



VNIVERSITAT D VALÈNCIA

Programa de Doctorado: 300A

**“DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE  
ACCIDENTALIDAD FERROVIARIA EN LAS QUE  
INTERVIENE EL FACTOR HUMANO: VALORACIÓN DEL  
RIESGO EN LOS COLECTIVOS QUE SON VÍCTIMAS  
POTENCIALES DEL SISTEMA FERROVIARIO ESPAÑOL”**

**Programa de doctorado:**

Actividad humana y procesos psicológicos del Departamento de  
Psicología Básica

**Doctorando:**

Miguel Figueres Esteban

**Director:**

Dr. D. Francisco Toledo Castillo

Dr. D. Javier Ferrero Berlanga



*A mis padres, Miguel y Teresa*

*A Tere, Oscar, Cintia y Adrián*

*He aquí mi secreto, que no puede ser más simple: sólo con el corazón se puede ver bien; lo esencial es invisible para los ojos.  
El principito, Antoine de Saint-Exupéry*

*La virtud es, pues, una disposición voluntaria adquirida, que consiste en un término medio en relación con nosotros mismos, definida por la razón y de conformidad con la conducta de un hombre consciente. Y ocupar el término medio entre dos extremos malos, el uno por exceso y el otro por defecto. ... Por esta razón, si según su esencia y según la razón que determina su naturaleza, la virtud consiste en un término medio, en relación con el bien y la perfección, se halla la virtud en el punto más alto  
Ética Nicomaquea, Aristóteles*



## AGRADECIMIENTOS

Al terminar esta tesis me vienen a la memoria muchas personas, que en lo profesional y personal, han hecho posible este trabajo.

Quiero agradecer en primer lugar al Dr. Francisco Toledo, director de esta tesis junto con el Dr. Javier Ferrero, la posibilidad de haber tenido el honor de conocer y aprender de la experiencia de grandes expertos en el mundo de la seguridad ferroviaria, que no solo me han permitido crecer como profesional, sino como persona.

Pero en especial, quiero agradecer a Carmen y Pepa, su paciencia, comprensión y apoyo diario en esta etapa de mi vida; y a Jorge, Julián y Juan Carlos, de tener el privilegio de poder disfrutar de su amistad.



Esta tesis es fruto del plan de difusión del proyecto de investigación de I+D+i PT-2007-035-18IAPM "Determinación del nivel de riesgo aceptado en el funcionamiento del ferrocarril en España para los diferentes subsistemas existentes" (DETRA) a raíz de la concesión de ayudas del Cedex (Ministerio de Fomento) y la colaboración de las Direcciones de Seguridad en la Circulación de Adif y Renfe Operadora.





## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
1.1	ÁREAS EN EL FERROCARRIL QUE INTERACCIONAN CON PERSONAS AJENAS A LAS EMPRESAS FERROVIARIAS.....	6
1.2	COLECTIVOS DE RIESGO EN EL FERROCARRIL ESPAÑOL.....	9
1.3	ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD FERROVIARIA .....	13
1.3.1	<i>Análisis estadísticos de accidentalidad</i> .....	20
1.3.2	<i>Indicadores de accidentalidad en el ferrocarril</i> .....	27
1.3.3	<i>El factor humano en la accidentalidad ferroviaria</i> .....	32
1.3.3.1	Tipos de accidentes ferroviarios relacionados con el factor humano.....	32
1.3.3.2	Identificación del error humano en la gestión de la seguridad.....	38
1.3.3.2.1	Taxonomía de errores aplicada al ferrocarril.....	40
1.3.3.2.2	Análisis post-accidentes en función de informes de accidentalidad ..	44
1.3.3.2.3	Análisis de accidentes causados por personas ajenas al ferrocarril .	46
1.3.3.3	Principales causas de accidentalidad debidas al factor humano .....	48
1.3.3.3.1	En la explotación ferroviaria .....	48
1.3.3.3.2	En pasos a nivel .....	49
1.3.3.3.3	En invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril .....	49
1.3.3.4	Estrategias de intervención .....	52
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>55</b>
2.1	INTRODUCCIÓN.....	55
2.2	OBJETIVOS.....	57
2.2.1	<i>Objetivo general</i> .....	57
2.2.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	57
2.3	HIPÓTESIS.....	59
2.4	MUESTRA.....	62
2.5	DISEÑO .....	63
2.6	VARIABLES .....	64
2.7	PROCEDIMIENTO .....	67

2.7.1	<i>Elección del período temporal</i> .....	69
2.7.2	<i>Exploración de registros de accidentalidad</i> .....	71
2.7.3	<i>Análisis de causas y consecuencias de accidentes</i> .....	73
2.7.4	<i>Determinación de variables de accidentalidad relacionadas con el factor humano</i> .....	75
2.7.5	<i>Elaboración de base de datos estadística de sucesos</i> .....	76
2.7.6	<i>Características de explotación de la red ferroviaria</i> .....	78
2.7.7	<i>Definición de indicadores</i> .....	80
2.7.8	<i>Valoración del nivel de riesgo por colectivos</i> .....	82
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DESARROLLO ARGUMENTAL</b> .....	<b>83</b>
3.1	VARIABLES DE ACCIDENTALIDAD RELACIONADAS CON EL FACTOR HUMANO.....	83
3.2	VALORACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO POR COLECTIVOS.....	86
3.2.1	<i>Características de la red ferroviaria</i> .....	86
3.2.2	<i>Fallo humano</i> .....	86
3.2.2.1	Fallo humano de sucesos no combinados.....	86
3.2.2.2	Fallo humano de sucesos combinados.....	91
3.2.2.3	Fallo humano de sucesos no combinados por tipo de circulación.....	93
3.2.2.4	Fallo humano de sucesos no combinados por días de la semana y tipo de circulación.....	102
3.2.2.5	Fallo humano de sucesos no combinados por días de la semana y tipo de circulación.....	103
3.2.3	<i>Actuaciones de terceros</i> .....	104
3.2.3.1	Actuaciones de terceros por ubicación.....	104
3.2.3.1.1	En pasos a nivel.....	104
3.2.3.1.2	En plena vía.....	125
3.2.3.1.3	En estaciones.....	138
3.2.3.2	Actos vandálicos.....	144
3.2.3.3	Suicidios.....	145
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES FINALES</b> .....	<b>147</b>

4.1 CONCLUSIONES.....	148
4.2 LIMITACIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA .....	160
<b>5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>167</b>



## 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La finalidad de la política de transportes en la Unión Europea es implantar sistemas de transporte que satisfagan las necesidades de la sociedad. La movilidad, tanto de mercancías como de personas, es un factor prioritario para la industria y los servicios en Europa, siendo está además, un derecho fundamental de los ciudadanos (Comunicación de la Comisión al Consejo y Parlamento Europeo, 2006).

Uno de los principales objetivos marcados en el Libro Blanco de transporte de 2011<sup>1</sup> y que sigue vigente hasta la actualidad, es ayudar a proporcionar a los ciudadanos europeos unos sistemas de transporte eficientes y eficaces garantizando la protección de medio ambiente y fomentando unas normas laborales mínimas para el sector y la protección del pasajero y del ciudadano. Dentro de este marco, y al igual que ocurrió con el transporte por carretera y aéreo, el transporte por ferrocarril se ha consolidado en la última década con el establecimiento de una red transeuropea para el transporte de mercancías y viajeros bajo un marco normativo ferroviario y un sistema de gestión de tráfico que garantice la interoperabilidad y seguridad de los trenes.

Según el European Transport Safety Council (ETSC), de los diferentes modos de transporte (terrestre, marítimo y aéreo),

---

<sup>1</sup> COM(2011) 144 marzo de 2011: « Libro Blanco - Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible »

el transporte ferroviario, junto con el transporte aéreo, son los más seguros, con una tasa de 0,035 víctimas mortales de viajeros por 100 millones de kilómetros. De igual forma, el tren y el autobús, son los medios de transporte que poseen un menor número de víctimas mortales por cada 100 millones horas de viaje (tabla 1).

Modo	Víctimas mortales de viajeros por 100 millones de km.	Víctimas mortales de viajeros por 100 millones de horas de viaje
Carretera	0,95	28
Motocicletas	13,8	440
Peatones	6,4	25
Bicicletas	5,4	75
Vehículos	0,7	25
Autobuses	0,07	2
Ferry	0,25	8
Avión	0,035	16
Tren	0,035	2

Tabla 1 Número de víctimas mortales por distancia recorrida y horas de viaje para los diferentes tipos de modos de transporte en la Comunidad Europea en el período 2001/2002. Adaptada de la tabla 1 y 2 de la página 12 del European Transport Safety Council (2003)

Sin embargo, cuando ocurre un accidente ferroviario con víctimas mortales, tiene una enorme repercusión mediática y un gran impacto emocional como cualquier otro accidente de masas (Karlehagen, Malt, Hoff, Tibell, Herrstromer, Hildingson, & Leymann, 1993; Malt, Karlehagen, Hoff, Herrstromer, Hildingson, Tibell, & Leymann, 1993). Los accidentes ocurridos en España en Torredembarra (2002), Chinchilla (2003), Villada (2006) o Castelfellés (2010) son un claro ejemplo de ello (Domínguez, 2006; Guil, 2010; Marín, 2010).

En la última década, las políticas de seguridad ferroviaria en Europa han sido dirigidas para establecer modelos de gestión de seguridad, que entre otros aspectos, regulen la investigación y notificación de accidentes e incidentes, adaptando paulatinamente las reglas y normas de seguridad de cada Estado Miembro (señalización, explotación, requisitos de material rodante e instalaciones,...) hacia normas comunes de seguridad mediante la elaboración de reglamentos, directivas y especificaciones técnicas de interoperabilidad.

Un sistema ferroviario es un tipo de sistema extremadamente complejo debido fundamentalmente al enorme conjunto de interacciones entre sus diferentes partes (tren, vía, instalaciones, señalización, normas y regulación, personal de conducción y operaciones,...) tanto desde el enfoque técnico como humano (Reason, 2010; Toledo-Castillo, 2010; Toledo-Castillo, Lloret-Catalá, Figueres-Esteban, & Sospedra-Baeza, 2008).

El accidente se define como el resultado final de una cadena de sucesos (causas y consecuencias) asociados a un sistema/subsistema y en un determinado entorno (Toledo-Castillo, 2011), siendo el factor humano el que interviene en la mayor parte de las causas de accidentalidad (Høj & Kröger, 2002). Es por ello, que los estándares vigentes de especificaciones técnicas de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (European Committee for Electrotechnical Standardization, 1999) en el entorno ferroviario

(RAMS), indican que es imprescindible realizar un análisis del factor humano en el ciclo de vida de los sistemas ferroviarios, ya que no hay que olvidar que muchos subsistemas son utilizados por personas (maquinistas, personal de circulación, viajeros, personas ajenas al ferrocarril,...), y por tanto vulnerables al error humano (Rahimi & Meshkati, 2001; Rail Safety and Standards Board, 2007).

La valoración de la seguridad en el ferrocarril, se ha realizado principalmente desde el enfoque de la accidentalidad y de los costes derivados de la misma. La accidentalidad ferroviaria es poco frecuente y presenta una gran variabilidad respecto el número de víctimas resultantes, aunque en estudios realizados se indica que existe una relación de proporcionalidad de cuatro entre el número medio de víctimas mortales y el número de accidentes, considerando únicamente colisiones y descarrilamientos (Evans, 2005; Evans, 2011b). Los análisis de accidentalidad permiten establecer indicadores y objetivos de seguridad que permiten cuantificarla, con la finalidad de trazar estrategias destinadas a evitar accidentes similares en el futuro, o en el peor de los casos, minimizar las consecuencias de los mismos en caso de que vuelvan a ocurrir (Fukuda, 2002; Miwa, Gozun & Oyama, 2006; Santos-Reyes, Beard & Smith, 2005). Finalmente, para la valoración de una estrategia o medida de intervención, según el marco de trabajo definido en el libro "Tolerancia del riesgo" (HSE Books, 2001), partiendo de los costes derivados de la accidentalidad (materiales, humanos y



sociales) se define como criterio de aceptación de una medida que afecta a la seguridad ferroviaria, que los beneficios de dicha medida a implantar sean superiores a los costes para su implantación y al mismo tiempo sea económicamente viable. Es lo que se denomina el criterio ALARP (“tan bajo como razonablemente posible”) (European Committee for Electrotechnical Standardization, 1999; Rail Safety and Standards Board, 2007).

## 1.1 ÁREAS EN EL FERROCARRIL QUE INTERACCIONAN CON PERSONAS AJENAS A LAS EMPRESAS FERROVIARIAS

En un sistema ferroviario existen diferentes zonas que están en contacto con personas ajenas al sector ferroviario. Estas áreas se clasifican en tres: estaciones, plena vía y pasos a nivel (figura 1).

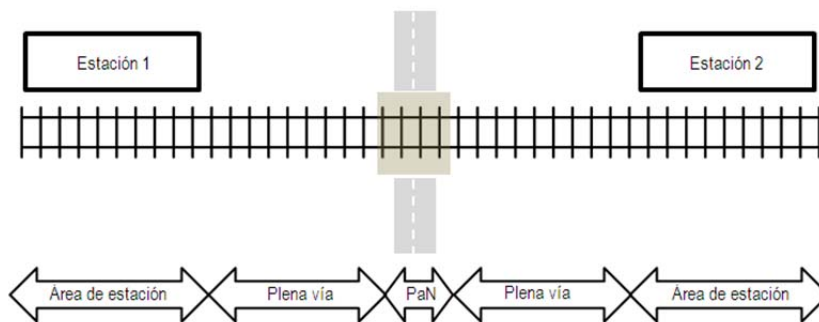


Figura 1 Áreas que interaccionan con personas ajenas al ferrocarril

Las estaciones o terminales de viajeros son zonas habilitadas para la circulación de trenes y el acceso de los viajeros a los mismos. En ellas se ubican:

- *Instalaciones e infraestructuras ferroviarias:* plataforma de vía, pasos a nivel pasivos e instalaciones (enclavamientos y señalización).

- *Edificios de servicio*: instalaciones dedicadas a la atención del viajero (venta de billetes, transporte de equipaje,...).
- Andenes: zonas habilitadas para garantizar la seguridad de los viajeros en el acceso al vehículo ferroviario.

La zona de plena vía, es aquella que se encuentra entre la señal de salida de una estación y la señal de entrada de la siguiente estación, a excepción de las zonas de paso a nivel. Se compone fundamentalmente por subestaciones, enclavamientos, plataformas de vía, carriles, traviesas, balasto y catenaria. Son zonas exclusivas de uso de las empresas ferroviarias y ni los viajeros ni vehículos de carretera o peatones están autorizados para transitar por ella.

Los pasos a nivel son zonas fuera de estación y situadas en plena vía que son punto de cruce común entre la vía férrea y un camino o carretera al mismo nivel. Permiten el cruce de vehículos o peatones por la vía, y en función del tipo de protección y señalización que se dispone en el punto, se clasifican en las siguientes clases:

- Clase A. Paso a nivel protegido con señales fijas exclusivamente.
- Clase B. Paso a nivel protegido con señales luminosas y acústicas además de con señales fijas.

- Clase C. Paso a nivel protegido con semibarreras, dobles semibarreras, o barreras automáticas o enclavadas, además de con señales fijas y señales luminosas y acústicas.
- Clase E. Paso a nivel protegido con barreras o semibarreras con personal a pie de paso.
- Clase F. Paso a nivel con protección específica destinado al uso exclusivo de peatones o de peatones y ganado.
- Particulares. Paso a nivel en caminos particulares protegidos por el titular de la concesión.

## **1.2 COLECTIVOS DE RIESGO EN EL FERROCARRIL ESPAÑOL**

Las clasificaciones de las víctimas mortales en el ferrocarril provienen principalmente de las indicaciones realizadas en el marco normativo ferroviario y de los históricos de accidentes de las empresas ferroviarias.

Con la implantación de la Directiva de Seguridad Ferroviaria en el 2004 (2004/49/CE), se definen los Indicadores Comunes de Seguridad (ICS) por tipos de accidentes para los siguientes colectivos: pasajeros, empleados (incluido el personal de contratas), usuarios de pasos a nivel, personas no autorizadas en instalaciones ferroviarias y otros.

En arreglo a lo dispuesto en esta Directiva, se define la recomendación de 29 de abril de 2008 dirigida a la Comisión Europea por la Agencia Ferroviaria Europea a propósito de los métodos comunes de seguridad (Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban & Lloret-Catalá, 2010) que deben emplearse para el cálculo y evaluación de la primera serie de Objetivos Comunes de Seguridad (OCS), y que se adopta a través de la Decisión de la Comisión 2009/460/CE, indicando que para establecer la primera serie de OCS es necesario determinar cuantitativamente los niveles de seguridad actuales de los sistemas ferroviarios de los Estados miembros mediante los Valores de Referencia Nacionales (VRN) para los colectivos viajeros, personal o empleado, usuarios de pasos a nivel,

personas no autorizadas en las instalaciones ferroviarias, otras personas y la sociedad en su conjunto (tabla 2).

Colectivo	Definición
Usuarios de pasos a nivel	"toda persona que utilice un paso a nivel para cruzar una línea ferroviaria en cualquier medio de transporte o a pie."
Personal o empleados, incluido el personal de los contratistas	"cualquier persona cuyo empleo se relacione con un ferrocarril y que se encuentre en servicio en el momento de producirse el accidente; el término incluye la tripulación de los trenes y las personas que manejen el material rodante o que operen las instalaciones de infraestructura."
Personas no autorizadas en las instalaciones ferroviarias.	"toda persona, salvo los usuarios de pasos a nivel, que se halle en una instalación ferroviaria pese a estar prohibida su presencia"
Otras personas (terceros)	"todas las personas que no puedan definirse como «viajeros», «empleados, incluido el personal de los contratistas», «usuarios de pasos a nivel» ni «personas no autorizadas en las instalaciones ferroviarias"
La sociedad en su conjunto	riesgo colectivo que afecte a todas las clases de personas mencionadas en el artículo 7, apartado 4, letra a), de la Directiva 2004/49/CE

Tabla 2 Definiciones de los colectivos recogidas en el Reglamento 2009/460/CE.

La definición de viajero adoptada por la Directiva de Seguridad Ferroviaria es la que viene definida en el reglamento 1192 de 2003 de la Comisión, que modifica el reglamento 91 de 2003 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a las estadísticas sobre transporte ferroviario, definiendo pasajero de ferrocarril como "toda persona que efectúa un trayecto en un

vehículo ferroviario, salvo el personal del servicio ferroviario. A efectos de estadísticas de accidentes se incluyen los pasajeros que intentan embarcar en un tren en movimiento o desembarcar de él.”

En España, tras la aplicación de la Ley del Sector Ferroviario en el 2005, la empresa nacional ferroviaria RENFE se segrega en la empresa ferroviaria Renfe Operadora y el administrador de infraestructura Adif. Renfe Operadora establece su metodología de investigación de accidentes y el registro de los mismos mediante la aplicación Acia, distinguiendo los colectivos de empleados y terceros, diferenciando estos últimos entre viajeros, usuarios de pasos a nivel y personas no autorizadas en instalaciones ferroviarias (Conde-García, 2007).

Colectivo de terceros	Definición
Viajeros	“toda persona, incluidos los empleados del ferrocarril que no estén en servicio, provista o no de título de transporte que viaja o tiene intención de viajar por tren.”
Usuarios de Pasos a Nivel	“conductor que infringe las señales en carretera o camino de P.N.; o personas que acompañan animales o rebaños y los peatones que no respetan las normas de seguridad vial.”
Personas no autorizadas en instalaciones ferroviarias.	“si no es empleado ni viajero que caminan por las proximidades de la vía ocupando la zona de gálibo de libre paso o la cruzan por lugares no permitidos, abandonan vehículos, maquinaria, electrodomésticos, etc. en dicha zona de gálibo”

Tabla 3 Definiciones de los colectivos de terceros. Adaptado de la página 18 de Conde-García (2007).

Adif, mediante su Norma Técnica de Accidentes e Incidentes en la Circulación, define a la víctimas “como personas damnificadas por un accidente de circulación ferroviaria”, definiendo los colectivos de empleado, viajero y extraño (tabla 4).

Víctimas de accidentes	Definición
Viajeros	“cuando la víctima provista o no de título de transporte viaja o tiene intención de viajar por tren. Incluye a los empleados que, en esas circunstancias, no están de servicio.”
Empleado	“cuando la víctima se encuentra realizando funciones al servicio del ferrocarril”
Extraño	“cuando la víctima no es empleado ni tampoco viajero”

Tabla 4 Definiciones de los colectivos de víctimas. Adaptado de la página 15 de Adif (2008).



### 1.3 ANALISIS DE LA ACCIDENTALIDAD FERROVIARIA

Existen diferentes fuentes de datos de accidentalidad ferroviaria tanto a nivel internacional como nacional (Figura 2).

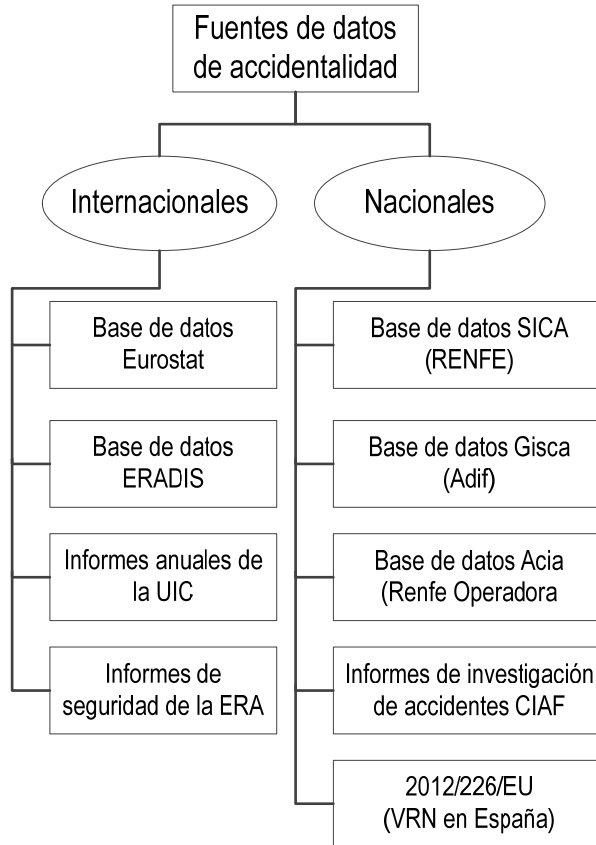


Figura 2 Principales fuentes de datos de accidentalidad ferroviaria.

La Comisión Europea publica el 16 de diciembre de 2002 el reglamento 91/2003 (CE) relativo a las estadísticas sobre transporte ferroviario, con el objetivo de establecer normas

comunes para la elaboración de estadísticas comunitarias sobre transporte ferroviario, siendo estas difundidas mediante Eurostat. Posteriormente, con la creación de la Agencia Ferroviaria Europea (ERA) según el Reglamento 2004/881/CE, operativa desde mediados de 2005 y responsable de la seguridad e interoperabilidad ferroviaria en detrimento de la Asociación Europea para la Interoperabilidad Ferroviaria (AEIF), y la entrada en vigor de la Directiva de Seguridad Ferroviaria (2004/49/CE), que establece que los informes de investigación de accidentes se envíen a la Agencia, generan la base de datos de Interoperabilidad y Seguridad (ERADIS) donde se recopila el histórico de los accidentes más graves ocurridos en el ferrocarril desde enero de 1990 en los Estados Miembros: descarrilamientos, colisiones, accidentes en pasos a nivel con al menos una víctima mortal, incendios con al menos una víctima mortal, accidentes de tren sin víctimas mortales pero al menos cinco heridos graves, otros accidentes cuyos daños en coste superan los dos millones de euros y por último, accidentes de tren de mercancías peligrosas con vertido de carga (Evans, 2011b).

A partir de este histórico de datos, la Agencia Ferroviaria Europea publica periódicamente anuarios de seguridad ferroviaria donde se incluye, entre otros datos para la gestión de la seguridad, el número de accidentes por año y por tipo de accidente, y el número de víctimas mortales y heridos graves por colectivos de los Estados Miembros. Por ejemplo, en el

último informe disponible (European Railway Agency, 2011b) se da a conocer que el número total de accidentes ocurridos en la Comunidad Europea durante los años 2006 y 2009 es de 17335 (tabla 5), con 5861 víctimas mortales (tabla 6), donde se observa que el 89% de las víctimas pertenecen a los colectivos de Usuarios de en Pasos a Nivel y Personas no autorizadas en instalaciones ferroviarias, es decir, a personas ajenas a las empresas ferroviarias.

A nivel internacional, indicar que existen fuentes de datos de accidentalidad ferroviaria de carácter privado y orientadas a las empresas ferroviarias, siendo por tanto de acceso a ellas previa suscripción. En Europa, destacamos la labor de la International Union of Railways (UIC), que a través de su centro de estadística que gestiona su propia base de datos de accidentalidad ferroviaria, publica anualmente el informe "International Railway Statistics", y que no se ha podido acceder al mismo.

	Total accidentes			
	2006	2007	2008	2009
AT	106	104	97	88
BE	187	217	220	146
BG	1939	56	65	48
CT		0	2	1
CZ	233	115	133	113
DE	983	320	329	310
DK	32	21	22	29
EE		49	26	19
EL	70	53	40	42
ES	77	98	80	51
FI	52	21	27	26
FR	431	413	453	171
HU	409	162	155	180
IE	2	5	5	5
IT	152	130	116	119
LT	66	83	68	55
LU				7
LV	63	51	61	30
NL	28	33	26	22
NO	16	12	14	16
PL	928	976	889	843
PT	89	93	73	43
RO	419	370	411	304
SE	51	56	46	46
SI	70	61	65	19
SK	199	222	217	236
UK	85	110	104	104
Total	6687	3831	3744	3073

Tabla 5 Número de accidentes por Estado Miembro durante el período 2006 – 2009 (European Railway Agency, 2011b)

	2006					2007					2008					2009				
	Passengers	Employees	LC users	Unauthorized	Other persons	Passengers	Employees	LC users	Unauthorized	Other persons	Passengers	Employees	LC users	Unauthorized	Other persons	Passengers	Employees	LC users	Unauthorized	Other persons
AT			22		24	1	3	33	14	1	2	17	18		1		12	19	2	
BE	4		9	7		9	3	19	7		2	10	8		2	1	8	5		
B G	1		4	31		2	1	5	19		12	4	27		1	1	4	22		
CT																				
CZ	4	1	31	16			1	23	1		13	24	3		1		21	4		
DE	18	6	50	118		3	9	67	88	13	1	50	78	27	3	4	41	103	19	
DK		1	5	1	11			5	3			3	8	1		1	3	11		
EE							1	6		7		1	7			2	3	5		
EL	3	1	12	22				5	13	0	1	6	8			1	13	8		
ES	9	3	14	30		13		19	33	0	5	15	23	2	2		16	13		
FI	1		5	17			1	10	7			8	13			1	11	2		
FR	12	4	38	44		9	2	38	20	13	10	38	40	4	7	1	36	31	1	
H U	4		22	37		14	3	26	35	2	10	42	62			1	28	63		
IE								1	1			1	2					1		
IT	5	13	19	42		5	3	16	44		4	6	49		5	5	5	36	30	
LT		3	8	23				6	30			6	32			1	8	24		
LU																			1	



publicando en su memoria anual información de las investigaciones de accidentes realizadas, siendo pues un “documento que no es, en ningún caso, representativo de la accidentalidad ferroviaria de nuestro país.” (Comisión de Investigación de Accidentes Ferroviarios, 2011).

Finalmente, la Comisión Europea, mediante la Decisión 2012/226/EU establece como Valores de Referencia Nacionales (VRN) para España los siguientes valores (tabla 7)

Colectivo	VRN	$\times 10^{-9}$
Viajeros	1.1	29,20
	1.2	0,27
Empleados	2	8,81
Usuarios de pasos a nivel	3.1	109
	3.1	-
Otras personas	4	5,54
Personas no autorizadas	5	168
La sociedad en su conjunto	6	323

Tabla 7 Valores de Referencia Nacionales en España (Decisión de la Comisión, 2012)

### **1.3.1 Análisis estadísticos de accidentalidad**

Los análisis de accidentalidad ferroviaria realizados en Europa hasta la actualidad han estado forzosamente ligados a las diferentes tipologías de registro de datos y técnicas de investigación de accidentes utilizadas. Hasta la implantación de la Directiva de Seguridad Ferroviaria, cada país definía sus protocolos de investigación de incidentes, obteniendo datos no comparables entre los diferentes estados miembros. De hecho, la falta de homogeneidad y armonización en los registros de datos impedía realizar un análisis de la accidentalidad a nivel europeo (Evans, 2011b).

A nivel Europeo, únicamente se han recuperado publicaciones de dos autores que, utilizando históricos de datos, hayan realizado análisis estadísticos de accidentalidad ferroviaria en Europa.

A.W. Evans, profesor emérito del Imperial College London de UK, ha realizado diversas publicaciones sobre estimaciones de riesgo a partir de históricos de datos de accidentalidad ferroviaria y los costes asociados a la misma. Para ello, define un modelo probabilístico de accidentalidad basado en dos aproximaciones, utilizando datos recientes de un corto periodo de tiempo pero suficiente para ser estacionario, y utilizando un gran periodo de datos para realizar proyecciones (Evans, 2003). Las estimaciones aconseja realizarlas a partir de la población de total de accidentes disponibles, sobre la media de un periodo



mínimo de cinco años para el número de accidentes por km-tren, número de víctimas mortales por accidente y número de víctimas mortales por km-tren. El cálculo de proyecciones para el número de accidentes, considerando que se distribuyen aleatoriamente bajo una distribución de Poisson o Binomial Negativa en función del fenómeno de sobredispersión (Austin & Carson, 2002), se realiza mediante el modelo de regresión dado por:

$$\lambda(t) = \alpha e^{\beta t}$$

donde  $\lambda(t)$  es el número medio de accidentes por km-tren en el período  $t$ , y  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros del modelo; y para el número de víctimas mortales se utiliza el modelo regresión dado por:

$$\mu(t) = \gamma + \theta t$$

donde  $\mu(t)$  es el número medio de víctimas mortales por accidente en el período  $t$ , y  $\gamma$  y  $\theta$  parámetros del modelo.

Utilizando este modelo, Evans realiza una revisión de la seguridad en el proceso de privatización en Reino Unido y Japón (Evans, 2007b, 2010), de los accidentes con víctimas y la accidentalidad en pasos a nivel en Reino Unido (Evans, 2000, 2006, 2007a, 2008, 2009 2011a), publicando en el 2011 una revisión de los descarrilamientos y colisiones con víctimas mortales (excluyendo aquellos que se han derivado de actos de terrorismo) registrados en la base de datos de la ERA para el período 1980-2009, siendo el primer estudio realizado que

proporciona indicadores de accidentalidad del ferrocarril europeo en su conjunto (más Noruega y Suiza) y cada uno de sus Estados Miembros respecto su grado de actividad ferroviaria (tabla 8), y que permiten comparar y valorar el estado global de la seguridad ferroviaria desde el enfoque de la accidentalidad.

País	Estimación del número medio de accidentes con víctimas mortales por billón <sup>3</sup> de km-tren (intervalo de confianza del 95%)
EU+Noruega+Suiza	1.35 (1.00, 1.83)
Alemania	0.62 (0.29, 1.30)
Francia	0.60 (0.22, 1.65)
Reino Unido	0.57 (0.23, 1.42)
Italia	5.17 (2.68, 9.97)
Polonia	0.53 (0.10, 2.97)
España	2.13 (0.72, 6.29)
República Checa	8.02 (3.32, 19.4)
Suiza	1.99 (0.51, 7.74)
Austria	1.97 (0.55, 6.98)
Holanda	0.69 (0.11, 4.43)
Suecia	0.03 (0.00, 1.61)
Rumanía	4.36 (1.06, 17.9)
Hungría	2.15 (0.40, 11.6)
Bélgica	3.72 (0.84, 16.4)
Dinamarca	1.04 (0.11, 9.64)
República Eslovaca	1.01 (0.08, 13.3)
Bulgaria	0.76 (0.02, 29.1)
Portugal	9.94 (2.85, 34.6)
Noruega	2.96 (0.44, 19.8)
Grecia	15.12 (2.30, 99.4)
Irlanda	0.17 (0.00, 40.6)

Tabla 8 Estimación del número medio de accidentes con víctimas mortales por billón de km-tren para el período de 1980-2009 en Alemania, Francia y Reino Unido, y el período 1990-2009 para el resto de países (Evans, 2011b).

<sup>3</sup> Se considera la definición inglesa de billón, es decir, mil millones (10<sup>9</sup>).

De las proyecciones obtenidas del número medio de accidentes con víctimas mortales por billón de km-tren para el período 1980-2009 en Reino Unido, Francia y Alemania y el período 1990-2009 para el resto, se estiman 1,35 colisiones o descarrilamientos con víctimas mortales cada billón de km-tren con un intervalo de confianza del 95% de 1,00-1,83 para el conjunto de los Estados Miembros de Europa más Noruega y Suiza.

Respecto las causas de esta tipología de accidentes, el autor realiza una tabla de frecuencias (tabla 9) con la información que dispone, indicando que ésta es insuficiente o faltante dado que la información en la base de datos se registra antes de completar la investigación del accidente.

