

José Francisco Muñoz Villalba

Diseño y validación de una
herramienta predictiva de
accidentes laborales en las obras
de construcción

Departamento

Ingeniería de Diseño y Fabricación

Director/es

LIDÓN LÓPEZ, IVÁN
REBOLLAR RUBIO, RUBÉN

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



Reconocimiento – NoComercial – SinObraDerivada (by-nc-nd): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

© Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



Universidad
Zaragoza

Tesis Doctora

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PREDICTIVA DE ACCIDENTES LABORALES EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Autor

José Francisco Muñoz Villalba

Director/es

LIDÓN LÓPEZ, IVÁN
REBOLLAR RUBIO, RUBÉN

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Ingeniería de Diseño y Fabricación

2018

TESIS DOCTORAL

Diseño y validación de una herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción

José Fco. Muñoz Villalba

Dirigida por

Doctor Iván Lidón López
Doctor Rubén Rebollar Rubio

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

Julio 2018



Universidad
Zaragoza



Tesis Doctoral



Universidad
Zaragoza

Diseño y validación de una herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción

José Fco. Muñoz Villalba

Ingeniero Industrial por la Universidad de Zaragoza

Dirigida por

Doctor Iván Lidón López

Doctor Rubén Rebollar Rubio

Para la obtención del Grado de Doctor
por la Universidad de Zaragoza

Julio 2018

A José Luis (†) y Chus, lección de vida y amor.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a Iván Lidón, Rubén Rebollar y Juan Luis Cano, Doctores Ingenieros del Área de Proyectos de la Universidad de Zaragoza, por haberme guiado y asesorado en este gran desafío que ha sido mi Tesis Doctoral. Ellos me han enseñado a cuestionarme planteamientos que consideraba firmes, abriendo caminos hacia nuevos y difíciles retos, a la vez que me animaban a seguir adelante. Gracias también a Javier Martín, Doctor en Biología del Instituto de Investigación Biomédica de Salamanca, por ayudarme a descubrir posibilidades de la estadística que desconocía hasta ahora.

Gracias a IDOM, empresa que me ha dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, y a las personas de IDOM por ayudarme a hacer el trabajo de campo en el que basar esta tesis. Aquí culmina un camino comenzado allá por el año 2005, con el interés en mejorar el nivel de la seguridad y salud en las obras en las que participaba IDOM. La fortuna de trabajar junto con otras personas con las que compartir inquietudes en materia de prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción, y de haber conocido proyectos de diferentes tipologías, tamaños y ubicaciones en España, me han llevado a implementar dentro de IDOM una serie de estandarizaciones de documentos y procedimientos de trabajo de seguridad y salud más allá de lo que marca la normativa.

Gracias a mis padres, José Antonio y María Jesús, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por haberme dado siempre la mejor formación y educación en todos los sentidos. Por tanto, también tienen su mérito en esta tesis. Mi padre no ha llegado por unos meses a tener en sus manos este trabajo, pero estoy seguro que igualmente está orgulloso del mismo.

Finalmente, gracias a mi esposa Sonia y a mis hijas María y Ana, por su apoyo, y por aceptar todo el tiempo de vida familiar que en pequeñas dosis les he ido robando para poder desarrollar esta tesis.

RESUMEN

La presente Tesis Doctoral tiene como objetivo el diseño y validación de una herramienta de uso sencillo que permita predecir la ocurrencia de accidentes laborales en las obras de construcción.

Para ello se ha comenzado por exponer la problemática actual de la accidentalidad en el sector de la construcción en España. Se continúa con la revisión de la literatura sobre las principales líneas de investigación que se están enfocando a la lucha contra esta siniestralidad.

A continuación, se presenta un análisis sobre la seguridad en 314 obras de construcción de diferente tipología, sector, tamaño y ubicación geográfica en España. Este análisis se realizó en tres tandas: 2006, 2008 y 2012.

A partir de los datos obtenidos en los años 2006 y 2008 se han establecido correlaciones existentes entre determinados aspectos (indicadores adelantados y retrasados) de la seguridad en las obras de construcción y la existencia o no de accidentes, tanto leves como graves. Con estas correlaciones, a las que se llega tanto por regresión logística como por árboles de regresión, se construye la herramienta predictiva. Esta herramienta se valida con los datos obtenidos con las obras estudiadas en el año 2012.

Como resultado de esta Tesis Doctoral se ha conseguido un cuestionario sencillo y rápido de cumplimentar con una capacidad predictiva alta, del 85,0% para accidentes leves y un 82,8% para accidentes graves.

