechas

Las nuevas flechas a emplear no sólo deben ser legibles, comprensibles y de tamaño moderado, sino que también deben ser coherentes con el resto de la señalización.

La opción de emplear las flechas propias de los carteles S-63, si bien podría argumentarse como del lado de la uniformidad, fue rápidamente rechazada por la pequeñez de sus cabezas, difíciles de distinguir a distancia, además de sus evidentes diferencias para con las flechas empleadas habitualmente en los pórticos, las tipo “f” y “F”.

Se decidió por otro lado prescindir de diseños extranjeros ya existentes por no proporcionar suficiente uniformidad para con el resto de la 8.1-IC.

Así, se emprendió la tarea de desarrollar unas flechas propias que pudieran ser interpretadas sin dificultad como parte de la señalización viaria española. Para ello, se decidió emplear como punto de partida una versión reducida de las flechas que habitualmente guían al conductor asignado carriles en los pórticos, las tipo “F”, con su tronco alargado.

La idea inicial era elaborar dos conjuntos de flechas distintos según la inmediatez de la escisión de los carriles, transmitiendo de manera sutil al conductor su proximidad. Finalmente se prefirió trazar sólo un conjunto por el potencial que tendría la variación entre flechas de modificar los resultados en las evaluaciones y por tanto distorsionar la comparación entre carteles flecha por carril y la 8.1-IC vigente.

Para el trazado de las correspondientes a trayectorias rectilíneas, el tronco se mantendría vertical; en cuanto a las divergentes, se estudiaron seis alternativas.

Las mismas fueron trazadas mediante el *software* Adobe Illustrator a tamaño real.

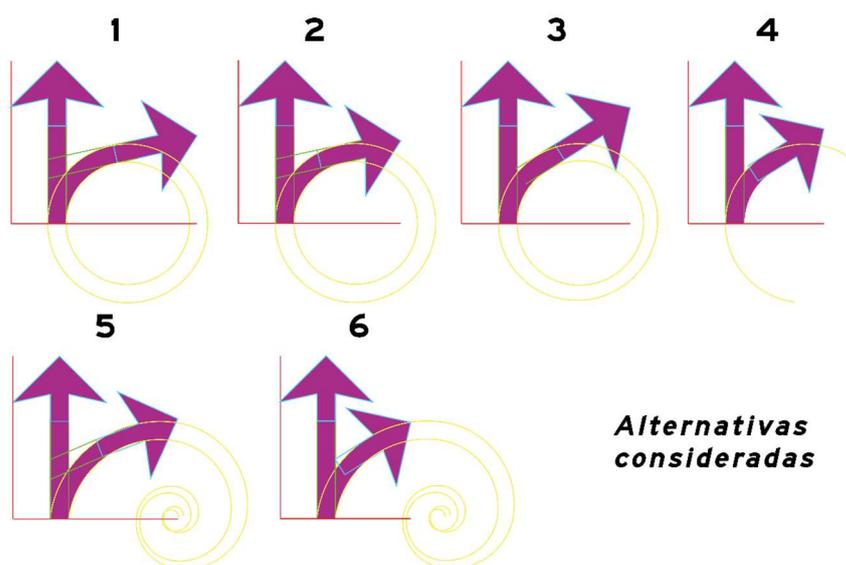


Fig. III-17. Los seis diseños considerados. *Elaboración propia*

Las alternativas 1 a 4 emplean las mismas curvas circulares, mientras que el 5 y el 6 utilizan curvas espirales variables. Se partió de tres alternativas iniciales, 1, 3 y 5; de las cuales se desarrollaron las respectivas versiones *compactas* acortando el tronco de la flecha divergente:

- Se trató de maximizar la visibilidad en 1 y 2, usando ángulos abiertos para mantener separadas las cabezas de las flechas de modo que se distinguieran con facilidad, basando la curvatura en la orientación vertical de la arista inferior de la cabeza de la flecha divergente.
- Para 3 y 4, se eligió una aproximación más geométrica tratando de maximizar la comprensibilidad por parte de los conductores, emplazando los troncos de la flecha divergente casi en diagonal respecto a los de la rectilínea.
- Para 5 y 6 se siguió la misma filosofía que para 3 y 4, pero rotando las cabezas de flecha acordemente a la curvatura en espiral para una apariencia algo más estilizada que la opción circular.

Los diferentes argumentos técnicos y estéticos que justifican cada una de las opciones hicieron complicado el decantarse por una en concreto, por lo que se consultaron las preferencias entre las opciones en personas del entorno académico inmediato del autor, resultando ganadora la alternativa 5.

Por otro lado, también resultaba de interés el considerar el acortamiento de las flechas rectilíneas interiores, como se hace en numerosos países europeos con carteles flecha arriba y flecha por carril para permitir emplear en la señalización de destinos el espacio liberado:



Fig. III-18. Obsérvese la flecha abreviada en el cartel flecha arriba de la izquierda, permitiendo que hasta dos destinos puedan ubicarse entre las flechas exteriores. Salida 10 de la A4, sentido norte, Países Bajos. *Google Street View*

Tal práctica permitiría minimizar todavía más la altura de los carteles y por ello era considerada positivamente por el autor, pero podría resultar confusa a los conductores españoles, poco familiarizados con la misma.

Buscando desembarazarse del sesgo personal, se emprendió una consulta pública informal para su elección, evaluando tres alternativas: A, flechas de altura completa; B, flechas F-1 invertidas a tamaño normal; y C, flechas F-1 invertidas y reducidas acordemente con las de altura completa.

Se compararon las tres versiones empleándolas para la versión flecha por carril de un cartel real de la autopista mallorquina Ma-20, el correspondiente a la salida 3B sentido aeropuerto, que dispone de un carril bífido directo. Los carteles representados eran bocetos sencillos realizados rápidamente de manera completamente anormativa y sin considerar espaciados o dimensiones.

Alternativa A



Alternativa B



Alternativa C



Fig. III-19. Las tres alternativas comparadas. *Elaboración propia*

La consulta se desarrolló el día 26 de junio de 2023 mediante una encuesta en el perfil de Twitter del autor, abierta durante 24 horas a cualquier usuario de dicha red social [78].

Los resultados, tras la participación de 42 personas, dieron una mayoría aplastante a la alternativa A –flechas de altura completa– con el 83,3 % de los votos; seguida de la alternativa B con el 14,3 % de los votos y la C con el 2,4 %.

En consecuencia, se estableció una única altura a las flechas rectilíneas y se comenzó con la elaboración del conjunto de flechas definitivo.

Las versiones preliminares de las diferentes figuras se dibujaron desde la descomposición de la flecha bicéfala ganadora, y tras algunos ajustes menores, se trazaron sus diseños definitivos con el *software* AutoCAD a tamaño real, acotándolos para su completa definición. Pueden consultarse sus dimensiones acotadas en el anejo 2.

Se decidió bautizar el conjunto acordemente con la codificación de la 8.1-IC como *flechas tipo* “G”, en mayúsculas por asignar destinos a carriles concretos.

Flechas tipo "G"					
G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6
					
Carteles sobre la calzada para señalización y preseñalización de divergencias con carriles bífidos					
Destinos por carril no bífido; dirección rectilínea	Destinos por carril bífido; dirección rectilínea y divergente por la derecha	Destinos por carril bífido; dirección rectilínea y divergente por la izquierda	Destinos por carril no bífido; dirección divergente por la derecha	Destinos por carril no bífido; dirección divergente por la izquierda	Destinos por carril bífido; dirección divergente por la derecha e izquierda

Tabla III-1. Flechas tipo "G". *Elaboración propia*

Concreción

El sistema definitivo para la señalización de carriles bífidos con carteles flecha por carril que se ha empleado para desarrollar los carteles experimentales queda entonces definido por los siguientes principios:

- Se empleará un único cartel flecha por carril para cada señalización de divergencias con carriles bífidos. No se emplearán carteles flecha por carril en ningún otro caso.
- No se realizarán pórticos donde convivan carteles flecha por carril con los convencionales.
- Las flechas a emplear serán las desarrolladas específicamente para estos carteles (tipo "G"), con las mismas separaciones con orlas y textos que las previstas para las flechas ya existentes en normativa, de manera que indiquen los movimientos correspondientes a cada carril.
- Para la señalización de salidas o bifurcaciones con carriles bífidos directos se emplearán preferentemente las flechas que mejor reflejen las direcciones a seguir por los conductores que circulen por el carril bífido. Así, si una de las direcciones no requiere un cambio de trayectoria, se señalarán con flechas G-1, G-2 y G-3 sus carriles y con G-4 y G-5 los que sí; y si ambas direcciones lo requirieran, con flechas G-4, G-5 y G-6. Se podrá ignorar este criterio si ello pudiera facilitar al conductor la comprensión de la geometría de la divergencia, como, por ejemplo, ante salidas a izquierdas. En ningún caso se emplearán flechas G-1 para carriles de salida.
- Se dispondrán las flechas tal que su centro geométrico se ubique encima del centro del carril que señalizan y sus bases estén alineadas.
- Sobre las flechas bicéfalas que señalicen los carriles bífidos se establecerá una frontera virtual que divida el cartel verticalmente, estableciendo una parte independiente para cada rama de la divergencia. La frontera virtual debe emplazarse de manera que no atraviese ninguna cabeza de flecha. Las separaciones a mantener con esta frontera virtual serán, como mínimo, iguales a la altura básica H_b , en cada uno de los lados.

- Si los tipos de carretera requirieran carteles de colores diferentes entre divergencias, el cambio de color se realizará según la separación de dicha frontera virtual. También cambiarán de color las partes correspondientes de flechas y orlas.
- Se dimensionarán los carteles de acuerdo o a la posición de las flechas sobre los carriles o al contenido de cada una de las divisiones del cartel a ambos lados de su frontera virtual, eligiéndose aquello más condicionante. No será necesario que las divisiones del cartel sean de anchos idénticos.
- Los subcarteles superiores que indican número y distancia de salida se adosarán a la parte superior del cartel flecha por carril, ubicándose en el lado correspondiente a la salida que señalizan. Estos subcarteles se dimensionarán de manera independiente, teniendo como mínimo el mismo ancho que la división del cartel a la que corresponden, pudiendo atravesar la frontera virtual establecida anteriormente.
- En ningún caso se asignarán más de dos grupos de destinos en un mismo cartel.
- El resto de aspectos seguirán los postulados de la 8.1-IC.
- Si se imita un cartel real, se imitará en todos los aspectos de su contenido, incluyendo posibles incorrecciones normativas.

IV. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Se han realizado tres evaluaciones a la propuesta, en base a los criterios funcional, social y económico.

Evaluaciones sociofuncionales

En un primer momento, se consideró que para el análisis multicriterio pretendido sería suficiente con la realización de únicamente dos evaluaciones a la propuesta: una sociofuncional y otra económica, tratando de realizar la sociofuncional evaluando la elección correcta de carriles. Ante la imposibilidad de emplear un simulador de conducción, se optó por la realización de un experimento con control temporal preferentemente y, si por dificultad o calendario no fuera posible, sustituirlo por una encuesta sin control temporal.

La consulta inicial de la literatura en la materia fue la que motivó la preferencia por un experimento con control temporal. Como Chrysler *et al.* bien explican:

Habitualmente se observa una dicotomía entre tiempo de exposición y precisión en los experimentos sobre desempeño de señales verticales: si se permite a los sujetos controlar el tiempo que disponen para interpretar las señales, generalmente proporcionarán respuestas muy precisas, y en esos casos la medida de efectividad suele ser cuánto tiempo necesitan los sujetos para entender la señal. La alternativa para el investigador es controlar el tiempo de exposición de los estímulos y examinar cuántos errores se han cometido, con la premisa de que, bajo presión temporal, las señales menos eficaces inducirán más errores. En ese caso, la dificultad para el investigador es encontrar ese tiempo de exposición: demasiado largo y todos los sujetos responderán correctamente; demasiado corto y ninguna señal podrá interpretarse.

La precisión suele ser la medida de efectividad en muchas encuestas basadas en papel; sin embargo, el tiempo de visualización que cada sujeto emplea en interpretar las señales no suele registrarse, y se ofrece libertad a los mismos para navegar por las encuestas. Así, el tiempo no es ni controlado ni medido, lo cual deja bajo entredicho la eficacia de la señal: ¿las respuestas a una señal son más correctas porque es una señal mejor que su alternativa o porque fue observada durante más tiempo? [36, traducción propia]

No obstante, en la preparación del experimento, también pronto surgió una reflexión acerca de esta aproximación al problema: si bien los experimentos con control temporal pueden suponer una evaluación eficaz de aspectos concretos y objetivos como la elección de carriles desde un destino asignado, no es así en cuanto a la configuración de la calzada señalizada.

Cuando el conductor elige un carril en el experimento de acuerdo a un sistema u otro, ¿sabe qué le va a ocurrir al mismo más allá de que conduce al destino señalizado? Determinar si un cartel transmite correctamente al conductor la idea de que un carril da acceso a la salida directamente o mediante una bifurcación también es muy importante. ¿Y si el conductor elige carril correctamente pero cree que el cartel señala algo completamente incorrecto? Muy pocos estudios en la materia han considerado este aspecto, y sin embargo es la configuración especial de la calzada la que supone confusiones a los conductores y motiva el uso de señalización

específica en primer lugar; elaborar carteles que se entienden perfectamente pero que no evitan la confusión del conductor ante los carriles bífidos sería un ejercicio fútil.

Por la dificultad que supone comprobar tales cuestiones con limitaciones de tiempo, se decidió finalmente realizar dos evaluaciones sociofuncionales: el experimento con control temporal para evaluar elección correcta de carril y encuestas sin control temporal para evaluar la comprensión de las divergencias. Por otro lado, la facilidad de difusión de la encuesta permitiría evaluar a más personas que con el experimento.

Se esperó a haber comenzado la realización de experimentos para recoger *feedback* de los sujetos que permitiera hacer encuestas con preguntas más relevantes, y tal decisión pronto se demostró como acertada. Numerosos participantes manifestaron dudas al responsable acerca del significado o interpretación de algunas señales durante el desarrollo de los experimentos, las cuales permitieron dirigir la encuesta hacia las cuestiones de mayor enjundia en cuanto a comprensión.

Así, quedaron atendidas las consideraciones acerca del control temporal al evaluar precisión en la elección de carriles con experimentos donde el tiempo sí se registra a la vez que se permitió evaluar la correcta interpretación de las divergencias con las encuestas.

Experimentos con control temporal

Perfil de los sujetos

Un total de 34 sujetos realizaron el experimento. 36 personas aceptaron participar en el mismo, pero 2 de ellas tuvieron que abandonarlo antes de su consecución debido a la velocidad de los estímulos.

Se reclutó entre el 25 de julio y el 12 de agosto de 2023 a los participantes de entre voluntarios reclutados en las localidades de Tavernes de la Valligna, Gandia, València, Llocnou de Sant Jeroni y Bèlgida, en la provincia de València; y en Palma (Illes Balears), excluyendo a aquéllos no poseedores de un permiso de conducción vigente.

Se trató de maximizar el número de más de 65 años³⁹ o con dificultades en la lectura, pero no fue posible reunir más que un 20,59 % y un 2,78 % respecto al total, respectivamente.

Las características de los participantes pueden consultarse a continuación:

³⁹ Se eligió esta cifra por ser a partir de la cual, en España, debe renovarse el permiso de conducción cada cinco años, según lo estipulado en la legislación vigente [4].

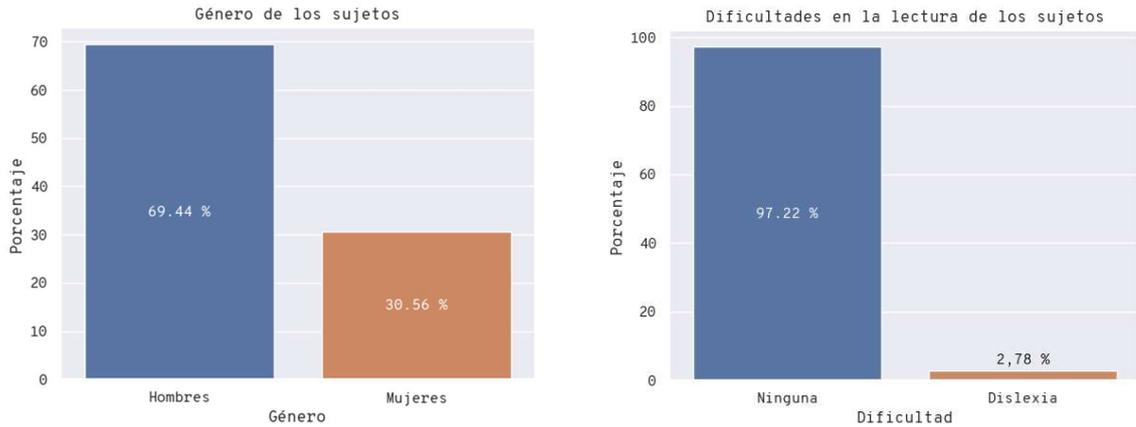


Fig. IV-1. Experimento con control temporal: distribución de sujetos según género y dificultades en la lectura. *Elaboración propia*

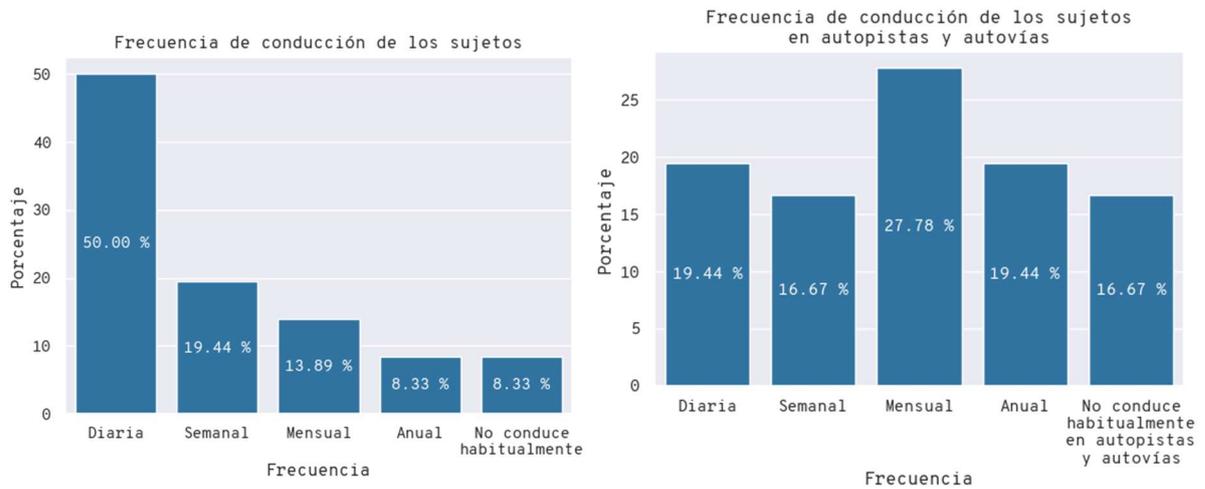


Fig. IV-2. Experimento con control temporal: frecuencias de conducción de los sujetos en general y en vías de gran capacidad. *Elaboración propia*

Estadísticas descriptivas					
Factor	<i>M</i>	<i>SD</i>	Intervalo de confianza (95 %)	Mín	Máx
Edad	50,50	21,30	(43,54 – 57,46)	21	89
Antigüedad del permiso de conducción	30.69	21.79	(23,58 – 37.81)	0	69

Tabla IV-1. Experimento con control temporal: estadísticas descriptivas de las dos variables continuas recopiladas acerca de los participantes: edad y antigüedad de su permiso de conducción. *M*: media, *SD*: desviación típica, Mín: valor mínimo, Máx: valor máximo. *Elaboración propia*

Métodos

Procedimiento de la evaluación

La evaluación se realizó mediante un programa informático desarrollado expresamente, escrito en Python 3.8.10 con la ayuda del paquete PsychoPy [94]. Se eligió esta metodología por permitir un registro muy preciso en cuanto a tiempos de reacción de las respuestas de los sujetos. Este programa fue ejecutado *in situ* para el desarrollo de cada sesión del experimento en

un ordenador portátil Toshiba P850-31M (procesador Intel Core i7-3630QM 2,4 GHz, tarjeta gráfica Nvidia GT 630M 2GB).