Causas	Frecuencia
Señal rebasada en situación de peligro (SPAD)	37
Exceso de velocidad	13
Señalización o error de circulación	16
Otros errores operativos	12
Fallo del material rodante	8
Fallo de instalaciones, vía o agujas	16
Externa al ferrocarril	5
Desconocida	15

Tabla 9 Número de colisiones y descarrilamientos con víctimas mortales por causa durante el período 1990-2009 en Alemania, Francia, Reino Unido, Holanda, Suecia, Noruega e Irlanda (Evans, 2011b)

A. Silla, investigadora del VTT Technical Research Centre of Finland, en la misma línea, ha publicado recientemente un estudio (Silla & Kallberg, 2012) donde describe la evolución de la accidentalidad en Finlandia utilizando el modelo de

accidentalidad definido por Evans con el histórico de datos nacional de accidentes ferroviarios acontecidos en Finlandia durante el periodo 1959-2008, con el objetivo de obtener proyecciones del número de víctimas mortales por colectivos (viajeros, empleados ferroviarios, peatones y otros) y por millón de km-tren (figura 3), y obtener estimadores del número medio de accidentes en pasos a nivel por millón de vehículos registrados, por millón de km-tren, por millar de pasos a nivel con dispositivos de alerta y por millar de pasos a nivel sin sistemas de alerta.

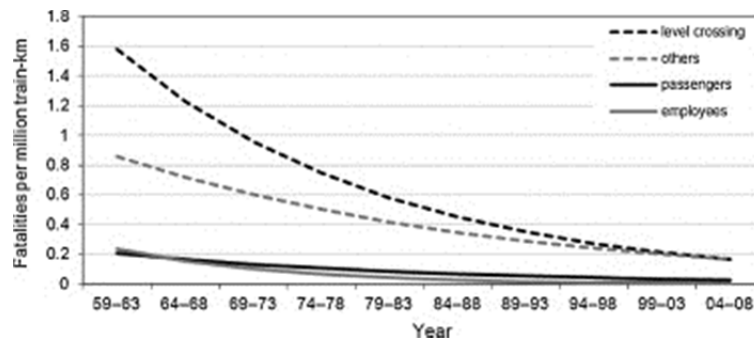


Figura 3 Tendencia del número de víctimas mortales por de km-tren en el ferrocarril finlandés de 1959 a 2008 (Silla & Kallberg, 2012).

A nivel internacional, no se encuentran diferencias respecto a Europa, pues de nuevo únicamente dos publicaciones se han recuperado donde se analiza estadísticamente la accidentalidad ferroviaria. Miwa, M., Gozun, B. y Oyama, T. publican en el 2006 un estudio de corte estadístico para determinar posibles variables de causas de accidentalidad y de este modo poder mejorar las medidas de

prevención de accidentes de tren en Japón. Para ello analiza los accidentes más graves ocurridos en Japón por tipología de accidente (colisión, descarrilamiento, en pasos a nivel, arrollamiento fuera de un paso a nivel, daños a personas por el material rodante y daños a instalaciones de coste superior a cinco millones de yens); por tipos de causa (paso a nivel, error humano, error de la empresa ferroviaria, desastres naturales y otros); daños a personas (víctimas mortales y heridos graves); y tipo de consecuencia (tiempo de suspensión de servicio y número total de víctimas, que son la suma de muertos y heridos graves). Del análisis matemático que se realiza se concluye que para estimar las proyecciones del número de accidentes de tren, el mejor modelo que se ajusta es el de regresión, dado por:

$$y = ke^{-\lambda t}$$

donde  $y$  es el número de accidentes durante el periodo  $t$ ,  $k$  y  $\lambda$  parámetros del modelo.

Para el análisis de las causas, se aplicó el modelo de Markov representado por:

$$x^{t+1} = x^t P$$

donde  $P$  es la matriz de transición  $n \times n$ , con  $n$  el número de estados, y  $x^t$  es el vector de  $n$  elementos que representa el estado inicial en el periodo  $t$ .

Finalmente, respecto las consecuencias, se determinó que la distribución exponencial es la que mejor se ajustaba al tiempo de suspensión de servicio y el número total de víctimas.

En el 2005, Amitabh realiza una revisión de la accidentalidad de la India considerando la frecuencia de fallos en el material rodante, las instalaciones y las infraestructuras, la frecuencia anual de accidentes, el número de accidentes por km-tren recorridos, el tipo de accidentes (colisiones, descarrilamientos, accidentes en pasos a nivel e incendios), el número de víctimas mortales y la principal causa de accidente (error del personal de operaciones, error de equipos técnicos y otras causas). Para ello utiliza estimaciones puntuales (frecuencias anuales) relativas a la actividad ferroviaria del país.

En resumen, apenas existen estudios realizados que determinen modelos estadísticos aplicados a la accidentalidad ferroviaria, siendo los utilizados hasta la actualidad los que se muestran, a modo de síntesis, en la tabla 10.

Análisis	
Número de accidentes	Estimación por intervalos (frecuencia/km-tren)
	Tendencia (modelo regresión $\lambda(t) = \alpha e^{\beta t}$ )
Número de víctimas mortales	Estimación por intervalos (frecuencia/km-tren)
	Tendencia (modelo regresión $\mu(t) = \gamma + \theta t$ )
	Estimación por intervalos (frecuencia/número de accidentes)
Causas	Conteo de frecuencia
	Modelo Markov

Tabla 10 Tipos de análisis estadísticos de accidentalidad ferroviaria en función de las variables.

### 1.3.2 Indicadores de accidentalidad en el ferrocarril

Los indicadores de seguridad asociados a la accidentalidad e incidentalidad ferroviaria provienen fundamentalmente de tres fuentes: la legislación nacional e internacional ferroviaria, las empresas ferroviarias y las publicaciones de accidentalidad ferroviaria.

En el marco legislativo, la Comisión Europea, mediante la notificación 2009/460/CE establece los Valores de Referencia Nacionales (VRN) como indicadores cuantitativos de accidentalidad, siendo *“la medida de referencia que indica el nivel de tolerancia máximo de un tipo de riesgo ferroviario”, y “expresados como criterios de aceptación de riesgos para determinadas categorías de individuos y para la sociedad en general”* no siendo posible de obtener para cada una de las partes del sistema ferroviario.

La Directiva 2009/149/CE de la Comisión de 27 de noviembre de 2009, modifica la Directiva de Seguridad Ferroviaria (49/2004/CE) estableciendo los indicadores comunes de seguridad como:

#### 1. Indicadores relativos a accidentes:

- Indicadores relativos a accidentes: colisiones, descarrilamientos, accidentes en pasos a nivel, accidentes causados a personas por material rodante, incendios en el material rodante, y otros.
- Indicadores relativos a heridos graves y víctimas mortales para las categorías: pasajeros,

empleados (incluido el personal de contratas), usuarios de pasos a nivel, personas no autorizadas y otros.

2. Indicadores relativos a mercancías peligrosas.

Accidentes que afecten al transporte de mercancías peligrosas, según las categorías:

- Accidentes en los que esté implicado al menos un vehículo ferroviario que transporte mercancías peligrosas.
- Número de estos accidentes en los que se produzcan escapes de sustancias peligrosas.

3. Indicadores relativos a suicidios.

4. Indicadores relativos a precursores de accidentes, considerando como precursores:

- Roturas de carril,
- Deformaciones de la vía,
- Fallos de la señalización de sentido,
- Señales pasadas en situación de peligro,
- Ruedas y ejes rotos de material rodante en servicio.

De los datos de accidentalidad e incidentalidad publicados en el marco de la gestión de la seguridad de las empresas ferroviarias, los principales indicadores que se extraen son:

1. Relativos a accidentes

- Número de accidentes importantes de circulación.



- Índices de frecuencia de accidentes relativos a km-tren.
- Número de accidentes de tren, maniobras o personas por denominación y causa.

## 2. Relativos a daños a personas

- Número de víctimas mortales, heridos graves y heridos leves.
- Número de víctimas por colectivos de personas.
- Índices de frecuencia de víctimas relativos a km-tren.
- Número de víctimas de accidentes de tren, maniobras o personas por denominación y causa.

Respecto los estudios publicados de accidentalidad se han utilizado los siguientes indicadores (Amitabh, 2005; Evans 2003, 2011a, 2011b; Miwa et al., 2006; Mok & Savage, 2005; Patterson, 2004; Savage, 2007; Silla et al., 2012):

## 1. Relativos a accidentes

- Número de accidentes relativos a km-tren
- Número de accidentes por denominación.
- Número de accidentes por colectivos de personas relativos a km-tren
- Número de accidentes con víctimas cada 1000 cruces de paso a nivel por año, tipo de accidente (con peatones, sin peatones, todos los accidentes)

y tipo de paso a nivel (controlado por personal ferroviario, automático, pasivo y el total de pasos a nivel)

- Número de accidentes en pasos a nivel con vehículo de carretera por provincia, año, número de pasos a nivel, intensidades medias diarias de tráfico de carretera, número medio diario de trenes, número de accidentes en carretera con víctimas mortales por 100 millones de millas recorridas,

## 2. Relativos a daños a personas

- Número de víctimas relativo a km-tren.
- Número de víctimas relativo a accidentes.
- Número de víctimas por colectivos de personas relativos a km-tren.
- Número de víctimas mortales ocurridos en accidentes en pasos a nivel con vehículo de carretera por provincia, año, número de pasos a nivel, intensidades medias diarias de tráfico de carretera, número medio diario de trenes, número de accidentes en carretera con víctimas mortales por 100 millones de millas recorridas, número de víctimas mortales en carretera por 100 millones de millas recorridas.

### 3. Relativos a las causas de accidentes

- Frecuencia de causas por denominación de accidente.
- Frecuencia de causas por tipo de fallo.

### 4. Relativos a las consecuencias de accidentes

- Número total de víctimas mortales y heridos graves.
- Tiempo de suspensión de servicio.

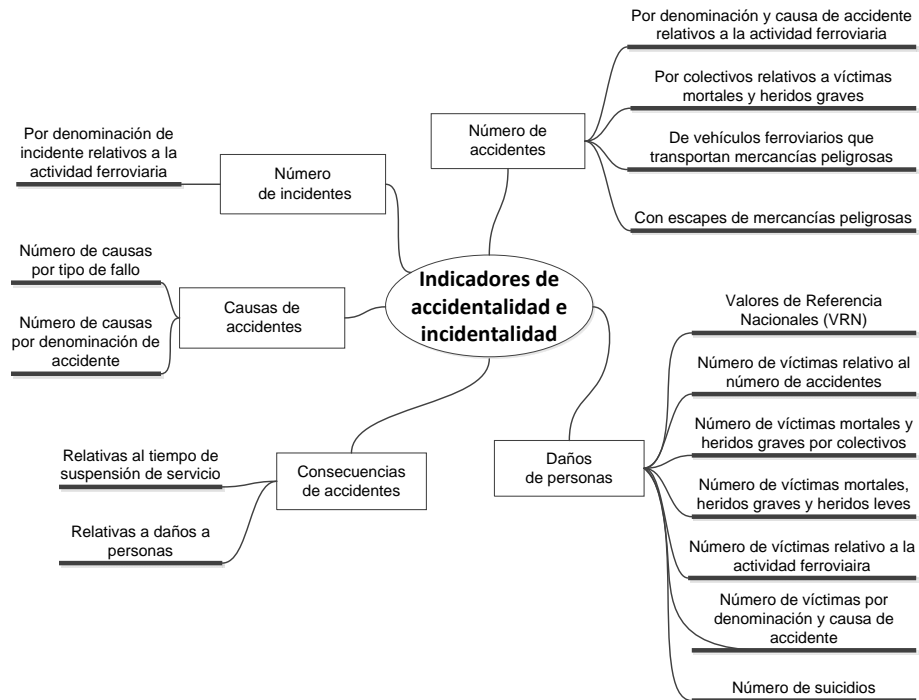


Figura 4 Tipos de indicadores utilizados para analizar la accidentalidad e incidentalidad en el sector ferroviario.

### **1.3.3 El factor humano en la accidentalidad ferroviaria**

#### **1.3.3.1 Tipos de accidentes ferroviarios relacionados con el factor humano**

En un sistema complejo, como lo es el ferroviario, el error humano es el que mayor contribución tiene en los accidentes e incidentes (Federal Railroad Administration, 2007; Høj & Kröger, 2002; Krokos & Baker, 2007; Shappell & Wiegmann, 1997), y dentro de este, aquellos que han tenido algún tipo de contacto con la sociedad: invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril, cruce indebido en los pasos a nivel, actos de vandalismo o suicidios son los que tienen como resultado un mayor número de víctimas mortales (Lobb, Harre & Suddendorf, 2001). De hecho, el 89,20% de los accidentes ocurridos en los Estados Miembros de la Comunidad Europea son debidos a los colectivos Usuarios de Pasos a Nivel, Personas no Autorizadas y Otras Personas (European Railway Agency, 2011b). Según los informes "Railway Safety Performance in the European Union" de 2010, 2011 y 2012 publicados por la ERA, podemos observar, que de entre los accidentes más graves ocurridos en la Comunidad Europea desde el 2006, la mayoría son debidos a un error humano, incluyendo a personas ajenas al ferrocarril (tabla 11). Sin embargo, solo unos pocos tipos de error producen esta cantidad excesiva de número de accidentes (Federal Railroad Administration, 2007).

**11 Octubre 2006, Zoufftgen (Francia)**

Colisión entre un tren de mercancías y uno de viajeros que provocó la muerte de 6 personas, un herido grave y 15 heridos leves. Error de comunicación entre los agentes de operaciones al realizar el bloqueo de la vía.



Fuente: French NIB.

**26 Abril de 2008 Fulda (Alemania)**

Colisión entre un tren de alta velocidad y un rebaño de ovejas a la entrada del túnel de Landrücken, provocando el descarrilamiento del tren y posterior impacto contra las paredes del mismo, dejando un total de 22 heridos graves.

**8 Agosto de 2008 Studenka (República Checa)**

Desprendimiento de un paso elevado para tráfico rodado cuando circulaba un Eurocity en la entrada de la estación de Studenka, debido al incumplimiento de la regulación entre la compañía ferroviaria y empresa de construcción encargada de su restauración, colisionando el tren con los escombros y descarrilando la máquina de tracción y siete coches de viajeros. Posterior colisión con un tren de mercancías estacionado, resultando 7 víctimas mortales y 88 heridos graves.



Fuente: Czech NIB

**6 Octubre de 2008 Tramo entre Pilis Y Monos (Hungria)**

Colisión entre dos trenes de viajeros debido a un exceso de velocidad del maquinista al tener que circular bajo consigna con el sistema de protección de tren desactivado por una avería en la señalización. Resultaron cuatro personas muertas y cuatro heridos graves.



Fuente: Hungarian NIB

**15 Febrero de 2010 Estación de Buizingen (Bélgica)**

Colisión entre dos trenes de viajeros debido a un error humano en las operaciones de circulación (rebase indebido de señal). El accidente causó 18 víctimas mortales y 171 heridos (83 graves).



Fuente: Belgian NIB

**1 Abril de 2010 Estación de Spišská Nová Ves (República de Eslovaquia)**

Colisión entre un tren de maniobras y un tren de viajeros debido a un exceso de velocidad del maquinista, resultando tres víctimas mortales y un herido grave.



Fuente: Slovakian NIB

**15 Abril de 2010 Chintulovo (Bulgaria)**

Colisión entre un tren de viajeros y vehículo de carretera (taxi) en un paso a nivel de Chintulovo, debido al cruce indebido del mismo por parte del conductor del vehículo de carretera, resultando dos víctimas mortales y un herido grave.



Fuente: Bulgarian NIB

**23 Junio 2010, Platja de Castelldefels (España)**

Tren de larga distancia de viajeros atropella a una velocidad de 140 km/h a un grupo de personas que cruzaban la vía por un lugar indebido en la estación de Castelldefels, causando 12 muertos, 10 heridos graves y 7 heridos leves.



Fuente: Spanish NIB.

**28 Junio 2010, Ustí nad Labem (República Checa)**

Descarrilamiento por exceso de velocidad de un tren de viajeros al paso por enclavamiento y posterior colisión con muro. Resultó una persona fallecida y 7 heridos graves.



Fuente: Czech NIB.

**13 Julio 2010, Kępice–Korzybie (Polonia)**

Colisión de un tren de mercancías con un tren de viajeros debido al inicio indebido de la marcha por parte del tren de viajeros, resultando 13 personas heridas de gravedad y un enorme coste de daños a material e infraestructuras.



Fuente: Polish NIB.

**29 Enero de 2011 Hordoft (Alemania)**

Colisión entre un tren de mercancías y un tren regional de viajeros provocado por un error humano en las operaciones de circulación, resultando 10 víctimas mortales y 27 heridos.



Fuente: German NIB.

**2 Febrero de 2011 Vodňany (República Checa)**

Colisión entre un tren de mercancías y un tren regional de viajeros provocado por un error humano en la operación de circulación por parte del maquinista, resultando 1 víctima mortal y 15 heridos.



Fuente: Czech NIB



**28 Mayo de 2011 Lębork–Godętowo (Polonia)**

Colisión entre un tren de viajeros y un camión en un paso a nivel, debido al cruce indebido por parte del conductor del camión, resultando dos víctimas mortales y 15 heridos graves.



Fuente: Polish NIB

Tabla 11 Accidentes graves debidos a factores humanos publicados por la ERA (European Railway Agency, 2010, 2011b, 2012).

Es por todo ello, que a partir de la revisión de la literatura, se pueden clasificar los accidentes relacionados con el fallo humano en tres tipos: i) los relacionados con la explotación ferroviaria (excesos de velocidad, rebases indebidos de señal,...); ii) los relacionados con la interacción de vehículos de carretera y personas en pasos a nivel y, iii) los relacionados con imprudencias de los peatones (cruces de vía indebidos en estación, caída a vía,...).

### **1.3.3.2 Identificación del error humano en la gestión de la seguridad**

Para prevenir y reducir el número de accidentes e incidentes se ha estudiado el factor humano desde diversas perspectivas (figura 5) con el objetivo de mejorar la gestión de la seguridad e identificar tipos de error humano que contribuyen a la accidentalidad (O'Hare, 2000; Rail Safety and Standards Board, 2008; Reason, 2009, 2010, 2011), pero pocas publicaciones muestran estudios que asocien errores concretos a un tipo de accidente o incidente en el ferrocarril, excepto en los accidentes causados por rebase indebido de señal (Baysari, Caponecchia, McIntosh & Wilson, 2009; Baysari, McIntosh & Wilson, 2008; Rail Safety and Standards Board, 2012; Stanton & Walker, 2011; Wilson & Norris, 2005), los accidentes en pasos a nivel (Evans, 2011a, 2011b; Lobb, Harre & Suddendorf, 2001; Mok & Savage, 2005; Savage, 2006; Silla & Luoma, 2011; Silla & Kallberg, 2012; Tey, Ferreira & Wallace, 2011; Silmon & Roberts, 2010; Slovak, Woods, Tordai, Fletcher & El Kursi, 2008) y las invasiones a instalaciones por personas ajenas al ferrocarril (George, 2008; Lobb, 2006; Patterson, 2004; Savage, 2007; Silla & Luoma, 2012a).



Figura 5 Áreas de estudio del factor humano en la gestión de la seguridad ferroviaria (Hamilton & Clarke, 2005; Rail Safety and Standards Board, 2008; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres- Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2009).

Para identificar los errores humanos, ya sea para valorar su riesgo o diseñar intervenciones que lo minimicen, se han utilizado fundamentalmente tres tipos de estrategias: i) análisis de la tarea de los trabajadores mediante modelos cualitativos basados en taxonomía de errores (Cacciabue, 2005; Conde-García, 2007; Baysari, McIntosh & Wilson, 2008; Kirwan, 1997a, 1997b; Rose & Bearman, 2012; Shorrock, 2002b), ii) análisis post-accidente en función de los informes de accidentalidad e incidentalidad disponibles (Federal Railroad Administration, 2007; Shappell & Wiegmann, 1997), y iii) análisis de accidentes

causados por personas ajenas al ferrocarril -técnicas de observación y metodologías de encuestas- (Lobb, Harre & Suddendorf, 2001; Silla & Luoma, 2009, 2012b).

### 1.3.3.2.1 Taxonomía de errores aplicada al ferrocarril

A partir del modelo de fallos latentes y activos desarrollado por J. Reason en la década de los 80, que terminaría conociéndose como el modelo de “queso suizo” (figura 6), se han desarrollado diferentes modelos taxonómicos aplicados al ferrocarril para el estudio de la accidentalidad.

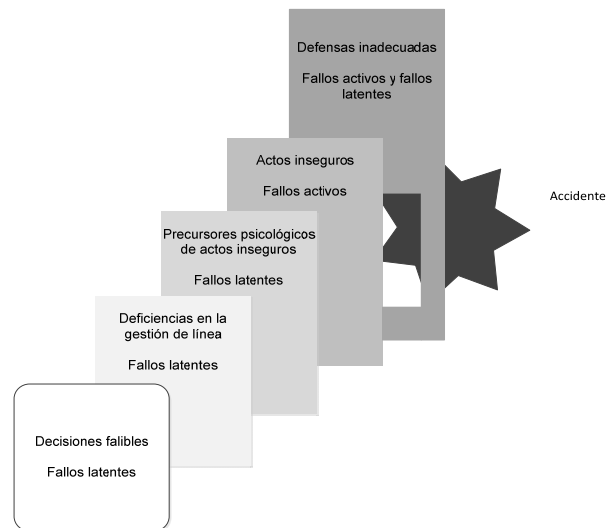


Figura 6 Primera versión del “modelo de queso suizo”. Adaptado de la página 125 de Reason (2011)

Reinach & Viale (2006) adaptan la técnica “Human factors analysis and classification system” (HFACS) aplicada con éxito en el sector aeronáutico a los accidentes e incidentes

ferroviarios (HFACS-RR), considerando factores externos, organizacionales, de supervisión, las circunstancias previas del operador humano y la propia acción del mismo (figura 7).

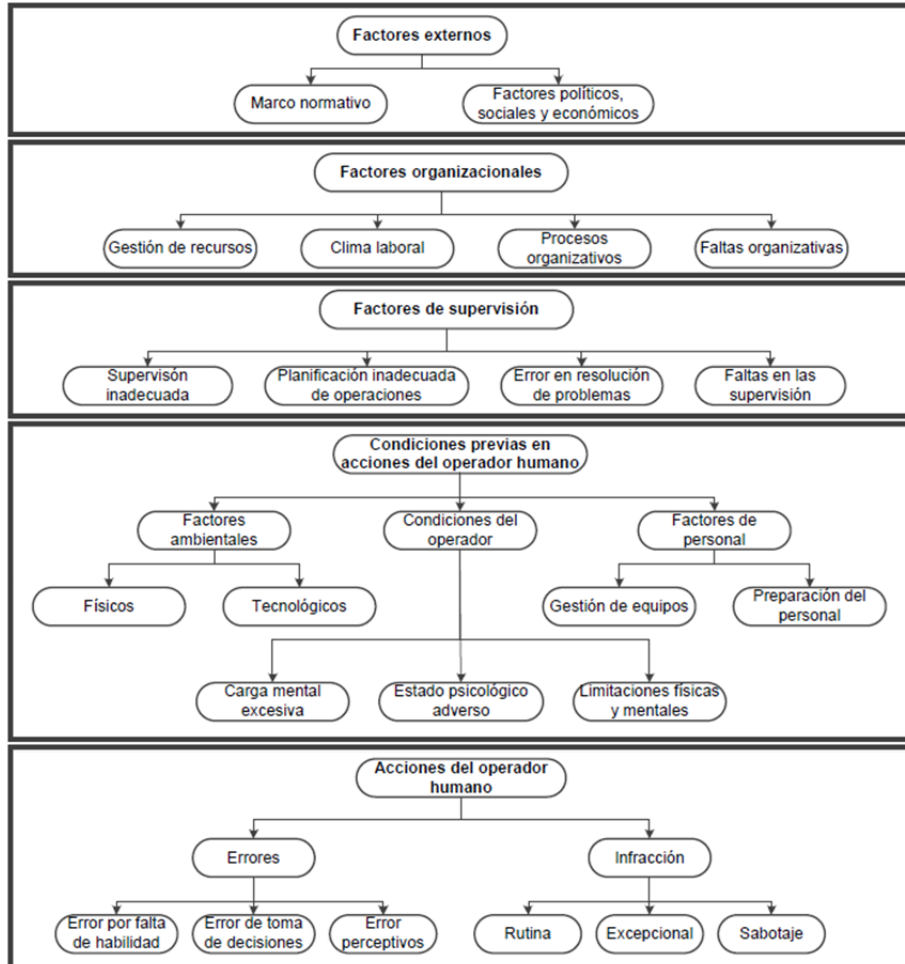


Figura 7 Modelo HFACS-RR (Adaptado Reinach & Viale, 2006).

El Rail Safety and Standards Board adopta al ferrocarril inglés el modelo taxonómico Technique for the Retrospective and predictive Analysis of Cognitive Errors (TRACer) utilizado



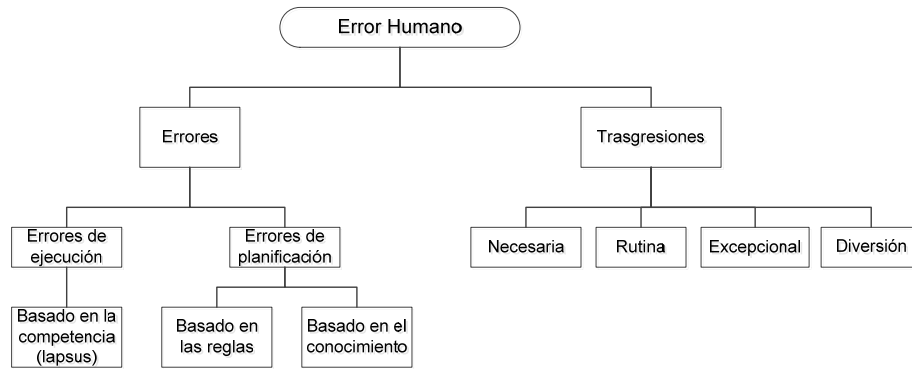


Figura 9 Modelo GEMS (Conde-García, 2007)

Un claro ejemplo de aplicación de los modelos taxonómicos de error humano aplicados a un tipo concreto de accidente en el ferrocarril, es el estudio de los rebases indebidos de señal por parte de los maquinistas. El hecho de por qué un maquinista rebasa una señal en situación de parada con el peligro que ello conlleva (posible descarrilamiento o colisión) ha sido objeto de numerosos estudios en Reino Unido (Rail Safety & Standards Board, 2012; Stanton et al., 2011), profundizando en la comprensión de los factores humanos que intervienen en la conducción de tren.

### **1.3.3.2.2 Análisis post-accidentes en función de informes de accidentalidad**

Desde la perspectiva del análisis estadístico de la accidentalidad debido al factor humano, son pocas las publicaciones localizadas, y todas ellas están orientadas a la investigación de los accidentes en pasos a nivel e invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril.

En Nueva Zelanda, Patterson publica en el 2004 una revisión de la accidentalidad ferroviaria debido a las invasiones en vía por parte de personas ajenas al ferrocarril. Realiza un análisis descriptivo de datos el número de víctimas que han estado involucradas en un accidente por invasión de vía por daños a personas (muertos y heridos graves), año, mes, día de semana, hora, ubicación, género y causa de la invasión de vía.

En Estados Unidos, se publican dos estudios en relación a los pasos a nivel y las invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril. En el 2005, Mok & Savage analizan los datos del período 1975-2001 para, mediante un modelo de regresión binomial negativo, estimar las tendencias del número de incidentes de vehículos de carretera en pasos a nivel por estado y año, y el número de víctimas mortales ocurridos en los anteriores incidentes, en función del: número de pasos a nivel, intensidades medias diarias de tráfico de carretera, número medio diario de trenes, número de accidentes en carretera con víctimas mortales por 100 millones de millas recorridas, número de víctimas mortales en carretera por 100 millones de millas



recorridas y dos variables para valorar el efecto de medidas implementadas (número de locomotoras con “ditch lights” y la campaña “Operation Lifesaver”; Savage, 2006). En el 2007, Savage analiza las invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril en el período 1947-2003 mediante modelos de regresión binomial negativo y Prais & Winston, utilizando las mismas variables que en el estudio anterior y obteniendo resultados similares.

Evans en 2011 analiza el número de accidentes con víctimas mortales y el número de víctimas mortales en pasos a nivel en Reino Unido para el período 1946-2009, considerando los colectivos de peatones, conductores de vehículos de carretera, personal de empresa ferroviaria y viajeros de tren. Utiliza un modelo de regresión de Poisson y Binomial Negativa para la determinación del número de accidentes con víctimas cada 1000 cruces de paso a nivel y año, y su tendencia respecto el tipo de accidente (con peatones, sin peatones y todos los accidentes) y el tipo de paso a nivel (automático, controlado por personal ferroviario, pasivo y el total de pasos a nivel).

$$y_{ijt} = \alpha_{ij} c_{it} e^{\beta_{ij} t}$$

Donde  $y_{ijt}$  es el número medio de accidentes de tipo  $j$  por año en pasos a nivel de tipo  $i$  en el año  $t$ ;  $c_{it}$  es el número de pasos a nivel de tipo  $i$  en el año  $t$ ; y  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros del modelo.

### **1.3.3.2.3 Análisis de accidentes causados por personas ajenas al ferrocarril**

Debido a las características de los accidentes en pasos a nivel e invasiones de vía, en los que la principal causa de accidentalidad son las infracciones cometidas por las personas ajenas al ferrocarril (Evans 2011b; Lobb, Harre & Suddendorf, 2001), se han realizado diversos estudios para identificar los patrones de comportamiento que llevan a producir dichos accidentes y para evaluar diferentes tipos de intervención que eviten los mismos.

En el 2008 se publica el Informe Final del proyecto SELCAT dentro del marco del VI Programa Marco (Slovak et al., 2008) en el que se evalúan diferentes tecnologías para la mejora de la funcionalidad de los sistemas en pasos a nivel y se incorporan diferentes medidas, basadas en aspectos psicológicos del comportamiento, para concienciar a la usuarios del peligro al acercarse a un paso a nivel. A raíz de este proyecto, Silmon publica en el 2010 el análisis funcional de un determinado tipo de paso a nivel y la metodología de evaluación de su efectividad para determinar las posibles mejoras a incorporar.

Desde el enfoque del maquinista, Tey, Ferrerira & Wallace publican en el 2011 mediante un estudio de simulación la relación entre los diferentes tipos de pasos a nivel y los tipos de respuesta que presentan los maquinistas ante los mismos.

Respecto los accidentes debidos a las invasiones indebidas de vía por personas ajenas al ferrocarril son diversos los estudios publicados. En el 2006, Lobb publica una revisión del estado del arte de las investigaciones publicadas en la materia con el objetivo de recopilar las diferentes intervenciones llevadas a cabo y las conclusiones obtenidas de las mismas. A modo resumen, para analizar el comportamiento de las personas y evaluar diferentes tipos de intervenciones implementadas para reducir el grado de accidentalidad, se han utilizado datos: de registros de observaciones (en determinados tramos horarios o grabaciones de video durante las 24 h de un período temporal); de encuestas maquinistas y la población cercana a puntos de vía conflictivos con altas tasas de accidentalidad; de entrevistas voluntarias a la población cercana a puntos de vía conflictivos con altas tasas de accidentalidad (Lobb, 2001, 2006; Silla & Luoma 2009, 2011, 2012). Las principales variables analizadas son: edad, género, localización, hora, número de cruces indebidos, intencionalidad y comportamiento antes del arrollamiento, tipo de tren y condiciones del sujeto arrollado (estado mental, alcohol, notas de suicidio,...).

### **1.3.3.3 Principales causas de accidentalidad debidas al factor humano**

#### **1.3.3.3.1 En la explotación ferroviaria**

A partir de los registros de accidentes, es complicado extraer información de las causas relacionadas con el fallo humano, debido a que esta suele ser insuficiente. De hecho, de los datos registrados por la ERA, únicamente se puede indicar que son los SPAD's y los excesos de velocidad las principales causas de colisiones o descarrilamientos por fallo humano (Evans, 2011b). Es por ello que en la explotación ferroviaria se han utilizado en mayor medida modelos taxonómicos para la identificación del error humano.

De los resultados obtenidos en la aplicación de modelos taxonómicos al ferrocarril, se muestra que son los errores debidos a la falta de habilidad y toma de decisiones, seguidos de infracciones habituales, los principales causas de error humano, siendo la falta de atención (por disminución de la alerta o fatiga) el factor más significativo (Baysari et al., 2009; Reinach et al., 2006; Stanton, 2011; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres- Esteban & Lloret-Catalá, 2008).

En España, tenemos la referencia que, de los accidentes investigados por Renfe Operadora en el 2006 por fallo humano, es el exceso de confianza la principal causa del error, seguido de distracciones y problemas de comunicación (Conde-García, 2007).

### **1.3.3.3.2 En pasos a nivel**

La gran mayoría de los accidentes en pasos a nivel son causados por infracciones del conductor de automóvil (Lobb, 2006; Evans, 2011b; Savage, 2007; Silla et al., 2012; Slovak et al., 2008). Aunque la principal causa de infracción es no respetar la señalización vial en carretera, también son factores a considerar la distracción, la fatiga, la familiaridad con el paso a nivel, no detener el vehículo en la distancia disponible o la confusión en el significado de la señalización (Lerner, Llaneras, McGree & Stephens, 2002; Tey et al., 2011; Wigglesworth, 2001).

### **1.3.3.3.3 En invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril**

La principal dificultad que presenta el análisis de las causas por invasiones de vía por personas ajenas al ferrocarril es el hecho de poder distinguir la intencionalidad de la acción, es decir, si ha sido debido a una infracción del peatón o un suicidio (Cina, Koelpin, Nichols & Conradi, 1994) siendo las estrategias de intervención totalmente diferentes para cada caso (Mishara, 2007). Considerando las implicaciones sociales, legales y éticas de asignar una muerte como suicidio, existen recomendaciones para diferenciarlos: por la existencia de una nota, que la actitud del peatón demuestre su intención de suicidarse o posea antecedentes anteriores, o que se

demuestre que la acción es derivada de la inestabilidad emocional del peatón (ERA 2011a).