Indice

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	La situación de la prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción en España.....	3
1.1.1.	Evolución histórica de la prevención de riesgos laborales en el mundo.....	3
1.1.2.	Evolución histórica de la prevención de riesgos laborales en España.....	7
1.1.3.	La evolución normativa en materia de prevención de riesgos laborales en España para el sector de la construcción.....	9
1.2.	Objetivo de la tesis.....	13
1.3.	Estructura de la tesis.....	15
1.4.	Producción científica	17
2.	ESTADO DEL ARTE	19
2.1.	Los agentes intervinientes en la seguridad de la construcción.....	21
2.2.	Los accidentes laborales en la construcción.....	30
2.2.1.	Consideraciones previas sobre los accidentes: definiciones y metodología de las estadísticas.	30
2.2.1.1.	Sobre las estadísticas del Ministerio de Empleo y Seguridad Social sobre accidentes	30
2.2.1.2.	Definición de accidente. Distinción entre accidente leve y accidente grave	36
2.2.2.	Evolución histórica de los accidentes en la construcción en España	40
2.2.3.	Relación de la crisis en la construcción y la accidentalidad.....	44
2.3.	La investigación en materia de prevención de riesgos laborales y accidentes laborales en la construcción	54
2.4.	Los indicadores de seguridad	57
2.4.1.	Los indicadores retrasados ("lagging indicators").....	57
2.4.2.	Los indicadores adelantados ("leading indicators").....	58
2.4.3.	Relación entre indicadores adelantados e indicadores retrasados.....	60
2.5.	Herramientas predictivas existentes	64
3.	DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PREDICTIVA DE ACCIDENTES LABORALES	69
3.1.	Estudio de las condiciones de seguridad de las obras en las que participa la empresa IDOM.....	72
3.1.1.	Contexto del estudio	72
3.1.2.	Obras analizadas	74
3.1.3.	La encuesta.....	76

3.1.4.	Procedimiento y análisis de datos.....	77
3.1.4.1.	Valoración del nivel de seguridad de la obra.....	78
3.1.4.2.	Valoración del cumplimiento de cada item de la encuesta.....	80
3.1.5.	Resultados.....	81
3.1.5.1.	Resultados respecto al nivel de seguridad de las obras.....	81
3.1.5.2.	Evolución de los resultados.....	81
3.1.5.3.	Planes de mejora.....	83
3.2.	Diseño de la herramienta predictiva.....	86
3.2.1.	Consideraciones estadísticas previas.....	86
3.2.1.1.	La regresión logística.....	87
3.2.1.2.	Los árboles de regresión y clasificación.....	92
3.2.2.	Modelo predictivo a partir del método de regresión logística.....	94
3.2.2.1.	Creación del modelo para accidentes leves.....	94
3.2.2.2.	Creación del modelo para accidentes graves.....	96
3.2.2.3.	Validación del modelo para accidentes leves.....	97
3.2.2.4.	Validación del modelo para accidentes graves.....	98
3.2.3.	Modelo predictivo a partir de los árboles de regresión (modelo CART).....	99
3.2.3.1.	Creación del modelo para accidentes leves.....	99
3.2.3.2.	Creación del modelo para accidentes graves.....	101
3.2.3.3.	Validación del modelo para accidentes leves.....	102
3.2.3.4.	Validación del modelo para accidentes graves.....	103
3.3.	Herramienta predictiva resultante.....	104
3.3.1.	Análisis de las preguntas que forman el cuestionario predictivo.....	104
3.3.2.	Procedimiento propuesto para el uso de la herramienta predictiva.....	108
4.	DISCUSIÓN.....	111
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	117
6.	REFERENCIAS.....	121

Índice de tablas

Tabla 1. Cifras de la accidentalidad e índices de incidencia en el periodo 2002-2016

Tabla 2. Evolución de algunos indicadores socioeconómicos en el periodo 2002-2016

Tabla 3. Clasificación de obras por zona geográfica

Tabla 4. Clasificación de obras por sector

Tabla 5. Cuestiones de la encuesta

Tabla 6. Evolución del número de obras "aceptables en materia de seguridad"

Tabla 7. Evolución de los resultados de cada ítem de la encuesta

Tabla 8. Tabla de contingencia

Tabla 9. Relación de variables que forman parte del modelo para accidentes leves

Tabla 10. Resultados del modelo para accidentes leves en los años 2006 y 2008

Tabla 11. Relación de variables que forman parte del modelo para accidentes graves

Tabla 12. Resultados del modelo para accidentes graves en los años 2006 y 2008

Tabla 13. Validación del modelo para accidentes leves en el año 2012

Tabla 14. Validación del modelo para accidentes graves en el año 2012

Tabla 15. Resultados del modelo para accidentes leves en los años 2006 y 2008

Tabla 16. Resultados del modelo para accidentes graves en los años 2006 y 2008

Tabla 17. Validación del modelo para accidentes leves en el año 2012

Tabla 18. Validación del modelo para accidentes graves en el año 2012

Índice de figuras

Figura 1. Estela donde se hallan grabadas las 282 leyes del Código de Hammurabi

Figura 2. Portada del libro "De Materia Médica", de Dioscórides

Figura 3. Retrato de Bernardino Ramazzini

Figura 4. Mejoras en el desempeño de seguridad desde los años 60

Figura 5. El Monasterio del Escorial en Obras

Figura 6. Cuadro del albañil herido, de Francisco de Goya

Figura 7. Fases de desarrollo de la tesis

Figura 8. Principales agentes intervinientes en la seguridad de la obra de construcción en fase de proyecto y en fase de ejecución

Figura 9. Parte de Accidente de Trabajo de la Orden TAS2926/2002

Figura 10. Extracto del Parte de Accidente de Trabajo con el apartado de datos asistenciales.