En primer lugar, se solicitaba al participante rellenar un formulario alojado en el servicio Google Forms donde se requería información básica acerca de demografía y hábitos de conducción para hacer posible el posterior enfoque social de los resultados. El formulario se diseñó para garantizar el anonimato y la confidencialidad de las respuestas, incluyendo además un número mínimo de datos personales. Puede consultarse el formulario presentado en el anejo 5.

Como parte del cuestionario, y siempre tras el consentimiento informado del participante para recabar sus respuestas y participar en el experimento,⁴⁰ el responsable del mismo asignaba un número al sujeto, que permitiría aparejar los datos del formulario con la sesión de experimentación.

En ese momento, el responsable ejecutaba el programa del experimento, introduciendo el número de sujeto asignado previamente, lo cual daba inicio a una pantalla de bienvenida. Era entonces cuando el responsable explicaba pormenorizadamente a los sujetos el funcionamiento del experimento —como puede consultarse en el anejo 4—, hacía hincapié en la importancia de tratar de evitar los cambios de carril innecesarios durante el experimento y daba paso a una primera fase de prueba con tres imágenes de carteles, la cual no era evaluada y permitía a los participantes habituarse a los controles vía teclado que deberían efectuar durante el experimento. Si el sujeto superaba la fase de prueba y se veía preparado para participar, se reiteraba la necesidad de minimizar los cambios de carril y se comenzaba el experimento.

El funcionamiento del experimento era cíclico, con tres fases sucesivas: dos de estímulo (destino y señales) y una de respuesta (elección de carril vía teclado).

Primero, se mostraba al sujeto un destino aleatorio al cual tendría que dirigirse durante la iteración en curso, acompañado de un recordatorio acerca del requisito de cambios de carril. Este destino asignado se mantenía en pantalla hasta que el participante consideraba que había tenido suficiente tiempo para interpretarlo, momento en el cual pulsaba la barra espaciadora para pasar a una imagen de señalización como la que se emplazaría en un pórtico. Estos carteles, simplemente proyectados sobre un fondo gris sin contexto, se mostraban durante exactamente 2,5 segundos. En ese periodo, los sujetos debían identificar, de acuerdo con los carteles, el carril o carriles que dieran acceso al destino asignado. Tras los 2,5 segundos, la pantalla volvía a cambiar para mostrar un gráfico simple representando una calzada de autovía de tres carriles, con un único coche rojo ubicado en uno de los mismos. La tarea de los participantes en esta fase consistía en ubicar el coche en el carril que consideraran como más adecuado para el destino asignado, empleando las flechas del teclado para mover el vehículo a derecha e izquierda entre las tres posibles posiciones. Una vez elegido el carril, el sujeto confirmaba su elección con la barra espaciadora y el ciclo volvía a comenzar, asignándose un

⁴⁰ Pueden consultarse los documentos acerca de privacidad y tratamiento de datos y las indicaciones previas a la aceptación ofrecidas a los sujetos en los anejos 3 y 4 respectivamente. Se respondieron dudas y ofrecieron explicaciones más detalladas que las de los anejos a las personas que las solicitaron.

destino diferente de manera aleatoria. Todas las pulsaciones de teclas de la fase de elección de carriles se registraban en un archivo .csv, identificando tecla y tiempo de respuesta.

Pueden consultarse capturas de pantalla de las diferentes partes del experimento en el anejo 5.

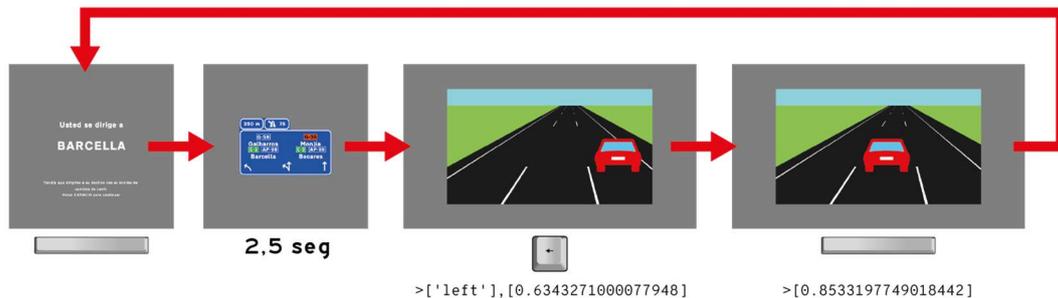


Fig. IV-3. Flujo seguido durante el experimento, mostrando las teclas oprimidas para el avance y el registro de las mismas y sus tiempos. Se ha recortado espacio vacío de las imágenes de la izquierda. *Elaboración propia*

Debe recalcar la completa aleatoriedad en cuanto al orden de los destinos –y por tanto también el de los carteles asociados a los mismos– para que ninguna tipología de carteles se viera beneficiada y también para distribuir equitativamente el previsible efecto del aprendizaje en los sujetos.

Aunque es una práctica que sí se ha realizado en algunas investigaciones en la materia, se decidió no dar ninguna indicación a los sujetos acerca de la presencia de señales experimentales, su funcionamiento o cómo interpretarlas. Así, la autoexplicatividad de las señales también influyó en las evaluaciones, como ocurre en la realidad: nadie explica al conductor el significado de una señal nueva cuando se instala, éste debe interpretarla según su propio criterio. Sí se exhortó en la explicación previa al experimento a los participantes a, ante la duda o la confusión, responder según su propio criterio.

Se eligió la cifra arbitraria de 2,5 segundos de exposición de los carteles tras algunas pruebas preliminares, por determinarse como suficiente para que la mayoría de futuros sujetos pudiera interpretar las señales pero a la vez suficientemente breve como para que el diseño de los carteles se traduzca en desempeño. Por otro lado, en la fase de prueba, el tiempo de exposición era de 3 segundos para facilitar al participante su familiarización con el proceso.

Entre todas las diferentes partes, se emplazaron unos breves intervalos vacíos de 500 ms, únicamente con el fondo gris utilizado durante el experimento, para ofrecer a los sujetos algo de tiempo de reacción entre las partes del experimento.

Todo el texto de la interfaz del experimento fue escrito con el alfabeto *Carretera Convencional* (CCRIGE), la empleada en toda la señalización vertical española, para predisponer al participante al procesado más rápido de sus caracteres sin ofrecer ventaja a ningún destino en particular.

Los destinos asignados, no obstante, se presentaban en mayúsculas. Ello se debe a que según [66], el uso de minúsculas facilita la lectura de palabras ya conocidas porque se pueden

identificar por su forma general y por tanto podría suponer una ventaja en la percepción del destino asignado que sí se conoce previamente al contraponerlo con los destinos recién descubiertos en cada uno de los carteles. Ello no ocurre con las mayúsculas, según el mismo estudio. Si bien el empleo de minúsculas en los destinos de las imágenes es generalizado debido al seguimiento de la normativa, presentar los destinos asignados en mayúsculas puede minimizar el efecto de la identificación geométrica.

Carteles experimentales empleados

Para esta evaluación con control de tiempo, se prepararon 12 configuraciones con carriles bífidos a señalar, directos e indirectos. Para cada una de éstas se confeccionaron parejas de imágenes de señalización, de modo que en todas hubiera una imagen con carteles *ortodoxos* –duplicando destinos u omitiendo la opcionalidad, los carteles *tipo A*– y otra con flecha por carril –los *tipo B*–. Así, se obtuvieron 24 ilustraciones de conjuntos de carteles para la realización del experimento. Todos los carteles se emplean una única vez, y dada la aleatoriedad de los destinos, se garantiza que ninguna de las dos tipologías se presente de manera ventajosa respecto a la otra.

Se trató de cubrir el mayor número de situaciones para hacer la evaluación más completa:

Configuraciones con carriles bífidos representadas												
Variante evaluada	Configuración											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DP = DP												
DP → B	x						x					
B = B					x	x		x	x			
S → B		x	x							x	x	x
S = S				x								
Preseñalización de salida	x	x		x	x	x			x		x	x
Salida inmediata			x				x	x		x		
Carril bífido directo			x		x		x				x	x
Carril bífido indirecto	x	x		x		x		x	x	x		
Salida a izquierdas						x		x			x	
Mínimo de destinos	x							x	x			
Exceso de destinos		x										
Destino huérfano ⁴¹				x								
Destino abreviado con pictogramas					x							x
Destino abreviado con cajetines									x			
Destino secundario omitido							x					
Destino primario omitido						x						
Carteles bicolores			x				x	x				

Tabla IV-2. Experimento con control temporal: configuraciones de carteles con sus características. DP: carril de dirección propia; B: carril bífido; S: carril de salida. *Elaboración propia*

⁴¹ Las características «huérfano», «abreviado» u «omitido» siempre se refieren a destinos que fueron asignados a los sujetos durante la evaluación; hay más destinos abreviados u omitidos en los carteles que no se asignaron a los participantes.

Pueden consultarse todos los carteles empleados en el experimento en el anejo 6.

Por otro lado, se añadieron tres carteles para la fase de prueba, ajenos a las configuraciones de carriles bífidos mencionadas, sumando un total de 27 imágenes de carteles que se muestran a los sujetos.

Muchos de estos carteles fueron elaborados basándose en pórticos reales instalados en las carreteras españolas para señalar carriles bífidos, identificados durante la fase de inventario. Así, se imitó o sirvieron de inspiración la ubicación y número de destinos, cajetines y recuadros. Ello no sólo los hace lo más similares posible a lo que podría encontrar un conductor en su circulación habitual, sino que también permite probar la eficacia del sistema señalizando situaciones reales y complejas. Como es posible que alguno de estos carteles contenga incorrecciones normativas, los carteles experimentales hechos a partir de los reales también las pueden contener, para permitir la evaluación incluso ante *casos extremos* que no deberían ser permitidos. Ello ocurre especialmente con el máximo de cuatro líneas de la 8.1-IC. Todos aquellos carteles que se basaron o imitaron ejemplos reales están debidamente identificados en el anejo 6.

Por otro lado, debe destacarse que entre las imágenes de carteles se encuentran algunos destinados a señalización de salida inmediata. El uso de señalización no convencional –sea por duplicar destinos o por emplearse el sistema experimental– no parece aconsejable⁴² en la mayoría de esos casos respecto a la alternativa de emplear carteles convencionales encima de la nariz, una vez pasada la escisión en el carril bífido, pero se ha considerado digna de estudio de todas maneras por ofrecer información adicional acerca de cómo interpretan los carteles los conductores españoles.

Todas las imágenes de carteles han sido elaboradas como dibujos vectoriales en Adobe Illustrator siguiendo, salvo los incumplimientos mencionados, la norma 8.1-IC y las directrices establecidas en el apartado previo *Concreción*, en la página 87. La altura básica empleada en todos los carteles ha sido el mínimo que la norma permite, 400 mm [44:84], y se han configurado como si se emplazaran en un pórtico sobre una vía de tres carriles de 3,5 metros de ancho,⁴³ en la misma escala que los carteles. No se muestran ni la vía ni el pórtico en las ilustraciones de conjuntos de carteles, que se dejaron con fondo transparente para eliminar cualquier distracción.

Para asegurar que ningún topónimo de los carteles presentara ventajas en su identificación sobre los demás, por ser familiar para el sujeto, se elaboró un banco de 250 destinos de una sola palabra (véase anejo 7) a partir de despoblados, aldeas y pequeños municipios de España, con la ayuda del padrón de 2022 [71]. El banco también incluye identificadores de carreteras, todas ellas inexistentes, para complementar los topónimos sin que pudieran resultar familiares. Se ha puesto énfasis en la selección de destinos de regiones de las que no se prevea encontrar sujetos en el desarrollo de las evaluaciones. Además, ninguno de los topónimos se repite.

⁴² De hecho, no se prevé el duplicado de destinos fuera de los carteles de preseñalización en la 8.1-IC vigente [44:105].

⁴³ Ancho estándar de un carril de autovía o autopista en España, de acuerdo con la 3.1-IC *Trazado* [56:74].

Por otro lado, se ha elegido para cada pareja de carteles grupos de topónimos no muy diferentes gráficamente para que su identificación resulte comparable incluso con la ayuda de la geometría.

La única excepción en materia de destinos es la asignación de «aeropuerto», palabra que sí es conocida y sí se repite, pero que resultaba necesaria para la evaluación del papel de los pictogramas en la señalización de carriles bífidos.

Procesamiento de los datos registrados

Tras el registro de los datos del experimento en un archivo csv para cada participante, se preprocesaron los mismos en Python 3.9.16 para hacerlos agregables, comenzando con la depuración de los datos superfluos y la reagrupación de los mismos en columnas más manejables.

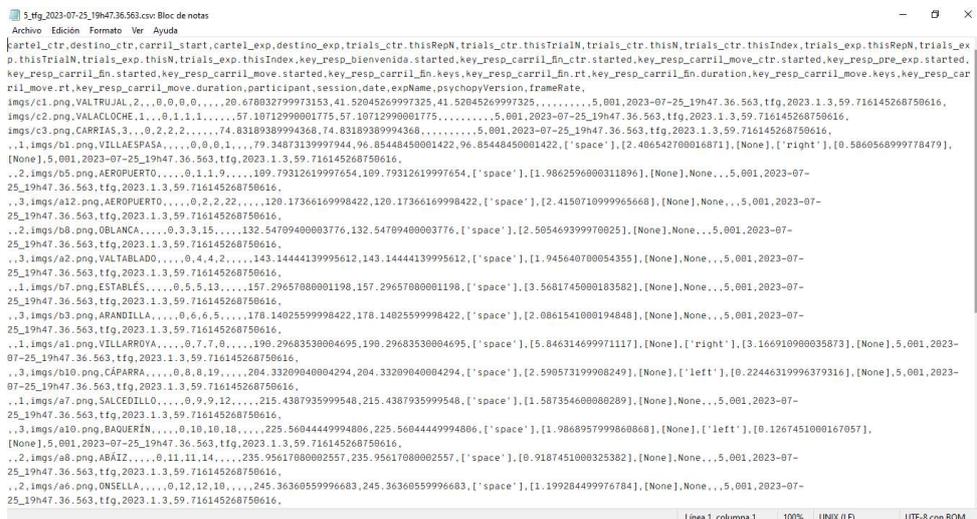


Fig. IV-4. Aspecto de los archivos csv producidos para cada sujeto del experimento. Nótese la cantidad de datos superfluos. *Elaboración propia*

Desde la elección de carril realizada por los sujetos ante cada imagen se desarrollaron unas variables para contabilizar elecciones de carril correctas (c_c , que llevan al destino con el mínimo de cambios de carril⁴⁴ respecto a la posición inicial), elecciones de carril innecesarias (c_u , que llevan al destino asignado pero con más cambios de carril de los necesarios) y elecciones de carril incorrectas (c_i , que no llevan al destino). La asignación de cuál carril es cuál para cada imagen evaluada puede consultarse en el anejo 6.

⁴⁴ Se consideraron cambios de carril únicamente los que teóricamente debería realizar un vehículo para posicionarse en el carril elegido por el sujeto desde el carril inicial. No se consideraron los movimientos intermedios entre carriles efectuados por el «coche rojo» en el proceso de elección de carriles en cada evaluación; si un sujeto comenzó en el carril 2 y éste resultaba ser el correcto, por ejemplo, por que cambiara su coche al carril 1 y luego regresara al inicial siendo el 2 su elección definitiva se tradujo en una elección de carril correcta y no en una innecesaria.

«Usted se dirige a
VILLARROYA»

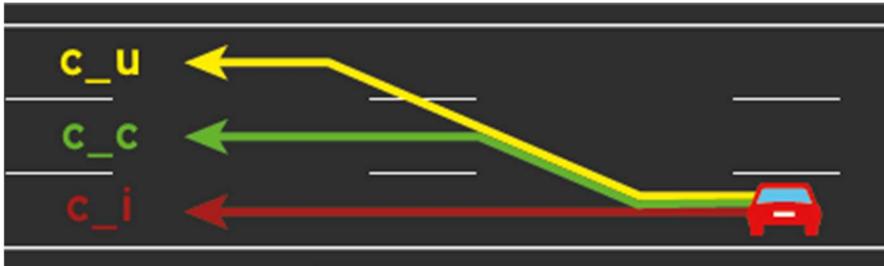


Fig. IV-5. Ejemplo de la asignación de carriles. Cambiar al carril central es la opción que conduce a Villarroya con menos cambios de carril –1– y por ello es designada como elección correcta; cambiar al carril derecho también conduce a Villarroya, pero supone más cambios de carril –2– así que se designa como elección innecesaria; mantenerse en el carril izquierdo no conduce a Villarroya, por lo que es la elección incorrecta. *Elaboración propia*

Inicialmente, se pretendía comparar directamente los tiempos de la barra espaciadora en todos los casos y se desarrolló el programa del experimento para que almacenara los mismos en una columna *ad hoc*, pero la lentitud de algunos participantes en pulsar el espacio tras sí haber elegido carriles rápidamente hicieron ver que sería más riguroso registrar los tiempos en los que el sujeto realizaba su última elección de carril, ya fuera mediante la última tecla flecha pulsada al cambiar de carril o mediante el pulsado de la barra espaciadora si no había cambio; por lo que se programó para recabar como tiempos de reacción esos registros de teclado en su lugar.