Los estudios publicados indican que existen grandes diferencias en la distribución de la intencionalidad de estos accidentes en función de la zona geográfica analizada, pues los factores socio-culturales son determinantes a la hora de explicar la accidentalidad, siendo por ejemplo en Estados Unidos un 20% de las invasiones de vía por suicidio, y un 60% en Reino Unido (Rail Safety and Standards Board, 2005; Savage, 2007). Sin embargo, independientemente de la causa real de la invasión de vía, es una combinación de factores lo que realmente interviene en la infracción o suicidio del peatón (figura 10). De los estos factores, es el alcohol y la drogas los que fundamentalmente interviene en las invasiones de vía, variando entre un 50% y un 80% de los casos en función del país de estudio (Pelletier, 1997; Silla et al., 2012b). La elección de un trayecto más corto y rápido independientemente de cometer una infracción, tanto en estación como plena vía es la razón más habitual para los cruces de vías (Lobb et al., 2001). Aunque también ocurren arrollamientos de personas por deficiencias auditivas (incluyendo las personas que llevan auriculares y que por tanto impiden oír señales acústicas o el ruido del tren), por trabajos en vía (incumpliendo los protocolos de seguridad en la operaciones ferroviarias), por caídas de andén debido a conductas inapropiadas y por juegos de riesgo entre jóvenes para ver quien aguanta más delante del tren, son

sucesos poco frecuentes pero que poseen un gran impacto social.

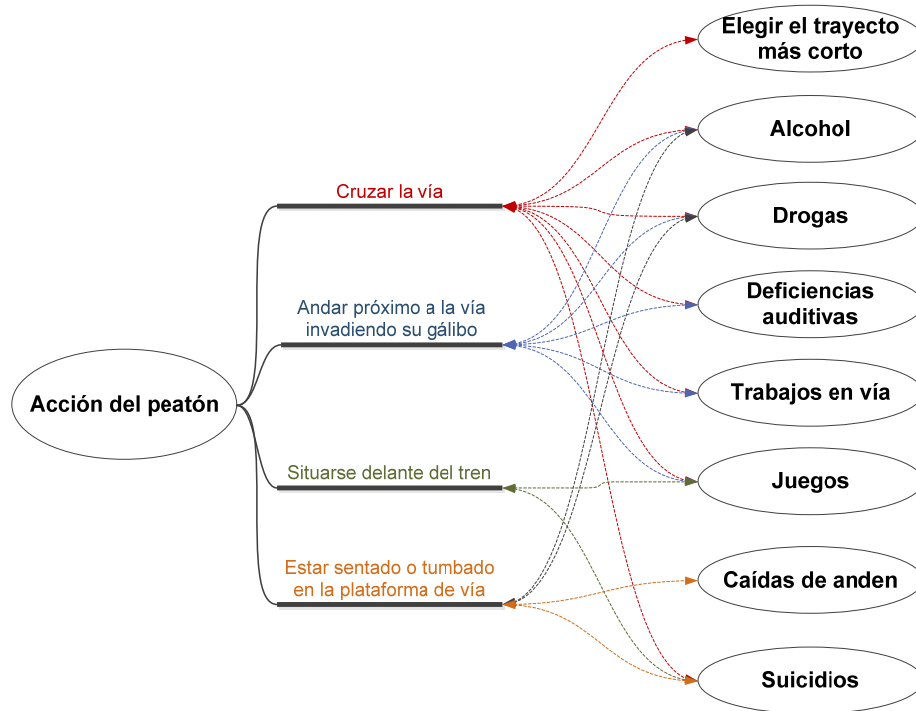


Figura 10 Factores que intervienen en las infracciones de los peatones (George, 2008; Lobb et al., 2001; Savage, 2007; Pelletier, 1997; Patterson, 2004; Rail Safety and Standards Board, 2005; Silla et al., 2009, 2012b; van Houwelingen, Kerkhof & Beersma, 2010)

#### **1.3.3.4 Estrategias de intervención**

Las estrategias de intervención implementadas en el ferrocarril para la reducción de la accidentalidad debida a fallo humano se fundamentan en el diseño de sistemas, la educación/formación y la aplicación de sanciones (figura 11). Respecto a los tipos de error en la explotación ferroviaria, son las mejoras tecnológicas en los sistemas de protección del tren y los planes de formación las intervenciones más habituales (Cacciabue, 2005; Conde-García, 2007; Rail Safety and Standards Board, 2008; Toledo-Castillo, 2007; Toledo-Castillo, Castro, Lloret-Catalá, 2006; Toledo-Castillo, Lloret-Catalá, Figueres-Esteban, Sospedra-Baeza 2006; Stanton et al., 2011).

En los pasos a nivel, son la automatización de los pasos a nivel, la mejora de los sistemas de detección de obstáculos del paso a nivel, la mejora de los sistemas de iluminación de tren, la mejora de la señalización vial y, las campañas de educación y sensibilización orientadas a la ciudadanía, las intervenciones implantadas (Lobb, 2006; Lobb et al., 2001; Lobb, Harré & Terry, 2003; Savage, 2007; Slovak et al., 2008). En las invasiones de vía, es la incorporación de limitaciones de acceso a vía (por ejemplo mediante su vallado) y las campañas de educación en centros escolares y de sensibilización orientados a la ciudadanía, las estrategias con mayor éxito que se han implementado (Blazar, Dormans & Born, 1997; Lerer & Matzopoulos, 1996; Lobb et al., 2001; Matzopoulos & Lerer,



1998; Pelletier, 1997; Savage, 2006; Silla et al. 2012b). Sin embargo, estas medidas deben ser valoradas en su contexto adecuado, considerando el lugar geográfico donde se han implementado y los cambios que se pueden producir en la seguridad vial, como por ejemplo la reducción del alcohol en la conducción o los avances en automoción (Mok & Savage, 2005).

Finalmente, es una conclusión común en toda la literatura revisada, que es necesario continuar con la investigación que permita reducir los errores humanos, introduciendo en las fases de diseño de los sistemas ferroviarios el factor humano, y en el caso de los pasos a nivel e invasiones de vía, introducir sistemas de “security” que permitan ofrecer más información de los patrones de conducta de los peatones y vehículos de carretera para su posterior análisis.

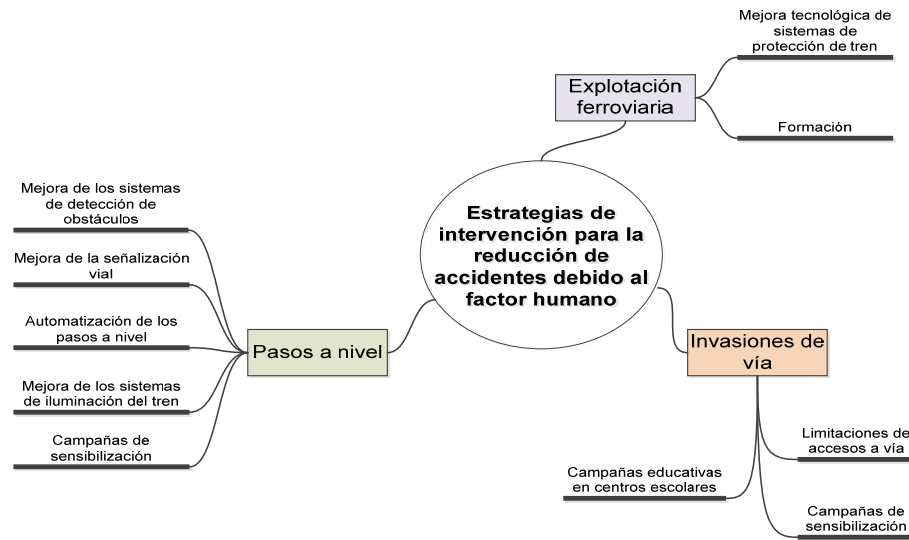


Figura 11 Estrategias de intervención implantadas en el ferrocarril para la reducción de la accidentalidad debido al factor humano



## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Introducción**

La investigación realizada para la determinación de las variables de accidentalidad ferroviaria en las que intervienen el factor humano y su valoración en los colectivos de riesgo del sistema ferroviario español surge del proyecto de investigación de I+D+i PT-2007-035-18IAPM "Determinación del nivel de riesgo aceptado en el funcionamiento del ferrocarril en España para los diferentes subsistemas existentes" (DETRA) a raíz de la concesión de ayudas del Cedex (Ministerio de Fomento) para la realización de proyectos de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica, ligadas al Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007.

El proyecto DETRA se desarrolló en colaboración con el Administrador de Infraestructuras (Adif) y la empresa ferroviaria Renfe Operadora para determinar el nivel de riesgo del sistema ferroviario español de fallos en su conjunto y para cada una de sus partes según el marco regulador nacional y europeo, obteniendo como principal conclusión que la mayor parte del riesgo del sistema (según la metodología para la obtención de los Valores Nacionales de Referencia) era aportado por el sistema de "Actuaciones de Terceros" y "Fallo Humano" con un 93,42 % y 6,5% respectivamente para el colectivo "la sociedad

en su conjunto”. Es decir, que incluyendo las actuaciones de personas ajenas al ferrocarril, un 99,92% del riesgo del sistema ferroviario en este colectivo es debido a factores humanos.

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo general**

El objetivo de la presente tesis es determinar en qué variables de accidentalidad ferroviaria interviene el factor humano y su valoración respecto los colectivos de riesgo del sistema ferroviario español.

### **2.2.2 Objetivos específicos**

- Analizar los registros de accidentalidad del ferrocarril español con el factor humano.
- Descomponer en cadenas de eventos los registros de accidentalidad del ferrocarril español relacionados con el factor humano.
- Determinar las variables fundamentales que intervienen el factor humano.
- Identificar y definir las categorías de cada una de las variables que intervienen en el factor humano.
- Elaborar una base de datos donde poder registrar los sucesos relacionados con los eventos en los que se ha visto implicado el factor humano.
- Identificar los colectivos que son víctimas potenciales del sistema ferroviario de las variables que intervienen en el factor humano.

- Cuantificar el riesgo de cada uno los colectivos que son víctimas potenciales del sistema ferroviario de las variables que intervienen en el factor humano.

## 2.3 Hipótesis

- Todos los colectivos de riesgo del ferrocarril español están afectados por el factor humano.
- La frecuencia de los sucesos debidos al factor humano es mayor en la circulación de tren que de maniobras.
- El riesgo de los sucesos debidos al factor humano es mayor en la circulación de tren que de maniobras.
- El error humano relacionado con las Señales rebasadas en situación de peligro (SPAD) es el error más frecuente debido al factor humano.
- Las invasiones de vía en plena vía, pasos a nivel y estaciones son más frecuentes en fin de semana que entre semana.
- Las invasiones de vía en plena vía, pasos a nivel y estaciones son más frecuentes entre las 22:00 y las 6:00 horas.
- Las invasiones de vía en pasos a nivel de personas son más frecuentes que las invasiones de vía de vehículos.
- El riesgo aportado a los colectivos es mayor por las invasiones de vía en pasos a nivel de personas que por las invasiones de vía de vehículos.

- La zona geográfica influye de manera diferencial en la frecuencia de las invasiones de vía en pasos a nivel.
- La zona geográfica influye de manera diferencial en el riesgo de las invasiones de vía en pasos a nivel.
- La zona geográfica influye de manera diferencial en la frecuencia de sucesos ocurridos por conductas indebidas de personas ajenas al ferrocarril en plena vía.
- La zona geográfica influye de manera diferencial en el riesgo de sucesos ocurridos por conductas indebidas de personas ajenas al ferrocarril en plena vía.
- En los pasos a nivel clase A la frecuencia de invasiones de vía de vehículos es mayor que en el resto de clases.
- En los pasos a nivel clase A la frecuencia de invasiones de vía de personas es mayor que en el resto de clases.
- Las invasiones de vía de vehículos en pasos nivel aportaran riesgo al colectivo de Viajeros.
- Las invasiones de vía de vehículos pesados en pasos nivel aportaran el mayor riesgo al colectivo de Viajeros.
- Las invasiones de vía de vehículos ligeros en pasos a nivel son las más frecuentes.



- Las invasiones de vía de vehículos ligeros en pasos a nivel son las que más riesgo aporta al colectivo de Usuarios de pasos a nivel.
- Las invasiones de vía de personas son más frecuentes en pasos a nivel que en plena vía.
- Los jóvenes es el principal grupo de riesgo en las invasiones de vía de personas.
- El principal factor de riesgo asociado a las invasiones de vía de personas es el alcohol y las drogas.
- Los cruces indebidos de vía entre andenes es la conducta de mayor riesgo relacionada con el factor humano.

## **2.4 Muestra**

La muestra del estudio se compone de todos los sucesos implicados en los accidentes ocurridos y registrados durante el período 2005 – 2008 en el ferrocarril español en los que interviene el factor humano. Se ha analizado un total de 502 sucesos causados por el factor humano.

## **2.5 Diseño**

En la investigación se ha utilizado un diseño ex post facto de tipo descriptivo.

Se ha analizado la información post-accidente de los registros de accidentalidad ferroviaria en España para el período 2005-2008.

A partir de los resultados del proyecto de investigación de I+D+i PT-2007-035-18IAPM "Determinación del nivel de riesgo aceptado en el funcionamiento del ferrocarril en España para los diferentes subsistemas existentes" (DETRA) y de la revisión de la literatura científica se han establecido las hipótesis acerca de las variables de accidentalidad en las que interviene el factor humano y su valoración sobre los colectivos que son víctimas potenciales del sistema ferroviario español.

## 2.6 Variables

Las variables utilizadas en la investigación son:

- Fallo humano en la explotación ferroviaria: fallos causados por personal habilitado para desempeñar funciones relacionadas con la circulación por empleados de empresas de ferroviarias. Las categorías de esta variable se corresponden con los diferentes tipos de error: señales, bloqueo/itinerario, formación del tren, conducción, comunicación, distribución de carga, trabajos en vía, escape de material.
- Actuaciones de terceros: actuaciones indebidas de personas ajenas al ferrocarril. Las categorías de esta variable se corresponden con las conductas inadecuadas de personas ajenas a las empresas ferroviarias: circular dentro del gálibo de vía, cruzar la vía, caída de personas con el tren movimiento, caída de vehículo, invasión de vía, imprudencia en andén, acceso a tren fuera de servicio, imprudencia acceso al tren, imprudencia bajar tren, suicidio y actos vandálicos.
- Muertos equivalente: medida de los daños a personas en la que un herido grave se considera estadísticamente equivalente a 0,1 muerto y un

herido leve se considera estadísticamente equivalente a 0,01 muerto

- Colectivo de riesgo: tipo de persona víctima en el ferrocarril. Son categorías de la variable: viajeros, empleados, usuarios de pasos a nivel, personas no autorizadas, otras personas y la sociedad en su conjunto.
- Circulación: modo en el que circula el vehículo ferroviario. Son categorías de la variable: tren y maniobras.
- Día de la semana con las categorías: lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo.
- Hora del día: hora del día considerando intervalos de una hora.
- Año con las categorías: 2005, 2006, 2007 y 2008.
- Ubicación: áreas del ferrocarril que interaccionan con personas ajenas a las empresas ferroviarias. Las categorías de la variable son: pasos a nivel, plena vía y estación.
- Km-tren: unidad de medida que representa el desplazamiento de un tren en un kilómetro.
- Km-tren de viajeros: unidad de medida que representa el desplazamiento de un tren de viajeros en un kilómetro
- Número de pasos a nivel: número anual de pasos a nivel en España.

- Km de vía: número anual de la longitud de vía de la RFIG.
- Provincia: provincias españolas. Son categorías de la variable: Álava, Albacete, Alicante, Almería, Asturias, Ávila, Badajoz, Barcelona, Burgos, Cáceres, Cádiz, Cantabria, Castellón, Ciudad Real, Córdoba, A Coruña, Cuenca, Gerona, Granada, Guadalajara, Guipúzcoa, Huelva, Huesca, Jaén, León, Lérica, La Rioja, Lugo, Madrid, Málaga, Murcia, Navarra, Ourense, Palencia, Pontevedra, Salamanca, Segovia, Sevilla, Soria, Tarragona, Teruel, Toledo, Valencia, Valladolid, Vizcaya, Zamora y Zaragoza.
- Clase de paso a nivel: Clasificación de los pasos a nivel en España por sistemas de protección y grado de automatización en vía y carretera. Son categorías de la variable: A, B, C, F, Particulares.
- Tipo de vehículo: son categorías de la variable: bicicletas, ciclomotores/motocicletas, carros, vehículo ligero, vehículo pesado de mercancías, tractor agrícola, pala retroexcavadora y remolque.
- Edad: edad de las víctimas en años.

## 2.7 Procedimiento

Las fases del proceso de investigación (figura 12) más adecuadas para la obtención del objetivo del estudio han sido:

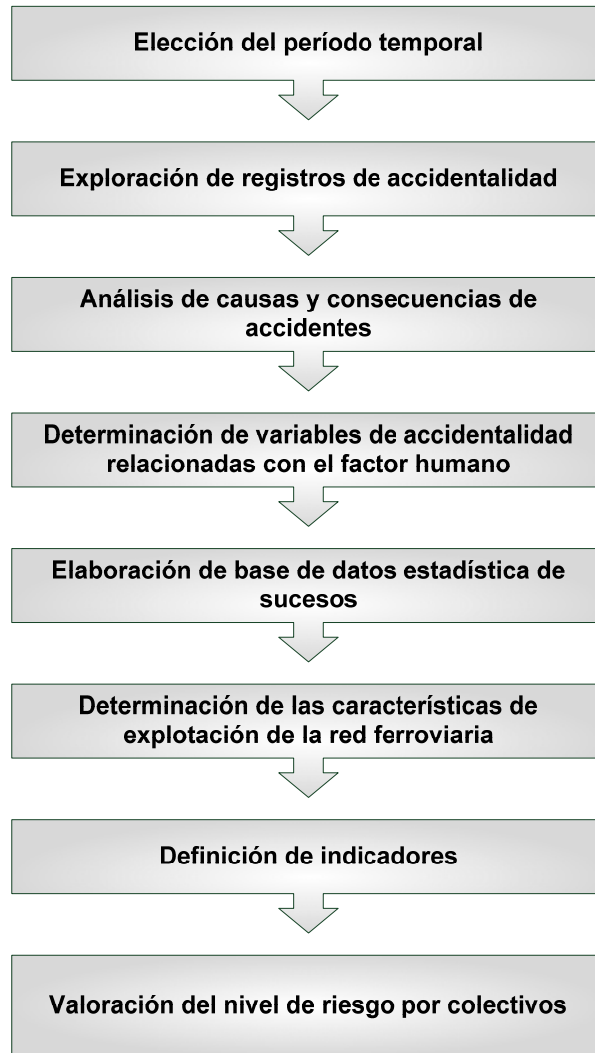


Figura 12 Fases del proceso de investigación

La principal característica, tal como se verá posteriormente, que diferencia esta metodología de las existentes actualmente, es la descomposición de los accidentes en cadenas o arboles de eventos para su registro en una base de datos y su posterior análisis. La práctica más habitual de las empresas ferroviarias europeas para clasificar un accidente o incidente ha sido registrarlo bajo una única denominación en función del evento que se ha considerado más grave. Por ejemplo, la Directiva de Seguridad Ferroviaria define las categorías de accidentes como: colisiones, descarrilamientos, accidentes en pasos a nivel, accidentes causados a personas por material rodante, incendios en el material rodante, y otros. En España, aunque además de clasificar los accidentes e incidentes por denominación se registra la causa principal de fallo, no se disponía de una base de datos que mostrara todos los eventos que habían participado en la generación del accidente.



### **2.7.1 Elección del período temporal**

Para determinar el período temporal de análisis se han considerado los cambios organizativos y legislativos que han acaecido en el ferrocarril español. En 2005, se produce un punto de inflexión con la aplicación de la Ley del Sector Ferroviario, donde se establece la segregación de la empresa nacional ferroviaria RENFE en el Administrador de Infraestructuras (Adif) y la empresa ferroviaria Renfe Operadora. En este nuevo marco, se actualiza la norma técnica de accidentes e incidentes y la herramienta de gestión de datos, modificando los tipos de accidentes a registrar (tabla 12) según las recomendaciones de la Directiva de Seguridad Ferroviaria, y generando dos orígenes de datos para el análisis del histórico de accidentes:

- La base de datos SICA para el histórico de accidentes anterior a 2005, regulada por la Norma Técnica de Accidentes e Incidentes del año 2000.
- La base de datos GISCA para el histórico de accidentes posterior al 2005, regulada por la Norma Técnica de Accidentes e Incidentes del año 2005.

<b>Denominación de accidente</b>	
SICA (anterior a 2005)	GISCA (posterior a 2005)
Accidente en Pasos a Nivel Colisión Descarrilamiento Incendio/explosión Arrollamiento de obstáculos Descomposición de carga Talonamiento Enganche pantógrafo Varios	Accidente en Pasos a Nivel Colisión Descarrilamiento Incendio/explosión Arrollamiento de obstáculos Accidentes de personas Arrollamientos Caídas Maniobras Varios Suicidios Otros

Tabla 12 Tipos de accidentes registrados en las bases de datos SICA y GISCA


Dado que la base de datos GISCA recoge una mayor tipología de accidentes y el nivel de detalle de la información de sus registros es mayor, el período de la investigación se establece para el 2005 – 2008 (último año analizado en el proyecto DETRA), sin considerar los datos de accidentalidad relativos al Ferrocarril Español de Vía Estrecha.

## **2.7.2 Exploración de registros de accidentalidad**

La exploración de los registros de accidentes de la base de datos GISCA proporcionó una primera aproximación de las variables que se registran y el nivel de profundidad de la información que se dispone.

En el ferrocarril español, las normas técnicas de accidentes se definen con el objetivo de recoger todo tipo de accidentes durante su periodo de vigencia, debiendo definir en algunas variables categorías genéricas (como Varios y Otros) para resistir los cambios de la accidentalidad y evitar que algún tipo de accidente se deje de registrar. Sin embargo, lo que es óptimo para la definición de la norma, no lo es para el desarrollo de una base de datos de sucesos. Todos los registros de accidentes, incluidos aquellos que se han clasificado como Varios u Otros, contienen la descripción suficiente del accidente para determinar que sucesos que han ocurrido en el mismo (figura 13). Esta información se encuentra en formato de campo de texto, es decir, no está clasificada, y por tanto no puede ser tratada estadísticamente.

Page 1 of 2




**Dirección de Seguridad en la Circulación**

---

**NORTE**

Fecha/Hora Circulación	Tipo accidente Causa accidente	Estación 1 Estación 2	Asignación Negocio
---------------------------	-----------------------------------	--------------------------	-----------------------

Page 2 of 2



**Dirección de Seguridad en la Circulación**

---

**Nº Víctimas**

	Muertos:	H.Levés:	H.Graves:
Empleados:			
Viajeros:			
Terceros:			

**Causas**

Causa 1 Accidente:	Causa 2 Accidente:
--------------------	--------------------

**Asignaciones**

Empresa: \_\_\_\_\_

DNI: \_\_\_\_\_

**Descripción:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Jefatura de Investigación de Accidentes

Figura 13 Información disponible en un registro de accidente de la base de datos GISCA

### 2.7.3 Análisis de causas y consecuencias de accidentes

De las diferentes técnicas que se pueden utilizar para realizar el análisis causa consecuencia de cada uno de los registros de accidente se aplicó la técnica de árboles de eventos para determinar las cadenas de sucesos.

A partir de la información disponible en el campo de texto “Descripción” del registro de accidente se determinó la causa inicial del suceso, asociada a un determinado tipo de fallo del sistema ferroviario, y cada una de las consecuencias ocurridas en el mismo (figura 14).

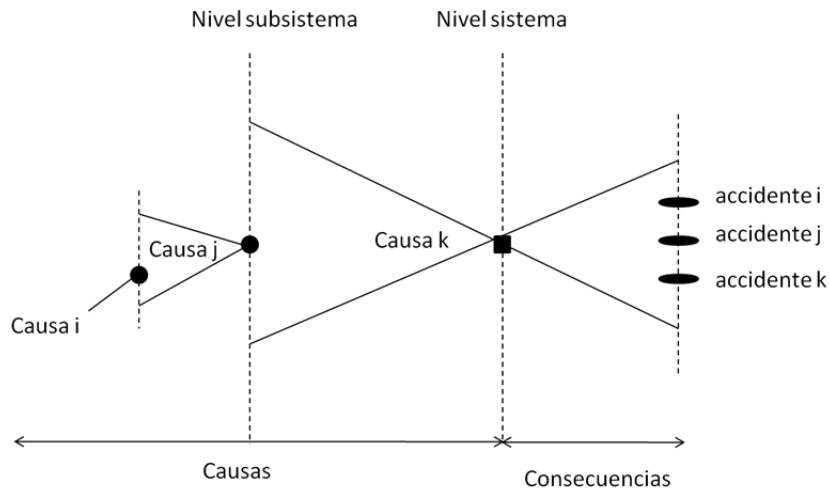


Figura 14 Diagrama de árbol de eventos para un accidente

En figura 15, como ejemplo se observa el tipo de contenido disponible en un registro extraído de la base de datos GISCA gestionada.

Control de accidentalidad - ADIF Page 1 of 2



**adif**  
ADMINISTRACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

**Dirección de Seguridad en la Circulación**

---

**NORTE**

Fecha/Hora	Tipo accidente	<b>Colisión</b>	Estación 1
Circulación	Causa accidente		Estación 2

Asignación  
Negocio

Control de accidentalidad - ADIF Page 2 of 2



**adif**  
ADMINISTRACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

**Dirección de Seguridad en la Circulación**

---

**Nº Víctimas**

	Mueitos:	H.Leves:	H.Graves:
--	----------	----------	-----------

Empleados:  
Viajeros:  
Terceros:

**Causas**

Causa 1 Accidente: **Fallo humano**      Causa 2 Accidente: **Señales**

**Asignaciones**

Empresa:  
DNI:

**Descripción:**

**Descripción detallada del accidente.**

**ULTIMA CAUSA: Síntesis de la causa del accidente.**

---

Jefatura de Investigación de Accidentes

Figura 15 Ejemplo del contenido disponible en un registro de datos GISCA

Examinando la descripción del accidente y la información contenida en el campo “última causa”, obtenemos el máximo detalle de información del registro, es decir, cada uno de los eventos que ha generado un accidente. Por ejemplo, de la siguiente figura se observa que clasificando el accidente bajo

una única denominación, como ha sido habitual en el sector ferroviario, se debería elegir entre descarrilamiento o colisión como suceso más grave, no reflejando en cualquiera de los dos casos, una de las dos consecuencias y sus causas previas (un talonamiento de aguja debido a un rebase de señal por un fallo humano de señal).

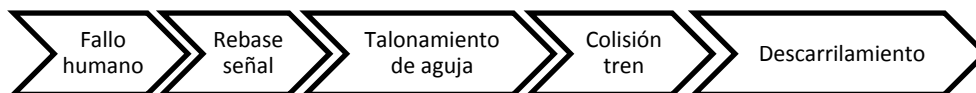


Figura 16 Secuencia de eventos de un accidente

#### **2.7.4 Determinación de variables de accidentalidad relacionadas con el factor humano**

De los resultados obtenidos en la fase de exploración de registros de accidentalidad y del análisis causa-consecuencia, se han obtenido las variables de accidentalidad en las que interviene el factor humano, incluyendo las actuaciones de las personas ajenas al ferrocarril.

### **2.7.5 Elaboración de base de datos estadística de sucesos**

Para procesar y almacenar la información obtenida de los registros de accidentes y de los resultados de los análisis de causa y consecuencia se diseñó una base de datos capaz de:

- Almacenar diferentes tipos de datos (texto, booleanos, fechas, numéricos, categóricos...).
- Almacenar secuencialmente cada uno de los eventos que han generado un accidente (primera causa, sistema o subsistema implicado y consecuencias)
- Generar nuevas variables de agrupación que permitan ofrecer la flexibilidad necesaria para obtener cualquier tipo indicador.
- Realizar análisis estadísticos descriptivos.

Para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS 17 (Statistical Package for the Social Sciences), generando una base fila por columna, donde cada fila es la descripción completa de un suceso. La forma de incluir toda la información de una sola ficha en esta base de datos es generando tantas filas como sucesos y tantas columnas como variables sean necesarias para registrar toda la información disponible de cada uno de los sucesos. Es por ello que el número total de sucesos no tiene por qué coincidir con el número de registros de



accidentes, ya que un accidente puede estar compuesto por varios sucesos que pueden ser tratados de forma independiente (denominados sucesos no combinados), o estar compuesto por varios sucesos que deben ocurrir simultáneamente para que ocurra el accidente (denominados sucesos combinados).

Para definir las categorías de las variables de la base de datos se siguió un proceso iterativo. El primer listado de variables y categorías se realizó a partir de los resultados obtenidos de la primera exploración de los registros de accidentes, modificándose posteriormente durante todo el proceso de introducción de datos para poder almacenar toda la información disponible.

De esta forma, para cada suceso, a través de los valores que se dispone en cada una de las variables de la base de datos (columnas), se obtiene la información necesaria para el posterior análisis de datos.

## 2.7.6 Características de explotación de la red ferroviaria

Los datos de la red ferroviaria necesarios para la valoración de riesgo son:

- Kilómetros de vía de la red.
- Número de pasos a nivel
- Número anual de kilómetros-tren
- Número anual de kilómetros-tren de viajeros

Los datos relativos a las características de explotación se encuentran disponibles en las siguientes fuentes de datos:

- CIRTRA del 2005 al 2008. Nos proporciona los km de línea y el número anual de pasos a nivel. Los km de línea de la red ferroviaria de interés general (RFIG), a efectos de su contabilización, se descompone en km de vía única y km de vía doble. Dado que la reglamentación utiliza km de vía y no de línea, se ha realizado la siguiente estimación:

$$\text{Km de vía}^4 = \text{Km de línea de vía única} + 2 \cdot \text{Km de línea de vía doble}$$

---

<sup>4</sup> No se han considerado los km de línea de vía cuádruple

- Informes estadísticos del gestor de infraestructuras que proporcionan el número anual de km-tren de viajeros por millón y el número anual de km-tren por millón. En ambos casos están incluidos los km de maniobras.

### 2.7.7 Definición de indicadores

Los indicadores que se han definido en la investigación para valorar las variables de accidentalidad en las que interviene el factor humano están directamente relacionados con los utilizados históricamente por las empresas ferroviarias y las recomendaciones del Método Común de Seguridad 460/2009/CE, con la salvedad que el estudio valora sucesos y no accidentes.

Son los indicadores:

- Número de sucesos por causas de accidentalidad en las que interviene el factor humano.
- Número de sucesos por millón de kilómetros-tren por causas de accidentalidad en la que interviene el factor humano.
- Número de muertos equivalentes para los colectivos de viajeros, empleados, usuarios de pasos a nivel, personas no autorizadas, otras personas y la sociedad en su conjunto. Se define como Muerto Equivalente (Meq) al valor obtenido por la expresión:

$$Meq = N^{\circ} \text{ víctimas mortales} + \frac{N^{\circ} \text{ Heridos Graves}}{10} + \frac{N^{\circ} \text{ Heridos Leves}}{100}$$

- Observaciones anuales para la valoración del riesgo de los colectivos viajeros, empleados, usuarios de pasos a nivel, personas no autorizadas, otras personas y la sociedad en su conjunto (tabla 13).

Tipo de riesgo	Tipo de medida	Unidad de referencia
1.- Viajeros	1- Número anual de muertos equivalentes de viajeros / número anual de km-tren de viajeros	Km-tren de viajeros por año
2.- Empleados	2- Número anual de muertos equivalente de empleados / número anual de km-tren.	Km-tren por año
3.- Usuarios de pasos a nivel	3.1- Número anual de muertos equivalentes de usuarios de pasos a nivel / número anual de km-tren.	Km-tren por año
	3.2- Número anual de muertos equivalentes de usuarios de pasos a nivel / [(Número anual de km-tren * Número de pasos a nivel) / km de vía]	(Km-tren por año * Número de pasos a nivel) / Km de vía
4.- Otras personas (terceros)	4- Número anual de muertos equivalente perteneciente a la categoría de "otras personas" / número anual de km-trenes	Km-tren por año
5.- Personas no autorizadas en las instalaciones ferroviarias	5- Número anual de muertos equivalentes de personas "no autorizadas en las instalaciones ferroviarias" / número anual de trenes-km	Km-tren por año
6.- Sociedad en su conjunto	6- Número anual total de muertos equivalentes / número anual de trenes-km.	Km-tren por año

Tabla 13 Observaciones anuales para valorar el riesgo de los colectivos que son víctimas potenciales de las variables de accidentalidad en las que interviene el factor humano

## 2.7.8 Valoración del nivel de riesgo por colectivos

Se han adoptado como colectivos de riesgo del sistema ferroviario español los definidos por el Método Común de Seguridad 460/2009/CE (tabla 14). Para el colectivo Otras personas, se han concretado las personas ajenas a las empresas ferroviarias que forman parte del mismo:

Definición de los colectivos
1.- Viajero: "Cuando la víctima provista o no de título de transporte viaja o tiene intención de viajar por tren. Incluye a los empleados en esas circunstancias que no están de servicio. "
2.- Personal o empleado incluido el personal de los contratistas: cualquier persona cuyo empleo se relacione con un ferrocarril y que se encuentre en servicio en el momento de producirse el accidente; el termino incluye la tripulación de los trenes y las personas que manejan el material rodante o que operen las instalaciones de infraestructuras.
3.- Usuarios de pasos a nivel: toda persona que utilice un paso a nivel para cruzar una línea ferroviaria en cualquier medio de transporte o a pie.
4.- Otras personas: aquellas que no son viajeros, empleados, usuarios de pasos a nivel y personas no autorizadas. Se incluyen acompañantes de viajeros, personas sin intención de viajar en andén, personas no viajeros en pasos entre andenes y daños a personas debido a actos vandálicos
5.- Personas no autorizadas: terceros (personas o vehículos) que cometen imprudencias estando en un lugar no autorizado en las instalaciones ferroviarias.
6.- Riesgo de la sociedad en su conjunto: se incluyen cualquier tipo de lesión de viajeros, empleados, usuarios de paso a nivel, otras personas y personas no autorizadas.