Figura 11. Ejemplo de parte médico de baja emitido por la mutua de accidentes

Figura 12. Fase I del desarrollo de la tesis

Figura 13. Pirámide de Heinrich

Figura 14. Evolución de la accidentalidad en el periodo 2002-2016

Figura 15. Evolución de los índices de incidencia en el periodo 2002-2016

Figura 16. Evolución de algunos indicadores económicos en el periodo 2002-2016

Figura 17. Evolución de indicadores de la construcción en el periodo 2002-2016

Figura 18. Evolución de personas ocupadas en el periodo 2002-2016

Figura 19. Gráficas normalizadas de la evolución de indicadores económicos en el periodo 2002-2016

Figura 20. Gráficas normalizadas de la evolución de número de ocupados y de accidentes laborales, en el conjunto de sectores y en el sector de la construcción en el periodo 2002-2016

Figura 21. Fase II del desarrollo de la tesis

Figura 22. Localización en número de las obras analizadas por zonas

Figura 23. Distribución de obras por especialidad técnica

Figura 24. Fase III del desarrollo de la tesis

Figura 25. Representación del ajuste lineal y logístico en la situación donde la variable dependientes es dicotómica

Figura 26. Árbol de regresión para más de cinco accidentes leves en los años 2006 y 2008

Figura 27. Árbol de regresión para accidentes graves en los años 2006 y 2008

Figura 28. Cuestionario predictivo resultante

Figura 29. Situaciones con uso incorrecto de EPIs

Figura 30. Usos diferentes de andamio y plataforma elevadora

Figura 31. Obra con zonas de riesgo de caídas y golpes protegidas

Figura 32. Situaciones de obras en deficiente estado de orden y limpieza

Glosario

EPI	Equipo de Protección Individual
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
ISO	International Organization for Standardization
LOE	Ley de Ordenación de la Edificación
OCA	Organismo Colaborador de la Administración
OCT	Organismo de Control Técnico
OECT	Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA SITUACIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA

1.1.1. Evolución histórica de la prevención de riesgos laborales en el mundo.

La prevención de riesgos se dio a nivel individual tan pronto como el género humano tuvo consciencia de los riesgos con los que convivía. Pero, para hablar de prevención de riesgos laborales, ya es necesario dar un salto en la historia de la humanidad hasta las épocas en que la prevención de riesgos laborales comenzó a formar parte de la cultura, la sociedad, la economía y también de la política.

Uno de los primeros testimonios escritos en relación a este aspecto se puede encontrar en el código de Hammurabi (año 1.700 A.C.), de la época de la antigua Babilonia, donde se indica que cuando un trabajador sufra una lesión como consecuencia de un descuido o negligencia de su capataz, entonces éste debería ser castigado sufriendo la misma lesión, de forma que los dos daños quedaran equiparados (Bird y Germain, 1990).



Figura 1. Estela donde se hallan grabadas las 282 leyes del Código de Hammurabi. En la parte superior el rey Hammurabi (en pie) recibe las leyes de manos del dios Shamash. La estela fue encontrada en Susa, a donde fue llevada como botín de guerra en el año 1200 a. C. por el rey de Elam Shutruk-Nakhunte. Actualmente se conserva en el Museo del Louvre (París)

Hipócrates, en el siglo V a.C. describe el cólico saturnino como parte de la intoxicación por plomo, así como otras enfermedades de los mineros. Posteriormente Dioscórides, en el siglo I, escribió sobre cómo los trabajadores que manejaban el óxido de plomo y los mismos mineros estaban expuestos "a un vapor tan maligno que ahoga" y que "se cubren las caras con ciertas vejigas "para mirar por ellas, sin atraer el aire dañoso" (Zaragoza, 1971).