Por otro lado, como algunos participantes pulsaron accidentalmente la barra espaciadora antes de elegir carril fue necesario eliminar los registros asociados a los carteles implicados y sus parejas para evitar distorsionar los datos con tiempos casi instantáneos. El eliminado de dichos valores extremos fue necesario en cinco parejas de imágenes.

Finalmente, una vez depurados y reordenados, los datos del experimento fueron registrados en un único archivo csv.

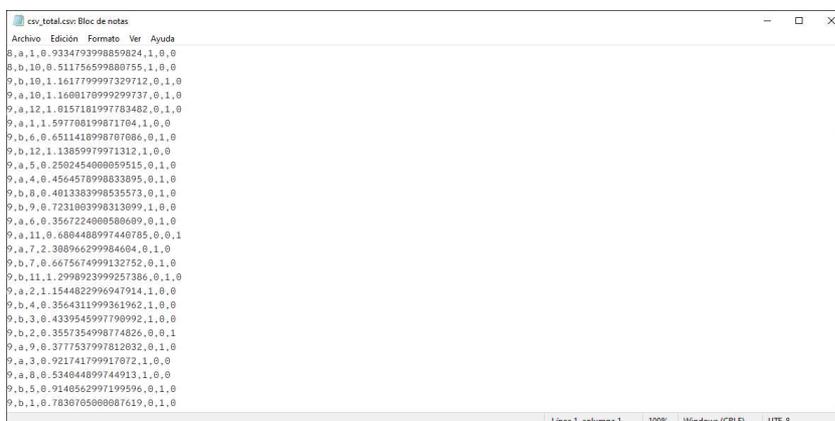


Fig. IV-6. Captura de pantalla mostrando el archivo csv con los resultados agregados y reordenados. *Elaboración propia*

Los datos demográficos y acerca de hábitos de conducción recopilados mediante Google Forms se almacenaron y procesaron de manera similar.

Se asignó a los sujetos puntuaciones relativas a su experiencia ante carteles de una u otra tipología. Respecto a los carteles españoles con duplicación de destinos, la asignación se realizó de acuerdo con sus respuestas a la pregunta acerca de en cuáles provincias realizó —de haberla— la mayoría de su conducción en autovía o autopista; y respecto a los carteles flecha por carril, de acuerdo con sus respuestas a la pregunta acerca de en cuáles países ha conducido en autovía o autopista. La puntuación alcanzada por cada sujeto se realizó sumando los valores asociados a cada provincia o país, respectivamente. Debe tenerse en cuenta que esta aproximación, en consecuencia, sobrevalora la experiencia de los sujetos ante la señalización de uno u otro tipo por asumir que el sujeto ha visto carteles de la tipología asociada y los recuerda. Ello ocurre especialmente para los carteles flecha por carril, pues por simplicidad no se preguntó a los sujetos por países por donde hubieran conducido *habitualmente*, simplemente por países donde hubieran conducido *alguna vez*.

Las puntuaciones asociadas a las provincias se realizaron de acuerdo con el número de carteles con duplicación de destinos presentes en la misma, con un factor corrector en la provincia de Madrid por su escaso peso respecto al total de carriles bífidos y otro en la de Cuenca por su presencia total en las divergencias de este tipo dentro de la provincia. Los valores asignados fueron: Cuenca, 3; València, 2; Madrid e Illes Balears, 1.

Las puntuaciones asociadas a países se basaron en la prevalencia de los carteles flecha por carril en sus vías. Los valores asignados fueron: Alemania y Países Bajos, 2; Bélgica y EE. UU., 1.

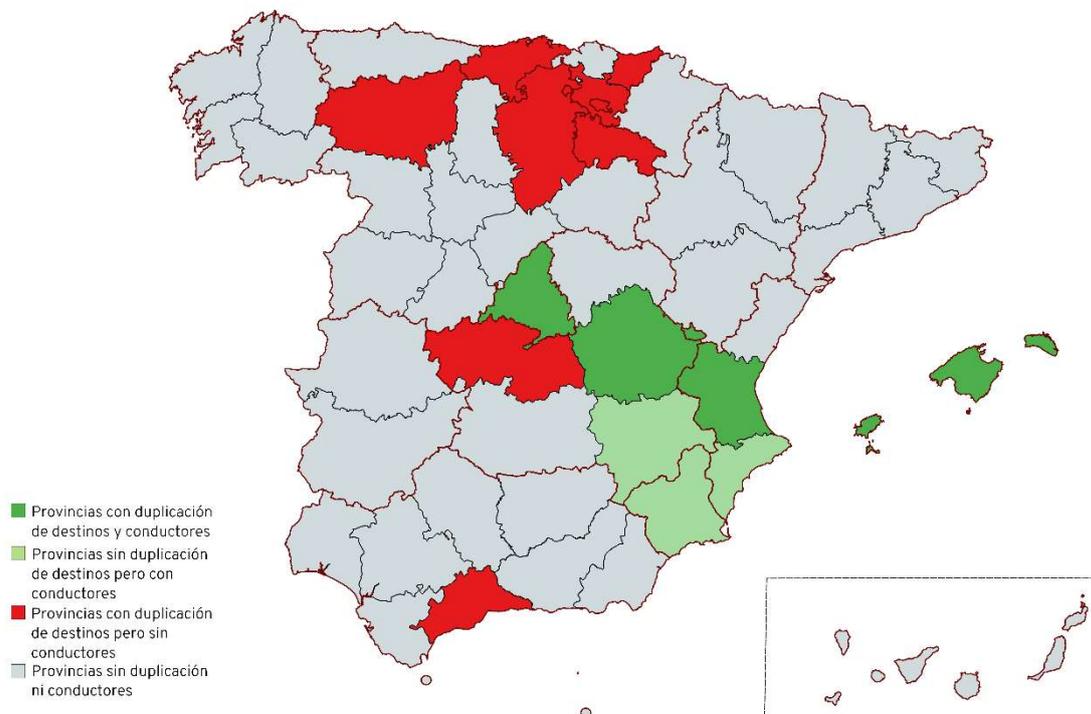


Fig. IV-7. Experimento con control temporal: mapa mostrando las provincias en las cuales los sujetos han realizado la mayoría de su conducción por autovía o autopista y las provincias donde existen carteles con duplicación de destinos. *Elaboración propia*

Análisis estadístico

Debido a la no independencia entre los carteles de una misma pareja y al tamaño modesto de la muestra, se evaluó el efecto del tipo de cartel en las elecciones de carril a nivel global mediante el análisis de las distribuciones de los porcentajes de cada elección.

Para dicha aproximación, no se consideró que hubiera dentro de cada pareja de imágenes otra diferencia más que el tipo de cartel —pues los destinos, configuraciones de carril, etc. son iguales o equivalentes—, pero sí se consideró la existencia de diferencias significativas entre las diferentes parejas de carteles. En consecuencia, se recurrió a pruebas *t* de Student (TOST) [104] independientes al analizar porcentajes para cada pareja y apareadas al analizar porcentajes para cada sujeto.

Para la evaluación de los tiempos a nivel global, dado su carácter continuo, se emplearon también pruebas *t* de Student independientes.

La búsqueda de posibles correlaciones entre variables cuantitativas se realizó mediante matrices de correlación de Pearson.

Para evaluar las elecciones de carril en cada pareja de carteles de manera individual se emplearon pruebas Bhapkar con tablas de contingencia [31], con análisis *post-hoc* mediante pruebas McNemar [79] para cada categoría aplicando la corrección de Bonferroni; y pruebas *t* de Student apareadas para el análisis de sus distribuciones de tiempos de respuesta.

Para todos los cálculos se empleó el nivel de significancia (α) habitual, 0,05.

Estas operaciones también fueron realizadas en Python 3.9.16.

Resultados

Globales

Considerando el experimento en su conjunto, se observaron diferencias entre las respuestas a imágenes con un tipo de cartel u otro. Los carteles tipo B, flecha por carril, ofrecieron un mayor porcentaje de elecciones correctas de carril (65,01 %) que los tipo A (56,08 %), de duplicación de destinos; un porcentaje de elecciones innecesarias de carril mucho menor (38,96 % en los A contra 27,54 % en los B) y un porcentaje de elecciones incorrectas de carril ligeramente superior (4,96 % A; 7,44 % B).

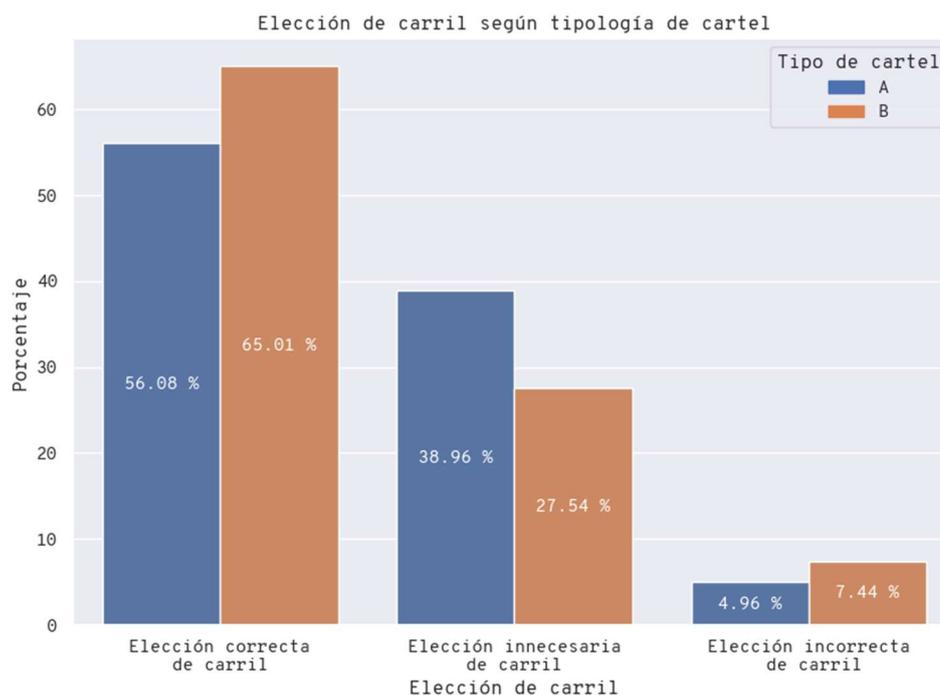


Fig. IV-8. Experimento con control temporal: porcentajes de elección de carril para las dos tipologías. *Elaboración propia*

Para constatar si el tipo de cartel pudiera influenciar en la elección de carril, se analizaron las distribuciones de los porcentajes de cada elección, sin agregar.

En primer lugar, se analizó la distribución de los porcentajes de respuestas para cada cartel.

Como era esperable, dadas las grandes diferencias entre parejas de carteles, las pruebas *t* de Student no detectaron que el tipo de cartel tuviera un efecto significativo en las elecciones ($t(10) = -1,1, p = 0,298$ para elección correcta; $t(10) = 1,25, p = 0,222$ para innecesaria y $t(10) = -1,07, p = 0,293$ para incorrecta).

Aunque el análisis de la distribución de los porcentajes de respuestas para cada sujeto no permita llegar a tantas conclusiones como hacerlo para cada cartel, ante los resultados anteriores, se consideró de interés para tratar de explicar las evidentes diferencias en proporciones que se observaron al contabilizar las respuestas del experimento a nivel global.

Para ese caso, las pruebas *t* de Student sí demostraron un efecto significativo del tipo de cartel en las elecciones correctas ($t(33) = -2,2, p = 0,034$) e innecesarias de carril ($t(33) = 3,25, p = 0,003$). Las medias de los porcentajes de elección correcta de carriles fueron inferiores en los carteles tipo A ($M = 38,99, SD = 14,74$) a los tipo B ($M = 64,82, SD = 27,19$); y superiores en cuanto a elección innecesaria ($M = 56,03, SD = 16,38$ para A; $M = 27,72, SD = 24,57$ para B). Para las elecciones incorrectas, las pruebas *t* no encontraron ninguna influencia significativa derivada del tipo de cartel ($t(33) = -1,78, p = 0,084$).

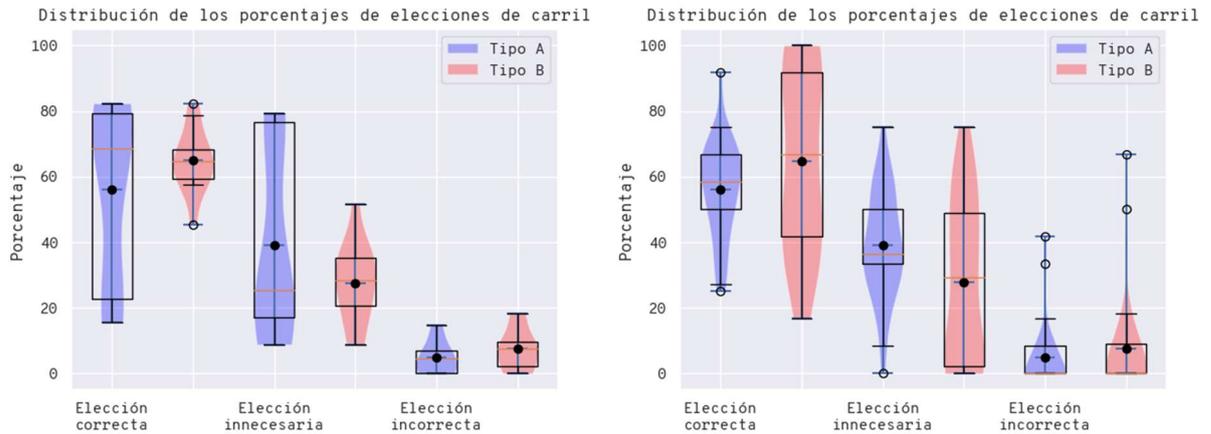


Fig. IV-9. Experimento con control temporal: distribuciones de los porcentajes de elecciones de carril, a la izquierda según carteles y a la derecha según sujetos. *Elaboración propia*

Al analizar la distribución de los tiempos para cada pareja de carteles, las pruebas *t* de Student no apreciaron influencia en cuanto al tipo de cartel ($t(10) = 0,4$, $p = 0,685$). Los carteles tipo A ($M = 1,21$, $SD = 0,22$) resultaron en una distribución similar a los tipo B ($M = 1,18$, $SD = 0,18$).

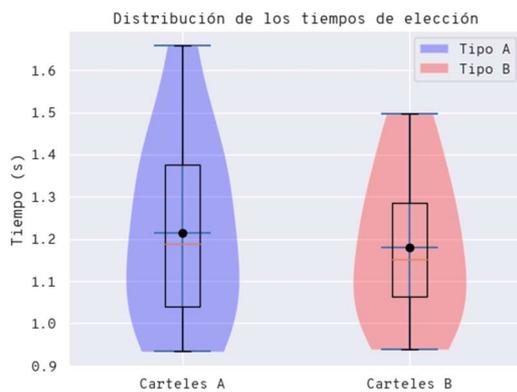


Fig. IV-10. Experimento con control temporal: distribución de tiempos de elección. *Elaboración propia*

En la evaluación de posibles relaciones entre elecciones y factores sociales, la matriz detectó algunas correlaciones, no muy elevadas.

Los factores para los que se ha encontrado más correlaciones son *Edad* y *Antigüedad del permiso*, que presentan una correlación moderada con las respuestas incorrectas en A (0,40, 0,41) y B (0,43, 0,44), otra –inversa– con las respuestas correctas para B (–0,42, –0,43) y otra más para el tiempo requerido en A (0,45, 0,45). Por otro lado, debe destacarse la correlación moderada entre *Tiempo B* y *Correctas B* (–0,43)

También se han detectado correlaciones más ligeras, como entre *Frecuencia* [de conducción] e *Incorrectas A* (–0,30), y curiosamente, negativa entre la experiencia ante carteles con duplicación de destinos e *Incorrectas B* (–0,31, cuando los B son carteles flecha por carril).

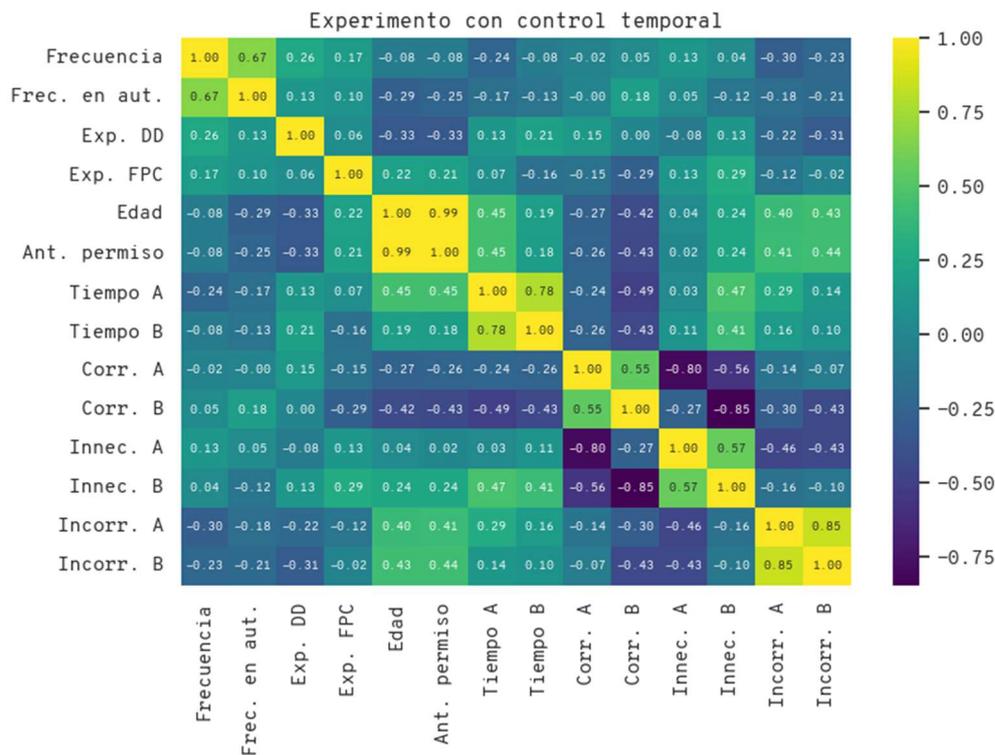


Fig. IV-11. *Heatmap* de la matriz de correlaciones del experimento. *Elaboración propia*

Específicas para carteles

De las doce parejas de carteles, sólo se apreciaron diferencias significativas derivadas del tipo de cartel en cuanto a la elección de carriles en los carteles 4, 6, 7 y 9, siendo la tipología B la que proporcionó mejores resultados en todos los casos. Estos carteles no eran simples duplicaciones, no obstante; la pareja 4 representa una situación con un destino huérfano, la 6 y la 7 que omiten la opcionalidad ante un carril bífido directo –de acuerdo, *a priori*, con la 8.1-IC vigente– y la 9 que abrevia los destinos en el cartel central indicando sólo cajetines. No obstante, estas circunstancias especiales no deben considerarse excepciones, pues están presentes en numerosos carteles reales. Pueden verse imágenes de las doce parejas de carteles en el anejo 6.