Tabla 14 Definición de los colectivos que son víctimas potenciales de las variables de accidentalidad en las que interviene el factor humano

### **3 RESULTADOS Y DESARROLLO ARGUMENTAL**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las fases *Determinación de variables de accidentalidad relacionadas con el factor humano* y *Valoración del nivel de riesgo por colectivos*. De la primera fase se obtiene un listado de las variables relacionadas con el factor humano y sus definiciones dentro del ámbito de la actividad ferroviaria en España y su regulación. De la segunda fase se obtiene la valoración de riesgo de las variables definidas respecto los colectivos de riesgo establecidos en el marco normativo europeo y aplicado en España (apartado 2.6.8), mediante los indicadores definidos en el apartado 2.6.7 y la base de sucesos elaborada (apartado 2.6.5).

#### **3.1 Variables de accidentalidad relacionadas con el factor humano**

Las variables de accidentalidad por factor humano se agrupan en dos grandes bloques: los fallos humanos dentro de la explotación ferroviaria (tabla 15) y las actuaciones de personas ajenas a las empresas ferroviarias (tabla 16).

<b>Variable</b>		<b>Definición</b>
Fallo humano		Fallos causados por personal habilitado para desempeñar funciones relacionadas con la circulación por empleados de empresas de ferroviarias.
Categorías	Señales	Suceso causado por la incorrecta aplicación o incumplimiento de la normativa recogida en el Título de Señales e Instalaciones de Seguridad del RGC <sup>5</sup> , salvo las que se refieren a la incorrecta realización de Itinerarios
	Bloqueo/itinerario	Suceso causado por la incorrecta aplicación o incumplimiento de la normativa recogida en el Título de Bloqueo de Trenes del RGC durante la circulación de tren o maniobras
	Formación del tren	Suceso causado por la mala formación de la composición de material rodante para su correcta circulación
	Conducción	Suceso causado por el incumplimiento de la normativa correspondiente a la conducción del material rodante en circulación y maniobras no incluidas al Título de Señales e Instalaciones del RGC.
	Comunicación	Suceso causado por fallo en las comunicaciones entre el personal de conducción, circulación o personal habilitado para obras de trabajo.
	Distribución de carga	Suceso causado por una acción incorrecta en el proceso de carga y descarga del tren, por mala distribución de la misma en los diferentes tipos de contenedores de mercancías por personal habilitado o por el desplazamiento de la carga durante la circulación
	Trabajos en vía	Suceso causado por la incorrecta aplicación o incumplimiento de la normativa correspondiente al Título de Trabajos y Pruebas del RGC.
	Escape material	Suceso causado por la incorrecta inmovilización del material rodante.

Tabla 15 Categorías y definición de la variable Fallo Humano

<sup>5</sup> Reglamento General de Circulación (edición de 1992).



<b>Variable</b>		<b>Definición</b>
Actuaciones terceros		Actuaciones indebidas de personas ajenas al ferrocarril.
Categorías	Circular dentro del gálibo de vía	Transito indebido de personas ajenas a las empresas ferroviarias dentro del gálibo de vía.
	Cruzar la vía	Cruce indebido de la vía de personas ajenas a las empresas ferroviarias.
	Caída de personas con el tren movimiento	Caídas de personas a vía por imprudencia al bajar del tren.
	Caída de vehículo	Caída de un vehículo a vía desde un paso de carretera superior.
	Invasión de vía	Invasión del gálibo de vía por un vehículo o persona cuando no es debido a Circular dentro del gálibo de vía o Cruzar la vía.
	Imprudencia en andén	Actuaciones indebidas de personas en el andén.
	Acceso a tren fuera de servicio	Acceso de personas no autorizadas a trenes que están fuera de servicio.
	Imprudencia acceso al tren	Imprudencia de personas al acceder al tren.
	Imprudencia bajar tren	Imprudencia de personas al bajar del tren.
	Suicidio	Persona que se arroja, permanece o se tiende en la caja de la vía al paso del tren con intención de querer quitarse la vida.
	Actos vandálico	Personas que atentan contra la seguridad de la persona o del tráfico ferroviario. Se excluyen los atentados terroristas.

Tabla 16 Categorías y definiciones de la variable Actuaciones de Terceros

## 3.2 Valoración del nivel de riesgo por colectivos

### 3.2.1 Características de la red ferroviaria

Las características de la red ferroviaria española de interés general para el período 2005 – 2008 se muestran en la tabla 17.

	2005	2006	2007	2008
Número anual de tren-km de viajeros ( $\cdot 10^6$ )	142,06	143,53	145,12	152,35
Número anual de tren-km ( $\cdot 10^6$ )	185,66	186,53	187,02	194,21
Número anual de maniobras-km ( $\cdot 10^6$ )	1,45	1,46	1,45	1,46
Longitud de Km de vía de la RFIG	16769	17146	17925	17959
Número de Pasos a Nivel	3003	2832	2770	2646

Tabla 17 Características de la RFIG

### 3.2.2 Fallo humano

#### 3.2.2.1 Fallo humano de sucesos no combinados

Del número total de sucesos relacionados con el fallo humano en la explotación ferroviaria (gráfico 1), son los fallos por Bloqueo/Itinerario con un 46,34% los más frecuentes, seguido de los fallos de Conducción (19,51%) y de Señales (16,67%). Considerando la evolución desde 2005 a 2008 (gráfico 2), se observa que también son los fallos humanos de Bloqueo/Itinerario los que más han disminuido en el tiempo, seguido de los de Señales.

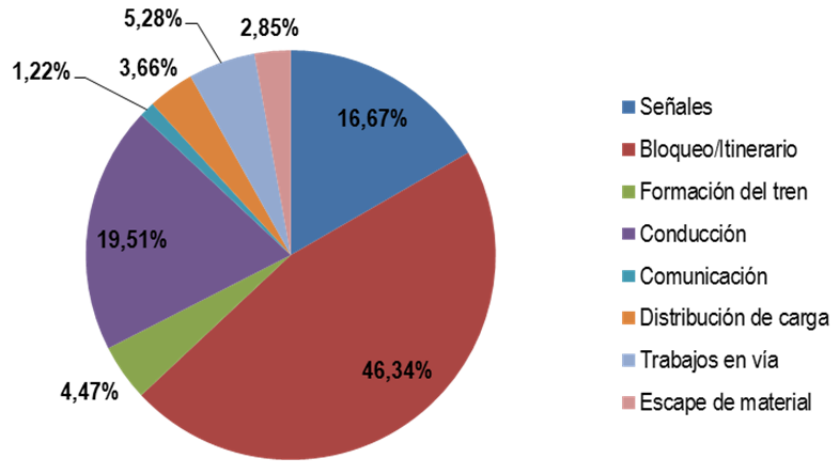


Gráfico 1. Porcentaje de sucesos por categoría de fallo humano en el período 2005 - 2008

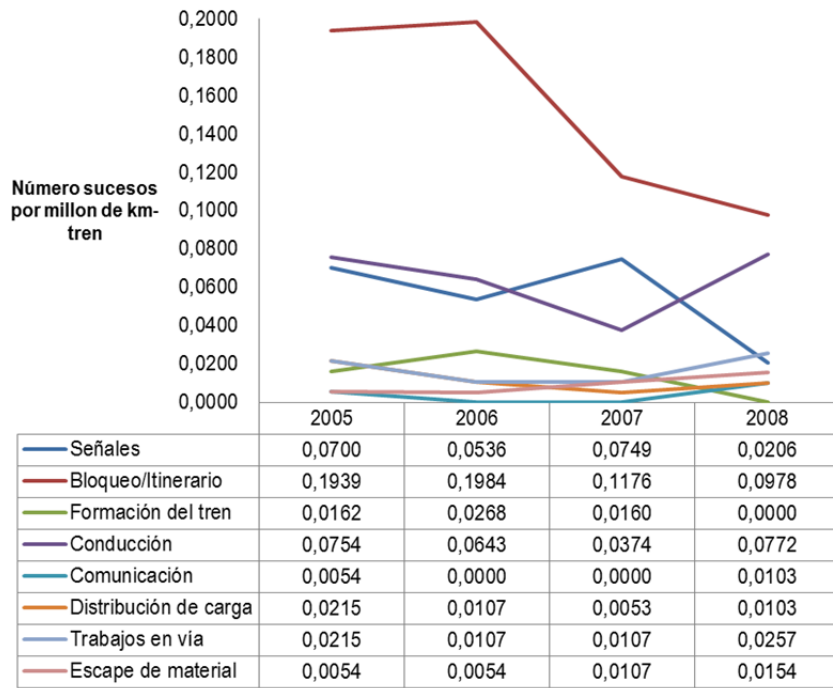


Gráfico 2. Evolución del número de sucesos por millón de kilómetros-tren para las categorías de fallo humano

Del número total de sucesos con víctimas (herido leve, herido grave o muerte) relacionados con el fallo humano (gráfico 3), son los de Conducción y Trabajos en Vía los más frecuentes (31,43%), seguidos de los de Señales (17,14%) y Bloqueo/itinerario (14,29%).

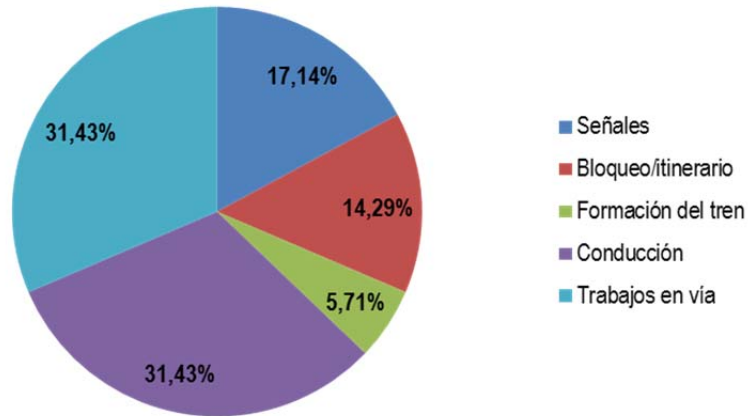


Gráfico 3. Porcentaje de sucesos con víctimas por categoría de fallo humano en el período 2005 – 2008

Atendiendo a la evolución de los fallos humanos que han terminado con alguna víctima en el período 2005 - 2008, son los de Conducción seguidos de los de Bloqueo/Itinerario los que más han disminuido (gráfico 4), y los de Señales los que menos disminuyen para el período de estudio.

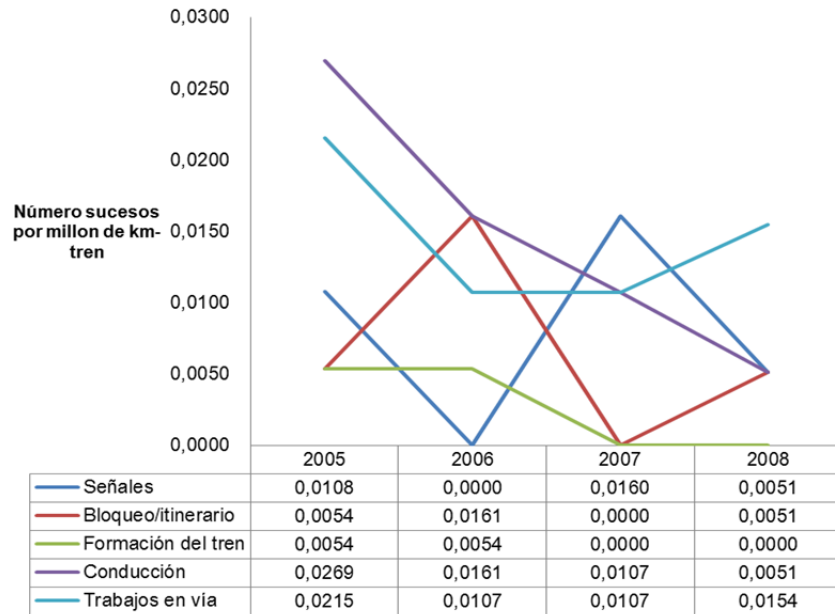


Gráfico 4. Evolución del número de sucesos con víctimas por millón de kilómetros-tren para las categorías de fallo humano

Los colectivos individuales que son víctimas potenciales debido a fallos humanos en la explotación son los de Viajeros, Empleados y Usuarios de Paso a Nivel.

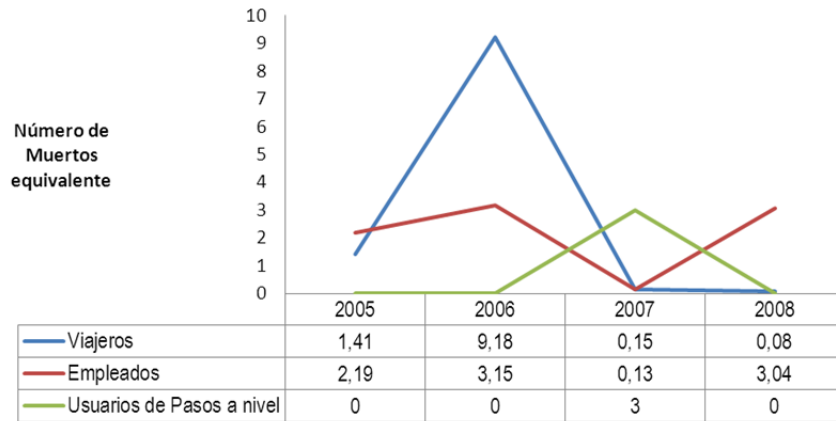


Gráfico 5. Evolución de Meq para los colectivos de riesgo por fallo humano

Año	Fallo Humano	Viajeros	Empleados	Usuarios de Pasos a nivel		Sociedad en su conjunto
				3.1	3.2	
2005	Señales	0,00190	0,00005	0	0	0,00197
	Bloqueo/Itinerario	0	0,00005	0	0	0,00007
	Formación del tren	0	0,00005	0	0	0,00007
	Conducción	0,00802	0,00027	0	0	0,00838
	Trabajos en vía	0	0,01136	0	0	0,01485
	Total	0,00993	0,01180	0	0	0,02534
2006	Bloqueo/Itinerario	0,00077	0,01083	0	0	0,01484
	Formación del tren	0	0,00005	0	0	0,00007
	Conducción	0,06319	0,00011	0	0	0,06333
	Trabajos en vía	0	0,00590	0	0	0,00766
	Total	0,06396	0,01689	0	0	0,08591
2007	Señales	0,00096	0,00005	0,01604	0,10380	0,02171
	Conducción	0,00007	0,00005	0	0	0,00014
	Trabajos en vía	0	0,00059	0	0	0,00076
	Total	0,00103	0,00070	0,01604	0,10380	0,02260
2008	Señales	0,00053	0,00005	0	0	0,00059
	Bloqueo/Itinerario	0	0,00520	0	0	0,00663
	Conducción	0	0,00005	0	0	0,00007
	Trabajos en vía	0	0,01035	0	0	0,01319
	Total	0,00053	0,01565	0	0	0,02048
2005 - 2008	Señales	0,00084	0,00004	0,00398	0,02470	0,00604
	Bloqueo/Itinerario	0,00019	0,00403	0	0	0,00540
	Formación del tren	0	0,00003	0	0	0,00003
	Conducción	0,01753	0,00012	0	0	0,01768
	Trabajos en vía	0	0,00707	0	0	0,00914
	Total	0,01856	0,01130	0,00398	0,02470	0,03830

Tabla 18 Valoración del riesgo en los colectivos por tipos de fallos humano para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales y km-tren del período 2005-2008)

El colectivo con mayor riesgo debido a fallos humanos por millón de km-tren es el de Viajeros, siendo la Conducción el tipo de fallo que mayor riesgo aporta. Para el colectivo de empleados, son los fallos en Trabajos en vía y Bloqueo/Itinerario los que mayor riesgo aportan. Para el colectivo de Usuarios de Pasos a nivel, únicamente un suceso debido a un fallo de Señales aporta todo el riesgo. Desde una visión global del riesgo, para el colectivo la Sociedad en su conjunto, son los fallos de Conducción seguidos de los Trabajos en vía los que mayor riesgo aportan (tabla 18).

### 3.2.2.2 Fallo humano de sucesos combinados

Considerando los fallos combinados en la explotación ferroviaria, se obtiene que únicamente son tres las combinaciones que han ocurrido: Señales-Bloqueo/Itinerario, Bloqueo/Itinerario-Conducción y Comunicación-Conducción (gráfico 6).

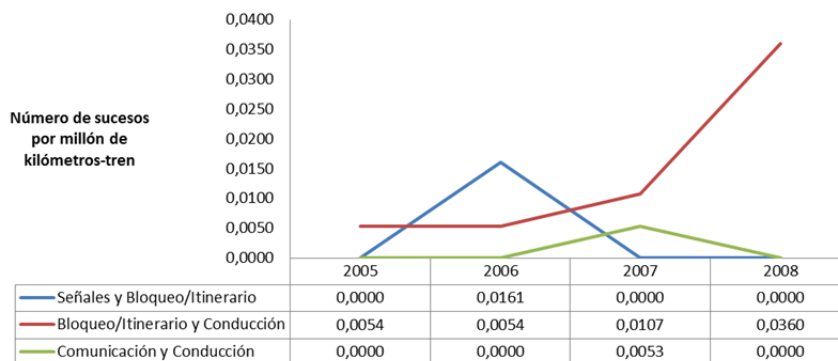


Gráfico 6. Evolución del número de sucesos por millón de kilómetros-tren para las categorías de fallo humano combinado

De estos fallos, solo los de Bloqueo/Itinerario-Conducción y Comunicación-Conducción han causado alguna víctima (gráfico 7).

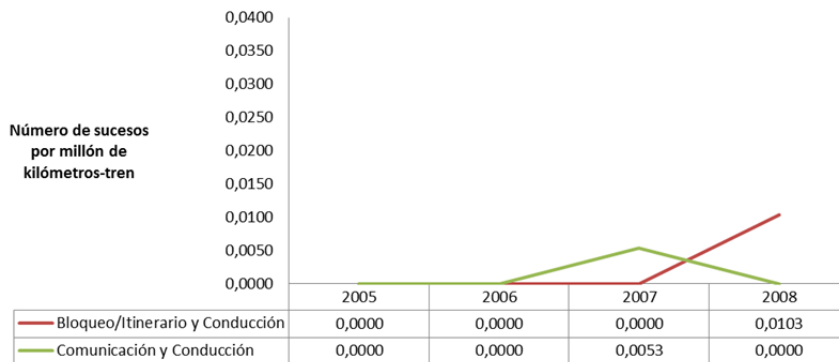


Gráfico 7. Evolución del número de sucesos con víctimas por millón de kilómetros-tren para las categorías de fallo humano combinado

El único colectivo de riesgo debido a fallos humanos combinados es el de Empleados, siendo el fallo de Bloqueo/Itinerario – Conducción el que mayor riesgo aporta (tabla 19).

Año	Fallo Humano	Empleados
2007	Comunicación y Conducción	0,00011
2008	Bloqueo/Itinerario y Conducción	0,00057

Tabla 19 Valoración del riesgo en los colectivos por tipos de fallos humano combinados para el período 2005 - 2008 (Meq por millón de km-tren anuales y km-tren del período 2005-2008)



### 3.2.2.3 Fallo humano de sucesos no combinados por tipo de circulación

Si se clasifican los fallos humanos por tipo de circulación (tren o maniobras), se observa que es durante las maniobras donde ocurren un mayor número de fallos humanos (gráfico 8).

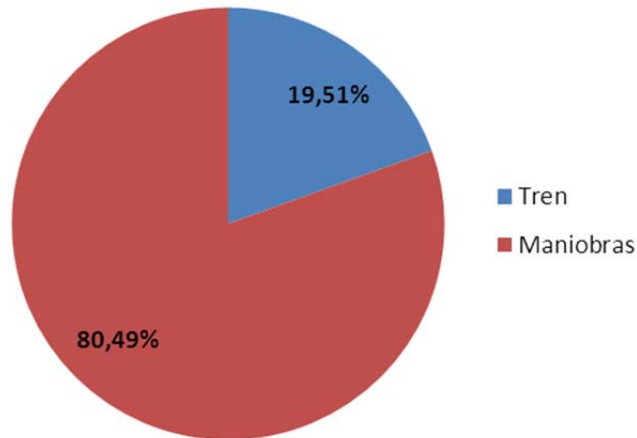


Gráfico 8. Porcentaje de sucesos de fallo humano por tipo de circulación en el período 2005 – 2008

En la circulación de tren son los fallos de Bloqueo/Itinerario los que predominan (31,25%), seguidos de los de Trabajos en vía (20,83%) y Señales (20,83%) (gráfico 9). En maniobras son de igual forma los fallos de Bloqueo/Itinerario los más numerosos (50%), seguidos de los de Conducción (20,20%) y Señales (15,66%) (gráfico 10).

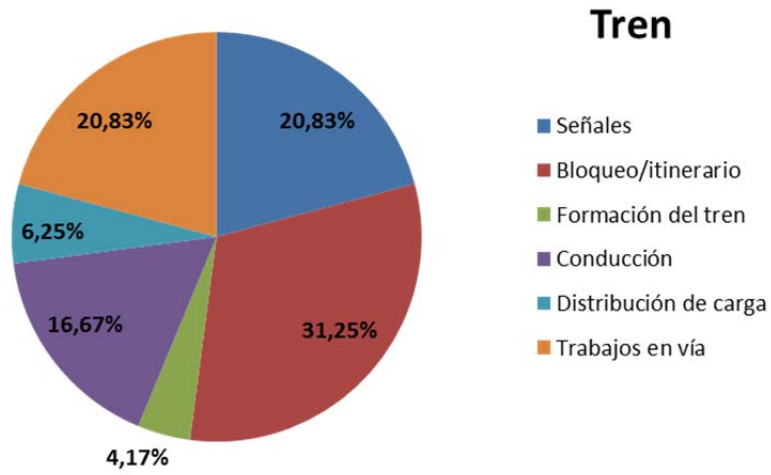


Gráfico 9. Porcentaje de sucesos por categoría de fallo humano en circulación de tren para el período 2005 – 2008

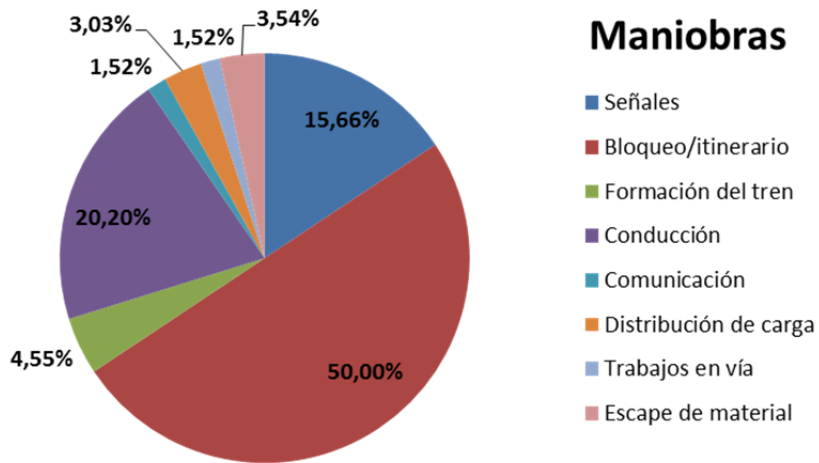


Gráfico 10. Porcentaje de sucesos por categoría de fallo humano en circulación de maniobras para el período 2005 – 2008

Respecto la evolución de los tipos de fallos, se observa en la circulación de tren que todos los fallos disminuyen excepto los de Señales, aunque estos cambian su tendencia a partir del 2007, presentando un fuerte descenso (gráfico 11).

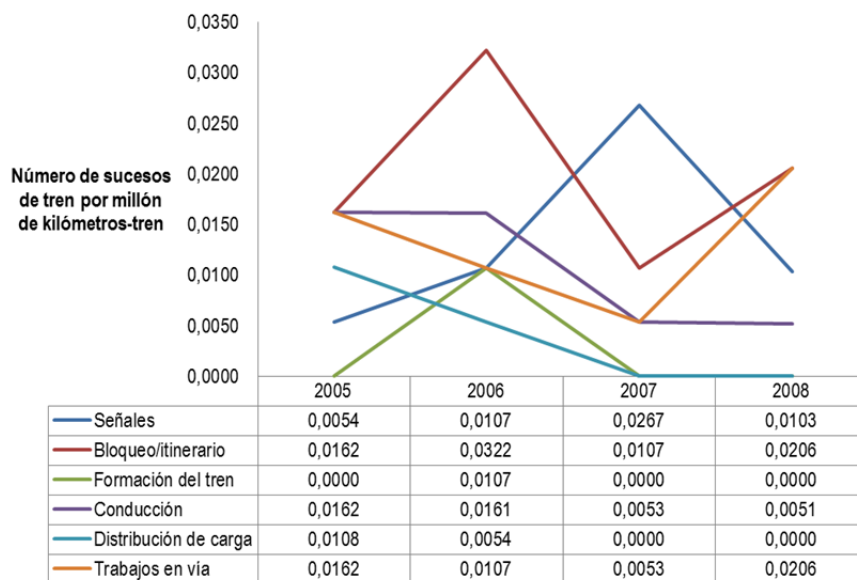


Gráfico 11. Evolución del número de sucesos por millón de kilómetros-tren para las categorías de fallo humano en circulación de tren.

En maniobras, son los de Bloqueo/Itinerario y Señales los que más disminuyen, manteniéndose en el tiempo los fallos debidos a Conducción (gráfico 12).

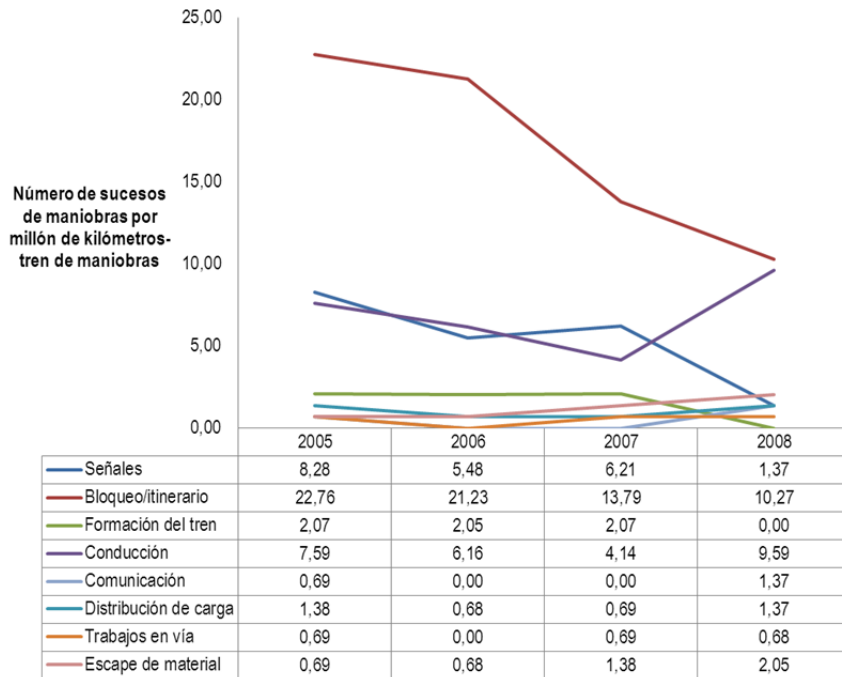


Gráfico 12. Evolución del número de sucesos por millón de kilómetros-tren para las categorías de fallo humano en circulación de maniobras.

Del número total de sucesos con víctimas (herido leve, herido grave o muerto) relacionados con el fallo humano (gráfico 13), se observa que es en la circulación de tren los que mayor daños a personas presentan (71,43%). Es decir, aunque los de maniobras son mucho más frecuentes, muy pocos terminan con algún tipo de víctima.

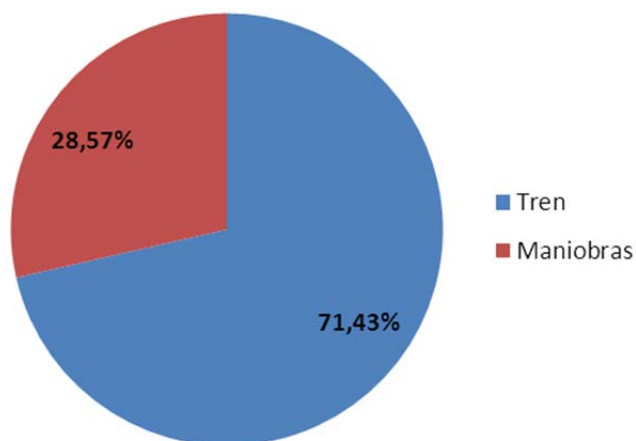


Gráfico 13. Porcentaje de sucesos de fallo humano con víctimas por tipo de circulación en el período 2005 – 2008.

Respecto a la evolución de los tipos de fallos humanos, en la circulación de tren son los de Bloqueo/Itinerario, Señales, Conducción y Trabajos en vía los más frecuentes, siendo los primeros los que presentan un mayor descenso. Los fallos humanos debidos a Señales presentan una tendencia al alza, aunque a partir del 2007 se observa un posible cambio de la misma (gráfico 14). En maniobras, son los fallos de Conducción y Trabajos en vía los que con mayor frecuencia terminan en algún tipo de víctima, disminuyendo los primeros en el tiempo pero manteniéndose la tendencia de los Trabajos en vía (gráfico 15).

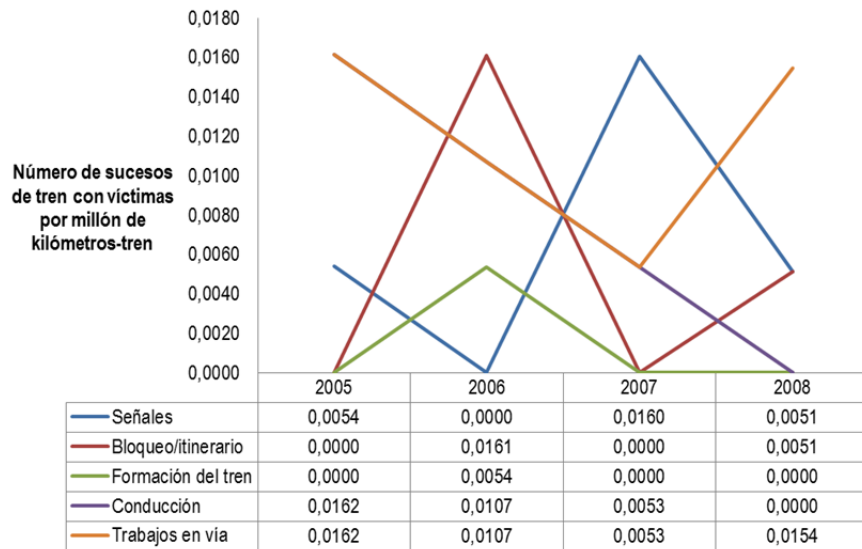


Gráfico 14. Evolución del número de sucesos con víctimas por millón de km-tren para las categorías de fallo humano en circulación de tren

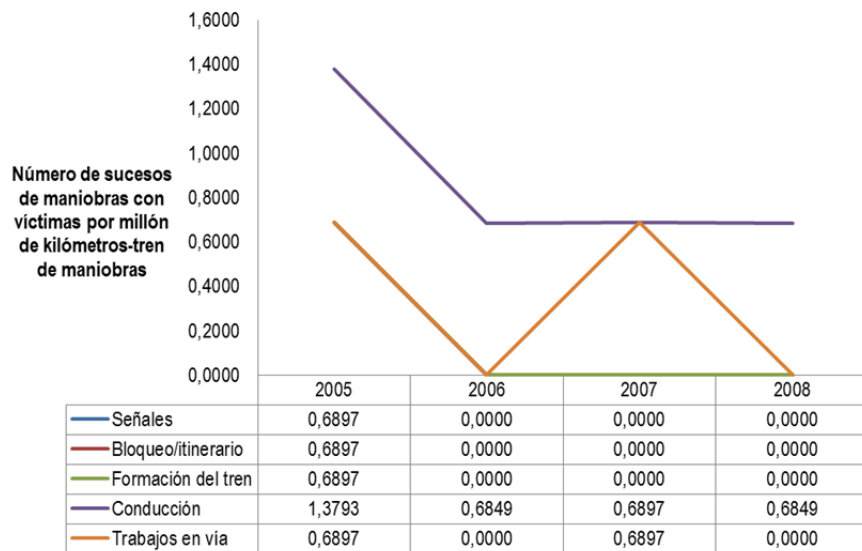


Gráfico 15. Evolución del número de sucesos con víctimas por millón de km-tren de maniobras para las categorías de fallo humano en circulación de maniobras

Por colectivos de riesgo, es el de viajeros el que mayor valor de daños a personas presenta, tanto en la circulación de tren como de maniobras, aunque en ambos casos ambos presentan un fuerte descenso a través del tiempo (gráficos 16 y 17).