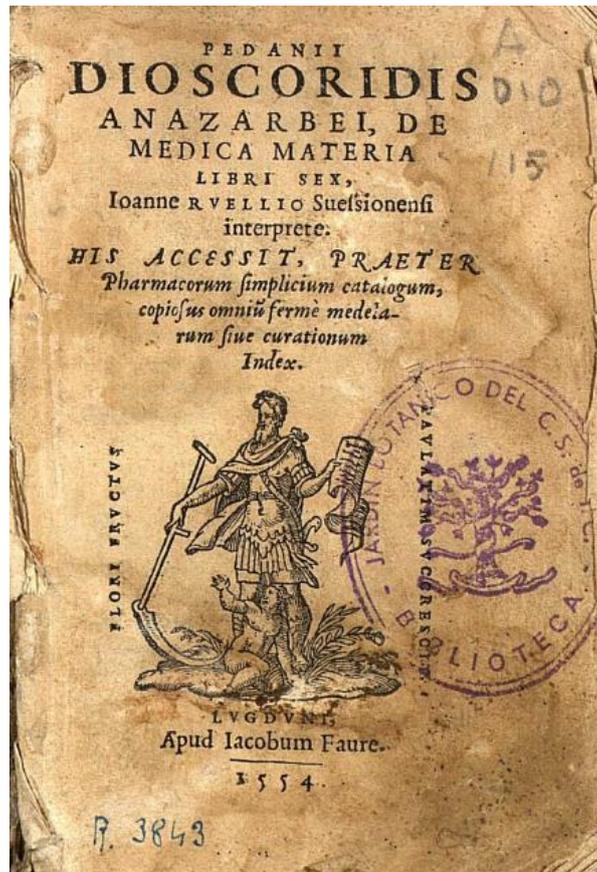


Figura 2. Portada del libro "De Materia Médica". Pedanios Dioscorides de Anazarba, que vivió aproximadamente en el tiempo de Nerón (siglo I d. C.), escribió una amplia obra de 6 volúmenes, De Materia Médica. Se trata de un importante trabajo en el que se reúne todo el saber fitoterapéutico de la época, y cuya influencia dominó hasta el Renacimiento. Biblioteca Nacional de España

En el año 1700, el médico italiano Bernardino Ramazzini escribió "De morbis artificum diatriba", el primer libro importante sobre las enfermedades profesionales y la higiene industrial. Por ello Ramazzini es considerado como el fundador de la medicina en el trabajo.



Figura 3. Retrato de Bernardino Ramazzini, considerado como el padre de la medicina ocupacional y de la higiene industrial. New York Academy of Medicine

Pero el gran avance de la seguridad laboral se dio durante la Revolución Industrial, a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, cuando aparecieron unos riesgos totalmente nuevos para aquella sociedad. El aumento de la producción, debido a la aparición de nuevas maquinarias y la puesta en práctica de nuevos procesos industriales, tuvo como contrapartida el drástico aumento de los riesgos a los que los trabajadores estaban expuestos en su jornada laboral. Esto provocó que la accidentalidad laboral creciese de forma alarmante y, como consecuencia, motivó el desarrollo del concepto actual de seguridad laboral. Así por ejemplo, en algunas ciudades industriales de Gran Bretaña a principios del siglo XX, no era raro ver en la calle a personas mutiladas. A partir de entonces, las preocupaciones de los directivos de las empresas para reducir los accidentes laborales van evolucionando desde evitar los daños a las instalaciones y pérdidas de producción, a la prevención de los riesgos laborales centrados en las personas (Heinrich, 1950).

Desde entonces se han ido dando mejoras de los niveles de seguridad en diferentes etapas. A partir de los años 60 la atención se centró en los temas técnicos (redes de seguridad, etc.), en los años 70 se comenzó a tratar el factor humano incluyendo los errores humanos, en los años 80 el foco se puso en la gestión de las organizaciones, y en los años 90 se desarrollaron sistemas de gestión de prevención de riesgos laborales (Visser, 1995). A este modelo se añadió

otra fase más, a partir del nuevo milenio, incluyendo la cultura de seguridad (Knegtering y Pasman, 2009), tal y como muestra la Figura 4.

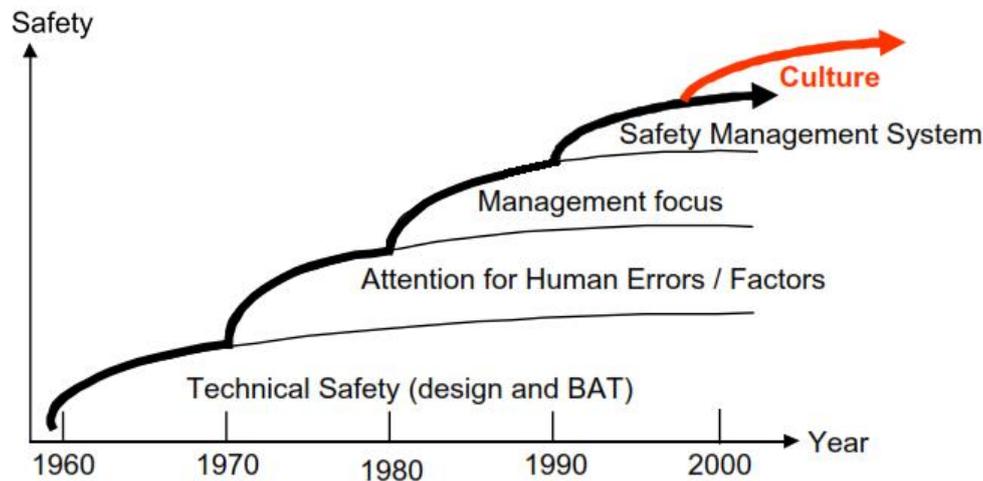


Figura 4. Mejoras en el desempeño de seguridad desde los años 60, adaptación de Knegtering y Pasman (2009) sobre el planteamiento original de Visser (1995)

En cuanto a la consideración sobre las causas de los accidentes, con el paso del tiempo, la ocurrencia de accidentes ha pasado de ser considerada un fenómeno aleatorio (Greenwood y Woods, 1919) a ser el resultado de la combinación de una serie de factores determinables y en su mayor parte controlables; con un elevado número de fuentes, tanto a nivel individual como a nivel organizacional (Bird y Germain, 1990).