En cuanto a tiempos de respuesta, ninguna pareja ofreció diferencias estadísticamente significativas.

Se exponen los resultados pormenorizadamente para cada pareja a continuación:

Pareja 1

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 1 era un movimiento desde el carril de dirección propia al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido indirecto, en preseñalización de salida a derechas y con el mínimo posible de destinos.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 79,41 % de elecciones correctas de carril, un 14,71 % de elecciones innecesarias y un 5,88 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 58,82 %, 35,29 % y 5,88 %, respectivamente. El tipo de cartel, no obstante, no

tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 4,43$ (df=2), $p = 0,109$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,66$, $SD = 2,97$) y B ($M = 1,09$, $SD = 0,80$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = 1,24$, $p = 0,222$).

Pareja 2

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 2 era un movimiento desde el carril de salida al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido indirecto, en preseñalización de salida a derechas y con una cantidad excesiva de destinos. Los carteles se basan fielmente en un ejemplo real: los pórticos correspondientes a la salida 21B de la BU-30, en sentido este.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 57,58 % de elecciones correctas de carril, un 30,30 % de elecciones innecesarias y un 12,12 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 57,58 %, 24,24 % y 18,18 %, respectivamente. El tipo de cartel, no obstante, no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 1,34$ (df=2), $p = 0,511$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,43$, $SD = 1,52$) y B ($M = 1,27$, $SD = 1,25$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(32) = 0,71$, $p = 0,484$).

Pareja 3

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 3 era un movimiento desde el carril de salida al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido directo, en señalización de salida inmediata a derechas hacia una vía convencional, motivo por el cual el pórtico presentaba dos colores. Los carteles se inspiran en un ejemplo real: el pórtico de la salida 127AB de la A-8, en sentido oeste, que no duplica destino y tiene más carriles en la dirección propia.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 81,82 % de elecciones correctas de carril, un 15,15 % de elecciones innecesarias y un 3,03 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 78,79 %, 9,09 % y 12,12 %, respectivamente. El tipo de cartel, no obstante, no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 3,51$ (df=2), $p = 0,172$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,12$, $SD = 1,14$) y B ($M = 1,01$, $SD = 0,70$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(32) = 0,63$, $p = 0,493$).

Pareja 4

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 4 era la continuación en el carril de salida. Los carteles señalizaban un carril bífido indirecto, en preseñalización de salida a derechas y con un destino huérfano. Los carteles se basan fielmente en un ejemplo real: los pórticos correspondientes a la salida 1A de la LE-30, en sentido sur.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 20,59 % de elecciones correctas de carril, un 76,47 % de elecciones innecesarias y un 2,94 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 82,35 %, 8,82 % y 8,82 %, respectivamente. El tipo de cartel, en esta pareja, sí

tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 73,56$ (df=2), $p < 0,001$) según la prueba de Bhapkar, por lo que se realizaron pruebas de McNemar *post-hoc* para analizar la influencia del tipo de cartel en las posibles elecciones. Para las elecciones correctas e innecesarias de carril, las pruebas de McNemar también hallaron que el tipo de cartel ejercía un efecto estadísticamente significativo ($\chi^2 = 17,64$ (df=1), $p < 0,001$; y $\chi^2 = 23,00$ (df=1), $p < 0,001$, respectivamente), mientras que no fue así con las incorrectas ($\chi^2 = 1$ (df=1), $p = 1$).⁴⁵

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,24$, $SD = 1,36$) y B ($M = 1,33$, $SD = 0,75$), el test *t* de Student no apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = -0,32$, $p = 0,752$).

Pareja 5

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 5 era la continuación por el carril bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido directo, en preseñalización de salida a izquierdas con un destino abreviado mediante un pictograma. Los carteles se basan fielmente en un ejemplo real: los pórticos correspondientes a la salida 101 de la AP-1, en sentido sur.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 69,70 % de elecciones correctas de carril, un 30,30 % de elecciones innecesarias y ninguna elección incorrecta; mientras que los tipo B obtuvieron un 45,45 %, 51,51 % y 3,03 %, respectivamente. El tipo de cartel, no obstante, no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 4,01$ (df=2), $p = 0,134$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,04$, $SD = 0,72$) y B ($M = 0,94$, $SD = 0,52$), el test *t* de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(32) = 0,77$, $p = 0,449$).

Pareja 6

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 6 era la continuación en el carril bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido directo, en preseñalización de salida a izquierdas y *sin* duplicación de destinos, omitiendo la opcionalidad del todo. Los carteles son una interpretación de acuerdo a la 8.1-IC de los pórticos presentes en la bifurcación de nacimiento de la C-35 desde la C-65, sentido oeste, que tienen más flechas que carriles son un producto torpe de la normativa catalana.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 20,59 % de elecciones correctas de carril y un 79,41 % de elecciones innecesarias; mientras que los tipo B obtuvieron un 64,71 % y un 35,29 %, respectivamente. No hubo ninguna elección incorrecta. El tipo de cartel también tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 18,17$ (df=1), $p < 0,001$) según la prueba de Bhapkar, por lo que se realizaron pruebas de McNemar *post-hoc* para analizar la influencia del tipo de cartel en las posibles elecciones. Para las elecciones correctas e innecesarias de carril, las pruebas de McNemar discernieron que la tipología de cartel ejercía un efecto estadísticamente significativo ($\chi^2 = 11,84$ (df=1), $p = 0,001$ para ambas).

⁴⁵ El elevado valor de *p* se debe a la realización de la corrección de Bonferroni; *p* sin corregir fue 0,625.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,26$, $SD = 1,46$) y B ($M = 1,08$, $SD = 0,96$), el test t de Student no apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = 0,66$, $p = 0,512$).

Pareja 7

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 6 era un movimiento desde el carril de dirección propia al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido directo, en señalización de salida inmediata a derechas hacia una vía convencional –por lo cual el pórtico era bicolor– y *sin* duplicación de destinos, omitiendo la opcionalidad del todo. Los carteles se basan fielmente en un ejemplo real: los pórticos correspondientes a la salida 11 de la M-503, en sentido oeste.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 15,63 % de elecciones correctas de carril, un 78,13 % de elecciones innecesarias y un 6,25 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 59,38 %, 34,36 % y 6,25 %, respectivamente. El tipo de cartel también tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 23,10$ ($df=2$), $p < 0,001$) según la prueba de Bhapkar, por lo que se realizaron pruebas de McNemar *post-hoc* para analizar la influencia del tipo de cartel en las posibles elecciones. Para las elecciones correctas e innecesarias de carril, las pruebas de McNemar discernieron que la tipología de cartel ejercía un efecto estadísticamente significativo ($\chi^2 = 13,24$ ($df=1$), $p = 0,008$ para ambas).

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,12$, $SD = 0,66$) y B ($M = 1,50$, $SD = 1,45$), el test t de Student no apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(31) = -1,25$, $p = 0,219$).

Pareja 8

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 8 era la continuación en el carril bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido indirecto, para salida inmediata a izquierdas hacia una vía convencional –bicolores, en consecuencia– y con el mínimo posible de destinos.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 79,41 % de elecciones correctas de carril y un 20,58 % de elecciones innecesarias; mientras que los tipo B obtuvieron un 67,65 % y 32,35 %. No hubo ninguna elección incorrecta de carril. El tipo de cartel no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 2,13$ ($df=1$), $p = 0,145$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,44$, $SD = 2,04$) y B ($M = 1,26$, $SD = 1,01$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = 0,49$, $p = 0,625$).

Pareja 9

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 9 era la continuación por el carril bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido indirecto, en preseñalización de salida a derechas con el mínimo de destinos y únicamente cajetines en el cartel central. Los carteles se basan fielmente en un ejemplo real: los pórticos correspondientes a la salida 31 de la M-31, en sentido sur, con menos carriles.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 23,53 % de elecciones correctas de carril y un 76,47 % de elecciones innecesarias; mientras que los tipo B obtuvieron un 64,71 % y 35,29 %, respectivamente. No hubo elecciones incorrectas de carril. El tipo de cartel sí tuvo una influencia estadísticamente significativa en los resultados ($\chi^2 = 13,77$ ($df=1$), $p < 0,001$) según la prueba de

Bhapkar, por lo que se realizaron pruebas de McNemar *post-hoc* para analizar la influencia del tipo de cartel en las posibles elecciones. Para las elecciones correctas e innecesarias de carril, las pruebas de McNemar discernieron que la tipología de cartel ejercía un efecto estadísticamente significativo ($\chi^2 = 9,8$ (df=1), $p = 0,005$ para ambas).

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 0,93$, $SD = 1,02$) y B ($M = 1,19$, $SD = 0,97$), el test t de Student no apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = -1,04$, $p = 0,303$).

Pareja 10

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 10 era un movimiento desde el carril de salida al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido indirecto, para salida inmediata a derechas.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 73,53 % de elecciones correctas de carril, un 20,58 % de elecciones innecesarias y un 5,88 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 70,58 %, 20,58 % y 8,82 %, respectivamente. El tipo de cartel no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 0,35$ (df=1), $p = 0,840$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 0,94$, $SD = 0,57$) y B ($M = 1,11$, $SD = 0,96$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = -1,28$, $p = 0,211$).

Pareja 11

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 10 era un movimiento desde el carril de salida al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido directo, en preseñalización de salida a izquierdas. Los carteles se basan fielmente en un ejemplo real: los pórticos correspondientes a la salida 68 de la A-42, en sentido norte.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 82,35 % de elecciones correctas de carril, un 8,82 % de elecciones innecesarias y un 8,82 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 67,65 %, 23,53 % y 8,82 %, respectivamente. El tipo de cartel no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 3,44$ (df=2), $p = 0,180$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M = 1,02$, $SD = 0,95$) y B ($M = 0,96$, $SD = 0,79$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = 0,34$, $p = 0,734$).

Pareja 12

La configuración correspondiente a la pareja de imágenes 10 era un movimiento desde el carril de salida al bífido. Los carteles señalizaban un carril bífido directo, en preseñalización de salida a derechas, con un destino abreviado con pictogramas.

En esta pareja, los carteles tipo A obtuvieron un 67,65 % de elecciones correctas de carril, un 17,65 % de elecciones innecesarias y un 14,71 % de elecciones incorrectas; mientras que los tipo B obtuvieron un 61,76 %, 20,59 % y 17,65 %, respectivamente. El tipo de cartel no tuvo un efecto significativo en los resultados ($\chi^2 = 0,34$ (df=2), $p = 0,843$) según la prueba de Bhapkar.

En cuanto a los tiempos de respuesta, en las distribuciones de los carteles A ($M=1,35$, $SD=1,29$) y B ($M=1,44$, $SD=1,32$), el test t de Student tampoco apreció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cartel ($t(33) = -0,37$, $p = 0,717$).

Encuestas sin control temporal

Perfil de los sujetos

Un total de 321 sujetos participaron en la encuesta en línea y proporcionaron respuestas válidas. La encuesta excluía a aquéllos no poseedores de un permiso de conducción e impedía que una misma persona registrara varias respuestas.

La encuesta estuvo abierta entre el 31 de julio y el 9 de agosto de 2023. Se compartieron enlaces a la encuesta en las redes sociales del autor, y hay constancia de que éstos fueron compartidos a su vez por terceras personas.

La distribución geográfica de los sujetos cubrió la práctica totalidad del país, restando solamente Ceuta y Melilla como únicos puntos que no fueran territorio de conducción habitual para ningún sujeto, como puede verse más adelante en el mapa de la Fig. IV-16 (pág. 112).

Debido al medio empleado, la proporción de individuos de edad avanzada fue considerablemente menor que en el experimento con control temporal, limitándose a un 5,61 %. La proporción de personas con dificultades en la lectura resultó similar, con un 2,18 %.

Este modo de difusión también tiene otras implicaciones. Por haberse propagado por el entorno de redes sociales del autor, resulta razonable considerar que parte de los participantes fueron, en general, más jóvenes, más experimentados con la conducción en autopista y con mayor familiaridad con la señalización vertical que el conductor medio. Por tanto, de haber errores de medición, serían probablemente sobrevalorando la comprensión de la señalización vigente.

Las características de los participantes pueden consultarse a continuación:

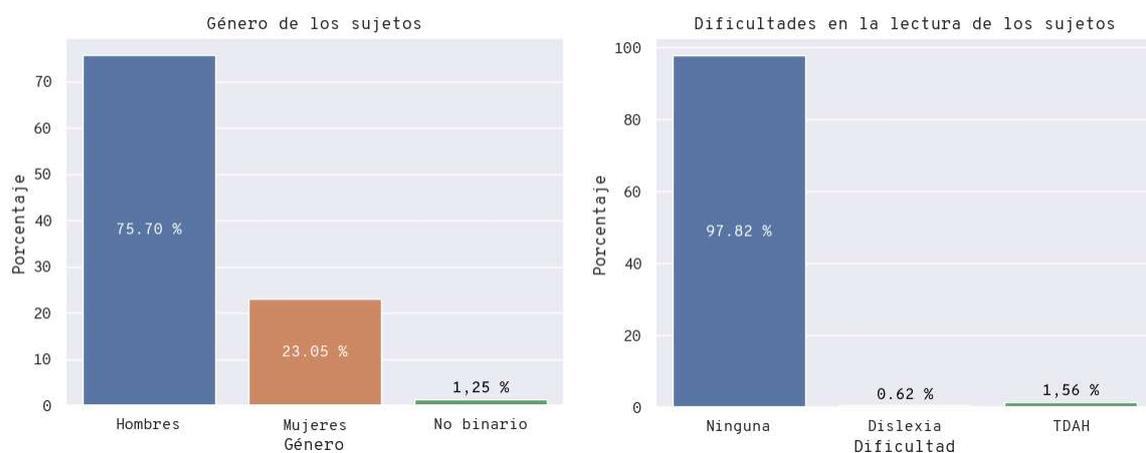


Fig. IV-12. Encuestas sin control temporal: distribución de sujetos según género y dificultades en la lectura. *Elaboración propia*

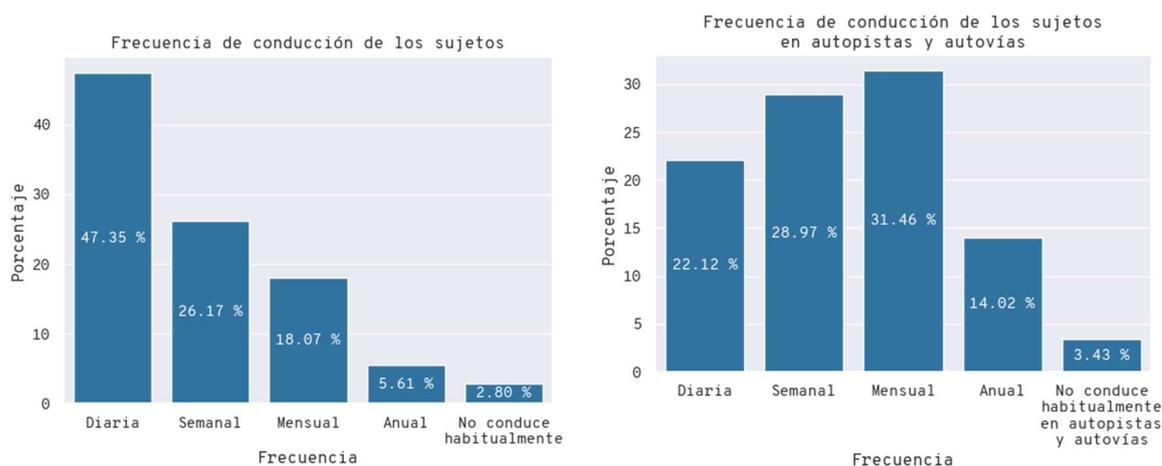


Fig. IV-13. Encuestas sin control temporal: frecuencias de conducción de los sujetos en general y en vías de gran capacidad. *Elaboración propia*

Estadísticas descriptivas					
Factor	<i>M</i>	<i>SD</i>	Intervalo de confianza (95 %)	Mín	Máx
Edad	37,82	13,91	(32,29 – 39,34)	18	75
Antigüedad del permiso de conducción	18,26	13,89	(16,74 – 19,78)	0	57

Tabla IV-3. Encuestas sin control temporal: estadísticas descriptivas de las dos variables continuas recopiladas acerca de los participantes: edad y antigüedad de su permiso de conducción. *M*: media, *SD*: desviación típica, Mín: valor mínimo, Máx: valor máximo. *Elaboración propia*

Métodos

Procedimiento de la evaluación

Con tal de maximizar el número de participantes, la evaluación se realizó mediante una encuesta alojada en el servicio Google Forms, de modo que el único requisito técnico para acceder fuera una conexión de Internet. La encuesta se dividía en cuatro secciones.

La primera de ellas, al igual que con los experimentos con control temporal, era un formulario para recabar información básica acerca de demografía y hábitos de conducción de los sujetos antes de comenzar la fase de evaluación en sí. El formulario no presenta prácticamente diferencias con el de los experimentos y puede consultarse en el anejo 8. Del mismo modo, el formulario requería el consentimiento de los sujetos para participar y la aceptación del tratamiento de sus datos personales, para los cuales los sujetos que necesitaran más información podían consultar documentos específicos.⁴⁶

La segunda sección y tercera secciones eran muy similares, evaluándose para las mismas divergencias carteles con duplicación de destinos en el primer caso y los alternativos en el segundo. Para ambos casos, las preguntas estaban estructuradas de la siguiente manera:

⁴⁶ Pueden consultarse los documentos acerca de privacidad y tratamiento de datos ofrecidos a los sujetos en el anejo 3. También se aportaron medios para contactar con el responsable por si hiciera falta responder a dudas u ofrecer ulteriores explicaciones.

- En primer lugar, se mostraba una imagen de carteles sobre una carretera de tres carriles y se evaluaba el entendimiento de la divergencia con preguntas de tipo verdadero/falso, tanto para divergencias con carriles bífidos directos como indirectos.
- A continuación, con otra imagen se preguntaba a los sujetos cuáles carriles llevaban a cada destino, tanto para los bífidos directos como los indirectos.
- Finalmente, los sujetos debían indicar su grado de seguridad en las respuestas.