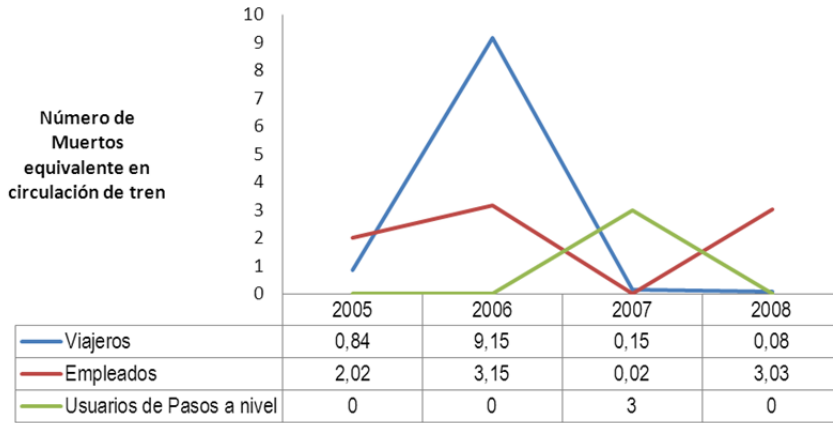


Gráfico 16. Evolución de Meq para los colectivos de riesgo por fallo humano en circulación de tren

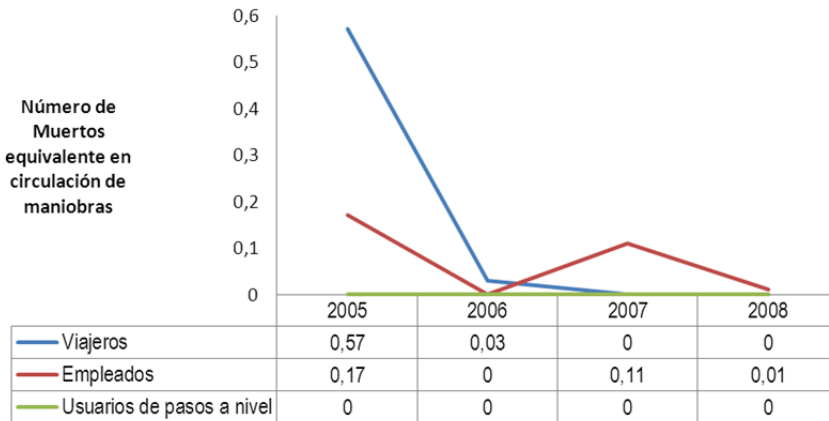


Gráfico 17. Evolución de Meq para los colectivos de riesgo por fallo humano en circulación de maniobras

Año	Fallo Humano	Viajeros	Empleados	Usuarios de Pasos a nivel		Sociedad en su conjunto
				3.1	3.2	
2005	Señales	0,00190	0,00000	0	0	0,00145
	Conducción	0,00401	0,00005	0	0	0,00312
	Trabajos en vía	0	0,01083	0	0	0,01083
	Total	0,00591	0,01088	0	0	0,01540
2006	Bloqueo/Itinerario	0,00077	0,01083	0	0	0,01142
	Formación del tren	0	0,00005	0	0	0,00005
	Conducción	0,06298	0,00011	0	0	0,04857
	Trabajos en vía	0	0,00590	0	0	0,00590
	Total	0,06375	0,01689	0	0	0,06594
2007	Señales	0,00096	0,00005	0,01604	0,1038	0,01684
	Conducción	0,00007	0,00000	0	0	0,00005
	Trabajos en vía	0	0,00005	0	0	0,00005
	Total	0,00103	0,00011	0,01604	0,1038	0,01695
2008	Señales	0,00053	0,00005	0	0	0,00046
	Bloqueo/Itinerario	0	0,00520	0	0	0,00520
	Trabajos en vía	0	0,01035	0	0	0,01035
	Total	0,00053	0,01560	0	0	0,01601
Total	Señales	0,00084	0,00003	0,00398	0,0247	0,00466
	Bloqueo/itinerario	0,00019	0,00402	0	0	0,00417
	Formación del tren	0	0,00001	0	0	0,00001
	Conducción	0,01650	0,00004	0	0	0,01281
	Trabajos en vía	0	0,00681	0	0	0,00681
	Total	0,01753	0,01091	0,00398	0,0247	0,02846

Tabla 20 Valoración del riesgo en los colectivos por tipos de fallos humano en circulación de tren para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales y km-tren del período 2005-2008)



El colectivo con mayor riesgo debido a fallos humanos en circulación de tren (tabla 20) es el de Viajeros, siendo los fallos de Conducción los que mayor riesgo aportan. Para el colectivo de Empleados son los fallos en Trabajos en vía los que mayor riesgo aportan. Desde la visión del riesgo de la Sociedad en su conjunto en circulación de tren es el fallo de Conducción el principal fallo.

Año	Fallo Humano	Viajeros	Empleados	Sociedad en su conjunto
2005	Señales	0,00000	0,00005	0,00005
	Bloqueo/Itinerario	0,00000	0,00005	0,00005
	Formación del tren	0,00000	0,00005	0,00005
	Conducción	0,00401	0,00022	0,00022
	Trabajos en vía	0,00000	0,00054	0,00054
	Total	0,00401	0,00092	0,00092
2006	Conducción	0,00021	0,00000	0,00000
	Total	0,00021	0,00000	0,00000
2007	Conducción	0,00000	0,00005	0,00005
	Trabajos en vía	0,00000	0,00053	0,00053
	Total	0,00000	0,00059	0,00059
2008	Conducción	0,00000	0,00005	0,00005
	Total	0,00000	0,00005	0,00005
Total	Señales	0,00000	0,00001	0,00001
	Bloqueo/Itinerario	0,00000	0,00001	0,00001
	Formación del tren	0,00000	0,00001	0,00001
	Conducción	0,00103	0,00008	0,00008
	Trabajos en vía	0,00000	0,00027	0,00027
	Total	0,00103	0,00038	0,00038

Tabla 21 Valoración del riesgo en los colectivos por tipos de fallos humano en circulación de maniobras para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales y km-tren del período 2005-2008)

De igual forma, en la circulación de maniobras (tabla 21), el colectivo de Viajeros es que mayor riesgo posee, siendo de nuevo los fallos de Conducción los que más riesgo aportan.

#### **3.2.2.4 Fallo humano de sucesos no combinados por días de la semana y tipo de circulación**

La distribución del número de sucesos relacionados con el factor humano por día de la semana muestra una tendencia al alza entre semana y una considerable disminución en fin de semana, debido fundamentalmente a la menor actividad ferroviaria (figura 17).

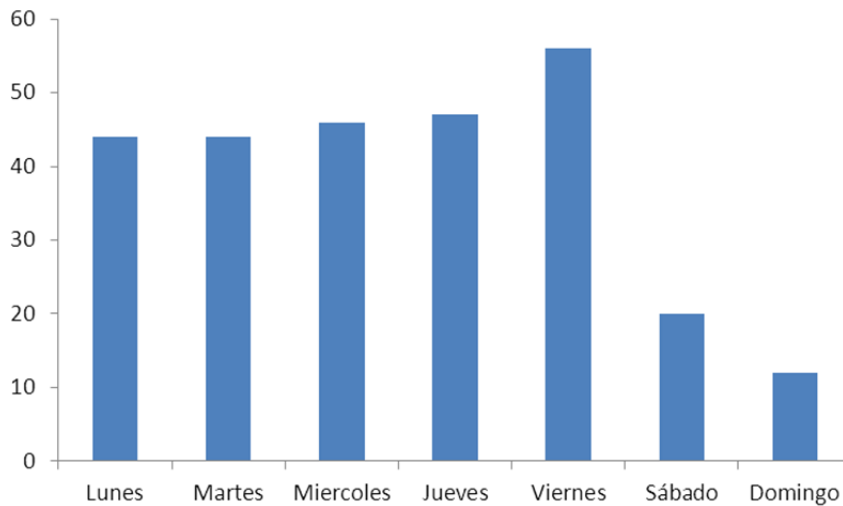


Figura 17 Número de sucesos relacionados con el factor humano por día de la semana

### 3.2.2.5 Fallo humano de sucesos no combinados por días de la semana y tipo de circulación

La distribución del número de sucesos relacionados con el factor humano por horas del día muestra que el tramo horario en el que se registra un mayor número de fallos es a mediodía, entre las 11 y 14 horas (figura 18).

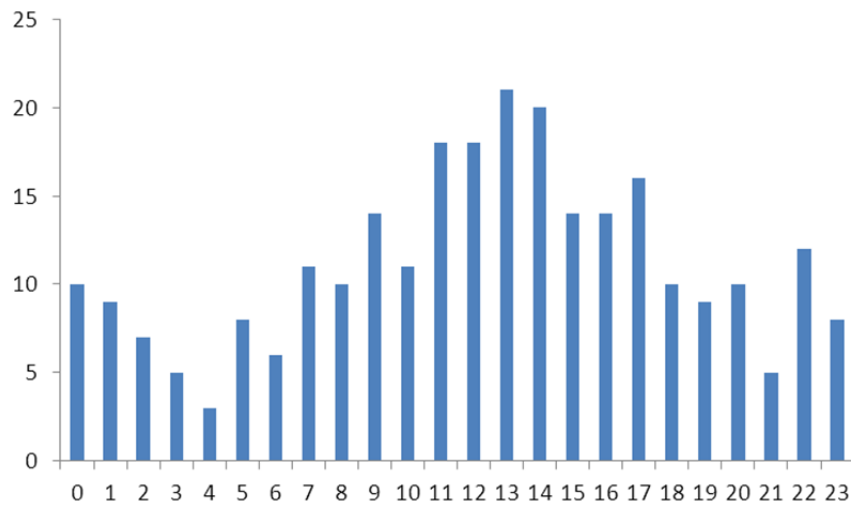


Figura 18 Número de sucesos relacionados con el factor humano por hora del día.

### 3.2.3 Actuaciones de terceros

#### 3.2.3.1 Actuaciones de terceros por ubicación

##### 3.2.3.1.1 En pasos a nivel

En los pasos a nivel, son las Invasiones de vía la principal conducta de Actuaciones de Terceros como causa de un accidente, siendo el 75% de los sucesos debidos a vehículos y el 25% a personas (gráfico 18).

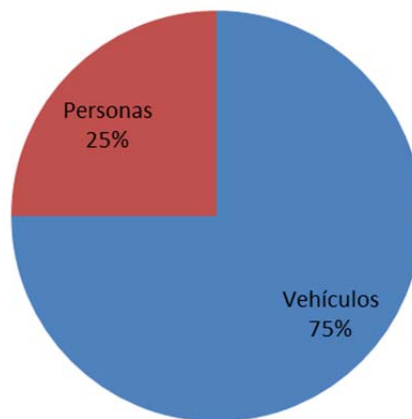


Gráfico 18. Porcentaje de sucesos en pasos a nivel por invasión de vía

La evolución del número de sucesos en pasos a nivel por Actuaciones de Terceros, indica que existe un ligero aumento en las Invasiones de vía por vehículos y se mantienen las de personas (gráfico 19).

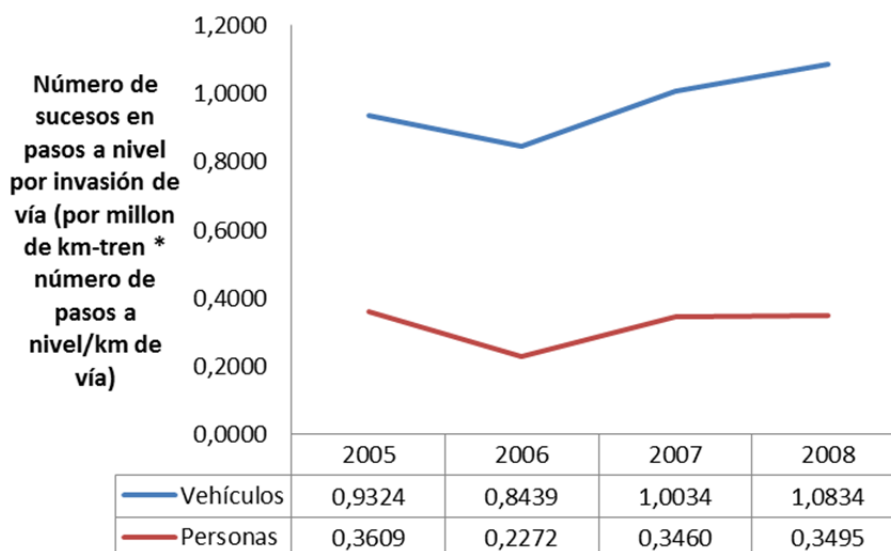


Gráfico 19. Evolución del número de sucesos en pasos a nivel por Invasión de vía de vehículos y personas por millón de km-tren por el número de pasos a nivel entre la longitud de vía.

El colectivo afectado por las Actuaciones de Terceros en pasos a nivel es, en primer lugar, los Usuarios de Pasos a Nivel, seguido del de Viajeros y Empleados (gráfico 20). El número tan elevado de muertos equivalentes de los Usuarios de pasos a nivel no se puede explicar con la información disponible de los registros de accidentalidad, aunque se puede hipotetizar que es debido fundamentalmente al hecho que los conductores no respeten la señalización vial. Se desconoce, tal como se apunta en otros estudios, si puede ser debido a otros factores como distracciones del conductor, insuficiente distancia de frenado o falta de comprensión en la señalización vial (Lerner, Llaneras, McGree & Stephens, 2002; Tey et al., 2011; Wigglesworth, 2001).

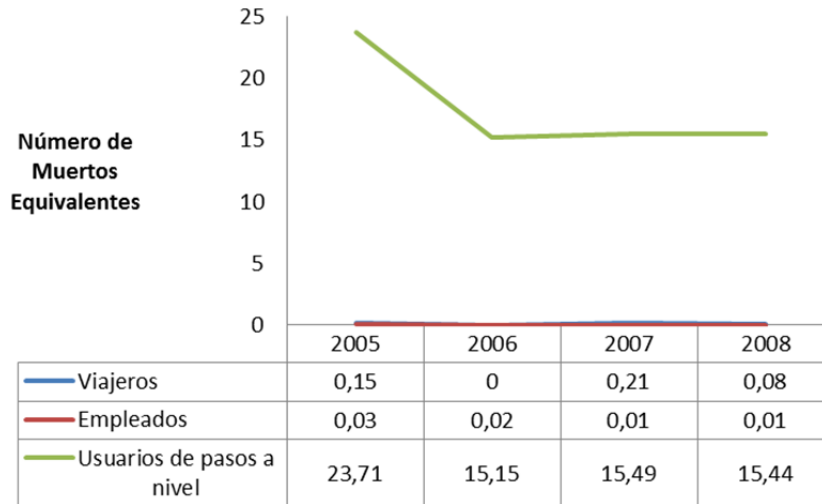


Gráfico 20. Evolución de Meq para los colectivos de riesgo por Actuaciones de Terceros

Para el colectivo de Viajeros y Empleados, son las Invasiones de vía de vehículos las que aportan todo el riesgo. Para los Usuarios de pasos a nivel son los vehículos y las personas las que aportan el riesgo en la misma proporción para el período 2005-2008. El riesgo de la Sociedad en su conjunto es prácticamente el mismo que el de los Usuarios de pasos a nivel, dado que los daños a personas en el colectivo de Viajeros y Empleados apenas contribuyen a la totalidad del riesgo. Finalmente, incidir en un posible cambio de tendencia en el riesgo por el tipo de invasiones de vía, siendo en los dos últimos años mayor por vehículos que por personas (tabla 22).

Año	Actuación de Terceros		Viajeros	Empleados	Usuarios de pasos a nivel		Sociedad en su conjunto
					3.1	3.2	
2005	Invasión de vía	Personas	0,0011	0,0002	0,0679	0,3793	0,0689
		Vehículo	0,0000	0,0000	0,0598	0,3339	0,0598
		Total	0,0011	0,0002	0,1277	0,7131	0,1287
2006	Invasión de vía	Personas	0,0000	0,0001	0,0437	0,2645	0,0438
		Vehículo	0,0000	0,0000	0,0375	0,2272	0,0375
		Total	0,0000	0,0001	0,0812	0,4917	0,0813
2007	Invasión de vía	Personas	0,0014	0,0001	0,0294	0,1900	0,0305
		Vehículo	0,0000	0,0000	0,0535	0,3460	0,0535
		Total	0,0014	0,0001	0,0828	0,5360	0,0840
2008	Invasión de vía	Personas	0,0005	0,0001	0,0373	0,2530	0,0377
		Vehículo	0,0000	0,0000	0,0422	0,2866	0,0422
		Total	0,0005	0,0001	0,0795	0,5396	0,0800
2005 - 2008	Invasión de vía	Personas	0,0008	0,0001	0,0445		0,0451
		Vehículo	0,0000	0,0000	0,0482		0,0482
		Total	0,0008	0,0001	0,0926		0,0933

Tabla 22 Valoración del riesgo en los colectivos por conductas de Actuaciones de Terceros para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales)

### 3.2.3.1.1.1 En pasos a nivel por provincia

La Actuaciones de Terceros deben ser valoradas en su contexto adecuado, siendo el lugar geográfico una de la variables determinantes a la hora de diseñar y evaluar intervenciones (Mok & Savage, 2005). Considerando la variable Provincia de los registros de accidentalidad, se observa que Badajoz, Valencia, Sevilla y Alicante son las provincias que mayor proporción de sucesos por invasión de vía de vehículos

registran (figura 19), siendo Barcelona, León y Tarragona las que mayor proporción de invasiones de vía de personas alcanzan (figura 20).

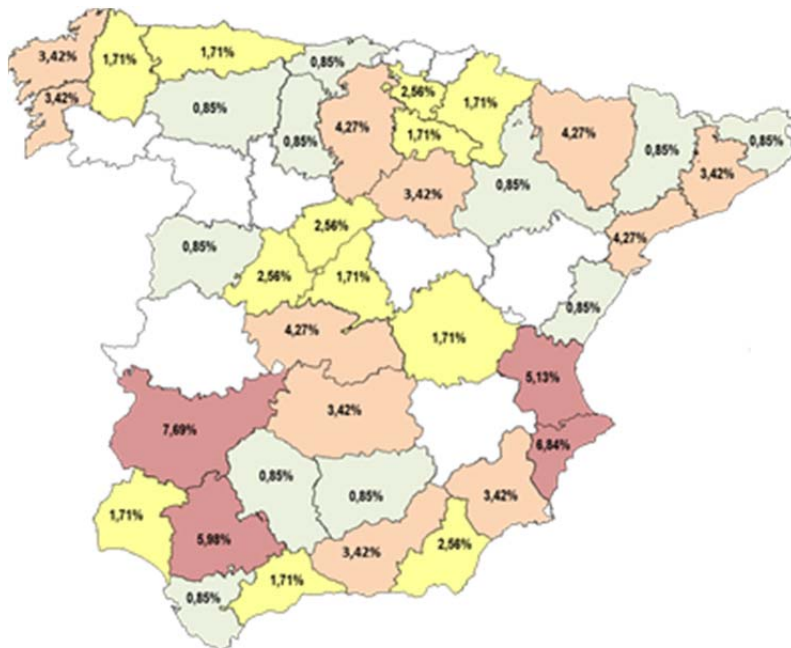


Figura 19 Representación geográfica del porcentaje de invasiones de vía de vehículos.

Provincia	2005	2006	2007	2008	% Total
ALAVA		1	1	1	2,56%
ALICANTE	1	2	3	2	6,84%
ALMERIA	1		1	1	2,56%
ASTURIAS			2		1,71%
AVILA		1		2	2,56%
BADAJOS	2	3	1	3	7,69%
BARCELONA		1	1	2	3,42%
BURGOS	2	2	1		4,27%
CADIZ		1			0,85%
CANTABRIA				1	0,85%
CASTELLON			1		0,85%
CIUDAD REAL	2	1		1	3,42%
CORDOBA				1	0,85%
LA CORUÑA	2		2		3,42%
CUENCA	2				1,71%



Determinación de las variables de accidentalidad ferroviaria en las que interviene el factor humano: valoración del riesgo en los colectivos que son víctimas potenciales del sistema ferroviario español.

GERONA		1			0,85%
GRANADA	1	1	1	1	3,42%
HUELVA			1	1	1,71%
HUESCA	1		3	1	4,27%
JAEN		1			0,85%
LEON			1		0,85%
LERIDA				1	0,85%
LUGO	1		1		1,71%
MADRID		1		1	1,71%
MALAGA	1	1			1,71%
MURCIA	1	1	2		3,42%
NAVARRA			1	1	1,71%
PALENCIA	1				0,85%
PONTEVEDRA	3		1		3,42%
LA RIOJA		1		1	1,71%
SALAMANCA	1				0,85%
SEVILLA	3		1	3	5,98%
SORIA	1	2		1	3,42%
TARRAGONA	2	2		1	4,27%
TOLEDO	1	2		2	4,27%
VALENCIA		1	3	2	5,13%
VALLADOLID	2		1		2,56%
ZARAGOZA				1	0,85%
Total	31	26	29	31	100,00%

Tabla 23 Número de sucesos de Invasiones de vía de vehículos por provincia para el período 2005-2008.

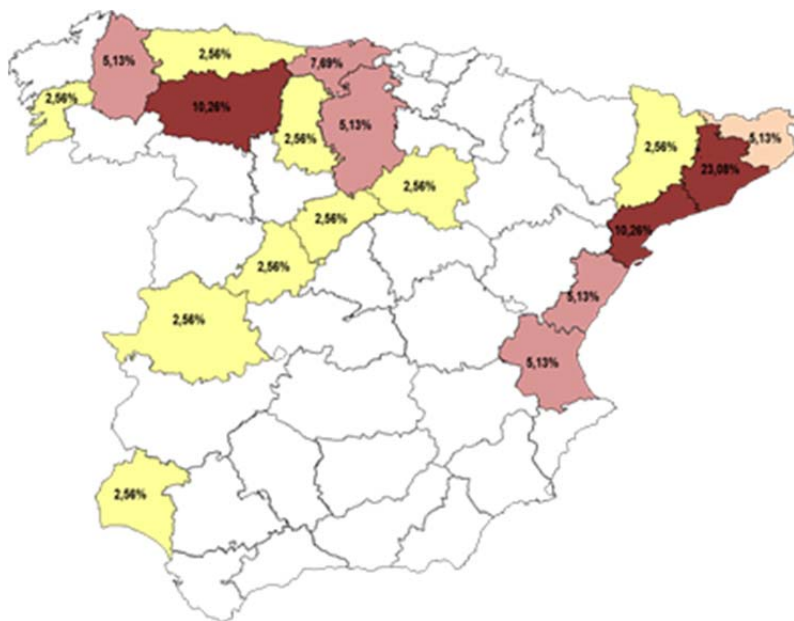


Figura 20 Representación geográfica del porcentaje de invasiones de vía de personas.

Provincia	2005	2006	2007	2008	% Total
ASTURIAS			1		2,56%
AVILA	1				2,56%
BARCELONA	3	2	2	2	23,08%
BURGOS		2			5,13%
CACERES	1				2,56%
CANTABRIA	1	1	1		7,69%
CASTELLON		2			5,13%
GERONA				2	5,13%
HUELVA			1		2,56%
LEON	1		2	1	10,26%
LERIDA				1	2,56%
LUGO	1			1	5,13%
PALENCIA	1				2,56%
PONTEVEDRA	1				2,56%
SORIA				1	2,56%
TARRAGONA	1		1	2	10,26%
VALENCIA			2		5,13%
VALLADOLID	1				2,56%

Tabla 24 Número de sucesos de Invasiones de vía de personas por provincia para el período 2005-2008.

En relación a los daños de personas, se observa que son Alicante y Tarragona las provincias en las que se registra un mayor porcentaje de invasiones de vía de vehículos (figura 21), siendo León y Barcelona las provincias con mayor proporción respecto Invasiones de vía de personas (figura 22).

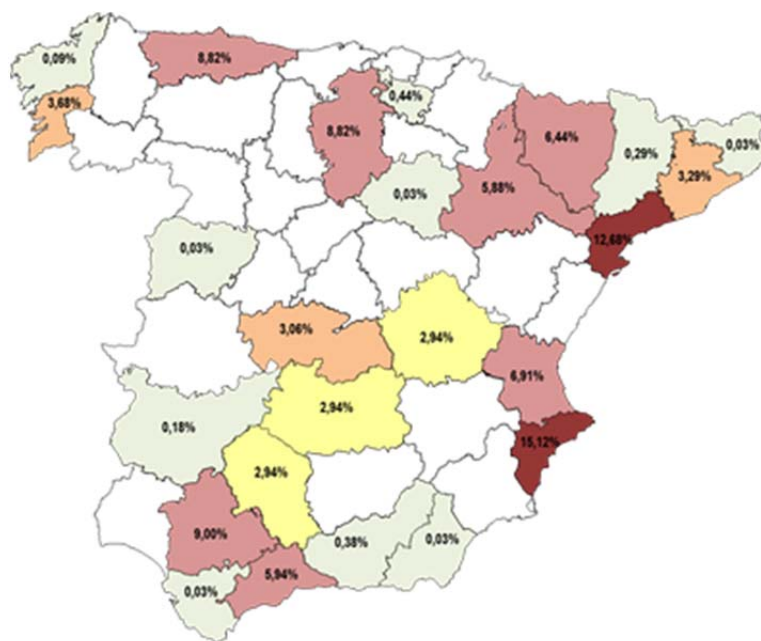


Figura 21 Representación geográfica del porcentaje de daños a personas por invasiones de vía de vehículos.

Provincia	2005	2006	2007	2008	% Total
ALAVA			0,15		0,44%
ALICANTE	4	1	0,03	0,11	15,12%
ALMERIA	0,01				0,03%
ASTURIAS			3		8,82%
BADAJOS	0,04	0,02			0,18%
BARCELONA		0,11	0,01	1	3,29%
BURGOS	1	2			8,82%
CADIZ		0,01			0,03%
CIUDAD REAL				1	2,94%

CORDOBA				1	2,94%
LA CORUÑA	0,02		0,01		0,09%
CUENCA	1				2,94%
GERONA		0,01			0,03%
GRANADA	0,11	0,01		0,01	0,38%
HUESCA	1		1,12	0,07	6,44%
LERIDA				0,1	0,29%
MALAGA	1,02	1			5,94%
PONTEVEDRA	1,25				3,68%
SALAMANCA	0,01				0,03%
SEVILLA	2,02		0,04	1	9,00%
SORIA		0,01			0,03%
TARRAGONA	1,31	3			12,68%
TOLEDO				1,04	3,06%
VALENCIA		1	1,35		6,91%
ZARAGOZA				2	5,88%

Tabla 25 Daños a personas (en muertos equivalentes) por invasiones de vía de vehículos por provincia para el período 2005-2008.

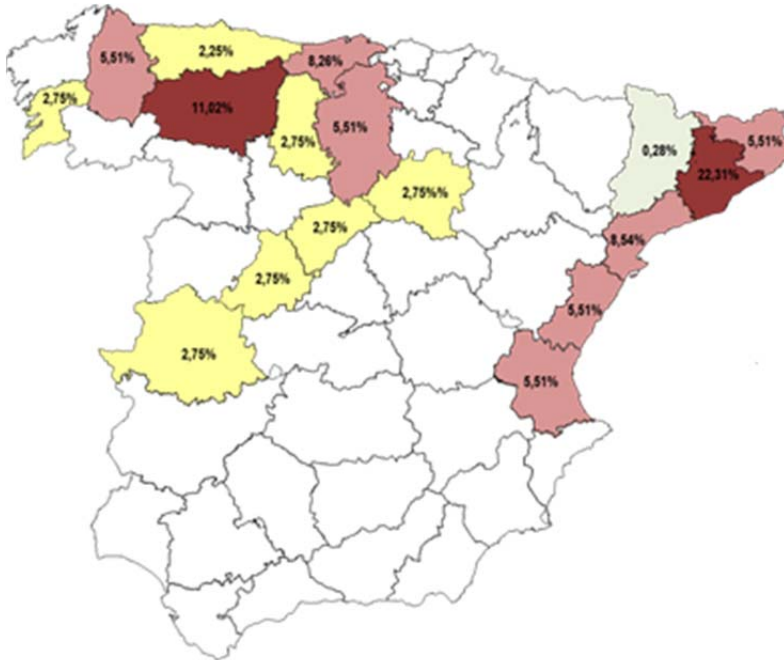


Figura 22 Representación geográfica del porcentaje de daños a personas por invasiones de vía de personas.

	2005	2006	2007	2008	% Total
ASTURIAS			1		2,75%
AVILA	1				2,75%
BARCELONA	2,1	2	2	2	22,31%
BURGOS		2			5,51%
CACERES	1				2,75%
CANTABRIA	1	1	1		8,26%
CASTELLON		2			5,51%
GERONA				2	5,51%
HUELVA			1		2,75%
LEON	1		2	1	11,02%
LERIDA				0,1	0,28%
LUGO	1			1	5,51%
PALENCIA	1				2,75%
PONTEVEDRA	1				2,75%
SORIA				1	2,75%
TARRAGONA	1		1	1,1	8,54%
VALENCIA			2		5,51%
VALLADOLID	1				2,75%

Tabla 26 Daños a personas (en muertos equivalentes) por invasiones de vía de vehículos por provincia para el período 2005-2008.

### 3.2.3.1.1.2 Por clase de paso a nivel

El grado de automatización y los tipos de sistemas de protección de los pasos a nivel pueden influir en el número de invasiones de vía (Evans, 2011<sup>a</sup>; Lobb et al. 2003). En relación a las clases de paso a nivel en el ferrocarril español se observa que son los de clase A y C en los que se registra un mayor porcentaje de sucesos por invasión de vía (gráfico 21).

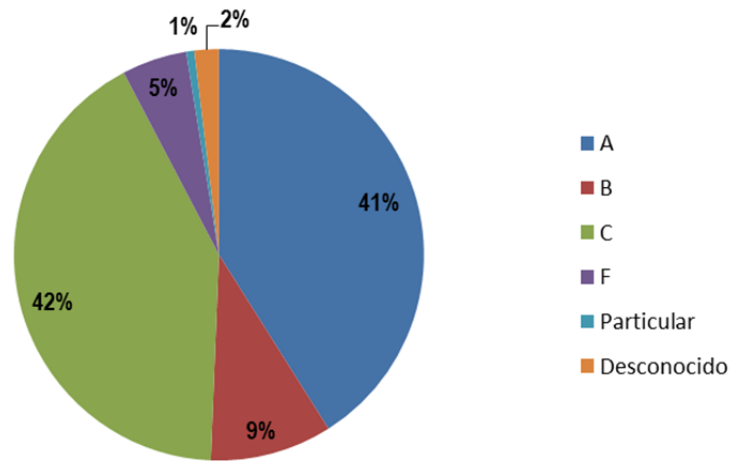


Gráfico 21. Porcentaje de sucesos ocurridos en pasos a nivel por clase.

Las invasiones de vía de vehículos predominan en los pasos a nivel de clase A (53%) y clase C (30%), a pesar de ser el paso a nivel con mayor nivel de protección, tanto en vía como en carretera. Las invasiones de vía de personas se producen fundamentalmente en pasos a nivel protegidos de clase C (77%) (gráfico 22).

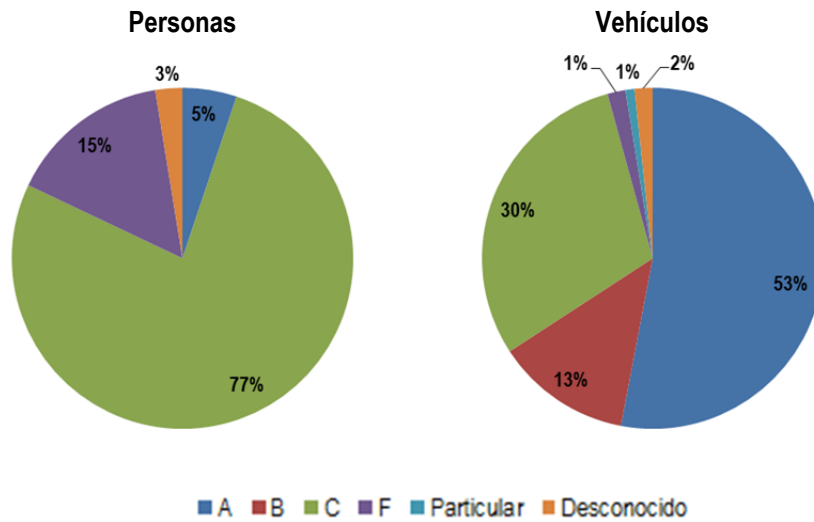


Gráfico 22. Porcentaje de sucesos en pasos a nivel por clase y circulación para el período 2005-2008.

Los pasos a nivel en los que se registra un mayor número de sucesos con daños a personas son los de clase C y A, aunque han disminuido considerablemente en los últimos años. Únicamente en los pasos a nivel clase F han aumentado ligeramente los daños a personas, debido fundamentalmente a que poseen valores muy bajos de muertos equivalentes y la ocurrencia de un suceso con víctimas implica una fuerte variación en su evolución (gráfico 23).