En definitiva, la seguridad y salud en el trabajo es un área prioritaria para los responsables políticos, los directivos de las empresas y los trabajadores. Las lesiones provocadas por accidentes laborales y las enfermedades profesionales son origen de costos significativos para las empresas y además repercuten en la vida familiar y social de las personas (Battaglia et al., 2015; Lebeau et al., 2014).

En el sector de la construcción, la seguridad y salud siempre se ha considerado con especial atención, debido sobre todo al elevado número de accidentes (Hallowell, 2012; Pellicer et al., 2014). Estos accidentes, además de afectar trágicamente a las familias de los trabajadores (Hinze, 2002), también suponen pérdidas económicas para las empresas constructoras (Waehrer et al., 2007, Pellicer et al., 2014). Por tanto, se hacen necesarias actuaciones de cualquier tipo que ayuden a reducir accidentes de trabajo en la industria de la construcción.

1.1.2. Evolución histórica de la prevención de riesgos laborales en España.

Una de las primeras normas preventivas españolas que se conocen en relación con establecimientos industriales, aunque estaban pensadas más para la ciudadanía que para los propios trabajadores, es una ordenanza municipal de Barcelona del año 1324 que prohibía los hornos de vidrio dentro de la ciudad, para evitar los riesgos que ello podía suponer para los vecinos de los hornos (Capmany, 2003).

Pocos años después, en 1359, una disposición de Pedro IV de Aragón, obligaba la presencia de médico en los navíos de guerra (de Francisco, 2006).

En el sector de la construcción se tiene constancia de las recomendaciones sobre la vigilancia y control de las condiciones de trabajo de los obreros que participaban en la construcción del monasterio de San Lorenzo de El Escorial, ligadas a la aparición del primer hospital para trabajadores en España, el Hospital Real de Laborantes de El Escorial, que funcionó entre 1563 y 1599 (Maganto, 1992).

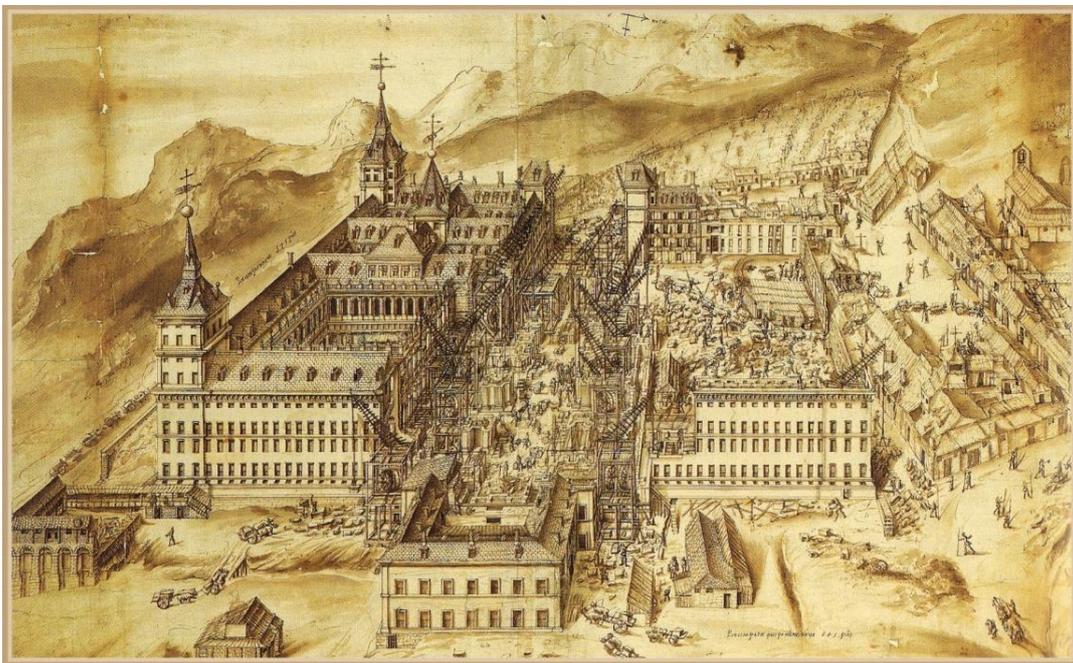


Figura 5. El Monasterio del Escorial en Obras, Dibujo atribuido a Fabrizio Castello o Rodrigo de Holanda, Colección del Marqués de Salisbury, Hatfield House, Londres

En el siglo XVII en España comienza a aparecer normativa en materia de prevención de riesgos laborales en la construcción. Así, en 1725, aparece una Instrucción a los Alcaldes de Casa y

Corte para que los maestros de obra cuiden que en casas y balcones los andamios y maromas tuviesen la seguridad adecuada para que *"no sucedan desgracias"* (Archivo Histórico Nacional; Sala de Alcaldes de Casa y Corte, 1725). La misma sala de Alcaldes de Casa y Corte dictó otra orden en 1728, para que *"en evitación de desgracias"* se pusiesen brocados en los pozos de los tejares. En 1763 se dicta una Orden sobre el modo de poner canalones en los tejados con motivos de un accidente mortal sufrido por un aprendiz de vidriero. En 1782 se publica una instrucción más completa que la de 1725, sobre el modo *"de formar andamios en las obras públicas y privadas de la Corte para evitar las desgracias y muertes de operarios, y orden de proceder los jueces en estos casos ..."*. Estas primeras disposiciones preventivas sobre los oficios de Madrid giraron exclusivamente alrededor del trabajo de la construcción que siempre ha tenido un protagonismo especial tanto en siniestralidad como en productividad económica.