Finalmente, en la cuarta sección se preguntaba a los sujetos qué alternativa de señales preferían para dos configuraciones de calzada mostradas en una imagen: un carril bífido indirecto y otro de tipo directo; eligiendo en ambos casos entre carteles con duplicación de destinos, carteles flecha por carril con flechas curvilíneas –tipo G4, G5 y G6– y rectilíneas –tipo G1, G2 y G4–. Para terminar, se permitía a los sujetos aportar comentarios.

Observe las señales y conteste las preguntas

¿Verdadero o falso? *

	Verdadero	Falso
El único carril que conduce a Villarmentero es el 3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se puede ir a Baquerín por los carriles 1 y 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se puede ir a Alconeza por el carril 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hav dos salidas hacia		

Fig. IV-14. Captura de pantalla de una de las preguntas de la encuesta. *Elaboración propia*

Las preguntas verdadero-falso emplearon carteles basados en ejemplos reales para hacer posible discernir el efecto de la omisión de destinos. Las situaciones evaluadas mediante las preguntas fueron las siguientes:

Preguntas verdadero-falso: carril bífido indirecto			
Código	Situación evaluada	Pregunta en la encuesta	Respuesta correcta
S02	Destino de salida omitido ⁴⁷ en el carril bífido	<i>El único carril que conduce a (Destino) es el 3</i>	Falso
DS2	Destino de dirección propia señalado en el carril bífido	<i>Se puede ir a (Destino) por los carriles 1 y 2</i>	Verdadero
D02	Destino de dirección propia omitido en el carril bífido	<i>Se puede ir a (Destino) por el carril 2</i>	Verdadero
IIB	Interpretación errónea de la señalización: dos salidas sucesivas	<i>Hay dos salidas hacia (Destino): la salida 211 a 150 m por el carril 3 y otra más adelante en el 2</i>	Falso
ICB	Interpretación correcta de la señalización: carril bífido indirecto	<i>El carril 2 se bifurca</i>	Verdadero
SI1	Destino de salida no alcanzable por carril de dirección propia	<i>Se puede ir a (Destino) por el carril 1</i>	Falso

Tabla IV-4. Preguntas verdadero-falso en la encuesta y propósito, carril bífido indirecto. *Elaboración propia*

Preguntas verdadero-falso: carril bífido directo			
Código	Situación evaluada	Pregunta en la encuesta	Respuesta correcta
D02	Destino de dirección propia omitido en el carril bífido	<i>El único carril que conduce a (Destino) es el 1</i>	Falso
DS2	Destino de dirección propia señalado en el carril bífido	<i>Se puede ir a (Destino) por los carriles 1 y 2</i>	Verdadero
S02	Destino de salida omitido en el carril bífido	<i>Se puede ir a (Destino) por el carril 2</i>	Verdadero
IIB	Interpretación errónea de la señalización: dos salidas sucesivas	<i>Hay dos salidas hacia (Destino): la salida 1A a 1000 m por el carril 3 y otra más adelante en el 2</i>	Falso
ICB	Interpretación correcta de la señalización: carril bífido indirecto	<i>El carril 2 da acceso a la salida 1ª</i>	Verdadero
S03	Destino de salida señalado en el carril bífido pero omitido en el carril de salida (destino huérfano)	<i>Se puede ir a (Destino) por el carril 3</i>	Verdadero

Tabla IV-5. Preguntas verdadero-falso en la encuesta y propósito, carril bífido directo. *Elaboración propia*

Para la pregunta de identificación de carriles, se recurrió a carteles con únicamente dos destinos, uno por movimiento, mucho más claros que los ejemplos reales habituales, y se realizaron preguntas que explícita e inequívocamente identificaran los movimientos:

⁴⁷ Debe destacarse que la omisión de destinos en esta pregunta no ha sido total; pese a no señalizarse los destinos explícitamente para el carril bífido, siempre estaban asociados a carreteras para las cuales se señalizaba claramente el cajetín y otro destino. Que el destino pueda asociarse implícitamente al carril bífido de esta manera no siempre ocurre en señalización real.

Preguntas de identificación de carriles			
Configuración	Situación evaluada	Pregunta en la encuesta	Respuesta correcta
Ambas	Carriles de dirección propia	¿Qué carriles puede emplear para continuar por la (vía) hacia (Destino)?	1 y 2
	Carriles de salida	¿Qué carriles puede emplear para tomar la salida 269 por la (vía) hacia (Destino)?	2 y 3

Tabla IV-6. Preguntas de identificación de carril en la encuesta y su propósito, ambas configuraciones. *Elaboración propia*

Puede consultarse la encuesta completa en el anejo 8.

Carteles experimentales empleados

Para esta evaluación, se generaron siete imágenes con carteles, en este caso, mostrándolos montados en un pórtico sobre la misma autovía de tres carriles que se empleó en las fases de elección de carril del experimento con control temporal, con el añadido de números para identificar los tres carriles. De nuevo se clasificaron en *tipo A* –con duplicación de destinos– y *tipo B* –flecha por carril–.

Los carteles incrustados en las imágenes se elaboraron a partir de los confeccionados en el experimento con control temporal, concretamente las configuraciones 1, 4 y 11, modificadas en algunos casos.

Para las señales con bifurcación de destinos, la norma no prevé la señalización de carriles bífidos directos, por lo que se consideraron como equivalentes las correspondientes a los indirectos y por tanto bastó en la segunda sección con emplear una sola imagen para esa pregunta.

Por otro lado, al preguntar a los sujetos sobre sus preferencias para carriles bífidos indirectos y directos, se aportaron imágenes de calzadas asociadas a los destinos de la configuración 1, y versiones de los carteles de la misma para las tres alternativas antes mencionadas, constituyendo tres carteles más. Se pueden consultar todas las imágenes empleadas en las encuestas en el anejo 8.

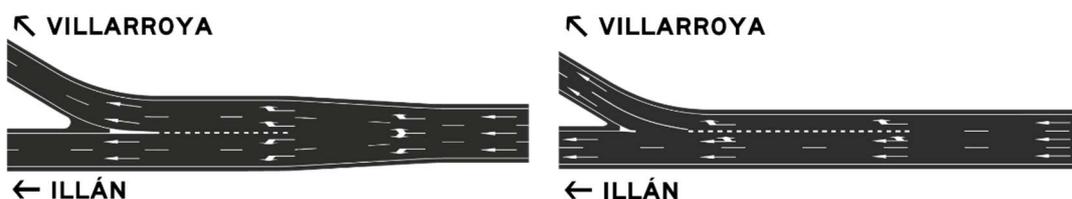


Fig. IV-15. Imágenes de las calzadas mostradas en las encuestas. *Elaboración propia*

Los carteles de las imágenes han sido elaborados del mismo modo y con las mismas consideraciones que los del experimento con control temporal, detalladas previamente en la página 94.

Procesamiento de los datos registrados

Quedaron registrados todas las respuestas de la encuesta en un único archivo csv, que se preprocesó en Python 3.9.16 de manera similar a como se hizo para el experimento con control temporal, también almacenándose en un archivo csv único tras su depuración.

A diferencia del experimento, en la encuesta se verificaba el entendimiento de la divergencia, por lo que se desarrollaron variables para contabilizar el número de respuestas correctas para cada una de las preguntas. Así, además de poder comparar las respuestas en general entre preguntas equivalentes se pudo comparar su precisión.

Finalmente, una vez depurados y reordenados, los datos del experimento fueron registrados en un único archivo csv.

También se asignó a los sujetos puntuaciones relativas a su experiencia ante carteles de una u otra tipología, añadiendo a los puntajes provincias y países en los cuales los participantes del experimento con control temporal no tenían experiencia de conducción.

Las puntuaciones asociadas a las provincias se realizaron con la misma metodología y factores correctores. Los valores asignados fueron: Álava y Cuenca, 3; València, 2; León, Cantabria, Burgos, Gipuzkoa, La Rioja, Madrid, Toledo, Illes Balears y Málaga, 1.

También ocurrió así para las correspondientes al extranjero. Las puntuaciones asociadas a países fueron en este caso: Alemania, Países Bajos, Austria, Hungría y Eslovenia, 2; Bélgica, República Checa, Eslovaquia, Suecia, Estados Unidos, Canadá y Nueva Zelanda: 1.

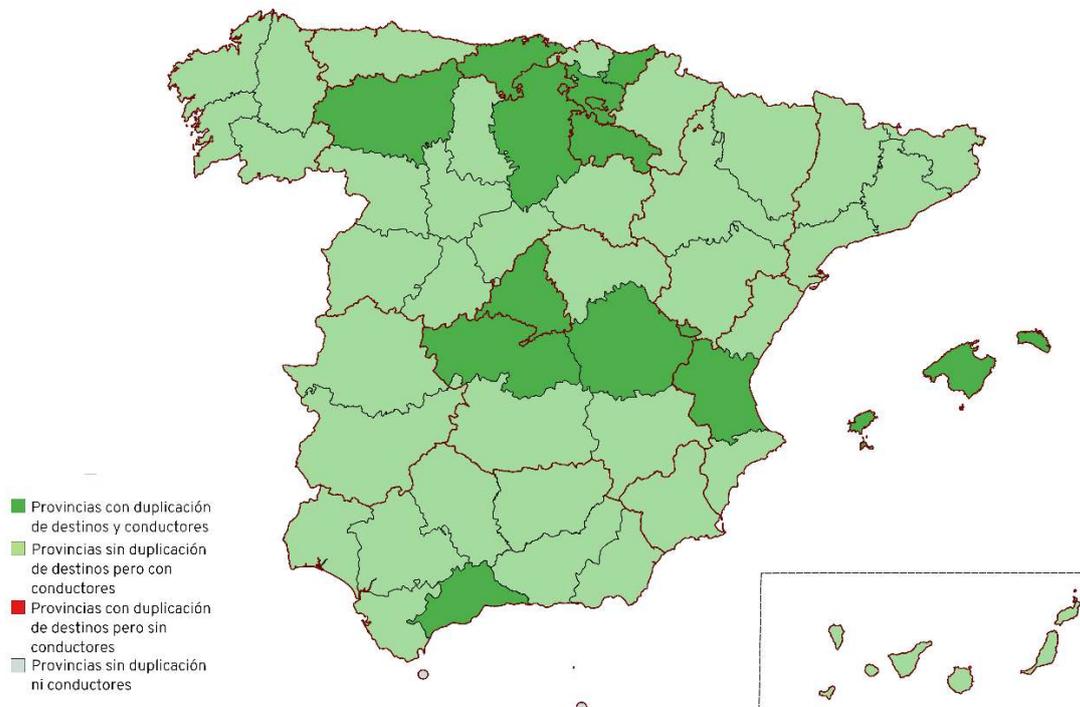


Fig. IV-16. Encuestas sin control temporal: mapa mostrando las provincias en las cuales los sujetos han realizado la mayoría de su conducción por autovía o autopista y las provincias donde existen carteles con duplicación de destinos. *Elaboración propia*

Análisis estadístico

Por la no independencia de los datos recabados y su disposición en un orden fijo, fue necesario emplear pruebas de McNemar para analizar la precisión en las respuestas, con tablas de contingencia donde se evaluaban las posibles combinaciones para cada pregunta.

Para verificar diferencias entre los niveles de confianza se emplearon pruebas *t* de Student apareadas, y para la evaluación de posibles correlaciones con los factores sociales se utilizaron matrices de correlación Pearson.

De nuevo se empleó el nivel de significancia (α) 0,05 y Python 3.9.16.

Resultados

Preguntas verdadero-falso

Los resultados que se recabaron para estas preguntas fueron los siguientes:

Carril bífido indirecto												
Tipo	S02		DS2		D02		IIB		ICB		SI1	
	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F
A	259	62	308	13	139	182	189	132	146	175	47	274
B	55	266	301	20	285	36	68	253	298	23	15	306

Tabla IV-7. Encuestas sin control temporal: respuestas a la pregunta verdadero-falso para la configuración de carril bífido indirecto. En negrita se indican las respuestas correctas. *Elaboración propia*

Carril bífido directo												
Tipo	D02		DS2		S02		IIB		ICB		S03	
	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F
A	242	79	311	10	34	287	195	126	76	245	54	267
B	19	302	298	23	270	51	78	243	240	81	289	32

Tabla IV-8. Encuestas sin control temporal: respuestas a la pregunta verdadero-falso para la configuración de carril bífido directo. En negrita se indican las respuestas correctas. *Elaboración propia*

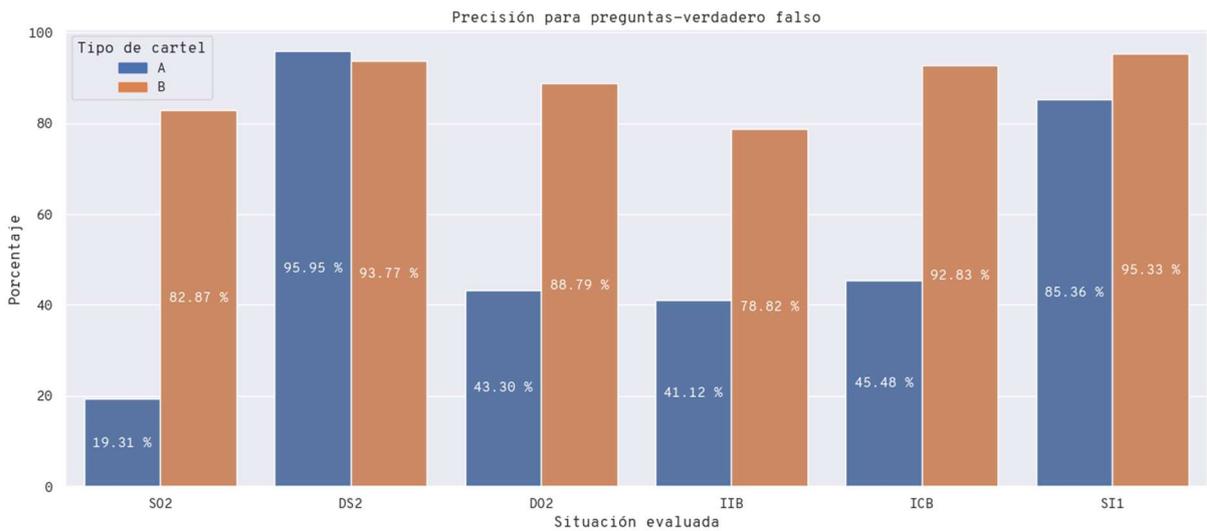


Fig. IV-17. Respuestas correctas para cada una de las preguntas verdadero-falso para carril bífido indirecto. *Elaboración propia*

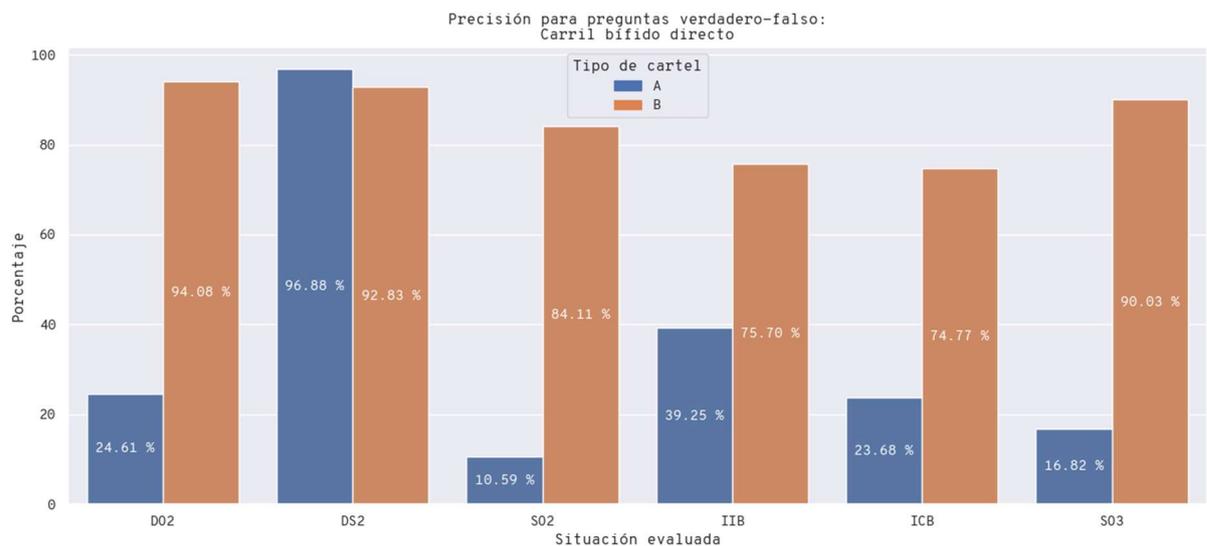


Fig. IV-18. Respuestas correctas para cada una de las preguntas verdadero-falso para carril bífido directo. *Elaboración propia*

El test McNemar reflejó que el tipo de cartel tuvo en efecto estadísticamente significativo en el número de respuestas correctas a las preguntas verdadero-falso tanto para la divergencia con carril bífido indirecto ($\chi^2 = 540,11, p < 0,001$) como directo ($\chi^2 = 864,72, p < 0,001$).

Por otro lado, la matriz de correlaciones no arrojó resultados muy significativos relacionando precisión con factores sociales, hallando únicamente correlaciones bajas entre la precisión de las respuestas para carteles B en carriles bífidos indirectos con *Edad* (-0,37) y *Antigüedad del permiso* (-0,34), y sin correlaciones en los directos, por lo que no se consideró que el desempeño entre tipos de carteles varíe significativamente entre los grupos sociales identificados.

Pueden consultarse las matrices de correlación en el anejo 9.