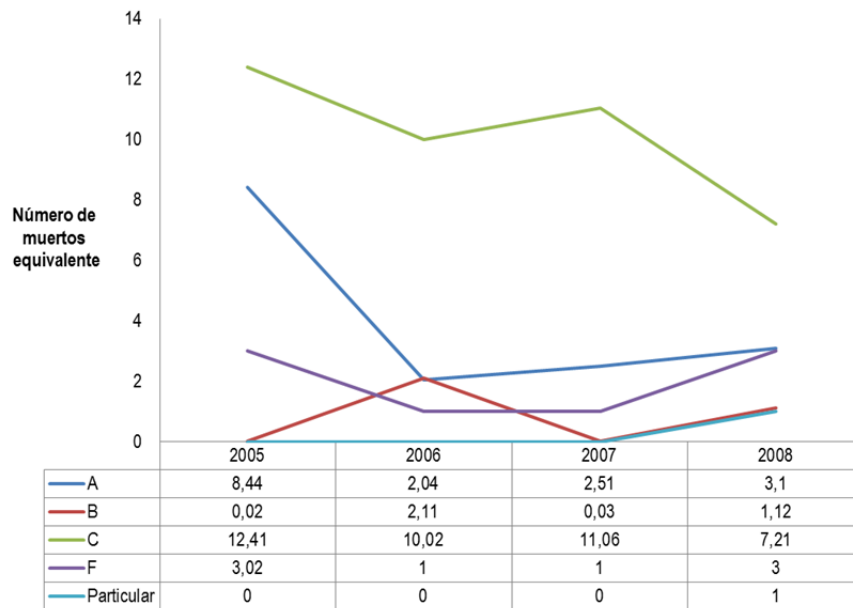


Gráfico 23. Evolución de Meq por clase de paso a nivel para el período 2005 – 2008.

La valoración del riesgo por colectivos y clase de paso a nivel muestra que el riesgo del colectivo de Viajeros y Empleados proviene fundamentalmente de pasos a nivel de clase A, y en menor medida, de clase C. Para los Usuarios de pasos a nivel, donde se producen más daños a personas son en las Invasiones de vía por personas en pasos a nivel de clase C. Por invasiones de vía de vehículos, son en los pasos a nivel de clase A, seguidos de los de clase C, donde se producen mayores daños a personas (tabla 27 y 28).



Año	Clase de PaN	Viajeros	Empleados	Usuarios de pasos a nivel		Sociedad en su conjunto
				3.1	3.2	
2005	A	0	0	0,0054	0,0301	0,0054
	C	0	0	0,0436	0,2436	0,0436
	F	0	0	0,0108	0,0602	0,0108
	Total	0	0	0,0598	0,3339	0,0598
2006	C	0	0	0,0375	0,2272	0,0375
2007	A	0	0	0,0053	0,0346	0,0053
	C	0	0	0,0428	0,2768	0,0428
	F	0	0	0,0053	0,0346	0,0053
	Total	0	0	0,0535	0,3460	0,0535
2008	C	0	0	0,0263	0,1782	0,0263
	F	0	0	0,0154	0,1048	0,0154
	Sin información	0	0	0,0005	0,0035	0,0005
	Total	0	0	0,0422	0,2866	0,0422

Tabla 27 Valoración del riesgo en los colectivos por Invasiones de vía de personas para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales)

Año	Clase de PaN	Viajeros	Empleados	Usuarios de pasos a nivel		Sociedad en su conjunto
				3.1	3.2	
2005	A	0,00106	0,00016	0,03910	0,21836	0,04007
	B	0,00000	0,00000	0,00011	0,00060	0,00011
	C	0,00000	0,00000	0,02321	0,12963	0,02321
	F	0,00000	0,00000	0,00549	0,03068	0,00549
	Total	0,00106	0,00016	0,06792	0,37927	0,06889
2006	A	0,00000	0,00011	0,01083	0,06557	0,01094
	B	0,00000	0,00000	0,01131	0,06849	0,01131
	C	0,00000	0,00000	0,01619	0,09802	0,01619
	F	0,00000	0,00000	0,00536	0,03246	0,00536
	Total	0,00000	0,00011	0,04369	0,26453	0,04380

2007	A	0,00124	0,00000	0,00711	0,04602	0,00807
	B	0,00007	0,00005	0,00005	0,00035	0,00016
	C	0,00014	0,00000	0,01625	0,10519	0,01636
	Sin información	0,00000	0,00000	0,00594	0,03841	0,00594
	Total	0,00145	0,00005	0,02936	0,18996	0,03053
2008	A	0,00039	0,00005	0,01560	0,10589	0,01596
	B	0,00013	0,00000	0,00566	0,03844	0,00577
	C	0,00000	0,00000	0,01086	0,07374	0,01086
	Particular	0,00000	0,00000	0,00515	0,03495	0,00515
	Total	0,00053	0,00005	0,03728	0,25302	0,03774

Tabla 28 Valoración del riesgo en los colectivos por Invasiones de vía de vehículos para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales)

### 3.2.3.1.1.3 Por tipo de vehículo

Una de las variables que explica el riesgo asociado a los colectivos en los pasos a nivel es el tipo de vehículo involucrado en las Actuaciones de Terceros. Los vehículos ligeros son los vehículos que en más ocasiones están involucrados en una Invasión de vía en paso a nivel (gráfico 24), afectando fundamentalmente al colectivo de Usuarios de pasos a nivel. La suma de todo tipo de vehículos pesados alcanza el 21%, siendo los principales responsables del riesgo aportado al colectivo de Viajeros y Empleados (figuras 23 y 24).

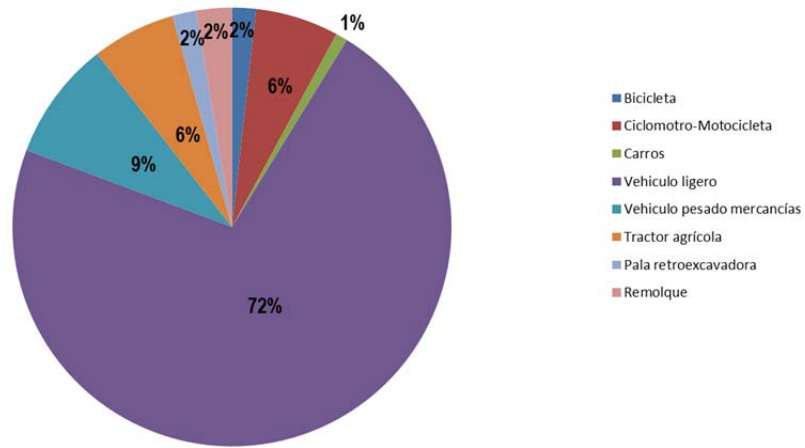


Gráfico 24. Porcentaje de tipo de vehículos involucrados en las invasiones de vía durante el período 2005-2008.

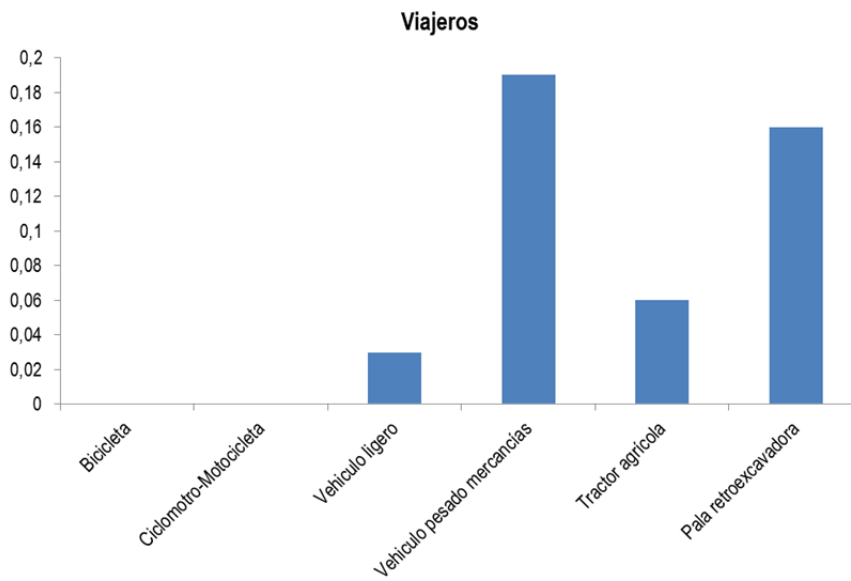


Figura 23 Número de muertos equivalentes del colectivo de viajeros en los pasos a nivel por tipo de vehículo.

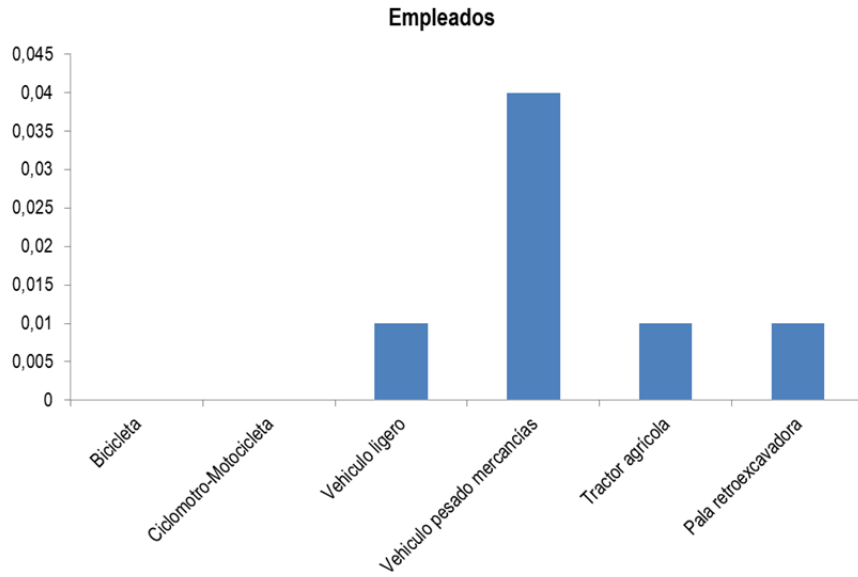


Figura 24 Número de muertos equivalentes del colectivo de empleados en los pasos a nivel por tipo de vehículo.



Figura 25 Número de muertos equivalentes del colectivo de usuarios de pasos a nivel en los pasos a nivel por tipo de vehículo.

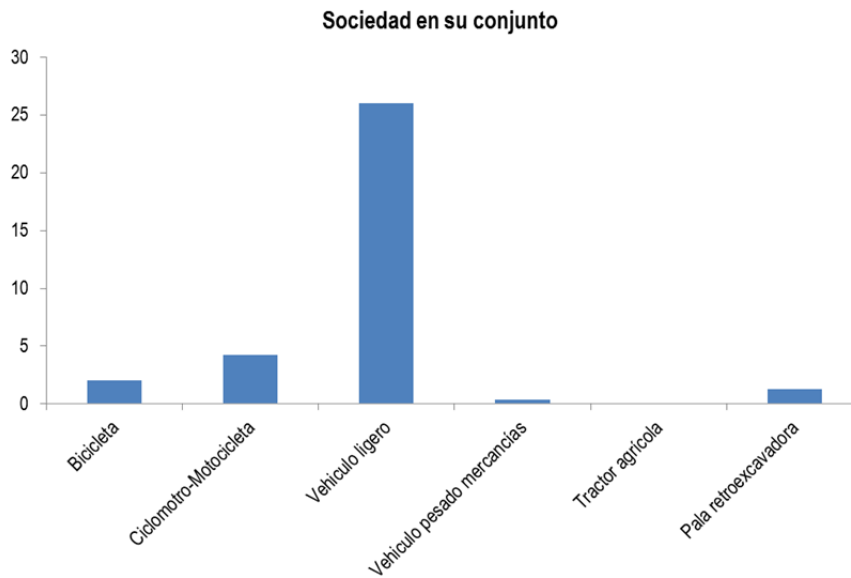


Figura 26 Número de muertos equivalentes de la sociedad en su conjunto en los pasos a nivel por tipo de vehículo.

Finalmente se observa que la mayoría de Invasiones de vía de vehículos ligeros que han terminado con daños a personas se han producido en pasos a nivel de clase A. De igual forma, las Invasiones de vía de los vehículos pesados (de mercancías, palas retroexcavadoras y tractores) han ocurrido en pasos a nivel de clase A y B. Para las bicicletas y ciclomotores se observa que han sido en pasos a nivel de clase C y F (tabla 29).

Tipo de Vehículo	Clase de PaN	Viajeros	Empleados	Usuarios de pasos a nivel		Sociedad en su conjunto
				3.1	3.2	
Bicicleta	C	0,000000	0,000000	0,001327	0,008226	0,001327
	F	0,000000	0,000000	0,001327	0,008226	0,001327
	Total	0,000000	0,000000	0,002655	0,016451	0,002655
Motocicleta	A	0,000000	0,000000	0,000013	0,000082	0,000013
	C	0,000000	0,000000	0,005601	0,034712	0,005601
	Total	0,000000	0,000000	0,005614	0,034794	0,005614
Vehículo ligero	A	0,000000	0,000000	0,017772	0,110141	0,017772
	B	0,000017	0,000013	0,002973	0,018425	0,003000
	C	0,000034	0,000000	0,009636	0,059718	0,009663
	F	0,000000	0,000000	0,001354	0,008390	0,001354
	Particular	0,000000	0,000000	0,001327	0,008226	0,001327
	Sin información	0,000000	0,000000	0,001473	0,009130	0,001473
	Total	0,000051	0,000013	0,034536	0,214030	0,034589
Vehículo pesado	A	0,000326	0,000053	0,000173	0,001069	0,000478
Tractor agrícola	A	0,000103	0,000013	0,000013	0,000082	0,000106
Pala retroexcavadora	A	0,000240	0,000013	0,000133	0,000823	0,000332
	B	0,000034	0,000000	0,001327	0,008226	0,001354
	Total	0,000274	0,000013	0,001460	0,009048	0,001686

Tabla 29 Número de muertos equivalentes por millón de km-tren por clase de paso a nivel y tipo de vehículo.

#### 3.2.3.1.1.4 Por día de la semana y hora del día

En Estados Unidos, entre el 60 y 80% de los accidentes causados por invasiones de vía de los peatones o conductores, estos están bajo los efectos del alcohol, encontrándose diferencias significativas de las invasiones de vía por día de la semana y hora del día (Pelletier, 1997). Aunque no se dispone de información suficiente para determinar si el alcohol ha sido

un factor de riesgo asociado a la Actuación de Terceros, sí se puede analizar el porcentaje de sucesos ocurridos por día de la semana y hora del día.

Las invasiones de vía de personas (figura 27) y vehículos (figura 28) son más frecuentes entre semana que en fin de semana, sin considerar la actividad ferroviaria. Por horas del día (figura 29) se observan picos más elevados a media mañana y a última hora de la tarde.

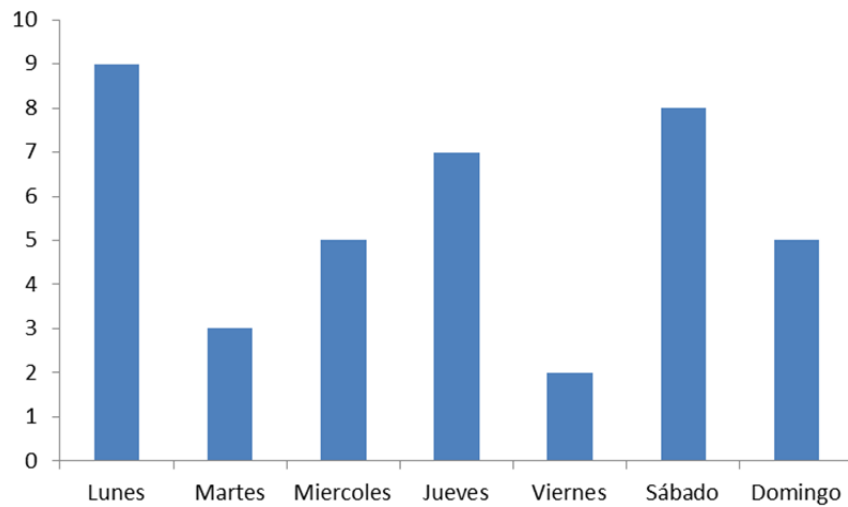


Figura 27 Números de invasiones de vía de personas con víctimas

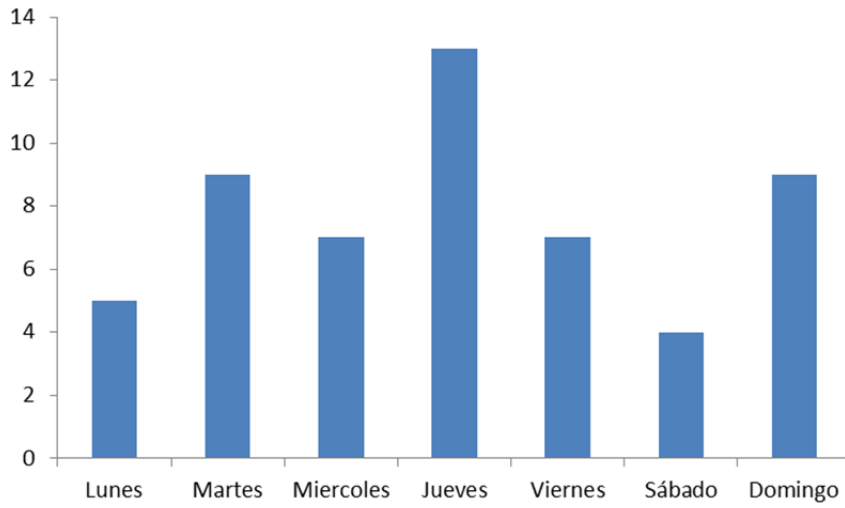


Figura 28 Números de invasiones de vía de vehículos con víctimas

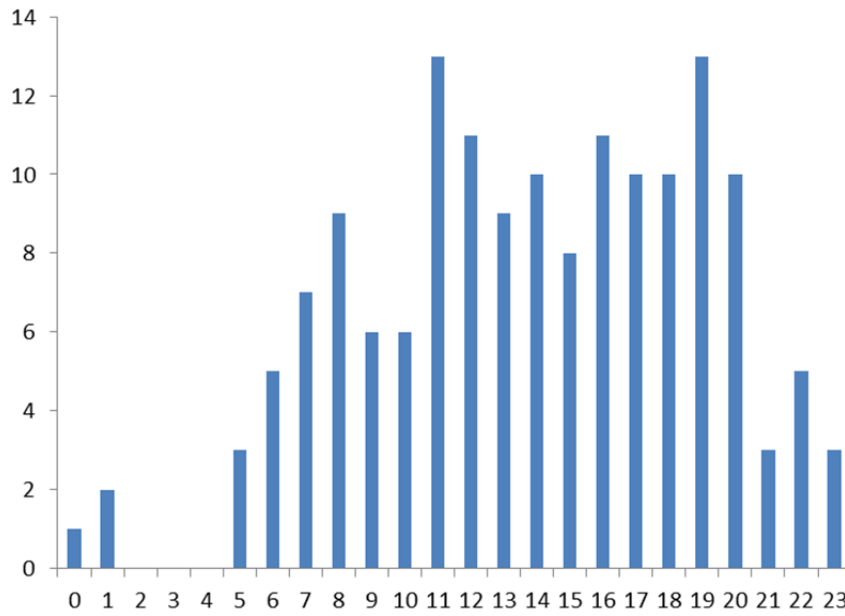


Figura 29 Números de invasiones de vía de vehículos y personas por hora del día



### 3.2.3.1.2 En plena vía

En las Actuaciones de Terceros en plena vía, además de las Invasiones de vía, aparecen nuevos tipos de conductas: circular dentro del gálibo de vía, cruzar la vía, caídas de personas con el tren en movimiento.

Del total de sucesos, Circular dentro del gálibo de vía (ya sea en el interior de la caja o en sus proximidades) es el más frecuente (gráfico 25), seguido de Cruzar la vía en un lugar no habilitado para ello. La invasiones de vía (estar sentado o tumbado en vía no clasificados como suicidios), las caídas a vía de vehículos que circulan por pasos superiores de carretera y la caída de personas a vía con el tren en movimiento, únicamente representan el 6% del total de sucesos.

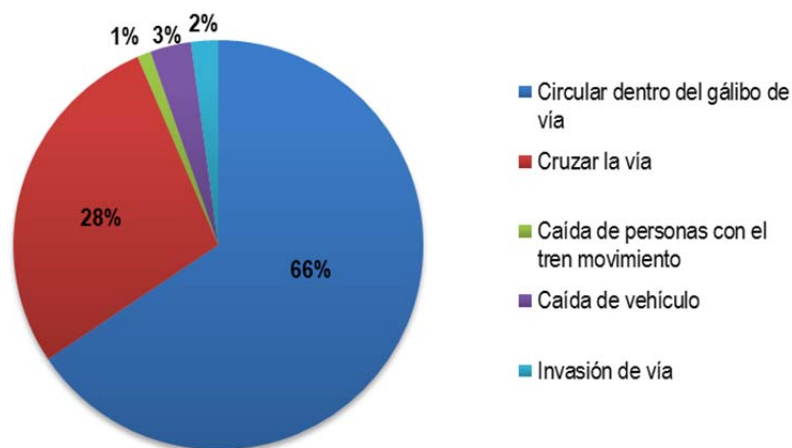


Gráfico 25. Porcentaje de sucesos por Actuaciones de Terceros para el período 2005-2008

Las conductas más frecuentes de Actuaciones de Terceros poseen una tendencia pronunciada a la baja en el tiempo, siendo en el resto de conductas imposible de observar una tendencia debido a los valores tan bajos de ocurrencia (gráfico 26).

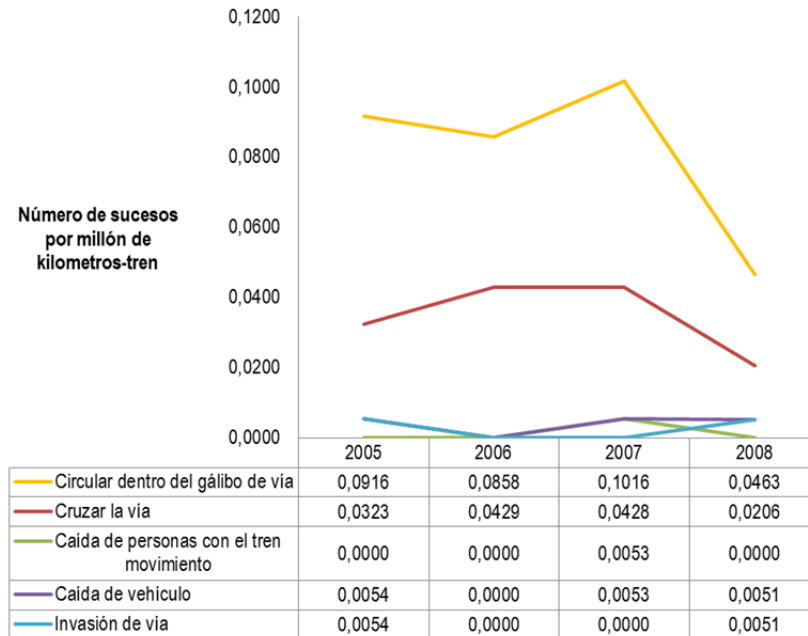


Gráfico 26. Evolución del número de sucesos de Actuaciones de Terceros en plena vía por millón de km-tren para el período 2005-2008.

Los colectivos de riesgo debido a las Actuaciones de Personas en plena vía son Viajeros, Empleados y Personas no autorizadas, siendo este último el que posee el mayor nivel de riesgo.

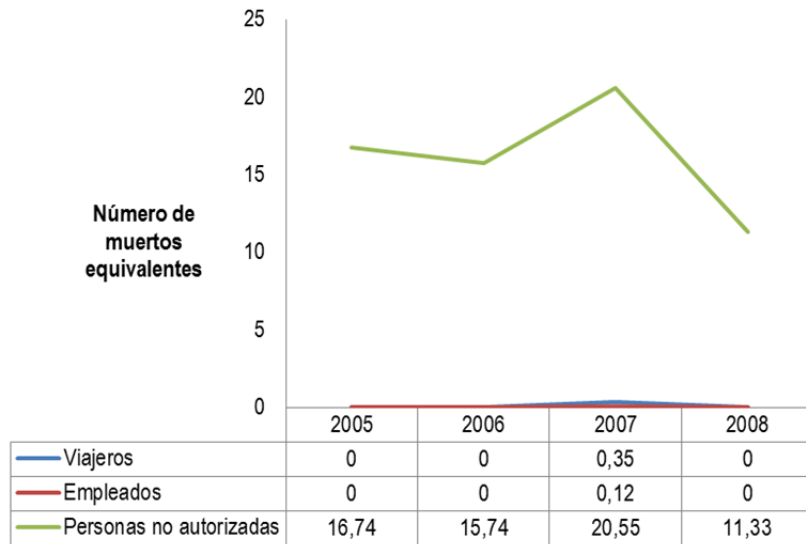


Gráfico 27. Evolución del número de muertos equivalentes por colectivos para el período 2005-2008.

Para el colectivo de Viajeros son las Caídas de vehículo a vía y las Caída de personas a vía con el tren en movimiento los que aportan todo el riesgo. Para el colectivo de Empleados son la Caída de vehículos a vía y la Circulación dentro del gálibo de vía los que aportan todo el riesgo. Para el colectivo de Personas no autorizadas, son la Circulación dentro del gálibo de vía y Cruzar la vía las conductas que aportan el mayor nivel de riesgo. El riesgo para la Sociedad en su conjunto es prácticamente el mismo que para el colectivo de Personas no autorizadas (tabla 30).

Año	Actuación de Terceros	Viajeros	Empleados	Personas no autorizadas	Sociedad en su conjunto
2005	Circular dentro del gálibo de vía	0	0	0,05187	0,05187
	Cruzar la vía	0	0	0,02698	0,02698
	Caída de vehículo	0	0	0,00539	0,00539
	Invasión de vía	0	0	0,00054	0,00054
	Desconocida	0	0	0,00539	0,00539
	Total	0	0	0,09016	0,09016
2006	Circular dentro del gálibo de vía	0	0	0,04090	0,04090
	Cruzar la vía	0	0	0,03806	0,03806
	Desconocida	0	0	0,00541	0,00541
	Total	0	0	0,08438	0,08438
2007	Circular dentro del gálibo de vía	0	0,00005	0,07186	0,07192
	Cruzar la vía	0	0	0,03796	0,03796
	Caída de personas con el tren movimiento	0,00069	0	0	0,00053
	Caída de vehículo	0,00172	0,00059	0,00005	0,00198
	Total	0,00241	0,00064	0,10988	0,11239
2008	Circular dentro del gálibo de vía	0	0	0,02739	0,02739
	Cruzar la vía	0	0	0,01550	0,01550
	Caída de vehículo	0	0	0,00515	0,00515
	Invasión de vía	0	0	0,00515	0,00515
	Desconocida	0	0	0,00515	0,00515
	Total	0	0	0,05834	0,05834
2005 - 2008	Circular dentro del gálibo de vía	0	0,00001	0,04781	0,04782
	Cruzar la vía	0	0	0,02949	0,02949
	Caída de vehículo	0,00043	0,00015	0,00267	0,00315
	Caída de personas con el tren movimiento	0,00017	0	0	0,00013
	Invasión de vía	0	0	0,00146	0,00146
	Desconocida	0	0	0,00399	0,00399
	Total	0,00060	0,00016	0,08542	0,08605

Tabla 30 Valoración del riesgo en los colectivos por Actuaciones de Terceros en plena vía para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales y Meq por millón de km-tren 2005-2008)

### 3.2.3.1.2.1 En plena vía por provincia

Si representamos geográficamente los porcentajes de ocurrencia de las Actuaciones de Terceros en plena vía (figura 30 y tabla 31) y los daños a personas resultantes (figura 31 y tabla 32), vemos que las provincias de Madrid, Barcelona, Valencia y Tarragona son las que mayor riesgo poseen. En Gerona, aunque posee una elevada frecuencia de ocurrencia, apenas se produjeron daños a personas.

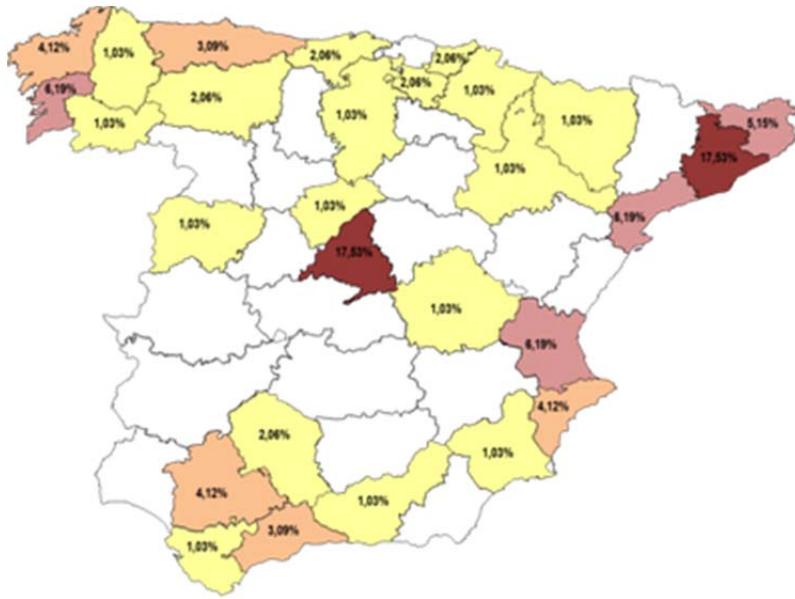


Figura 30 Representación geográfica del porcentaje de sucesos de Actuaciones de Terceros en plena vía.

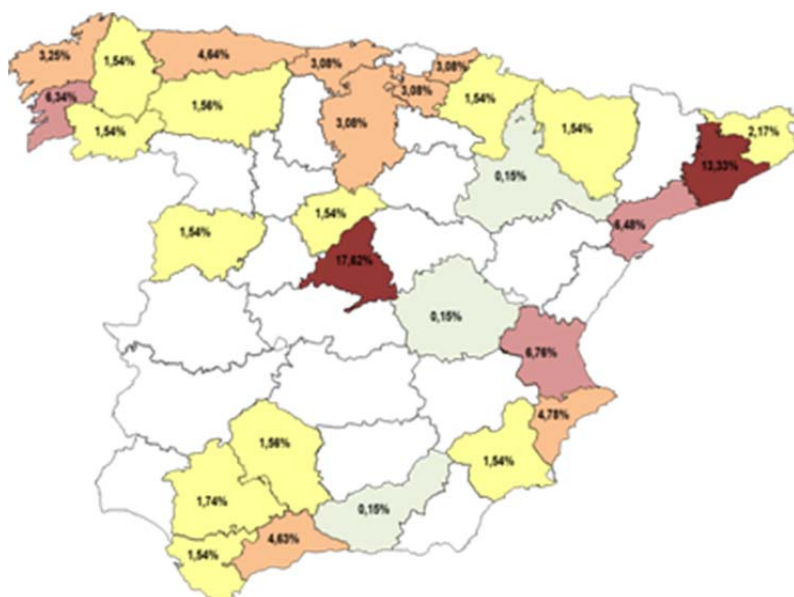


Figura 31 Representación geográfica del porcentaje de daños a personas por Actuaciones de Terceros en plena vía.

Determinación de las variables de accidentalidad ferroviaria en las que interviene el factor humano: valoración del riesgo en los colectivos que son víctimas potenciales del sistema ferroviario español.

Provincia	2005	2006	2007	2008	%Total
ALAVA	0	0	0	2	2,06%
ALICANTE	1	2	1	0	4,12%
ASTURIAS	1	1	1	0	3,09%
BARCELONA	5	6	5	1	17,53%
BURGOS	0	0	1	0	1,03%
CADIZ	1	0	0	0	1,03%
CANTABRIA	0	1	1	0	2,06%
CORDOBA	0	0	1	1	2,06%
LA CORUÑA	0	0	2	2	4,12%
CUENCA	1	0	0	0	1,03%
GERONA	1	3	0	1	5,15%
GRANADA	0	1	0	0	1,03%
GUIPUZCOA	1	0	1	0	2,06%
HUESCA	0	0	0	1	1,03%
LEON	1	0	1	0	2,06%
LUGO	0	0	0	1	1,03%
MADRID	4	8	4	1	17,53%
MALAGA	1	0	0	2	3,09%
MURCIA	0	1	0	0	1,03%
NAVARRA	0	0	0	1	1,03%
ORENSE	1	0	0	0	1,03%
PONTEVEDRA	1	2	3	0	6,19%
SALAMANCA	0	0	0	1	1,03%
SEVILLA	2	0	1	1	4,12%
TARRAGONA	2	1	3	0	6,19%
VALENCIA	2	0	3	1	6,19%
VALLADOLID	1	0	0	0	1,03%

Tabla 31 Número de sucesos Actuaciones de Terceros provincia para el período 2005-2008

Provincia	2005	2006	2007	2008	%Total
ALAVA				2	3,08%
ALICANTE	1	1,1	1		4,78%
ASTURIAS	1	1	1,01		4,64%
BARCELONA	3,11	2,22	2,21	1,1	13,33%
BURGOS			2		3,08%
CADIZ	1				1,54%
CANTABRIA		1	1		3,08%
CORDOBA			1	0,01	1,56%
LA CORUÑA			2	0,11	3,25%
CUENCA	0,1				0,15%
GERONA	1,1	0,21		0,1	2,17%
GRANADA		0,1			0,15%
GUIPUZCOA	1		1		3,08%
HUESCA				1	1,54%
LEON	0,01		1		1,56%
LUGO				1	1,54%
MADRID	3,1	6,11	2,2	0,01	17,62%
MALAGA	1			2	4,63%
MURCIA		1			1,54%
NAVARRA				1	1,54%
ORENSE	1				1,54%
PONTEVEDRA	0,01	2	2,1		6,34%
SALAMANCA				1	1,54%
SEVILLA	0,11		0,02	1	1,74%
TARRAGONA	0,2	1	3		6,48%
VALENCIA	2		1,38	1	6,76%
VALLADOLID	1				1,54%
ZARAGOZA			0,1		0,15%

Tabla 32 Número de muertos equivalentes en Actuaciones de Terceros por provincia para el período 2005-2008.