De alguna forma, a partir de esta época, la sociedad comenzó a concienciarse y ello dio lugar a que fueran apareciendo leyes protectoras de la salud. Goya, considerado por muchos como un precursor de la "pintura social", ya destaca en alguna de sus obras la falta de seguridad en el trabajo. En la pintura "El albañil herido" (Figura 6) se puede ver una escena en la que dos personas trasladan en brazos a un tercero herido. En el fondo del cuadro aparece una estructura de madera, lo que hace pensar que el herido puede haberse caído de un andamio.



Figura 6. Cuadro del albañil herido, de Francisco de Goya. Pintado entre 1786-1788. Museo del Prado, Madrid

En la mitad del siglo XIX surgen en España los primeros profesionales preventivos. En la revista quincenal (1858-1864) "Monitor de la Salud", dirigida y escrita por Pedro Felipe Monlau i Roca, se recogen los "Consejos higiénicos e instrucciones sanitarias para todos los empleados de la Compañía de los ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y a Alicante", redactados por el jefe médico de los servicios sanitarios de la Compañía (Carrión, 1861). Este documento atestigua, a mediados del siglo XIX, la existencia en los ferrocarriles españoles de un servicio de medicina de empresa, al margen de cualquier normativa gubernamental.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX aparecen los primeros estudios de siniestralidad, a pesar de las limitaciones que había para la recopilación de información sobre accidentes laborales. Mientras que el índice de mortalidad por 1.000 habitantes en España para 1892 era de un 31,7, Francia tenía un 24,8 y Gran Bretaña 19,1 (García, 1992). El sector de la construcción madrileña experimentó en esa época un tremendo aumento de la siniestralidad. Según datos de Justin Byrne, el umbral de mayor siniestralidad en la construcción madrileña se dio en el periodo comprendido entre 1904 y 1905, con índices de mortalidad del 38,13, que incluso entre 1914 y 1915 superaron el 45 por mil. (Byrne, 1992).

En el siglo XX ya surgen las disposiciones legales de ámbito nacional sobre prevención de riesgos laborales en la construcción.

1.1.3. La evolución normativa en materia de prevención de riesgos laborales en España para el sector de la construcción

La Ley de 30 de Enero de 1900 sobre Accidentes de Trabajo institucionaliza el diseño asistencial-reparador que de alguna forma había hegemonizado toda la práctica empresarial y administrativa hasta el momento. Hay que tener en cuenta que la información documental de la época sobre la estadística de siniestralidad no es mucha, con el agravante de que *"...los datos estadísticos de enfermedades profesionales también son a veces inexactos, por olvido o por ocultación fraudulenta..."* (Dantín 1940).

Por el Decreto de 23 de Agosto de 1934 se crea la Inspección Médica del Trabajo (órgano técnico para la prevención de enfermedades profesionales y accidentes de trabajo).

El Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobado por Orden del Ministerio de Trabajo de 31 de Enero de 1940, tiene la intención de *"tratar eficazmente de que el accidente no tenga lugar o, cuando menos, disminuir su número y gravedad mediante una intensa labor preventiva, en la que deberán intervenir todos cuantos tienen relación con este problema y que el Estado habrá de dirigir y orientar mediante normas y reglamentos adecuados"*.

Un desarrollo del Reglamento General anterior es la Orden del Ministerio de Trabajo de 20 de Mayo de 1952, por la que se aprueba el Reglamento de Seguridad del Trabajo en la Industria de la Construcción.

En 1944, por Decreto de 7 de Julio, se crea el Instituto Nacional de Medicina, Higiene y Seguridad del Trabajo, de acuerdo con las conclusiones del Congreso de Medicina y Seguridad en el Trabajo celebrado en Bilbao en el mes de Agosto del año anterior.

El Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de 31 de Enero de 1940 (BOE de 3 de Febrero), es derogado por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de 9 de Marzo de 1971.

El "Reglamento de Seguridad en el Trabajo en la Construcción", de 20 de Mayo de 1952 (BOE de 15 de Junio), en un sector especialmente azotado por la siniestralidad laboral, fue absorbido e incorporado literalmente a la posterior Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica, de 28 de Agosto de 1970 (BOE de 9 de Septiembre).

El Real Decreto 36-1978, de 16 de Noviembre, de "Gestión Institucional de la Seguridad Social, la salud y el empleo" (BOE de 18 de Noviembre) se crea el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (que con la vigente Ley 31-1995 se pasaría a llamar Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

En cuanto al sector de la construcción en España, uno de estos periodos de impulso de la prevención ha tenido lugar desde la aprobación de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (transposición de la Directiva 89/391/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1989) y del Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción (transposición de la Directiva 92/57/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1992).