Preguntas de identificación de carriles

Los resultados que se recabaron para estas preguntas fueron los siguientes:

Carril bífido indirecto										
Tipo	Dirección propia					Salida				
	1	1 y 2	2	2 y 3	3	1	1 y 2	2	2 y 3	3
A	1	317	0	2	1	7	8	2	119	185
B	11	306	2	2	0	1	9	2	273	36

Tabla IV-9. Encuestas sin control temporal: respuestas a las preguntas de identificación de carriles para la configuración de carril bífido indirecto. En negrita se indican las respuestas correctas. *Elaboración propia*

Carril bífido directo ⁴⁸										
Tipo	Dirección propia					Salida				
	1	1 y 2	2	2 y 3	3	1	1 y 2	2	2 y 3	3
A	1	317	0	2	1	7	8	2	119	185
B	14	301	1	3	2	1	14	0	257	49

Tabla IV-10. Encuestas sin control temporal: respuestas a las preguntas de identificación de carriles para la configuración de carril bífido directo. En negrita se indican las respuestas correctas. *Elaboración propia*

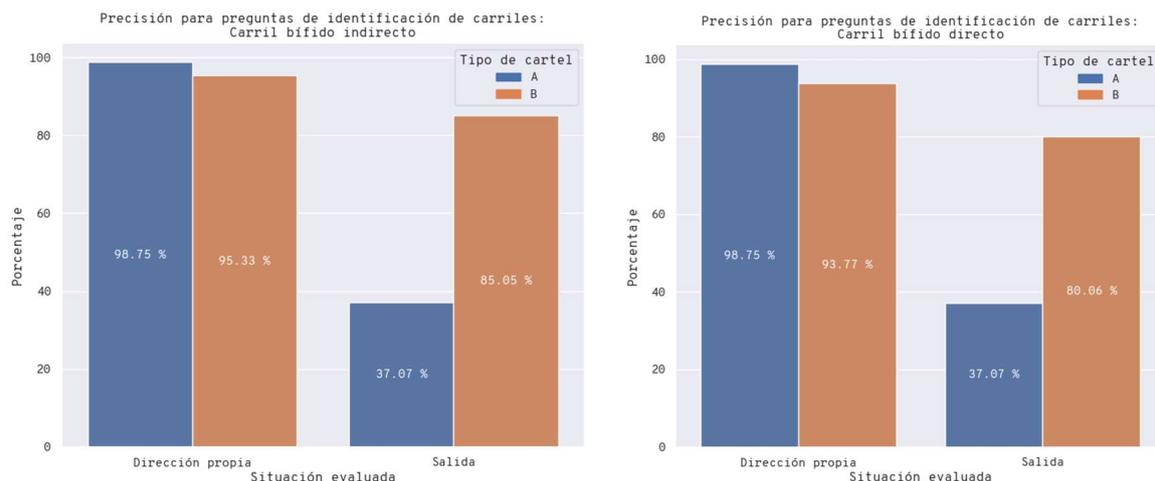


Fig. IV-19. Respuestas correctas para las preguntas de identificación de carriles para ambas configuraciones. *Elaboración propia*

Para estas preguntas, de nuevo el test McNemar demostró una influencia estadísticamente significativa en el número de respuestas correctas a las preguntas verdadero-falso tanto para la divergencia con carril bífido indirecto ($\chi^2 = 108,99, p < 0,001$) como directo ($\chi^2 = 78,72, p < 0,001$).

Respecto a posibles relaciones entre precisión y factores sociales, las matrices de correlaciones no apreciaron ninguna que fuera estadísticamente significativa para ninguno de los casos.

Pueden consultarse las matrices de correlación en el anejo 9.

⁴⁸ Se consideran equivalentes los resultados de identificación de carriles de los carteles tipo A para carriles bífidos directos e indirectos, de acuerdo con lo establecido en la página 109.

Niveles de confianza

Respecto a la confianza que los sujetos pusieron a sus respuestas, en una escala de 0 a 5, los resultados fueron los que siguientes:

Niveles de confianza									
Tipo	0	1	2	3	4	5	M	SD	Intervalo de confianza (95 %)
A	3	20	28	104	114	52	3,44	1,11	(3,32 – 3,56)
B	4	11	31	92	111	72	3,59	1,11	(3,47– 3,71)

Tabla IV-11. Puntuaciones acerca de la confianza de los sujetos sobre sus propias respuestas, y estadísticas descriptivas. *M*: media, *SD*: desviación típica. *Elaboración propia*

Las diferencias observadas en la confianza expresada por los sujetos para señales de un tipo u otro fueron determinadas como estadísticamente significativas según la prueba *t* de Student ($t(320) = -2,38, p = 0,018$).

Preferencias de señalización

Ante las configuraciones de carriles mostradas (véanse en la Fig. IV-15, página 111), los sujetos prefirieron la opción 2, carteles flecha por carril con todas las flechas curvilíneas, para carriles bífidos indirectos, y la 3, carteles flecha por carril con flechas rectas, para los directos.

Es destacable el elevado porcentaje alcanzado por la opción 3 en carriles bífidos indirectos, y el de la opción 2 para los directos, muy bajo.

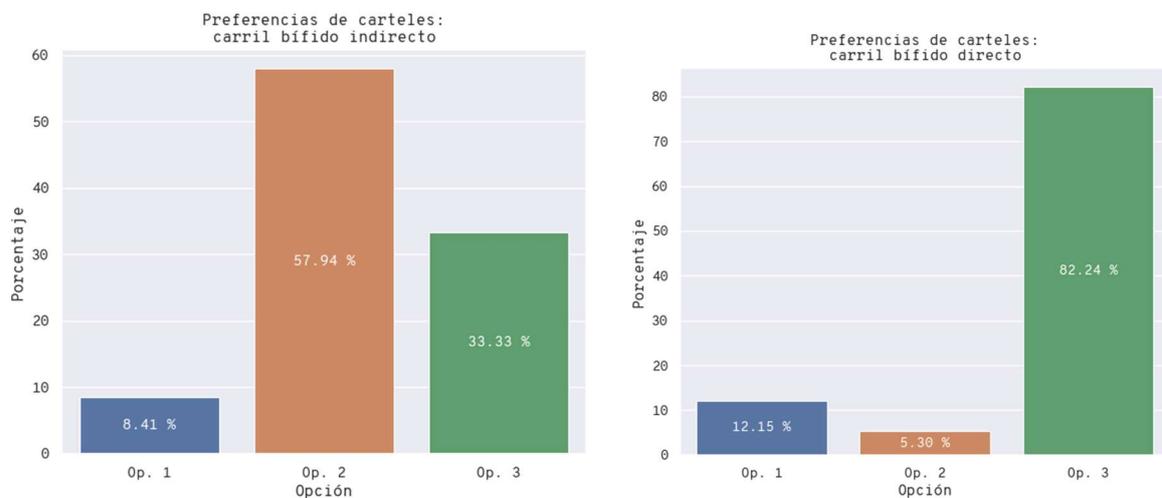


Fig. IV-20. Respuestas correctas para las preguntas de identificación de carriles para ambas configuraciones. *Elaboración propia*

Comentarios de los sujetos

En los 41 comentarios recabados, 15 sujetos expresaron su apreciación por los carteles experimentales y 8 los criticaron; mientras que los carteles con duplicación de destinos recibieron críticas de 8 participantes, siendo preferidos por sólo 2 sujetos. Son dignos de mención los 4 comentarios proponiendo carteles flecha por carril pero con flechas hacia abajo y los 4 sujetos que expresaron su preferencia por un sistema flecha abajo con dos carteles y más flechas que carriles.

Evaluación económica

Métodos y cálculos

La aproximación elegida para evaluar económicamente las tipologías de cartel se basó en la comparación de áreas.

Si bien un pórtico de señalización vertical no se limita a las superficies de los carteles, es éste factor el que habitualmente determina todo lo demás. El área de los carteles está directamente relacionada con el peso propio y las cargas de viento, y son éstos aspectos los que sirven principalmente para dimensionar las estructuras y cimentaciones asociadas a las señales.

Por otro lado, los precios de los productos y materiales también varían entre proveedores y fluctúan como consecuencia de los movimientos de la economía, por lo que se consideró emplear las áreas como referencia más estable.

Así, se pudieron obtener las áreas de los 24 carteles elaborados para el experimento de control temporal (de $H_b = 400$ mm), permitiendo su comparación por parejas. Como los mismos se basaron en carteles reales, se consideraron un buen modelo para evaluar la diferencia entre ambos.

Pueden consultarse dichos carteles en el anejo 6.

Fórmulas empleadas

La manera de calcular el área del conjunto de carteles varía según si los carteles son un conjunto de carteles convencionales o uno solo flecha por carril, de acuerdo con la 8.1-IC y las directrices establecidas en el apartado previo *Concreción*, en la página 87.

Para hacer una definición viable, se considerará que los carteles con duplicación de destinos son tres por conjunto y no omiten ninguno de los mismos, quedando definidos mediante las variables

$x_{d,DP}$ que es el ancho del grupo de destinos asociado a la dirección propia, en mm;

$x_{d,S}$ que es el área del grupo de destinos asociado a la salida, en mm;

$y_{d,DP}$ que es la altura del grupo de destinos asociado a la dirección propia, en mm; y

$y_{d,S}$ que es la altura del grupo de destinos asociado a la salida, en mm.⁴⁹

Para los conjuntos de carteles que utilizan duplicación de destinos, el área total del conjunto en m^2 será

$$A_{conjunto,dup} = \left(\left(\sum x_{c,i} \right) \cdot y_{conjunto} - A_{esquina} \cdot 12 \right) \cdot 10^6 \quad (\text{Ec. 1})$$

donde

$\sum x_{c,i}$ es el sumatorio del ancho de todos los carteles del conjunto, en mm;

⁴⁹ Debe tenerse en cuenta que, si un grupo de destinos debe escribirse en mayúsculas, deberán realizársele las correcciones de altura que se detallan en [44:82].

$y_{conjunto}$ es la altura del conjunto de carteles, en mm; y

$A_{esquina}$ es el área de cada una de las doce esquinas recortadas en el borde de los tres carteles, en mm².

x_c para cada uno de los carteles queda definido por

$$x_{c,i} = \text{máx}(x_{p,i}, x_{sc}, x_{carr}) \quad (\text{Ec. 2})$$

donde

$x_{p,i}$ es el ancho, en mm, del cartel si se dimensiona con el ancho de las palabras que conforman el grupo de destinos como factor determinante, el cual se describe mediante

$$x_{p,i} = x_{d,i} + 2 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) \quad (\text{Ec. 3})$$

donde

$x_{d,i}$ es el ancho, en mm, del grupo de destinos correspondiente al cartel, el cual puede ser $x_{d,DP}$, $x_{d,S}$ o, si el cartel corresponde al carril bífido,

$$x_{d,B} = \text{máx}(x_{d,DP}, x_{d,S}) \quad (\text{Ec. 4});$$

a_o es el ancho de la orla, que la 8.1-IC dimensiona en [44:86] como

$$a_o = \frac{1}{5} Hb \quad (\text{Ec. 5})$$

donde

Hb es la altura básica empleada en el cartel, en mm;

s_m es la distancia de los márgenes entre orlas y contenido, que la 8.1-IC define en [44:87] como

$$s_m \leq \frac{2}{3} Hb \quad (\text{Ec. 6}); \text{ y}$$

s_{brd} es el espacio de separación entre la orla y el borde del cartel, que la 8.1-IC determina en [44:86] como

$$s_{brd} = \frac{1}{2} a_o \quad (\text{Ec. 7});$$

x_{sc} es el ancho mínimo, si los hubiere, de los subcarteles superiores para los carteles que indican salida; en mm, que puede calcularse por

$$x_{sc} = (2 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) + x_{dist}) \cdot \alpha + 2 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) + x_{pict} + x_{esp} + x_{núm} \quad (\text{Ec. 8})$$

donde

x_{dist} es el ancho de la cifra de distancia a la salida, la cual debe tenerse en cuenta que *no* se escribe en Hb , sino siguiendo que

$$Hb_{dist} = \frac{4}{5} Hb \quad (\text{Ec. 9})$$

aunque ello no se especifique en la 8.1-IC;

α es una variable que modifica su valor tal que

$\alpha = 1$ si el cartel es de preseñalización; y

$\alpha = 0$ si el cartel es de salida inmediata;

x_{pict} es el ancho del pictograma de salida, que, inexplicablemente, no está definido ni en la 8.1-IC *Señalización vertical* ni en el Catálogo de señales verticales de circulación. De la observación empírica se ha inferido que

$$x_{pict} = \frac{7}{6} y_{pict} \quad (\text{Ec. 10})$$

donde

y_{pict} es la altura del pictograma de salida, la cual, asumiendo como a aplicar el principio establecido para pictogramas en general en [44:82], será

$$y_{pict} = \frac{3}{2} Hb \quad (\text{Ec. 11});$$

x_{esp} es el espaciado mínimo entre el pictograma de salida y el número de salida, que tampoco se define pero que se asume como

$$x_{esp} = Hb \quad (\text{Ec. 12}); y$$

$x_{núm}$ es el ancho de la cifra del número de salida, la cual *tampoco* se escribe en Hb , sino siguiendo el mismo principio que para x_{dist} , descrito en la ecuación 9; y

x_{carr} es el ancho, en mm, del cartel si se dimensiona con el ancho de los carriles que señala como factor determinante, el cual se define para carriles de 3,5 m mediante

$$x_{carr} = x_{flecha} + 2 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) + (3500 \cdot (n_{carriles} - 1)) \quad (\text{Ec. 13})$$

donde

x_{flecha} es el ancho en mm de las flechas empleadas para indicar carriles, que para las flechas F-1 es de 610 mm, mientras que para las F-2 y F-3 es de 430 mm [44:80]; y

$n_{carriles}$ es el número de carriles señalizados por el cartel;

$y_{conjunto}$ es la altura de todos los carteles del conjunto, y queda determinada por

$$y_{conjunto} = \text{máx}(y_{c,i}, y_E) \quad (\text{Ec. 14})$$

donde

$y_{c,i}$ es la altura, en mm, de los carteles *convencionales* (de dirección propia o de carril bífido), que se puede calcular con

$$y_{c,i} = 2 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) + y_{d,DP} + (s_d + y_{d,S}) \cdot \beta + y_{flecha} + s_{flecha} \quad (\text{Ec. 15})$$

donde

s_d es la separación vertical entre dos grupos de destinos, que según [44:86] es

$$s_d \leq Hb \quad (\text{Ec. 16});$$

β es una variable que modifica su valor tal que

$\beta = 1$ si el cartel señala un carril bífido; y

$\beta = 0$ si el cartel señala un carril de dirección propia;

y_{flecha} es la altura en mm de las flechas empleadas para indicar carriles, que para las flechas F-1, F-2 y F-3 es de 430 mm [44:80]; y

s_{flech} es la altura en mm de la separación entre flechas y texto, correspondiente a la separación entre líneas que la 8.1-IC define en [44:80] como

$$s_{flecha} \leq \frac{2}{3} Hb \quad (\text{Ec. 17}); y$$

y_E es la altura, en mm, de los carteles de salida, que se puede calcular con

$$y_E = 4 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) + y_{núm} + y_{d,S} + y_{flecha} + s_{flecha} \quad (\text{Ec. 18})$$

donde

$y_{núm}$ es la altura de la cifra del número de salida, la cual, recordemos, no se escribe en Hb , sino siguiendo lo establecido en la ecuación 9; y

$A_{esquina}$, que de acuerdo con [44:86] podrá determinarse via

$$A_{esquina} = \left(\frac{9}{2} \cdot a_o \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \quad (\text{Ec. 19}).$$

Para los carteles flecha por carril experimentales, el área del cartel en m^2 será

$$A_{cartel, fpc} = \left(\left(\sum x_{sc,i}' \right) \cdot y_{sc}' + x_{sc} \cdot y_{sc} - A_{esquina} \cdot 5 \right) \cdot 10^6 \quad (\text{Ec. 20})$$

donde

$\sum x_{sc,i}'$ es el sumatorio del ancho de los dos subcarteles del cartel, en mm;

y_{sc}' es la altura de los subcarteles, en mm; y

x_{sc} es el ancho de los subcarteles superiores, correspondientes a la distancia y número de salida, en mm;

y_{sc} es la altura de los subcarteles superiores, correspondientes a la distancia y número de salida, en mm; y

$A_{esquina}$ es el área de cada una de las cinco esquinas recortadas en el borde del cartel flecha por carril, en mm².

$x_{sc,i}'$ para cada uno de los subcarteles queda definido por

$$x_{sc,i}' = \text{máx}(x_{p,i}', x_{carr}') \quad (\text{Ec. 21})$$

donde

$x_{p,i}'$ es el ancho, en mm, del cartel si se dimensiona con el ancho de las palabras que conforman el grupo de destinos como factor determinante, el cual se describe mediante

$$x_{p,i}' = x_{d,i}' + a_o + s_m + s_{brd} + s_{centro} \quad (\text{Ec. 22})$$

donde

$x_{d,i}'$ es el ancho, en mm, del grupo de destinos correspondiente al cartel, el cual puede ser $x_{d,DP}$ o $x_{d,S}$; y

s_{centro} es el ancho de la separación entre el grupo de destinos y la frontera virtual, que se estableció en el apartado *Concreción*, en la página 87, como

$$s_{centro} = Hb \quad (\text{Ec. 23}); \text{ y}$$

x_{carr}' es el ancho, en mm, del subcartel si se dimensiona con el ancho de los carriles que señala como factor determinante, el cual se define para carriles de 3,5 m mediante

$$x_{carr}' = a_o + s_m + s_{brd} + \frac{1}{2} \cdot x_{flecha}' + (3500 \cdot (n_{carriles}' - 1)) \quad (\text{Ec. 24})$$

donde

x_{flecha}' es el ancho en mm de la flecha más exterior empleada para indicar carriles, que para las flechas G-1 es 488 mm y para las G-4 y G-5, 666; y

$n_{carriles}'$ es el número de los carriles, incluyendo el bífido, que son señalizados por el subcartel;

y_{sc}' queda descrito por

$$y_{sc}' = \text{máx}(y_{sc,i}') \quad (\text{Ec. 25})$$

donde

$y_{sc,i}'$ es la altura correspondiente a cada uno de los subcarteles, la cual se calcula con

$$y_{sc,i}' = 2 \cdot (a_o + s_m + s_{brd}) + y_{d,i}' + y_{flecha}' + s_{flecha} \quad (\text{Ec. 26})$$

donde

$y_{d,i}'$ es la altura, en mm, del grupo de destinos correspondiente al subcartel, el cual puede ser $y_{d,DP}$ o $y_{d,S}$; y

y_{flecha} es la altura, en mm, de la flecha más alta entre las empleadas para indicar carriles correspondientes a destinos del subcartel, incluyendo la bífida; que para las flechas G-1, G-2 y G-3 es 860 mm y para las G-4, G-5, y G-6, 670;

x_{sc} se calcula de igual forma que en los carteles con duplicación de destinos, tal y como se describía en la ecuación 8;

y_{sc} se define por

$$y_{sc} = 2 \cdot (a_o + s_m + s_{bra}) + y_{núm} \quad (\text{Ec. 27}); y$$

$A_{esquina}$, la cual se determinó en la ecuación 19.

Resultados

En 11 de las 12 parejas de carteles evaluadas la opción de emplear carteles flecha por carril (B) suponía una mayor economía, con reducciones de área que han llegado a alcanzar el 43 % respecto a las alternativas duplicando destinos (A).

Considerando los 24 carteles, el empleo de la alternativa flecha por carril ha supuesto una reducción en área media del 17,54 % respecto a la duplicación.

El único conjunto de carteles donde el área ha sido mejor en la alternativa A es la pareja 8, ciertamente excepcional por su escaso número de destinos y su configuración como señalización inmediata, algo no previsto por la 8.1-IC vigente.