### 3.2.3.1.2.2 Por día de la semana

Del mismo modo que en los pasos a nivel, se ha analizado la frecuencia de sucesos por día de la semana para todas las Actuaciones de Terceros (figura 32) y las dos más habituales: Circular dentro del gálibo de vía (figura 33) y Cruzar la vía (figura 34). A falta de conocer la actividad ferroviaria por día de la semana no se observa ningún tipo de patrón en la ocurrencia de los sucesos por día de la semana.

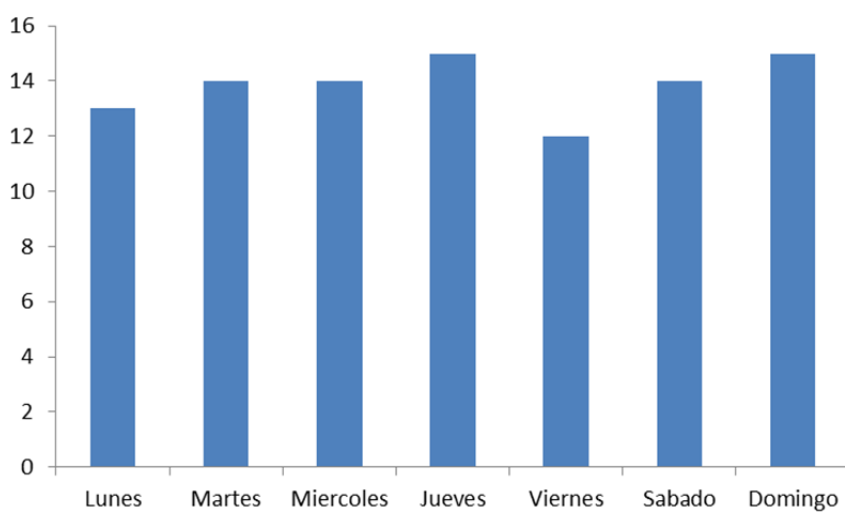


Figura 32 Número de sucesos de Actuaciones de Terceros en plena vía por día de la semana para el período 2005-2008.

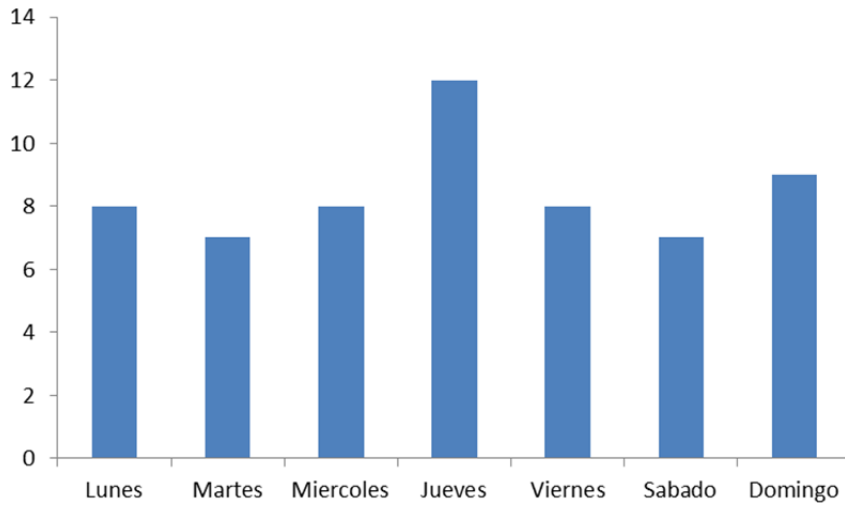


Figura 33 Número de Circulaciones dentro del gálibo de vía con víctimas en plena vía por día de la semana para el período 2005-2008.

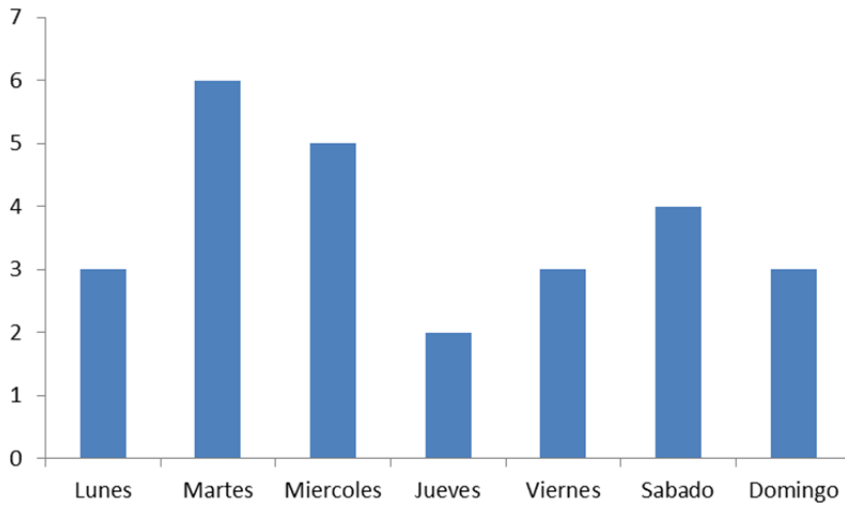


Figura 34 Número de Cruces de vía con víctimas en plena vía por día de la semana para el período 2005-2008.

### 3.2.3.1.2.3 Por horas del día

Para analizar las Actuaciones de Terceros en plena vía por horas del día se ha representado la frecuencia de todos los sucesos (figura 35) y de las Circulaciones dentro del gálibo de vía y Cruces de vía de forma individual (figuras 36 y 37). Aunque para el conjunto de actuaciones se detectan varios sucesos (de 22:00 a 6:00), es durante el día donde se concentran la mayoría de ellos (6:00 a 22:00 horas). Las pocas Actuaciones de Terceros en horario nocturno son debidas fundamentalmente a Circulaciones dentro del gálibo de vía.

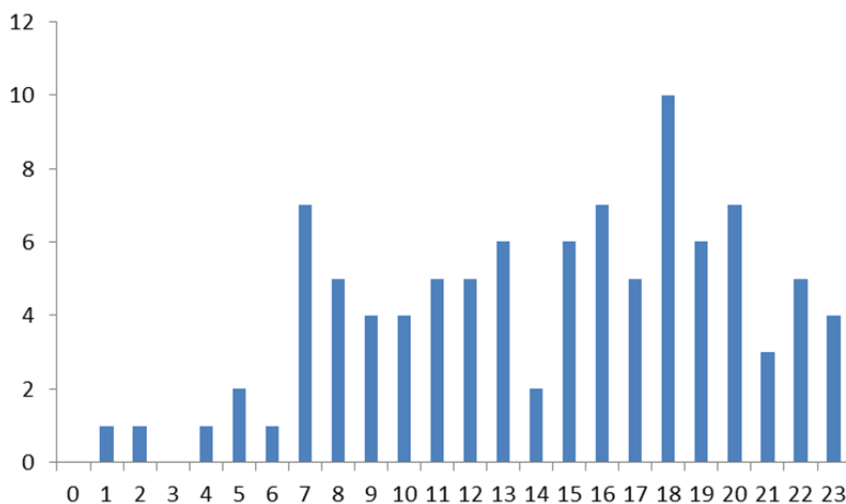


Figura 35 . Número de Circulaciones por horas del día para el período 2005-2008

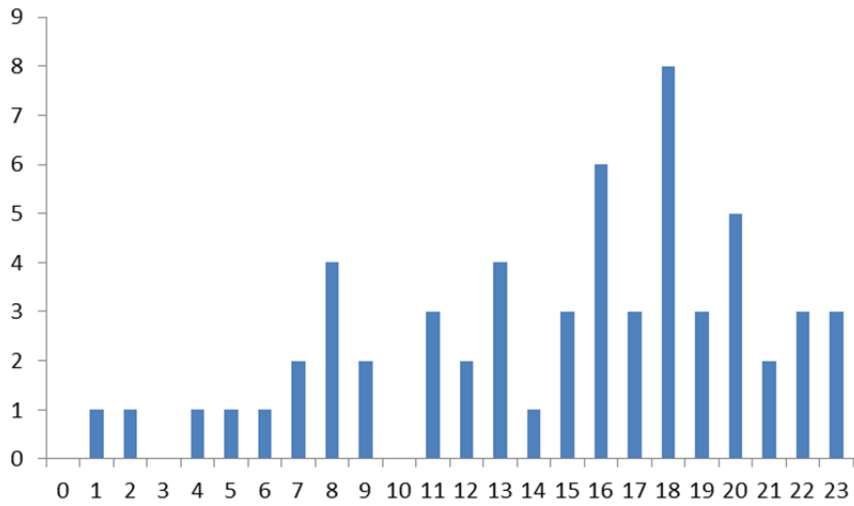


Figura 36 Número de Circulaciones dentro del gálibo de vía en plena vía por horas del día para el período 2005-2008

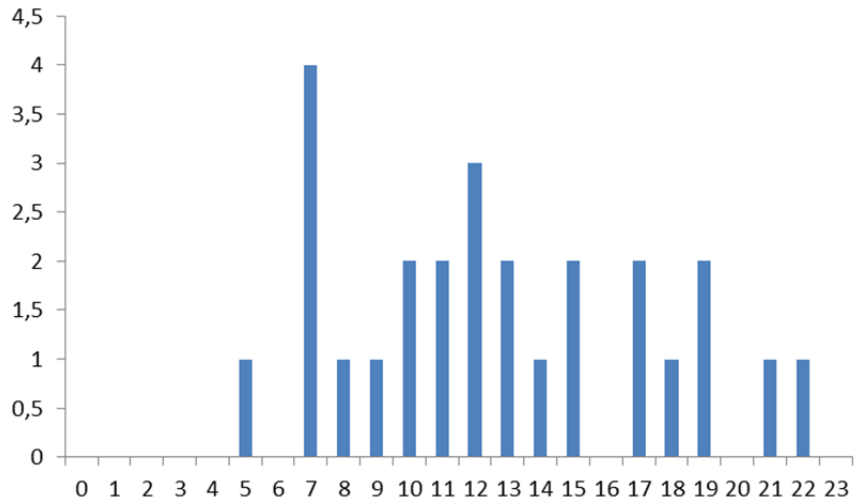


Figura 37 Número de Cruces de vía en plena vía por horas del día para el período 2005-2008

#### 3.2.3.1.2.4 Por edad

Aunque diversos estudios han encontrado diferencias significativas en la edad de las personas que Circulan dentro del gálibo de vía y Cruzan la vía por lugares no habilitados, siendo los jóvenes el principal grupo de riesgo (Silla et al., 2012a), en esta investigación no se ha podido disponer de la información suficiente sobre la edad de las personas (48,45% de faltantes) para poder comprobar este efecto de manera estadística, pero si se ha obtenido el porcentaje de los rango de edad de la información que estaba disponible para el colectivo Sociedad en su conjunto (gráfico 28), siendo las personas mayores de 65 años las que más implicadas están en las Actuaciones de Terceros.

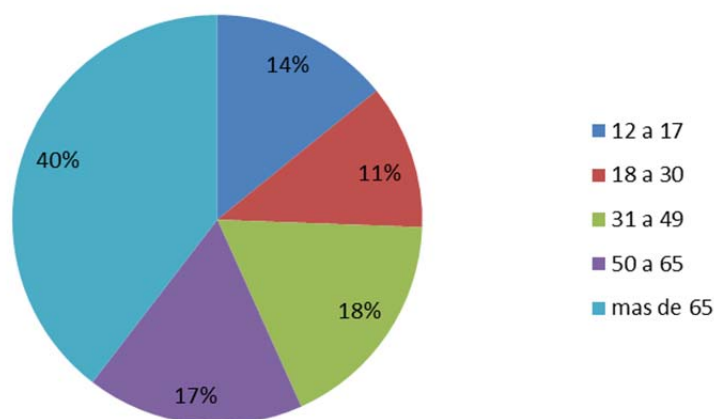


Gráfico 28. Porcentaje del riesgo de la sociedad en su conjunto por rangos de edad por Actuaciones de Terceros

### 3.2.3.1.3 En estaciones

En las estaciones, las Actuaciones de Terceros ocurridas durante el período 2005-2008 han sido: Cruzar la vía, Imprudencia en andén, Circular dentro del gálibo de vía, Acceso a tren fuera de servicio, Imprudencia al acceder al tren y finalmente, Imprudencia al bajar del tren. Los cruces de vía inadecuados (37%) y las imprudencias al bajar del tren (24%) son las más frecuentes (gráfico29).

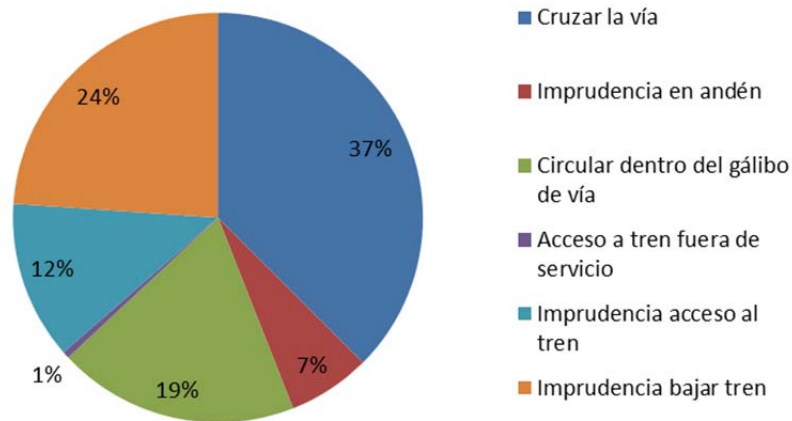


Gráfico 29. Porcentaje del número de sucesos de Actuaciones de Terceros en estaciones para el período 2005-2008.

Los cruces de vía mantienen la tendencia durante el período 2005-2008, mientras que las imprudencias al bajar del tren han disminuido considerablemente (gráfico 30).

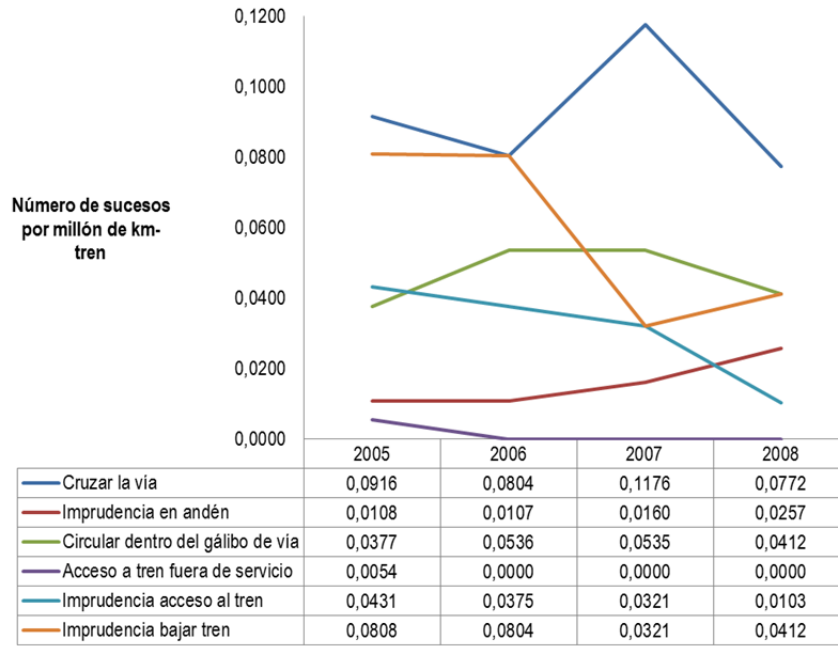


Gráfico 30. Evolución del número de sucesos de Actuaciones de Terceros en estación por millón de km-tren para el período 2005-2008

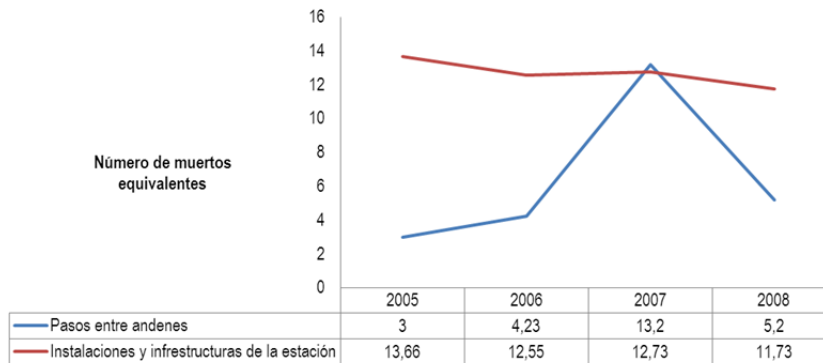


Gráfico 31. Evolución del número de muertos equivalentes de Cruzar la vía por zonas de la estación.

Los daños a personas que han sido causados por Cruzar la vía en pasos habilitados para ello (pasos entre andenes) pero de forma indebida representan el 33,59% del total de muertos equivalentes de Actuaciones de Terceros en estación (gráfico 31), siendo el 66,47% restante de muertos equivalentes debido al resto de conductas (incluidos los cruces de vía en el resto de instalaciones e infraestructuras de la estación, cruces de vía entre andenes en puntos no habilitados, circulación o cruces por zonas de enclavamientos, ....).

Los colectivos de riesgo en las Actuaciones de Terceros en estación son los de Viajeros y Otras personas, observándose una tendencia en el tiempo al alza en el de Viajeros (gráfico 32). Para el colectivo de viajeros son los cruces indebidos de vía en estación los que mayor riesgo aportan. Para el colectivo de Otras personas son los cruces de vía indebidos por pasos entre andenes y la Circulación de dentro del gálibo de vía en estaciones (zonas de enclavamientos) los que mayor riesgo aportan. El riesgo para la Sociedad en su conjunto es similar al de Otras personas dado que son los Cruces de vía y la Circulación dentro del gálibo de vía las que predominan (tabla 33)



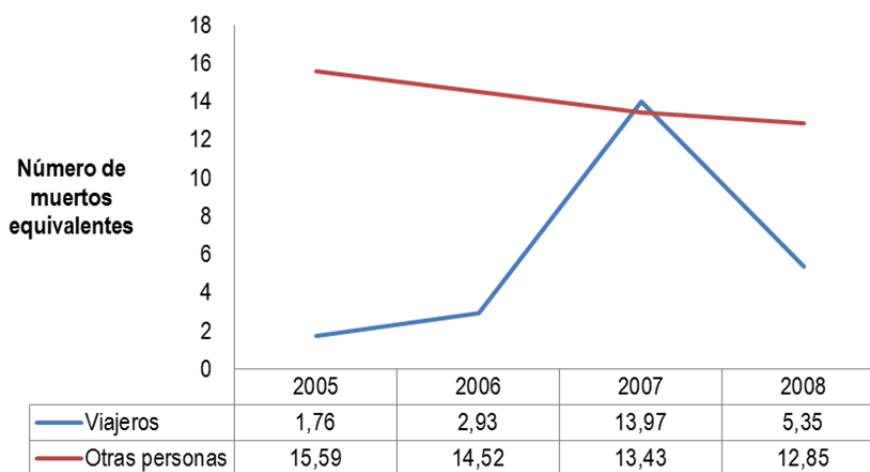


Gráfico 32. Evolución del número de muertos equivalentes por colectivos para el período 2005-2008

Año	Actuación de Terceros	Viajeros	Otras personas	Sociedad en su conjunto
2005	Cruzar la vía	0,00711	0,06480	0,07024
	Imprudencia en andén	0,00000	0,00108	0,00108
	Circular dentro del gálibo de vía	0,00070	0,01734	0,01788
	Acceso a tren fuera de servicio	0,00000	0,00054	0,00054
	Imprudencia acceso al tren	0,00049	0,00005	0,00043
	Imprudencia bajar tren	0,00408	0,00016	0,00329
	Total	0,01239	0,08397	0,09345
2006	Cruzar la vía	0,01547	0,04348	0,05538
	Imprudencia en andén	0,00000	0,00059	0,00059
	Circular dentro del gálibo de vía	0,00070	0,03345	0,03399
	Imprudencia acceso al tren	0,00237	0,00000	0,00182
	Imprudencia bajar tren	0,00188	0,00032	0,00177
	Total	0,02041	0,07784	0,09355

2007	Cruzar la vía	0,07787	0,04331	0,10373
	Imprudencia en andén	0,00076	0,00053	0,00112
	Circular dentro del gálibo de vía	0,00758	0,02791	0,03379
	Imprudencia acceso al tren	0,00786	0,00000	0,00610
	Imprudencia bajar tren	0,00221	0,00005	0,00176
	Total	0,09627	0,07181	0,14651
2008	Cruzar la vía	0,02035	0,03254	0,04850
	Imprudencia en andén	0,00000	0,00211	0,00211
	Circular dentro del gálibo de vía	0,00656	0,03141	0,03656
	Imprudencia acceso al tren	0,00013	0,00000	0,00010
	Imprudencia bajar tren	0,00807	0,00010	0,00644
	Total	0,03512	0,06617	0,09371
2005 - 2008	Cruzar la vía	0,03024	0,04587	0,06927
	Imprudencia en andén	0,00019	0,00109	0,00123
	Circular dentro del gálibo de vía	0,00394	0,02758	0,03063
	Acceso a tren fuera de servicio	0,00000	0,00013	0,00013
	Imprudencia acceso al tren	0,00269	0,00001	0,00210
	Imprudencia bajar tren	0,00412	0,00016	0,00334
	Total	0,04118	0,07485	0,10671

Tabla 33 Valoración del riesgo en los colectivos por Actuaciones de Terceros en estación para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales y Meq por millón de km-tren para 2005-2008)

### 3.2.3.1.3.1 Por día de la semana y hora del día

El número de sucesos de Actuaciones de Terceros en estaciones por día de la semana (figura 38) muestran un incremento hacia final de semana, manteniendo su valor durante el fin de semana a pesar de la reducción de la actividad ferroviaria durante el mismo. Si al mismo tiempo se considera que es durante el final del día (18:00-22:00 horas) donde más frecuentes son los sucesos (figura 39), todo parece indicar que

efectivamente las imprudencias en estaciones son más frecuentes durante el periodo de fin de semana y por las noches.

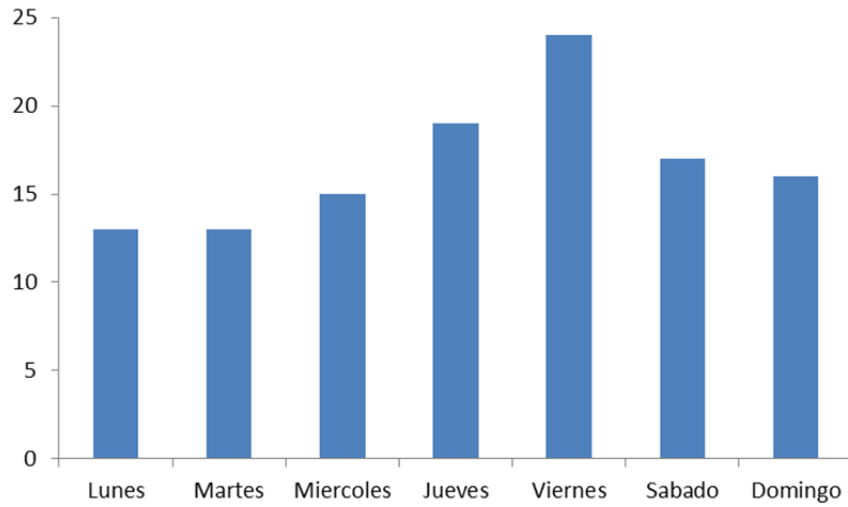


Figura 38 Número de sucesos de Actuaciones de Terceros en estación por día de la semana para el período 2005-2008

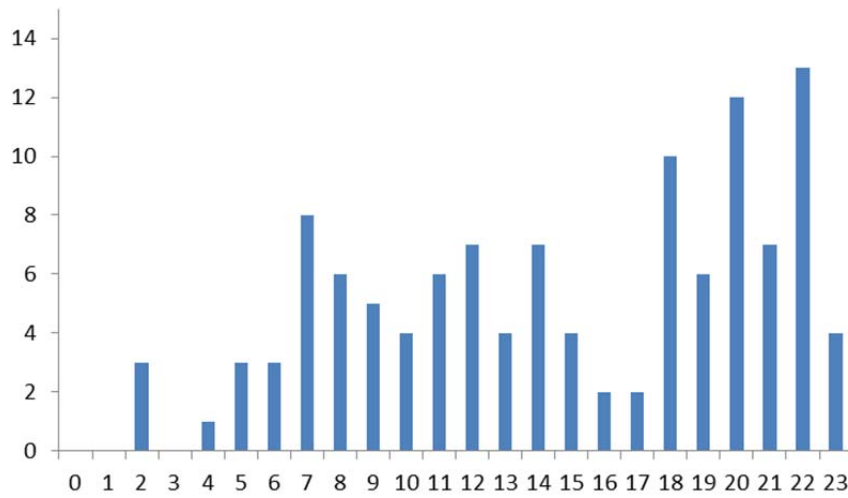


Figura 39 Número de sucesos de Actuaciones de Terceros en estación por hora del día para el período 2005-2008

### 3.2.3.2 Actos vandálicos

Un tipo de actuación que se ha analizado independientemente del lugar de ubicación son los Actos Vandálicos, pues son hechos delictivos más que imprudencias de las personas. Para el período 2005-2008 se han registrado 60 actos vandálicos, siendo el más frecuente el apedreamiento del tren.

Los colectivos afectados son los de Viajeros, Empleados y Otras personas (gráfico 33) siendo las personas heridas por la rotura del cristal al ser apedreado.

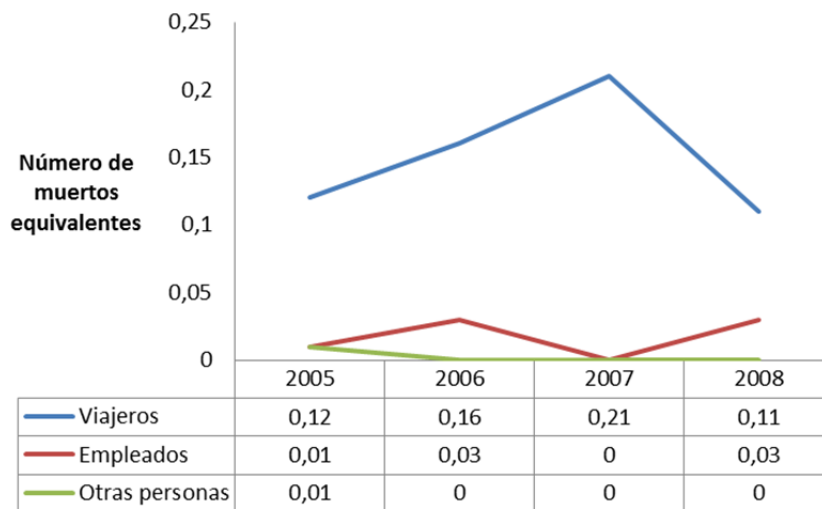


Gráfico 33. Evolución del número de muertos equivalentes por colectivos para el período 2005-2008

Año	Viajeros	Empleados	Otras personas	Sociedad en su conjunto
2005	0,000845	0,000054	0,000054	0,000754
2006	0,001115	0,000161	0,000000	0,001019
2007	0,001447	0,000000	0,000000	0,001123
2008	0,000722	0,000154	0,000000	0,000721

Tabla 34 Valoración del riesgo en los colectivos por Actos Vandálicos para el período 2005 – 2008 (Meq por millón de km-tren anuales)

### 3.2.3.3 Suicidios

Los suicidios en el ferrocarril español se registran como tales, sin ningún tipo de información adicional (tabla 35). Para el período 2005-2008 la tendencia de los suicidios se mantiene (gráfico 34).

	2005	2006	2007	2008
Número de suicidios	155	187	180	161

Tabla 35 Número de suicidios anuales para el período 2005-2008

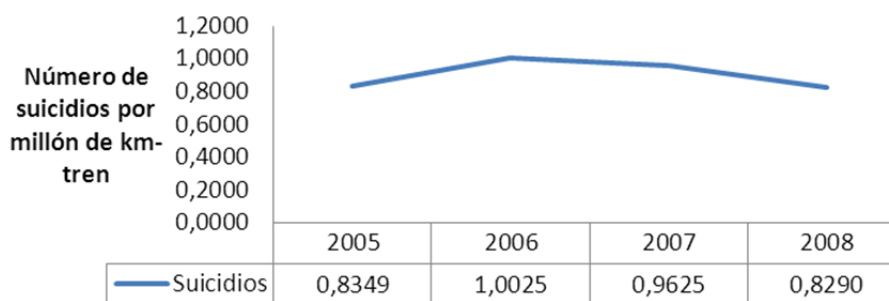


Gráfico 34. Evolución del número de suicidios por millón de km-tren para el período 2005-2008.



## **4 CONCLUSIONES FINALES**

El objetivo general de la tesis es determinar las variables de accidentalidad ferroviaria en las que interviene el factor humano y su valoración respecto los colectivos de riesgo del sistema ferroviario español.

Para ello se han analizado los registros de accidentalidad del ferrocarril español, a excepción del Ferrocarril Español de Vía Estrecha (FEVE), para su descomposición en cadenas de sucesos, registrando cada uno de los sucesos en una base de datos estadística diseñada para este fin. Analizando los primeros eventos de la cadena de sucesos de los accidentes se han determinado las principales variables en las que interviene el factor humano, y mediante la base de datos de sucesos elaborada se han realizado los análisis descriptivos necesarios para la obtención de los indicadores de valoración de riesgo para los colectivos de riesgo del sistema ferroviario español.

## 4.1 Conclusiones

Las variables de accidentalidad ferroviaria en las que interviene el factor humano han sido el Fallo Humano en la explotación y las Actuaciones de Terceros. Estos resultados coinciden con los obtenidos en investigaciones anteriores en las que se indica que son los errores humanos relacionados con la circulación ferroviaria (Evans, 2011b) e imprudencias de personas ajenas a las empresas ferroviarias (Lobb et al., 2001), las principales causas de accidentalidad debida al factor humano.

Las categorías de la variable Fallo Humano se corresponden con los errores relacionados con Señales, Bloqueo/itinerario, Formación del tren, Conducción, Comunicación, Distribución de carga, Trabajos en vía y Escape de material, que son los que se han identificado en la explotación y circulación del ferrocarril español.

Para las Actuaciones de Terceros, son categorías de la variable las conductas de personas ajenas a las empresas ferroviarias: Circular dentro del gálibo de vía, Cruzar la vía, Caída de personas con el tren movimiento, Caída de vehículo, Invasión de vía, Imprudencia en andén, Acceso a tren fuera de servicio, Imprudencia acceso al tren, Imprudencia bajar tren, Suicidios y Actos vandálicos.

Los tipos de fallos más frecuentes en la explotación ferroviaria son los de Bloqueo/Itinerario (46,34%), Conducción



(19,51%) y Señales (16,67%), aunque si consideramos aquellos que han terminado con algún tipo de víctima, es decir, con algún herido leve, grave o víctima mortal, son los de Conducción (31,43%), Trabajos en vía (31,43%) y Señales (17,14%) los más frecuentes. Aunque los fallos humanos de Señales no son los más frecuentes, no deja de ser uno de los tipos de error más importante, pues un rebase indebido de señal puede llegar a desencadenar una colisión o un descarrilamiento (Evans, 2011b; Stanton, et al. 2011).

El colectivo más afectado por los fallos humanos en la explotación ferroviaria es el de Viajeros, debido principalmente a errores en la conducción, con un 94,45% de los muertos equivalentes por millón de km-tren de viajeros para el período 2005-2008. Para el colectivo de Empleados son los Trabajos en Vía y los fallos en el Bloqueo/Itinerario con un 62,57% y 35,66%, respectivamente, de los muertos equivalentes por millón de km-tren. Para el colectivo de Usuarios de pasos a nivel, ha sido un fallo de Señales el que ha aportado todo el riesgo durante el período 2005-2008. La valoración del riesgo para la Sociedad en su conjunto son los fallos de Conducción, con un 46,16% de los muertos equivalentes por millón de km-tren, seguido de los Trabajos en Vía con un 23,86%.

A pesar de que en parte de la literatura revisada se indica que los principales factores de riesgo en la explotación ferroviaria son la distracción o falta de atención (Stanton et al., 2011), los excesos de velocidad (Evans, 2011b), la falta de

habilidad, errores en la toma de decisiones (Baysari et al., 2009; Reinach et al., 2006), el exceso de confianza y problemas de comunicación (Conde-García, 2007), no ha sido posible en esta investigación, determinar y cuantificar los factores de riesgo asociados a cada uno de los fallos humanos, dado que la información necesaria para ello no se encontraba disponible en la mayoría de registros de accidente analizados.

Considerando la variable circulación sí que se han observado diferencias en cuanto a la frecuencia de fallos humanos y los daños a personas. Aunque el número de sucesos es mayor en maniobras que en tren (80,40% vs 19,51%), los fallos con resultado de víctimas son mucho mayores en tren que en maniobras (71,43% vs 28,57%), es decir, que aunque los sucesos por fallo humano son más frecuentes en maniobras, la gravedad de los mismo es mucho menor que en tren.

En cuanto a la distribución de sucesos por fallo humano por día de la semana, se observa que prácticamente se registran los mismos sucesos de lunes a jueves, aumentando los viernes y disminuyendo en fin de semana de manera considerable. Lo cual es lógico atendiendo a que en fin de semana el número de trenes que circulan, es menor que entre semana.

Respecto a la hora del día los datos indican que es entre las 11:00 y 14:00 cuando mayor número de sucesos se registran.

Las conductas de Actuaciones de Terceros se han valorado para una determinada ubicación (pasos a nivel, plena vía o estación), debido a que las estrategias e intervenciones a realizar para reducir el riesgo de los colectivos en alguna de estas áreas son totalmente diferentes (Lobb, et al. 2001; Mishara, 2007; Mok et al., 2005).