Como antecedente de la normativa española a este Real Decreto 1627/1997, se puede citar el Decreto 555/1986, de 21 de Febrero, por el que se implanta la obligatoriedad de incluir un estudio de seguridad e higiene en el trabajo en los proyectos de edificación y obras públicas. Este último Decreto fue modificado por el Real Decreto 84/1990, de 19 de Enero, por el que se integra en la dirección de la obra la sistematización, planificación y seguimiento de la seguridad, a través del Arquitecto Técnico que se ocupará de la misma dentro de la dirección facultativa, para lo que habrá de dotársele de los medios legales precisos que le permitan disponer la paralización de la obra, total o parcialmente, cuando no se cumplan, por quien corresponda hacerlo, las medidas de seguridad prescritas, dando cuenta a las autoridades competentes. Estos documentos son significativos porque por primera vez abordan la necesidad de desarrollar una planificación preventiva que sea específica para cada obra.

El Real Decreto 1627/1997 ha sido modificado en cuatro ocasiones hasta la fecha. Su anexo IV se modificó por el Real Decreto 2177/2004, de 12 de Noviembre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura. Se añadió una disposición adicional única, por Real Decreto 604/2006, de 19 de Mayo, sobre la presencia de recursos preventivos en obras de construcción. Se modificaron los artículos 13.4 (sobre anotaciones en el libro de incidencias) y 18.2 (sobre el aviso previo) por Real Decreto 1109/2007, de 24 de Agosto. Se derogó el artículo 18 (sobre el aviso previo) y se modificó el artículo 19.1 (sobre comunicación de apertura del centro de trabajo), por Real Decreto 337/2010, de 19 de Marzo.

Este desarrollo normativo de los últimos veinte años ha llevado a un importante empuje de la prevención de riesgos laborales en España, con una importante implicación de las empresas y sus trabajadores, los trabajadores autónomos, las Administraciones Públicas, las organizaciones empresariales, los sindicatos, y el resto de organizaciones y profesionales relacionados con la construcción.

Sin embargo, los logros en materia de prevención de riesgos laborales se encuentran todavía lejos de cumplir las expectativas que generó en su momento la aprobación de la Ley 31/1995 y del Real Decreto 1627/1997. Los índices de siniestralidad laboral en el Sector de la Construcción en España dan muestra de ello. Así por ejemplo, en los últimos años hay unos datos que se repiten, por ejemplo:

- uno de cada tres accidentes laborales mortales se produce en la construcción,
- el índice de incidencia en la construcción es más del doble que el índice de incidencia del conjunto de sectores (índice de incidencia es el número de accidentes por cada 100.000 trabajadores).

Estos accidentes tienen un gran coste para la persona, para la empresa y para la sociedad en general (Muñoz, 2011).

Por tanto, es necesario seguir trabajando en todos los frentes: técnico, normativo, gestión, cultural, formativo, etc. En esta línea, la investigación presentada en esta tesis propone una herramienta predictiva para evitar los accidentes laborales en la construcción.

Los dos indicadores que muestran el nivel de desarrollo de una empresa y de una sociedad son la capacidad de adelantarse al futuro (planificando en el presente el medio y largo plazo), y la capacidad de reaccionar ante situaciones inesperadas pero que de alguna forma fueron consideradas como probables. Esta tesis pretende hacer una contribución a este segundo indicador, intentando ayudar a la prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción.

1.2. OBJETIVO DE LA TESIS

El objetivo de la tesis es el diseño y validación de una herramienta predictiva de ocurrencia de accidentes leves y graves en una obra, basado en una serie de indicadores adelantados fáciles de obtener por cualquier persona relacionada, directa o indirectamente, con la obra, y con responsabilidad en materia de prevención de riesgos laborales.

Como objetivos secundarios de la tesis están:

- Revisión de la literatura sobre investigación en materia de prevención de riesgos laborales y accidentes laborales en la construcción.
- Estudio de la siniestralidad laboral en el sector de la construcción en España.
- Diseño de un cuestionario de análisis del nivel de seguridad de una obra.
- Estudio de las condiciones de seguridad de las obras de una empresa.
- Estudio de los indicadores adelantados y retrasados de seguridad en la construcción.
- Análisis de herramientas que utilizan indicadores adelantados y retrasados en materia de seguridad laboral.
- Diseño de un cuestionario predictivo de accidentes laborales en base a obras analizadas.
- Validación del cuestionario con otro conjunto de obras diferente.

Tras presentar los objetivos, para la consecución de los mismos, se plantea una estrategia por fases, tal y como se muestra en la Figura 7, resaltando a lo largo del documento la fase en la tesis en la que se encuentra el lector.

En la primera fase se estudia la evolución histórica de los accidentes en el sector de la construcción en España. De aquí surge la necesidad de trabajar en nuevas técnicas y herramientas que contribuyan a la disminución de la siniestralidad laboral en este sector.