Evaluación económica			
Configuración	Área de carteles tipo A (m ²)	Área de carteles tipo B (m ²)	Diferencia
1	41,388	36,089	-12.80 %
2	93,765	70,669	-24.63 %
3	65,310	51,043	-21.84 %
4	56,754	47,217	-16.80 %
5	69,580	47,240	-32.11 %
6	43,855	40,678	-7.24 %
7	45,501	43,302	-4.83 %
8	23,941	27,583	15.21 %
9	33,994	33,381	-1.80 %
10	69,785	39,608	-43.24 %
11	64,532	36,894	-42.83 %
12	47,215	38,899	-17.61 %

Tabla IV-12. Comparación de áreas entre carteles de una u otra tipología. *Elaboración propia*

Discusión de los resultados

Experimentos con control temporal

Los resultados demuestran que los carteles tipo B (flecha por carril) indujeron más elecciones de carril correctas y menos elecciones innecesarias para todos los casos donde la duplicación de destinos (tipo A) implicaba omitir el topónimo de los destinos asignados a los sujetos. Cuando no fue así, no se ha demostrado ninguna diferencia significativa en el desempeño entre los carteles tipo A y B en cuanto a elección de carriles.

Se puede inferir que cuando los conductores españoles eligen carril esperan una separación en carteles para los carriles asociados a cada movimiento. Por tanto, si en un cartel se omite algún destino pero no es así en el cartel contiguo, la mayoría de conductores pasará al carril donde sí está señalizado, aunque ambos tengan otros destinos y cajetines iguales. Habiendo observado esta tendencia, debería considerarse en ulteriores estudios el añadido de líneas separadoras a los carteles flecha por carril, por ver si recalcar la división en movimientos pudiera mejorar su rendimiento en cuanto a elección de carril.

Por otro lado, se hace patente que en cuanto a elección de carril, la práctica habitual de omitir la opcionalidad en los carriles bífidos directos supone un número muy elevado de elecciones de carril innecesarias y menoscaba el añadido en capacidad que supone la escisión en la nariz.

Los resultados prueban también que los sujetos tuvieron un comportamiento relativamente consistente con ambas alternativas de señalización a lo largo del experimento. Si los participantes entendieron correctamente los carteles flecha por carril —completamente nuevos respecto a las señales que han visto habitualmente—, dichos carteles les indujeron en general a una mejor selección de carriles, con menos elecciones incorrectas que correctas; si no fue así, los comportamientos fueron similares. Ello explica también los porcentajes de elección relativamente similares entre todos los carteles donde no se han apreciado diferencias significativas entre tipos A y B.

El número de elecciones de carril innecesarias fue elevado en general para ambas tipologías. Ello no resulta sorprendente. Ante la incertidumbre, cambiar al carril para el que se siente más seguridad es una decisión inteligente para el conductor: el coste de estar equivocado es simplemente haber realizado un cambio de carril de más; el coste en la alternativa es tomar una dirección completamente equivocada.

A tenor de los tiempos obtenidos, se hace patente que el tiempo requerido para elegir carril no varía significativamente entre las diferentes tipologías, ni siquiera ante carteles complejos, confusos o de una tipología completamente nueva. Sería interesante para ulteriores estudios no mostrar las señales durante un tiempo prefijado, sino medir el que los participantes requirieran para comprender correctamente las señales, y así ver si unas señales requieren más tiempo que otras.

Curiosamente, en contra de lo demostrado en la literatura hasta la fecha, los carteles flecha por carril no ofrecieron una mejora significativa a los participantes de edad avanzada; es más, se encontró una correlación negativa moderada entre la edad de los sujetos y la elección correcta de carriles ante los mismos, probablemente causada por su carácter novedoso. Por otro lado, también se encontraron correlaciones moderadas entre edad y elecciones incorrectas para

ambas tipologías. Sería conveniente realizar estudios centrados en este grupo de sujetos para poder determinar con más exactitud si es significativo el efecto de la tipología en su interpretación de los carteles.

Respecto a las personas con dificultades de lectura, el escaso número de sujetos con esta circunstancia ha impedido llegar a conclusiones con rigor, aunque los resultados y comentarios positivos de los participantes con esta característica hacia los carteles B respecto al sistema tradicional hacen que también se vea aconsejable hacer investigaciones específicas.

Con todo, no se ha apreciado influencia de factores intrasujeto más allá de las ligeras correlaciones citadas en la sección de resultados. Sería de interés, en el diseño de ulteriores experimentos, buscar muestras suficientes para realizar técnicas de regresión que permitan analizar con mayor rigor estos factores sociales.

Finalmente, los numerosos comentarios de los sujetos demostrando tener una imagen mental de la vía completamente equivocada, pese a haber elegido carriles correctamente, reafirmaron la necesidad de una evaluación donde no se evaluara simplemente la elección de carriles, sino también la comprensión de la divergencia.

Después de todo, la conducción real es distinta a lo mostrado en este experimento: el conductor tiene el contexto de la vía como ayuda, y normalmente, las divergencias se preseñalizan varias veces, no limitando la decisión a un único conjunto de carteles. Experimentos en carreteras reales o en simuladores de conducción con un número suficiente de participantes sin duda darían la oportunidad de alcanzar resultados muy valiosos al comparar tipologías de carteles; ante los medios disponibles para la realización de este trabajo, sólo pudo recurrirse a las encuestas que se discuten a continuación.

Encuestas sin control temporal

Los resultados obtenidos en las preguntas de verdadero-falso reafirman las conclusiones obtenidas de los experimentos con control temporal: si el topónimo de un destino se omite en uno de los carteles, los sujetos asumen que no es accesible mediante los carriles que señala. Ello ha supuesto que, en las preguntas donde ello ocurre, los carteles flecha por carril (tipo B) obtengan un número notablemente superior de respuestas correctas que los que duplican destinos (tipo A), oscilando entre el doble y el óctuplo de respuestas correctas. Por el contrario, en las preguntas verdadero-falso donde se trataban destinos no omitidos, el comportamiento de ambos tipos de carteles ha sido similar.

Respecto a las preguntas verdadero-falso acerca del entendimiento de las divergencias, los resultados son verdaderamente preocupantes. Un 60 % de los participantes entendió que los carteles con duplicación de destinos señalizan dos salidas sucesivas, y más de la mitad afirmó como falso que indicaran la bifurcación del carril bífido. Se pone de manifiesto que la señalización vigente para los carriles bífidos españoles dista mucho de ser la adecuada, y los todavía peores números aplicando el sistema a carriles bífidos directos hacen ver que tampoco sería adecuado para tales configuraciones. En cambio, el desempeño de los carteles tipo B en las preguntas acerca del entendimiento de las divergencias ha sido muy positivo, induciendo proporciones mayoritarias de respuestas correctas, algo notable considerando su carácter novedoso para la mayoría de participantes.

En cuanto a identificación de carriles, la mayoría de sujetos identificó correctamente ambos carriles cuando se le preguntó por la dirección propia, sin diferencias significativas entre tipos de cartel. Las diferencias aparecen, sin embargo, al preguntar a los sujetos acerca de la salida. Mientras que casi un 60 % de los participantes entendió que el único carril hacia la salida era el derecho para los carteles A, sólo un 15 % cometió tal error con los carteles tipo B para carriles bífidos directos y aún menos, un 11 %, en indirectos. Con los carteles flecha por carril, la gran mayoría –80 % o más para ambas configuraciones– identificó correctamente todos los carriles.

Merece la pena recordar que en los carteles de las preguntas de identificación de carriles *no* se omitieron destinos, mas cuando se asignaban a los sujetos, éstos no consistían sólo de un topónimo, como en los experimentos de control temporal, sino que también incluían los nombres de las carreteras y números de salida. Sería de gran interés estudiar si el empleo de destinos completos pudiera causar un menor uso de los carriles opcionales en experimentos con control temporal como el emprendido.

En cuanto a aspectos más sociales, los participantes también expresaron mayor seguridad en sus respuestas con los diseños flecha por carril, y los prefirieron para la señalización de carriles bífidos indirectos y directos.

Resulta notable la aparente preferencia de los participantes por los carteles flecha por carril con flechas rectilíneas, que las directrices de este trabajo reservaban principalmente para los carriles bífidos directos. Tal diseño fue elegido para los carriles bífidos indirectos por un tercio de los sujetos, quedando en segunda posición tras las flechas curvilíneas (con un 50 %); y fue la elección mayoritaria (80 %) en los directos, donde curiosamente el diseño de flechas curvilíneas quedó en último lugar, con sólo un 5 %.

Evaluación económica

Las comparativas efectuadas demuestran que, salvo casos anecdóticos, el empleo de carteles flecha por carril implica menor superficie que el sistema actual de duplicación de destinos.

Si bien las flechas de los carteles flecha por carril son más grandes que las habituales, tal incremento de tamaño se ve contrarrestado por un uso más eficiente del espacio que duplicando destinos, evitando tener que componer carteles con excesivo espacio vacío, debido al incremento de altura en los carteles que no corresponden al carril bífido inherente a la duplicación de destinos.

Se demuestra también que tal reducción de espacio puede llegar a ser muy significativa para conjuntos de carteles hoy habituales, permitiendo un ahorro importante a las Administraciones.

V. CONCLUSIONES

En el mundo de hoy, hay quienes sostienen que la señalización de orientación es un anacronismo obsoleto, ya innecesario frente al GPS y la experiencia de los conductores; y que pronto la proliferación de los vehículos autónomos hará prescindible la señalización de cualquier tipo.

Tales predicciones son, sin embargo, poco afortunadas. La automatización en otros modos de transporte ha sido propiciada, precisamente, por los cambios y mejoras de sus sistemas de señalización; sin señales su funcionamiento sería imposible.

En la carretera, si se pretende una conducción autónoma segura y eficiente, no podrá ser de otra manera. Sin la mejora e integración de la infraestructura, especialmente de la señalización, el transporte viario no llegará a ser un sistema verdaderamente automático; sólo se habrá sustituido al conductor por una máquina.

Pero no hay que adelantarse a los acontecimientos. Las señales deben cambiar y mantenerse actualizadas para abrir camino a los cambios del mañana, sí, pero más importantemente, deben resolver los problemas del hoy. Pese a la prevalencia de los sistemas de navegación y otras ayudas, los conductores siguen necesitando señalización para orientarse en la carretera, sobre todo en divergencias complejas, y ésta ha de mantenerse a la vanguardia para seguir cumpliendo su cometido en entornos cada vez más exigentes.

Es tal propósito lo que motiva este trabajo final de grado. Por ello, se ha tratado, con medios limitados y de la mejor manera posible, de no sólo aportar soluciones y resultados a un problema concreto, los carriles bífidos españoles, sino de también ofrecer un punto de partida para el desarrollo de ulteriores estudios en el tema: se han propuesto definiciones, se ha repasado la legislación nacional e internacional y se ha analizado el estado del arte en el extranjero, evidenciando las limitaciones de la normativa actual.

En cuanto a los resultados, éstos sugieren que la adopción de señalización flecha por carril para los carriles bífidos españoles podría resultar una medida positiva.

En la primera evaluación que se emprendió, experimentos con control temporal para evaluar las elecciones de carril, los carteles flecha por carril que se desarrollaron para este trabajo tuvieron un desempeño que osciló entre similar y superior a la solución de la norma 8.1-IC. Ante problemáticas habituales con la solución normativa, como la omisión de destinos, la no señalización de carriles bífidos directos o la presencia de destinos huérfanos, los carteles flecha por carril indujeron significativamente a los sujetos a realizar más elecciones correctas y menos elecciones innecesarias de carril.

En las encuestas sin control temporal, donde se evaluaron simultáneamente la comprensión de las divergencias y la identificación de los carriles para cada movimiento de las mismas, los carteles flecha por carril ofrecieron un número de respuestas correctas significativamente superior que los que duplicaban destino según normativa. Se constató que la duplicación de destinos fue mal interpretada por la mayoría de sujetos, entendiendo que señaliza salidas sucesivas a un mismo destino en lugar de la presencia de un carril bífido, y la mayoría de participantes no identificó el carril bífido como utilizable para tomar la salida. Además, los

sujetos se sintieron más seguros con los carteles flecha por carril, expresando su preferencia por esta tipología para señalizar carriles bífidos.

Respecto a la evaluación económica, el uso de carteles flecha por carril supuso una reducción de superficies para la mayoría de situaciones evaluadas, con un ahorro medio del 17,54 % respecto a la duplicación de destinos.

A tenor de estos resultados, parece muy interesante emprender investigaciones serias sobre carriles bífidos y carteles flecha por carril más allá del alcance limitado de este sencillo trabajo: el funcionamiento del sistema en vías de más de tres carriles, el uso de flechas diferentes, el efecto de dividir con líneas verticales los grupos de destinos, el desempeño ante grupos sociales concretos, la señalización de carriles bífidos sucesivos, la integración con el resto de señalización o la inventarización de salidas convertibles a carriles bífidos directos son temas dignos de tratarse. También naturalmente, sería positivo evaluar otros sistemas: flecha abajo con más flechas que carriles, carteles *a la danesa*, carteles diagramáticos...

Por otro lado, las posibilidades no se limitan al problema concreto de los carriles bífidos. Implementar carteles flecha por carril en toda la señalización vertical, como se hizo en Países Bajos, podría estudiarse, así como desarrollar soluciones alternativas para la señalización de salidas sucesivas. Más allá, investigar otras cuestiones de la señalización española sería de enorme interés: el efecto que tuvo abandonar el alfabeto *Autopista* para pasar a emplear *Carretera Convencional* en todas las situaciones, los posibles beneficios de reducir el uso de mayúsculas en las carreteras convencionales, la concreción de los destinos para itinerarios paralelos...

Y es que, después de todo, nuestras señales han de continuar poniéndose a prueba. De ello depende la capacidad de la señalización vertical española por mantenerse como una ayuda eficaz a la circulación, que contribuya a la eficiencia y a la seguridad de las carreteras y que permita, como se leía en la introducción, conducir *con segura noticia, y sin rezelo de extraviarse*.

Desaprovechar el potencial de las señales españolas y sus aciertos, al permitir por dejadez que se queden anquilosadas, o lo que es peor, que creen perjuicios a los conductores, sería perder el rumbo.

Y no hay nada peor que perderse.

en Hong Kong, a 4 de febrero de 2023 – en València, a 5 de septiembre de 2023

PAU MARTÍ TALENS

Alumno de 4.º curso del Grado en Ingeniería Civil

Autor del presente trabajo

VI. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

1. 10.8.2018/729 Tieliikennelaki. *Suomen säädöskokoelma*, de 23 de marzo de 2023.
2. Proyecto del Real Decreto XXXX/2022 de XXXX, por el que se modifica el Reglamento General de Circulación, aprobado por Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, en materia de señalización de tráfico. de 28 de septiembre de 2022.
3. Orden FOM/273/2016, de 19 de febrero, por la que se aprueba la Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 55, de 4 marzo de 2016. BOE-A-2016-2217.
4. Real Decreto Legislativo 6/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 261, de 31 de octubre de 2015. BOE-A-2015-11722.
5. Orden FOM/534/2014, de 20 de marzo, por la que se aprueba la norma 8.1-IC señalización vertical de la Instrucción de Carreteras. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 83, de 5 abril de 2014, 12. BOE-A-2014-3654.
6. SFS 2007:90 Vägmärkesförordning. *Svensk författningssamling*, de 1 de junio de 2007. Versión del SFS núm. 2018:1561.
7. 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*, núm. 306, de 23 de diciembre de 2003. BOE-A-2003-23514.
8. Orden de 28 de diciembre de 1999 por la que se aprueba la norma 8.1-IC, señalización vertical, de la Instrucción de Carreteras. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 25, de 29 enero de 2000. BOE-A-2000-1798.
9. Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über Straßenverkehrszeichen (Straßenverkehrszeichenverordnung 1998 – StVZVO 1998). *Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich*, de 28 de julio de 1998. Versión consolidada del BGBl. II Nr. 292/2013.
10. Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285. Nuovo codice della strada. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, núm. 114, de 18 de mayo de 1992. Suppl. Ordinario n. 74.
11. Decreto 1277/1969, de 26 de junio, por el que se modifican diversos artículos del Código de la Circulación y se incluye en el mismo un nuevo capítulo regulando la circulación por autopista. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 154, de 28 de junio de 1969.
12. 道路標識、区画線及び道路標示に関する命令。昭和 35 年総理府・建設省令第 3 号。官報, de 17 de diciembre de 1960.
13. Convenio sobre la circulación por carretera. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 88, de 12 de abril de 1958.

14. Anexos a Código de la Circulación. *Gaceta de Madrid*, núm. 271, de 28 septiembre de 1934.
15. Decreto, por el que se aprueban el adjunto Código de la Circulación y sus Anexos. *Gaceta de Madrid*, núm. 269, de 26 septiembre de 1934.
16. Ley, por la que se aprueba el Convenio sobre unificación de señalamiento en carreteras, firmado en Ginebra el 30 de marzo de 1931. *Gaceta de Madrid*, núm. 95, de 5 abril de 1931.
17. Convenio para la circulación internacional por carreteras, firmado en París el 24 de abril de 1926. *Gaceta de Madrid*, núm. 85, de 26 de marzo de 1927.
18. Circular dejando sin efecto la circular de 17 de Diciembre de 1920. *Gaceta de Madrid*, núm. 146, de 26 de mayo de 1922.
19. Convenio internacional relativo a la circulación de automóviles, firmado en París el 11 de Octubre 1909. *Gaceta de Madrid*, núm. 118, de 27 de abril de 1912.
20. Instrucción para llevar a efecto la Real orden de 18 de Diciembre de 1856 relativa a la colocación de postes kilometricos en las carreteras generales que, partiendo de esta corte, van á terminar en las costas y fronteras. *Gaceta de Madrid*, núm. 1565, de 16 de abril de 1867.
21. Reglamento para la ejecución del decreto de 7 de abril de 1848 sobre construcción, conservación y mejora de los caminos vecinales. *Gaceta de Madrid*, núm. 4965, de 18 de abril de 1848.
22. Ordenanza para la conservación y policía de las carreteras generales. *Gaceta de Madrid*, núm. 2898, de 16 septiembre de 1842.
23. Real ordenanza para el establecimiento é instruccion de intendentes de ejército y provincia en el reino de la Nueva-España. *Legislación de la Corte de Carlos III de España*, 1786. Biblioteca del Banco de España, FEV-SV-G-00053.
24. Real resolución comunicada al Consejo por el Ministerio de Estado en órden de 16 de Enero de 1769. *Novísima recopilación de las Leyes de España mandada formar por el señor Don Carlos IV. Tomo III: Libros VI y VII*, de 16 de enero de 1769. Biblioteca Jurídica Digital, PUB-LH-1993-63.
25. Ordenanza de 13 de octubre de 1749 para el restablecimiento é instruccion de intendentes de provincias y exercitos. *Legislación de la Corte de Fernando VI de España*, de 13 octubre de 1749. Biblioteca Virtual de Defensa, IV-6460(28).
26. Guía para conseguir una correcta señalización vertical. 2013. AFASEMETRA, 3M.
27. Ahmed, A., Weaver, S., Chao, S. y Marchese, M. Informe FHWA-HRT-23-036, Evaluation of Additional Alternatives of, and Arrow Sizes for, Overhead Arrow-per-Lane Guide Signs. Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration.
28. Projecte de Senyalització de les Rondes de Barcelona. Mayo de 1992. Àmbit de la Via Pública, Ajuntament de Barcelona.
29. Directional Information Signs. Capítulo 2 del Traffic Signs Manual. Noviembre de 2021. An Roinn Iompair.