En los pasos a nivel, la única conducta detectada es la Invasión de vía, siendo las efectuadas por los vehículos la más frecuentes (75%). El colectivo más afectado en pasos a nivel es el de Usuarios de pasos a nivel, siendo las Invasiones de vía de vehículos (48%) y de personas (52%) las que aportan todo el riesgo. Aunque para los colectivos de Viajeros y el de Empleados, el número anual de muertos equivalentes es bastante reducido en comparación con el de Usuarios de pasos a nivel, todos los daños a personas son debidos a las invasiones de vía de vehículos.

La distribución geográfica del riesgo de las Invasiones de vía en pasos a nivel permite ajustar las intervenciones a las características propias de la zona -culturales, demográficas, de la red ferroviaria, seguridad vial, climatológicas, etc...- (Mok et al., 2005). En la investigación, la valoración del riesgo se ha obtenido a partir de los muertos equivalentes por millón de km-tren, al no disponer de información de la actividad ferroviaria por provincia, para poder analizar el riesgo por zona geográfica, se ha optado por tomar el porcentaje de sucesos y muertos

equivalentes como indicador de las diferentes zonas geográficas tanto para vehículos como personas (tabla 36).

Provincia	Vehículos		Personas	
	% Sucesos	% Meq	% Sucesos	% Meq
ALICANTE	6,84	15,12		
ASTURIAS	1,71	8,82		
BADAJOS	7,69	0,18		
BARCELONA			23,08	22,31
BURGOS	4,27	8,82	5,13	5,51
CANTABRIA			7,69	8,26
CASTELLON			5,13	5,51
GERONA			5,13	5,51
HUESCA	4,27	6,44		
LEON			10,26	11,02
LUGO			5,13	5,51
MALAGA	1,71	5,94		
SEVILLA	5,98	9,00		
TARRAGONA	4,27	12,68	10,26	8,54
VALENCIA	5,13	6,91	5,13	5,51
ZARAGOZA	0,85	5,88		

Tabla 36 Valoración del riesgo de Invasión de vía por provincia para el período 2005-2008.

Los pasos a nivel de las clases A y C son los que registran un mayor número de sucesos con daños a personas. En el caso concreto de los pasos a nivel de clase A, es para el colectivo de Viajeros y Empleados (88,64% y 85,71% respectivamente) y para los Usuarios de pasos a nivel en caso de Invasiones de vía de vehículos (40,73%) en los que se registra una mayor

frecuencia de sucesos, mientras que en los pasos a nivel de clase C son las Invasiones de vía de personas (93,38%).

En cuanto al tipo de vehículos, son los vehículos pesados de mercancías, las palas retroexcavadoras y los tractores agrícolas que han Invasido la vía en un paso a nivel los que más riesgo han aportado a los colectivos de Viajeros y Empleados.

No se ha podido determinar la diferencia en la frecuencia de ocurrencia de sucesos en función de la hora y día de la semana de las Invasiones de vía en pasos a nivel dado que no se dispone de la información necesaria para ello.

En plena vía, las Actuaciones de Terceros más frecuentes son la Circulación dentro del gálibo de la vía (66%) y Cruzar la vía (28%). El colectivo más afectado por estas conductas es el de Personas no autorizadas con un 46,95% y 26,57% respectivamente del número de muertos equivalentes por millón de km-tren.

La distribución geográfica del riesgo, al no disponer del mismo modo que en los pasos a nivel de información de la actividad ferroviaria por provincia, se ha obtenido mediante el porcentaje de sucesos y muertos equivalentes para el conjunto de Actuaciones de Terceros en plena vía (tabla 37).

Provincia	%Sucesos	%Meq
MADRID	17,53	17,62
BARCELONA	17,53	13,33
VALENCIA	6,19	6,76
TARRAGONA	6,19	6,48
PONTEVEDRA	6,19	6,34
GERONA	5,15	2,17

Tabla 37 Valoración del riesgo por provincia para el período 2005-2008

Del análisis de la frecuencia de sucesos por día de la semana y hora del día de Actuaciones de Terceros en plena vía no se ha podido identificar ningún tipo de patrón a falta de disponer de información de la actividad ferroviaria por día de la semana.

Diferentes estudios apuntan que son los jóvenes el principal grupo de riesgo (Silla et al., 2012), debido a la falta de información en la mayoría de sucesos relacionada con la edad de las personas que forman parte de los colectivos de riesgo de Actuaciones de Terceros en plena vía (con un 48,45% de faltantes) en este estudio no se ha podido cual es el grupo de riesgo con mayor frecuencia de ocurrencia de sucesos. De los datos disponibles, lo único que se puede observar es que son las personas de más de 65 años las que más están implicadas en este tipo de sucesos.

En la estaciones, son los Cruces de vía indebidos (37%) y las Imprudencias al bajar del tren (24%) los más frecuentes. Los colectivos de riesgo afectados son los de Viajeros y Otras personas. Las investigaciones realizadas indican que los

principales factores de riesgo asociados a las Actuaciones de Terceros en estaciones son: la elección de un trayecto más corto y rápido independientemente de cometer una infracción, el alcohol y drogas, deficiencias auditivas (incluyendo las personas que llevan auriculares y que por tanto no pueden oír las señales acústicas o el ruido del tren), por trabajos en vía (incumpliendo los protocolos de seguridad en la operaciones ferroviarias), por caídas de andén debido a conductas inapropiadas y, por juegos de riesgo entre jóvenes para ver quien aguanta más delante del tren (George, 2008; Lobb et al., 2001; Savage, 2007; Pelletier, 1997; Patterson, 2004; Rail Safety and Standards Board, 2005; Silla et al., 2009, 2012; van Houwelingen, Kerkhof & Beersma, 2010). En el estudio realizado debido al nivel insuficiente de detalle en los registros analizados no se han podido determinar cuales son los factores de riesgo relacionados con las Actuaciones de Terceros.

Por último, existen dos Actuaciones de Terceros que deben ser analizadas de forma diferenciada: los Actos Vandálicos y los Suicidios. En el ferrocarril español, los actos vandálicos son básicamente producidos por apedreamientos del tren, afectando fundamentalmente al colectivo de Viajeros por los daños a personas producidos por la rotura de cristales. Respecto los suicidios, no existe ninguna descripción adicional en los registros de accidentalidad además de la clasificación del accidente como suicidio, y por tanto no se dispone de información de la intencionalidad del mismo. Las implicaciones

sociales, legales y éticas de asignar una muerte como suicidio y el inexistente intercambio de información entre las administraciones implicadas (judicial, sanitaria y de transportes) imposibilitan actualmente el análisis adecuado de este tipo de conductas y su relación con el ferrocarril.

En conclusión, se han confirmado la mayoría de las hipótesis planteadas en la investigación a excepción de:

- Los fallos humanos en la explotación presentan diferencias respecto el tipo de circulación. Los fallos humanos más frecuentes se localizan en las maniobras y no en la circulación de tren, aunque estos últimos, a pesar de ser bastante menos numerosos, aportan un mayor riesgo a los colectivos de riesgo que los ocurridos durante las maniobras, que prácticamente no poseen daños a personas.
- Los fallos humano más frecuentes son los relacionados con los errores de Bloqueo/Itinerario, Conducción y Señales, siendo en estos últimos donde se incluyen los rebases indebidos de señales, acción equivalente a las señales rebasadas en situación de peligro (SPAD).
- Debido a que no se dispone de información de la actividad ferroviaria por día de la semana, considerando únicamente el número de sucesos por día de la semana son las invasiones de vía en



plena vía, pasos a nivel y estaciones las más frecuentes entre semana que en fin de semana.

- Considerando el número de sucesos por hora del día, las invasiones de vía en plena vía, pasos a nivel y estación no son más frecuentes en el horario nocturno (22:00 a 6:00 horas).
- Las invasiones de vía de personas en pasos a nivel son más frecuentes en pasos a nivel de clase C, posiblemente porque estos ocurren en entornos urbanos, que es donde predominan esta clase de pasos a nivel.
- Aunque no se dispone de toda la información referente a la edad de las personas implicadas en las Actuaciones de Terceros en plena vía, no pudiéndose realizar ninguna afirmación al respecto, se considera de interés destacar que de los sucesos de los que sí se dispone esta información (cerca de un 51%) son las personas de más de 65 años las más afectadas.
- No se dispone de información acerca de los factores de riesgo relacionados con las Actuaciones de Terceros, y en particular de las invasiones de vía, cruces de vía o circulación por la vía para poder establecer relaciones causa efecto; sin embargo, sí que se ha detectado puntualmente, en algunos registros, información adicional de las

imprudencias. Los factores de riesgo, ya apuntados en investigaciones precedentes, como el alcohol y/o drogas, la falta de capacidad auditiva por llevar auriculares, y juegos de riesgo de jóvenes en vía son los que se han identificado en los registros de accidentalidad analizados.

Es por todo ello, que *el factor humano es la principal causa de daños a personas de la accidentalidad del sistema ferroviario, siendo las actuaciones de personas ajenas al ferrocarril las que mayor riesgo aportan a los colectivos, a excepción del de empleados, donde son los errores relacionado con los trabajos en vía los que aportar la mayor parte del riesgo (figura 40).*

	Fallo humano	Actuaciones de Terceros		
		Pasos a nivel	Plena vía	Estación
Viajeros	Conducción	Invasión de vía (personas)	Caída de vehículo	<b>Cruzar vía</b>
Empleados	<b>Trabajos en vía</b>	Invasión de vía (personas)	Caída de vehículo	
Usuarios de pasos a nivel	Señales	<b>Invasión de vía (vehículos)</b>		
Personas no autorizadas			<b>Circular dentro gálibo vía</b>	
Otras personas				<b>Cruzar vía</b>
Sociedad en su conjunto	Conducción	Invasión de vía (vehículos)	Circular dentro gálibo vía	<b>Cruzar vía</b>

Figura 40 Colectivos por variables de accidentalidad en las que interviene el factor humano.

## 4.2 Limitaciones y propuestas de mejora

Los resultados obtenidos en el estudio deben tomarse con cautela considerando las limitaciones de este tipo de investigación. Por otra parte tampoco hay que infravalorar las oportunidades que se derivan del proyecto de investigación de I+D+i PT-2007-035-18IAPM "Determinación del nivel de riesgo aceptado en el funcionamiento del ferrocarril en España para los diferentes subsistemas existentes" (DETRA) del que surge la presente tesis.

El hecho de trabajar con cadenas de sucesos y no con denominaciones de accidentes, permite analizar la casuística de la accidentalidad ferroviaria desde diversos enfoques con total flexibilidad, tal como se ha mostrado en esta investigación sobre el factor humano, con el objetivo de definir u optimizar estrategias de intervención en el marco de la gestión de la seguridad ferroviaria, eliminando las connotaciones negativas que siempre posee el término accidente en el ámbito gubernamental.

Aunque el período temporal de estudio está dentro de las recomendaciones para la obtención de valores de referencia del nivel de riesgo de un sistema ferroviario, no deja de ser la principal limitación de la investigación desde el enfoque aplicado y estadístico. Al ser el 2008 el último año disponible, no se pueden utilizar actualmente los resultados de forma directa para representar la realidad actual del nivel de riesgo del

ferrocarril español. Sin embargo, junto con el proyecto DETRA, no dejan de ser las únicas aportaciones realizadas al sector ferroviario desde el enfoque del análisis de sucesos, siendo aprovechables las estrategias de intervención que se derivan, y fundamentalmente, la metodología de análisis de la accidentalidad ferroviaria para la gestión de la seguridad ferroviaria. Es por ello que la principal recomendación es actualizar y mantener la base de datos de sucesos por las entidades pertinentes, ya que además de disponer de datos actualizados para su valoración y determinación de los niveles de riesgo del sistema ferroviario español, se podría profundizar en el análisis estadístico de las variables de accidentalidad y obtener estimaciones y proyecciones para cortos períodos de tiempo del total de años disponibles mediante los modelos de regresión apropiados (Evans, 2011b).

Por otro lado, los resultados del estudio indican, que junto con la actualización de datos, es necesario poder acceder a información más detallada de las diferentes administraciones que intervienen en el sector ferroviario y el transporte por carretera. Se considera que:

- Los mapas geográficos de riesgo debido al factor humano se podrían haber ajustado mucho más a la realidad en caso de disponer, además del número de sucesos ocurridos y daños a personas, datos del número de circulaciones de trenes por provincia, el número de kilómetros tren y kilómetros

tren de viajeros por provincia, el número de pasos a nivel por provincia y el número de kilómetros de línea por provincia.

- Con el número de circulaciones de trenes y el número de kilómetros tren por día de la semana, se podría haber comprobado si existen diferencias en los días de entresemana y fines de semana en el número de sucesos ocurridos por actuaciones indebidas de personas en relación a la actividad ferroviaria.
- Desde el enfoque de las seguridad vial, se podrían definir indicadores más adecuados para integrar el riesgo aportado al sistema ferroviario de las actuaciones de terceros, en el caso de disponer de información del número de infracciones cometidas en pasos a nivel y en cruces de vía por pasos no habilitados para ellos en estación, así como de estimaciones del número de vehículos o personas que diariamente cruzan un paso a nivel o un paso entre andenes.
- Disponer de información del número de circulaciones y el número de rebases autorizados permitiría la definición de precursores de las variables de accidentalidad relativa al factor humano, permitiendo establecer estimaciones de probabilidad de fallo humano respecto el total de la

actividad ferroviaria, como por ejemplo el número de rebases indebidos de señal respecto el total de rebases autorizados y el número de circulaciones diarias.

- Con la integración de información relativa a los costes económicos de los sucesos (costes derivados de los desperfectos materiales, retrasos en el servicio, costes sanitarios de los heridos graves, coste de una víctima mortal, entre otros) se podría, tal como se recomienda en el marco reglamentario europeo, realizar una valoración del riesgo desde tres dimensiones: la frecuencia de ocurrencia de los sucesos, los daños a personas y el coste económico de los mismos, pudiendo establecer criterios optimizados de aceptación del riesgo.

Es por todo ello que se recomienda:

- i. establecer modelos de gestión para las diferentes administraciones públicas (nacionales, autonómicas y locales) que intervienen en la accidentalidad ferroviaria y que permitan acceder e intercambiar información (jurídicas, policiales, hospitalarias y del transporte ferroviario y por carretera) para identificar los factores de riesgo asociados a las conductas de personas

ajenas al ferrocarril (diferenciar los suicidios de las invasiones de vía o circulaciones dentro del gálibo de vía, determinar si las personas estaban bajo los efectos del alcohol o sustancias, determinar si las personas tenían algún tipo de capacidad psicofísica reducida,...);

- ii. relacionar los estudios de accidentalidad con los resultados obtenidos en la aplicación de modelos taxonómicos de error humano, para determinar y cuantificar los factores de riesgo asociados a dicho error en la explotación ferroviaria (atencionales, distracción, falta de habilidad, error en la toma de decisiones, excesos de confianza,...) y en última instancia, integrar los resultados en los protocolos de registro de investigación de accidentes.

Finalmente, de las diferentes estrategias de intervención identificadas en la literatura revisada, son de posible aplicación para reducir el riesgo en el ferrocarril debido al factor humano, especialmente de las Actuaciones de Terceros, las siguientes:

- limitar los accesos a vía en pasos a nivel, plena vía y estaciones;
- implementar campañas de educación y sensibilización en aquellas provincias que poseen un mayor nivel de riesgo debido a Actuaciones de Terceros, orientadas a



los grupos de riesgo más afectados (mayores de 65 años y jóvenes de 12 a 30 años);

- mejorar los sistemas de detección de obstáculos en pasos a nivel;
- mejorar los sistemas de señalización vial de carretera en pasos a nivel;
- mejorar los sistemas de iluminación del material rodante para que, tanto en pasos a nivel como estaciones, las personas puedan detectar el tren y estimar su velocidad real.
- endurecer las sanciones a personas que cruzan indebidamente las vías en estaciones por lugares no habilitados para ello.



## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adif (2008). *Norma técnica de accidentes e incidentes en la circulación*.
- Amitabh, A. (2005). *Rail accidents due to human errors-indian railways experience*. Cape Town, South Africa: International Railway Safety Conference.
- Austin, R. D., & Carson, J. L. (2002). An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces. *Accident Analysis and Prevention*, 34(1), 31-42.
- Baysari, M. T., Caponecchia, C., McIntosh, A. S., & Wilson, J. R. (2009). Classification of errors contributing to rail incidents and accidents: A comparison of two human error identification techniques. *Safety Science*, 47(7), 948-957. doi: 10.1016/j.ssci.2008.09.012
- Baysari, M. T., Caponecchia, C., & McIntosh, A. S. (2011). A reliability and usability study of TRACEr-RAV: The technique for the retrospective analysis of cognitive errors – for rail, australian version. *Applied Ergonomics*, 42(6), 852-859. doi: 10.1016/j.apergo.2011.01.009
- Baysari, M. T., McIntosh, A. S., & Wilson, J. R. (2008). Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in australia. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), 1750-1757. doi: 10.1016/j.aap.2008.06.013
- Blazar, P. E., Dormans, J. P., & Born, C. T. (1997). Train injuries in children. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 11(2), 126-129.

- Cacciabue, P. C. (2005). Human error risk management methodology for safety audit of a large railway organisation. *Applied Ergonomics*, 36(6), 709-718. doi: 10.1016/j.apergo.2005.04.005
- Cina, S. J., Koelpin, J. L., Nichols, C. A., & Conradi, S. E. (1994). A decade of train-pedestrian fatalities: The charleston experience. *Journal of Forensic Sciences*, 39(3), 668-673.
- Comisión de Investigación de Accidentes Ferroviarios (2011). *Memoria anual 2010 de la investigación de accidentes e incidentes ferroviarios en la red ferroviaria de interés general*. Madrid: Secretaría General de Transportes.
- Comunicación COM (2006) 314 de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (2006). *Por una Europa en movimiento. Movilidad sostenible para nuestro continente revisión intermedia del libro blanco del transporte de la comisión europea de 2001*. Bruselas:
- Conde-García, M. (2007). Metodología de la investigación técnica de accidentes ferroviarios. *XXI Congreso Panamericano De Ferrocarriles. Accidentología En El Transporte Ferroviario*, Buenos Aires.
- Decisión de la Comisión 2009/460/CE (2009). *Método común de seguridad para evaluar la consecución de los objetivos de seguridad* Diario Oficial de la Unión Europea.
- Decisión de la Comisión 2012/226/EU (2012). *The second set of common safety targets as regards the rail system* Diario Oficial de la Unión Europea.

Directiva 2004/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (2004). *Directiva de seguridad ferroviaria* Diario Oficial de la Unión Europea.

Domínguez, B. (2006). Seis personas muertas y 36 heridos al descarrilar un tren en la estación de Villada. *Diario De Valladolid*, pp. 10.

European Committee for Electrotechnical Standardization (1999). *The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*. (UNE-EN No. 50126). Belgium: European Committee for Electrotechnical Standardization.

European Railway Agency (2010). *Railway safety performance in the european union*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2821/12170

European Railway Agency (2011a). *Implementation guidance for CSIs, annex 1 of directive 2004/49/EC as amended by directive 2009/149/EC*. Valenciennes: European Railway Agency.

European Railway Agency (2011b). *Railway safety performance in the european union*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: doi:10.2821/13224

European Railway Agency (2012). *Railway safety performance in the european union*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2821/14

European Transport Safety Council (2003). *Transport safety performance in the EU a statistical overview*. Brussels: European Transport Safety Council.

- Evans, A. W. (2000). Fatal train accidents on Britain's mainline railways. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society)*, 163(1), pp. 99-119.
- Evans, A. W. (2003). Estimating transport fatality risk from past accident data. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 459-472. doi: 10.1016/S0001-4575(02)00024-6
- Evans, A. W. (2005). Railway risks, safety values and safety costs. *Transport, Part of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 158(TR1), 3-9.
- Evans, A. W. (2006). *Fatal train accidents on Britain's main line railways: End of 2005 analysis*. London: Centre for Transport Studies.
- Evans, A. W. (2007). *Fatal train accidents on Britain's main line railways: End of 2006 analysis*. London: Centre for Transport Studies.
- Evans, A. W. (2007). Rail safety and rail privatisation in Britain. *Accident Analysis & Prevention*, 39(3), 510-523. doi: 10.1016/j.aap.2006.09.007
- Evans, A. W. (2008). *Fatal train accidents on Britain's main line railways: End of 2007 analysis*. London: Centre for Transport Studies.
- Evans, A. W. (2009). *Fatal train accidents on Britain's main line railways: End of 2008 analysis*. London: Centre for Transport Studies.
- Evans, A. W. (2010). Rail safety and rail privatisation in Japan. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1296-1301. doi: 10.1016/j.aap.2010.02.007

- Evans, A. W. (2011a). Fatal accidents at railway level crossings in great britain 1946–2009. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1837-1845. doi: 10.1016/j.aap.2011.04.019
- Evans, A. W. (2011b). Fatal train accidents on europe's railways: 1980–2009. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 391-401. doi: 10.1016/j.aap.2010.09.009
- Federal Railroad Administration (2007). *National rail safety action plan progress report 2005–2007*. Retrieved from <[http://www.fra.dot.gov/downloads/PubAffairs/FRA\\_Natl\\_Rail\\_Saf\\_ActnPln\\_PgrssRpt2005\\_2007.pdf](http://www.fra.dot.gov/downloads/PubAffairs/FRA_Natl_Rail_Saf_ActnPln_PgrssRpt2005_2007.pdf)>).
- Fukuda, H. (2002). A study on incident analysis method for railway safety management. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 43(2), p. 83-86.
- George, F. B. (2008). *Rail trespasser fatalities: Developing demographic profiles*. Edgewater: Cadle Creek Consulting.
- Guil, J. (2010, 26 de Junio). Las autoridades indignan a los familiares al atribuir la tragedia a la imprudencia. *ABC*, pp. 20.
- Hamilton, W. I., & Clarke, T. (2005). Driver performance modelling and its practical application to railway safety. *Applied Ergonomics*, 36(6), 661-670. doi: 10.1016/j.apergo.2005.07.005
- Høj, N. P., & Kröger, W. (2002). Risk analyses of transportation on road and railway from a european perspective. *Safety Science*, 40(1–4), 337-357. doi: 10.1016/S0925-7535(01)00053-4

- HSE Books (2001). *Reducing risks, protecting people: HSE's decision making process*. UK: Health and Safety Executive.
- Karlehagen, S., Malt, U., Hoff, H., Tibell, E., Herrstromer, U., Hildingson, K., & Leymann, H. (1993). The effect of major railway accidents on the psychological health of train drivers—II. A longitudinal study of the one-year outcome after the accident. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(8), 807-817. doi: 10.1016/0022-3999(93)90170-K
- Kirwan, B. (1997). Validation of human reliability assessment techniques: Part 1 — validation issues. *Safety Science*, 27(1), 25-41. doi: 10.1016/S0925-7535(97)00049-0
- Kirwan, B. (1997). Validation of human reliability assessment techniques: Part 2 — validation results. *Safety Science*, 27(1), 43-75. doi: 10.1016/S0925-7535(97)00050-7
- Krokos, K. J., & Baker, D. P. (2007). Preface to the special section on classifying and understanding human error. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 49(2), 175-176. doi: 10.1518/001872007X312414
- Lerer, L. B., & Matzopoulos, R. (1996). Meeting the challenge of railway injury in a south african city. *The Lancet*, 348(9028), 664-666. doi: 10.1016/S0140-6736(96)02100-9
- Lerner, N. D., Llaneras, R. E., McGree, H. W., & Stephens, D. E. (2002). *Traffic control devices for passive railroad-highway grade crossings*. (NCHRP REPORT No. 470). Washington: Transportation Research Board.



- Lobb, B. (2006). Trespassing on the tracks: A review of railway pedestrian safety research. *Journal of Safety Research*, 37(4), 359-365. doi: 10.1016/j.jsr.2006.04.005
- Lobb, B., Harre, N., & Suddendorf, T. (2001). An evaluation of a suburban railway pedestrian crossing safety programme. *Accident Analysis and Prevention*, 33(2), 157-165.
- Lobb, B., Harré, N., & Terry, N. (2003). An evaluation of four types of railway pedestrian crossing safety intervention. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 487-494. doi: 10.1016/S0001-4575(02)00026-X
- Malt, U. F., Karlehagen, S., Hoff, H., Herrstromer, U., Hildingson, K., Tibell, E., & Leymann, H. (1993). The effect of major railway accidents on the psychological health of train drivers—I. acute psychological responses to accident. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(8), 793-805. doi: 10.1016/0022-3999(93)90169-G
- Marín, H. (2010). 12 jóvenes mueren arrollados en la estación de casteldefels. *El Mundo*, pp. 14.
- Matzopoulos, R., & Lerer, L. B. (1998). Hours to hell and back: A social epidemiology of railway injury in a south african city, 1890–1995. *Social Science & Medicine*, 47(1), 75-83. doi: 10.1016/S0277-9536(98)00043-4
- Mishara, B. L. (2007). Railway and metro suicides: Understanding the problem and prevention potential. *Crisis: The Journal of Crisis Intervention and Suicide Prevention*, 28, 36-43. doi: 10.1027/0227-5910.28.S1.36
- Miwa, M., Gozun, B., & Oyama, T. (2006). Statistical data analyses to elucidate the causes and improve the

countermeasures for preventing train accidents in japan. *International Transactions in Operational Research*, 13(3), 229-251. doi: 10.1111/j.1475-3995.2006.00546.x

Mok, S. C., & Savage, I. (2005). Why has safety improved at rail-highway grade crossings? *Risk Analysis*, 25(4), 867-881. doi: 10.1111/j.1539-6924.2005.00642.x

O'Hare, D. (2000). The 'wheel of misfortune': A taxonomic approach to human factors in accident investigation and analysis in aviation and other complex systems. *Ergonomics*, 43(12), 2001-2019.

Patterson, T. (2004). *Analysis of trespasser accidents*. New Zealand: Land Transport Safety Authority.

Pelletier, A. (1997). Deaths among railroad trespassers: The role of alcohol in fatal injuries. *Journal of the American Medical Association*, 277(13), 1064-1066.

Rahimi, M., & Meshkati, N. (2001). Human factors in highway-rail crossing accidents: The influence of driver decision style. *Driving Assessment 2001: The First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, Aspen, Colorado. 332-337.

Rail Safety and Standards Board (2005). *Trespass and access via the platform end*. ( No. Final Report). UK: Rail Safety and Standards Board.

Rail Safety and Standards Board (2007). *Engineering safety management (the yellow book). issue 4*. U.K: Rail Safety and Standards Board.

Rail Safety and Standards Board (2008). *Understanding human factors - a guide for the railway industry* Rail Safety and Standards Board.

Rail Safety and Standards Board (2012). *Annual safety performance report 2011/12* Rail Safety and Standards Board.

Reason, J. (2009). *El error humano* [Human error] (J. A. Sisqués Trans.). Madrid: Modus Laborandi S.L.

Reason, J. (2010). *La gestión de los grandes riesgos* [Managing the Risks of Organizational Accidents] (J. M. Iranzo Trans.). Madrid: Modus Laborandi.

Reason, J. (2011). *La contribución humana. actos peligrosos y acciones ejemplares* [The Human Contribution. Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries. ] (J. M. Iranzo Trans.). Madrid: Modus Laborandi, S.L.

Reglamento 91/2003 de la Comisión (2003). *REGLAMENTO (CE) No 91/2003 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2002 relativo a las estadísticas sobre transporte ferroviario*. Diario Oficial de la Unión Europea.

Reglamento 881/2004 de la Comisión (2004). *REGLAMENTO (CE) N° 881/2004 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 29 de abril de 2004 por el que se crea una Agencia Ferroviaria Europea*. Diario Oficial de la Unión Europea.

Reglamento 1192/2003 de la Comisión (2003). *REGLAMENTO (CE) No 1192/2003 DE LA COMISIÓN de 3 de julio de 2003 por el que se modifica el Reglamento (CE) no 91/2003 del*

*Parlamento Europeo y del Consejo relativo a las estadísticas sobre transporte ferroviario*. Diario Oficial de la Unión Europea.

Reinach, S., & Viale, A. (2006). Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 396-406. doi: 10.1016/j.aap.2005.10.013

Rose, J. A., & Bearman, C. (2012). Making effective use of task analysis to identify human factors issues in new rail technology. *Applied Ergonomics*, 43(3), 614-624. doi: 10.1016/j.apergo.2011.09.005

Santos-Reyes, J., Beard, A. N., & Smith, R. A. (2005). A systemic analysis of railway accidents. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 219(2), 47-65. doi: 10.1243/095440905X8745

Savage, I. (2006). Does public education improve rail-highway crossing safety? *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 310-316. doi: 10.1016/j.aap.2005.10.001

Savage, I. (2007). Trespassing on the railroad. *Research in Transportation Economics*, 20(0), 199-224. doi: 10.1016/S0739-8859(07)20008-3

Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (1997). A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. *International Journal of Aviation Psychology*, 7(4), 269-291.

Shorrock, S. T. (2002). *Error classification for safety management: Finding the right approach*

- Shorrock, S. T., & Kirwan, B. (2002). Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied Ergonomics*, 33(4), 319-336.
- Silla, A., & Luoma, J. (2009). Trespassing on finnish railways: Identification of problem sites and characteristics of trespassing behaviour. *European Transport Research Review*, 1(1), 47-53.
- Silla, A., & Luoma, J. (2011). Effect of three countermeasures against the illegal crossing of railway tracks. *Accident Analysis and Prevention*, 43(3), 1089-1094.
- Silla, A., & Luoma, J. (2012a). Main characteristics of train-pedestrian fatalities on finnish railroads. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 61-66.
- Silla, A., & Luoma, J. (2012b). Opinions on railway trespassing of people living close to a railway line. *Safety Science*, 50(1), 62-67.
- Silla, A., & Kallberg, V. (2012). The development of railway safety in finland. *Accident Analysis & Prevention*, 45(0), 737-744. doi: 10.1016/j.aap.2011.09.043
- Silmon, J., & Roberts, C. (2010). Using functional analysis to determine the requirements for changes to critical systems: Railway level crossing case study. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(3), 216-225. doi: 10.1016/j.ress.2009.09.013
- Slovak, R., Woods, M., Tordai, L., Fletcher, S., & El Kursi, E. (2008). *Safer european level crossing appraisal and technology (SELCAT)*. ( No. Final Report.).

- Stanton, N. A., & Walker, G. H. (2011). Exploring the psychological factors involved in the ladbroke grove rail accident. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1117-1127. doi: 10.1016/j.aap.2010.12.020
- Tey, L., Ferreira, L., & Wallace, A. (2011). Measuring driver responses at railway level crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 2134-2141. doi: 10.1016/j.aap.2011.06.003
- Toledo-Castillo, F. J. (2007). Seguridad y conducción de trenes: El factor humano. *The 5th International Rail Forum*, Valencia.
- Toledo-Castillo, F. J. (2010). Nivel de riesgo aceptado en el funcionamiento del ferrocarril en españa para los diferentes subsistemas existentes. *III Jornadas Sobre Presentación De Proyectos De I+D De Transportes Del Plan Nacional 2004/2007 Ligados Al PEIT*, Madrid.
- Toledo-Castillo, F. J. (2011). Indicadores de los valores de referencia (IVR) obtenidos en el estudio DETRA para el sistema ferroviario español. *The 8th International Rail Forum*, Madrid.
- Toledo-Castillo, F. J., Lloret-Catalá M.C., Figueres- Esteban, M., & Sospedra-Baeza, M.J. (2006). E.R.G.O.A.S.F.A.- mejora del sistema de frenado automático a bordo del tren mediante el desarrollo de un prototipo ergonómico que mejore las funcionalidades actuales. *VII Congreso De Ingeniería Del Transporte*, Ciudad Real.
- Toledo-Castillo, F. J., Lloret-Catalá M.C., Figueres- Esteban, M., & Sospedra-Baeza, M.J. (2008). Revisión de las técnicas de valoración y gestión de riesgo aplicadas al ferrocarril

europeo. *VIII Congreso Internacional De Ingeniería Del Transporte*, A Coruña.

Toledo-Castillo, F. J., Sospedra-Baeza, M. J., Figueres-Esteban, M., & Lloret-Catalá M.C. (2008). *Atención, fatiga y sueño en la conducción de trenes y tranvías*. Valencia: Palmero Ediciones.

Toledo-Castillo, F. J., Sospedra-Baeza, M. J., Figueres-Esteban, M., & Lloret-Catalá M.C. (2010). Aplicación de la 2009/460/CE para la evaluación de los objetivos comunes de seguridad en el sistema ferroviario español. *I Congreso Internacional De Tecnología Ferroviaria*, Zaragoza.

Toledo-Castillo, F. J., Sospedra-Baeza, M. J., Figueres-Esteban, M., Lloret-Catalá M.C., & Hidalgo-Fuentes, S. (2009). *Perfil profesiográfico de las tareas de circulación y de la conducción sin viajeros de F.G.V.* Universidad de Valencia.

Toledo-Catillo, F. J., Castro, C., & Lloret-Catalá M.C. (2006). Safety visual display in cabs of railway machines: Visual ergonomics requirements. *Vision in Vehicles 11*, Dublin.

van Houwelingen, C. A., Kerkhof, A. J., & Beersma, D. G. (2010). Train suicides in the netherlands. *Journal of Affective Disorders*, 127(1–3), 281-286. doi: 10.1016/j.jad.2010.06.005

Wigglesworth, E. C. (2001). A human factors commentary on innovations at railroad-highway grade crossings in australia. *Journal of Safety Research*, 32(3), 309-312.

Wilson, J. R., & Norris, B. J. (2005). Rail human factors: Past, present and future. *Applied Ergonomics*, 36(6), 649-660. doi: 10.1016/j.apergo.2005.07.001