30. Antona, L., Olivares, A., De la Rica, S. y Serret, L. (2004). «Réplica al Catedrático D. Sandro Rocci por los demás ponentes de la 8.1-IC». *Carreteras*, (132), 102-104.
31. Bhapkar, V. P. (1966). «A Note on the Equivalence of Two Test Criteria for Hypotheses in Categorical Data». *Journal of the American Statistical Association*, 61(313), 228-235.
32. Brackett, Q., Huchingson, R. D., Trout, N. D. y Womack, K. (1992). «Study of Urban Guide Sign Deficiencies». *Transportation Research Record*, (1368), 1-9.
33. Brackett, Q., Huchingson, R. D., Trout, N. D. y Womack, K. N. (1991). Informe 957-1, Highway User Operational Information. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System.
34. Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 26/2000 - Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen. 28 de diciembre de 2000. Bundesministerium für Verkehr, B. u. W.
35. Castro Ramírez, C., Horberry, T., Tornay Mejías, F. J., Martínez, C. y Martos Perales, F. (2003). «Efectos de facilitación de repetición y semántica en el reconocimiento de señales de indicación y peligro». *Cognitiva*, 15(1), 19-32.
36. Chrysler, S. T., Williams, A. A., Funkhouser, D. S., Holick, A. J. y Brewer, M. A. (2007). Informe Informe 0-5147-1, Driver comprehension of diagrammatic freeway guide signs. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System.
37. Recomendaciones para la Señalización Vertical. Enero de 1997. Comunidad de Madrid.
38. Manual de identidad visual para carreteras de la Comunidad de Madrid 2009. Consejería de Transportes e Infraestructuras, Comunidad de Madrid.
39. The Traffic Signs Regulations and General Directions 2016. 16 de marzo de 2016. Department for Transport.
40. Comunicación n.º 6/69 C.V. - Asunto: nuevas normas y señales de circulación. 26 de septiembre de 1969. Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales, Ministerio de Obras Públicas.
41. Orden circular 8.1-IC (2ª edición). 25 de julio de 1962. Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales, Ministerio de Obras Públicas.
42. Orden circular n.º 61-1960 - Asunto: normas provisionales sobre balizamiento. 26 de enero de 1960. Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales, Ministerio de Obras Públicas.
43. Orden Circular 3/1996 - Elementos de señalización de la red de carreteras de Andalucía. Octubre de 1996. Dirección General de Carreteras, Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía.
44. Señalización vertical. Norma 8.1-IC de la Instrucción de Carreteras. Febrero de 2014 (BOE del 20 de marzo de 2014). Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.
45. Señalización vertical. Norma 8.1-IC de la Instrucción de Carreteras. Enero del 2000 (BOE del 29 de enero de 2000). Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.

46. Señalización vertical. Norma 8.1-IC (provisional). 1997. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.
47. Tomo I. Características de las Señales. Señales Verticales de Circulación. Marzo de 1992. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
48. Tomo II. Catálogo y Significado de las Señales. Señales Verticales de Circulación. Junio de 1992. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
49. Señalización vertical. Instrucción 8.1-IC/91 (borrador). 26 de junio de 1991. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
50. Señalización vertical. Instrucción 8.1-IC/1990 (borrador). 27 de junio de 1990. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
51. Nota de servicio - Asunto: Señalización en autovías. 16 de enero de 1990. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
52. Nota de servicio - Asunto: Actualización y precisiones acerca de las normas de composición de carteles de pórticos, preavisos, croquis y flechas, enviadas mediante escrito del director general de construcción y explotación de fecha 28 de mayo de 1982. 11 de octubre de 1988. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
53. Orden comunicada: "Señalización de las autovías que vayan a ser abiertas a la circulación". 27 de febrero de 1987. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
54. Catálogo de señales de circulación. Noviembre de 1986. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
55. Señales de circulación. Abril de 1985. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
56. Trazado. Norma 3.1-IC de la Instrucción de Carreteras. Enero de 2020 (BOE del 19 de febrero de 2016). Edición de septiembre de 2020. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
57. Dirección General de Tráfico. (2023). Censo de conductores - Tablas estadísticas 2022. Ministerio del Interior.
58. Emhjellen, K., Euritt, M. A., Govind, S., Walton, C. M. y Ward, W. V. (1990). Informe 957-2F, An Analysis of Roadway User Information Systems. Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
59. Közúti jelzőtáblák (G). Útbaigazító és utaló jelzőtáblák és jelképeik. Enero de 2012. Építési és Közlekedési Minisztérium.
60. Notice of Proposed Amendments for the Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. *Federal Register*, núm. 2021-01440, de 2 febrero de 2021, 86 FR 7838. 2021-01440.

61. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. 16 de diciembre de 2009. Edición de julio de 2022 (rev. 3). Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
62. Fesvial, Centro Zaragoza: Instituto de investigación sobre reparación de vehículos, S. A. y UNESPA (2015). «Proyecto ECAM: Estudio sobre la conducción y la seguridad vial en la población de conductores conductores mayores de 65 años». Fesvial.
63. Fesvial, Confederación Nacional de Autoescuelas, Seguros Zurich y EMER-GFK (2010). «Las señales a examen: la opinión de los conductores españoles sobre las señales de tráfico». Fesvial.
64. Fitzpatrick, K., Chrysler, S. T., Brewer, M. A., Nelson, A. y Iragavarapu, V. (2013). Informe FHWA-HRT-13-047, Simulator Study of Signs for a Complex Interchange and Complex Interchange Spreadsheet Tool. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System.
65. Fontaine, M. D., Chrysler, S. T. y Ford, J., Garry L. (2002). Informe FHWA/TX-02/0-4170-1, Freeway guide signing: Review of past research. Research and Technology Implementation Office, Texas Transportation Institute. Texas Department of Transportation, Austin, Estados Unidos.
66. Forbes, T. W., Moscowitz, K. y Morgan, G. (1951). «A comparison of lower case and capital letters for highway signs». *Thirtieth Annual Meeting of the Highway Research Board*, Highway Research Board, Washington, DC, Estados Unidos, 355-373.
67. Golembiewski, G. y Katz, B. J. (2008). Traffic Control Device Pooled Fund Study: Diagrammatic Freeway Guide Sign Design. Traffic Control Device Pooled Fund.
68. Hernando Mazón, A., Lucas Alba, A., Ferruz Gracia, A. M. y Orejudo Hernández, S. (2021). «The role of drivers' schemes on traffic signs comprehension». *Transportation Research Procedia*, 58 340-346.
69. Hice, J. L. y Chrysler, S. T. (2006). «Driver comprehension of diagrammatic advanced guide signs and their alternatives». *Compendium of student papers: 2006 undergraduate transportation engineering fellows program*, 21-40.
70. Huang, L., Zhao, X., Lv, S., Ma, S. y Liu, Q. (2023). «Research on the optimization method of a complex diagrammatic sign on urban expressways based on the non-integer rank RSR method». *Accident Analysis and Prevention*, 189 107114.
71. Instituto Nacional de Estadística. (2022). Cifras oficiales de población de los municipios españoles en aplicación de la Ley de Bases del Régimen Local (Art. 17).
72. Instrucción para uso de los peones camineros en la observación permanente de carreteras y reglamento para la conservación y policía de carreteras. 1907. Julián Ramírez.
73. Katz, B. J., Dagnall, E. E., Bertola, M. A., O'Donnell, C. C. y Shurbutt, J. (2014). «Evaluation of Truncated Arrow per Lane Guide Signs». *Transportation Research Record*, 2434(1), 89-94.
74. Katz, B. J., Golembiewski, G., Dagnall, E. E., O'Donnell, C. C. y Shurbutt, J. (2014). «Evaluation of Overhead-Mounted Sign Alternatives for Lane Use and Destination Information on Multilane Conventional Roads». *Transportation Research Record*, 2463(1), 55-61.

75. Kwigizile, V., Oh, J., Van Houten, R., Prieto, D., Boateng, R., Rodríguez, L., Ceifetz, A., Yassin, J., Bagdade, J. y Andridge, P. (2015). Informe RC 1636, Evaluation of Michigan's Engineering Improvements for Older Drivers. Western Michigan University.
76. Lichty, M. G., Bacon, L. P. y Richard, C. (2014). Informe FHWA-HRT-14-069, Collecting and Analyzing Stakeholder Feedback for Signing at Complex Interchanges. Battelle Seattle Research Center.
77. Llunenfeld, H. y Alexander, G. J. (1990). *A users' guide to positive guidance*, 3.^a edición. Federal Highway Administration, Washington, DC, Estados Unidos.
78. Lynch, K. (1960). *The image of the city*. The MIT Press, Cambridge, Estados Unidos.
79. Martí Talens, P. (2023). «¿Me ayudan en mi TFG? ¿Qué les parece mejor para preseñalizar carriles bífidos como estos en España?». <<https://twitter.com/paumartitalens/status/1673414563461738496>>. (26 de junio, 2023).
80. McNemar, Q. (1947). «Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages». *Psychometrika*, 12(2), 153-157.
81. Pravilnik o prometni signalizaciji in prometni opremi na cestah. 12 de junio de 2015. Minister za Infrastrukturo Izdaja.
82. Arrêté ministériel du 11 octobre 1976 fixant les dimensions minimales et les conditions particulières de placement de la signalisation routière. 14 de octubre de 1976. Ministère belge des Travaux publics.
83. Arrêté royal du 1er décembre 1975 portant règlement général sur la police de la circulation routière et de l'usage de la voie publique. 9 de diciembre de 1975. Ministère belge des Travaux publics.
84. Instrucción de carreteras. 11 de agosto de 1939. Ministerio de Obras Públicas.
85. Tomo I: Definición de las señales. Catálogo de señales verticales de circulación (borrador). Marzo de 2022. Ministerio del Interior, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
86. Tomo II: Dimensiones de las señales. Catálogo de señales verticales de circulación (borrador). Marzo de 2022. Ministerio del Interior, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
87. Circolare n. 400 del 9 febbraio 1979 relativa alla segnaletica urbana di indicazione. 9 de febrero de 1979. Ministero dei Lavori Pubblici de Italia.
88. Vyhláška č. 294/2015 Sb. 11 de septiembre de 2015 (en vigor desde el 1 de enero de 2016). Edición de 2020. Ministertsvo Vnitra.
89. Manual of Standard Traffic Signs and Pavement Markings. Septiembre de 2000. Ministry of Transportation and Highways, British Columbia .
90. Molenkamp, L. y de Mos, M. (2008). «6 innovatieve FileProof-projecten om de bereikbaarheid te verbeteren». *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*, Santpoort, Países Bajos.

91. Manual de disseny de la senyalització interurbana d'orientació de Catalunya. Edició de novembre de 2020, versió 2.0. MOST Enginyers, Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya .
92. Manual de disseny de la senyalització interurbana d'orientació de Catalunya. Edició de diciembre de 2016, versió 1.9. MOST Enginyers, Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya .
93. National Committee on Uniform Traffic Control Devices. (2020). «Recommended Changes to Proposed Text for 11th Edition of the MUTCD».
94. Señales e indicadores en las carreteras del Circuito Nacional de Firmes Especiales. Septiembre de 1930. Patronato del Circuito Nacional de Firmes Especiales.
95. Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E. y Lindeløv, J. K. (2019). «PsychoPy2: Experiments in behavior made easy». *Behav Res*, 51(1), 195-203.
96. Projectorganisatie FileProof. (2008). «Eindboek FileProof».
97. Richard, C. M. y Lichty, M. G. (2013). Informe FHWA-HRT-13-048, Driver Expectations When Navigating Complex Interchanges. Battelle Seattle Research Center.
98. Rijkswaterstaat. (2008). «Nieuwe Bewegwijzering Autosnelwegen».
99. Guide Signposting. Supplement to AS 1742.15:2007. Julio de 2007. Roads and Traffic Authority, New South Wales.
100. Roca, J., Tejero, P. y Insa, B. (2018). «Accident ahead? Difficulties of drivers with and without reading impairment recognising words and pictograms in variable message signs». *Applied Ergonomics*, 67 83-90.
101. Roca, J., Castro, C., Bueno, M. y Moreno-Ríos, S. (2012). «A driving-emulation task to study the integration of goals with obligatory and prohibitory traffic signs». *Applied Ergonomics*, 43(1), 81-88.
102. Roca, J., Insa, B. y Tejero, P. (2018). «Legibility of Text and Pictograms in Variable Message Signs: Can Single-Word Messages Outperform Pictograms?». *Human Factors*, 60(3), 384-396.
103. Rocci, S. (2007). «Señalización». *M-30* (publicación), Ayuntamiento de Madrid, ed., Turner, Madrid, 144-145.
104. Rocci, S. (2003). «Necesidad de reforma de la normativa sobre señalización vertical». *Carreteras*, (127), 20-31.
105. Schuirmann, D. J. (1987). «A comparison of the Two One-Sided Tests Procedure and the Power Approach for assessing the equivalence of average bioavailability». *Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics*, 15(6), 657-680.
106. 741.21 Signalisationsverordnung vom 5. September 1979 (SSV). 5 de septiembre de 1979. Schweizerische Bundesrat.

107. Skowronek, D. A. (1990). «An Investigation of Potential Urban Freeway Guide Sign Problem Locations in Houston, Texas». Master of Science. Texas A&M University.
108. Société des Nations. (7 de agosto 1931). «Convention sur l'unification de la signalisation routière, 16-30 de marzo de 1931». *Conférence européenne sur la circulation routière*, Société des Nations, Ginebra, Suiza.
109. Somers, R. A., Hawkins, H. G., Jasek, D. y Urbanik, T. (1996). Informe 1467-5, An Evaluation of Guide Signing At Right Multilane Freeway Exits With Optional Lanes. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System.
110. Freeway direction signs. Parte 6 del Road Traffic Signs Manual. Mayo de 2012. Southern African Development Community.
111. Staplin, L., Lococo, K., Byngton, S. y Harkey, D. (2001). Informe FHWA-RD-01-051, Guidelines and recommendations to accommodate older drivers and pedestrians. Scientex Corporation, TransAnalytics, LLC, Federal Highway Administration.
112. Tejero, P., Insa, B. y Roca, J. (2019). «Difficulties of Drivers With Dyslexia When Reading Traffic Signs: Analysis of Reading, Eye Gazes, and Driving Performance». *Journal of Learning Disabilities*, 52(1), 84-95.
113. Tejero, P., Insa, B. y Roca, J. (2019). «Reading Traffic Signs While Driving: Are Linguistic Word Properties Relevant in a Complex, Dynamic Environment?». *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 8(2), 202-213.
114. Tejero, P., Insa, B. y Roca, J. (2018). «Increasing the default interletter spacing of words can help drivers to read traffic signs at longer distances». *Accident Analysis and Prevention*, 117 298-303.
115. Tejero, P., Pi Ruano, M. y Roca, J. (2020). «Better read it to me: Benefits of audio versions of variable message signs in drivers with dyslexia». *Ann. of Dyslexia*, 70(3), 295-312.
116. Tejero, P. y Roca, J. (2021). «Messages beyond the phone: Processing variable message signs while attending hands-free phone calls». *Accident Analysis and Prevention*, 150 105870.
117. Guide and information signs. Libro 8 del Ontario Traffic Manual. Mayo de 2010. Traffic Office, Ontario Ministry of Transportation .
118. Introduction to the Ontario Traffic Manual. Libro 1 del Ontario Traffic Manual. Marzo de 2005. Traffic Office, Ontario Ministry of Transportation .
119. Sign design, fabrication & patterns. Libro 2 del Ontario Traffic Manual. Marzo de 2005. Traffic Office, Ontario Ministry of Transportation .
120. Appendix B - Sign Design Principles. Introduction to the Ontario Traffic Manual. Libro 1B del Ontario Traffic Manual. Julio de 2001. Traffic Office, Ontario Ministry of Transportation .
121. Appendix C - Positive Guidance Toolkit. Introduction to the Ontario Traffic Manual. Libro 1C del Ontario Traffic Manual. Julio de 2001. Traffic Office, Ontario Ministry of Transportation .

122. Upchurch, J. «Arrow-per-Lane Guide Sign Research, Revisited». *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos, .
123. Upchurch, J., Fisher, D. L. y Waraich, B. (2005). «Guide Signing for Two-Lane Exits with an Option Lane: Evaluation of Human Factors». *Transportation Research Record*, (1918), 35-45.
124. Håndbog - Vejvisning på motorveje. Enero de 2020. Vejdirektoratet.
125. Tegningsbilag - Vejvisning på motorveje. Enero de 2018. Vejdirektoratet.
126. VicRoads supplement to AS 1742.15:2007. Octubre de 2015. VicRoads, Victoria.
127. Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky z 13. februára 2020 o dopravnom značení. 13 de febrero de 2020. Vyhláška Ministerstva.
128. Direction, service and general guide signs. Parte 2 del Traffic Control Devices Manual. Enero de 2011. Waka Kotahi, Te Manatū Waka.
129. webny99. (2021). «Arrow-Per-Lane (APL) signs». AARoads.
130. Yau, G., Wong, B. y 道路研究社 Road Research Society (2023). «TPDM 大改版 香港路牌大革新». <<https://blog.road.org.hk/tpdm-2022-ff4685050e9>> (24 de abril, 2023).
131. Yau, G. y 道路研究社 Road Research Society (2019). *香港道路探索：路牌標誌 X 交通設計 - Hong Kong Road Study: Signage & Highway Design*. 中華書局, North Point, Hong Kong.
132. 中华人民共和国强制国家标准 GB 5768.2-2009 道路交通标志和标线 第 2 部分：道路交通标志. 25 de mayo de 2009 (en vigor desde el 1 de julio de 2009). 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.
133. 中华人民共和国强制国家标准 GB 5768.2-2022 道路交通标志和标线 第 2 部分：道路交通标志. 15 de marzo de 2022 (en vigor desde el 1 de octubre de 2022). 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.
134. 高速公路 交通工程標準圖. 21 de junio de 2023. 交通部高速公路局, 中華民國.