En esta línea de nuevas técnicas y herramientas, en la segunda fase se plantea una encuesta que mide las condiciones y el nivel de seguridad de un conjunto de obras. Con las conclusiones de esta encuesta se pueden adoptar una serie de medidas con el objeto de ir mejorando el nivel de seguridad. Sin embargo, aunque los resultados son positivos, las medidas adoptadas son de carácter reactivo. Interesa, por tanto, una herramienta con carácter predictivo.

Finalmente, en la tercera fase, se determinan correlaciones estadísticamente significativas que existen entre indicadores adelantados (leading indicators) y retrasados (lagging indicators) de la encuesta anterior, de forma que se llega a confeccionar un cuestionario predictivo de la posibilidad de ocurrencia de accidentes laborales en las obras de construcción en las que se aplica, siendo un cuestionario sencillo y rápido de cumplimentar. Finalmente el cuestionario se valida con los datos de otras obras revisadas con posterioridad.



Figura 7. Fases de desarrollo de la tesis

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS

Tras haber planteado el **CAPÍTULO 1** a modo de **Introducción**, el presente trabajo se estructura en otros cinco capítulos:

CAPÍTULO 2: Estado del arte. En este capítulo se presentan los actores principales de las obras de construcción, desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales, con sus obligaciones normativas, y sus intereses. Se expone la problemática actual en materia de prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción en España, en forma de datos de accidentalidad. Ante esta problemática se resumen las principales líneas de investigación de los últimos años en materia de accidentalidad en el sector de la construcción, desarrollando aquellas que se centran en los indicadores adelantados ("leading indicators").

CAPÍTULO 3: Cuestionario predictivo. Se divide en tres partes diferenciadas: la encuesta previa, el diseño de la herramienta, y la validación de la misma.

Encuesta previa. En esta parte se expone una revisión del nivel de seguridad y salud en 314 obras de construcción de diferente tipología, sector y tamaño, y distribuidas por toda España, en tres fases con varios años de decalaje entre ellas. Los resultados obtenidos y las mejoras implementadas en cada caso llevaron a disminuir notablemente la accidentalidad de las obras en las que la empresa participaba.

Diseño de la herramienta predictiva. Más allá de determinar el nivel de seguridad, de la encuesta utilizada en esta revisión y los resultados de los años 2006 y 2008, se estudian las correlaciones entre las diferentes cuestiones de forma que se detectan aquellas que permiten adelantar con mayor probabilidad la ocurrencia de accidentes laborales. Estas correlaciones se establecen por mediante la regresión logística y los árboles de regresión, dos métodos diferentes por los que se llega a la misma conclusión. Por ello el cuestionario utilizado y la metodología empleada constituyen una herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción.

Validación de la herramienta predictiva. La herramienta predictiva diseñada en base a la encuesta y los datos obtenidos de ella en los años 2006 y 2008, se valida con los datos obtenidos en el año 2012.

CAPÍTULO 4: Discusión. En este capítulo se sitúa la herramienta dentro de todas las herramientas estudiadas en el estado del arte, y se discuten los resultados obtenidos. Igualmente se reconocen las debilidades y fortalezas del modelo planteado, así como la contribución final de la herramienta para responder al problema de la accidentalidad en la construcción.

CAPÍTULO 5: Conclusiones y trabajo futuro. En este capítulo se recogen las principales conclusiones sobre los objetivos planteados y que se han obtenido a lo largo del presente trabajo. Igualmente se plantean recomendaciones y propuestas de futuras líneas de investigación que puedan surgir para dar continuidad a este trabajo.

CAPÍTULO 6: Referencias. Este capítulo contiene el resultado de la investigación bibliográfica que se ha llevado a cabo. Consta en gran parte de artículos analizados, y también de libros consultados y páginas web referenciadas.

1.4. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Esta tesis doctoral ha dado como resultado las siguientes publicaciones científicas:

- “Diseño de una herramienta para la evaluación de la seguridad laboral en las obras”, DOI <http://dx.doi.org/10.6036/7769>. Revista DYNA, año 91, nº4, Julio-Agosto 2016, pp 402-405.



colaboración

Diseño de una herramienta para la evaluación de la seguridad laboral en obras

José Francisco Muñoz¹, Iván Lidón², Rubén Rebollar¹, Juan Luis Cano¹
¹ IDOM (España)
² Universidad de Zaragoza (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7769>

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la prevención de riesgos laborales en España ha experimentado un significativo avance en el sector de la construcción, sin embargo, los logros alcanzados se encuentran lejos de cumplir las expectativas que generó la aprobación

dando más importancia a la fase de diseño, más protagonismo al cliente y fortaleciendo la cultura preventiva [6].

A pesar de lo anterior, en la literatura se echan en falta herramientas prácticas que permitan la evaluación de la seguridad en obras. Si bien se pueden encontrar numerosos “check-lists”, ninguno de ellos cuenta con un reconocimiento oficial o académico, y además los resultados que ofrecen se utilizan, como mucho, como fuente de datos a efectos estadísticos, o para adoptar acciones correctivas aisladas.

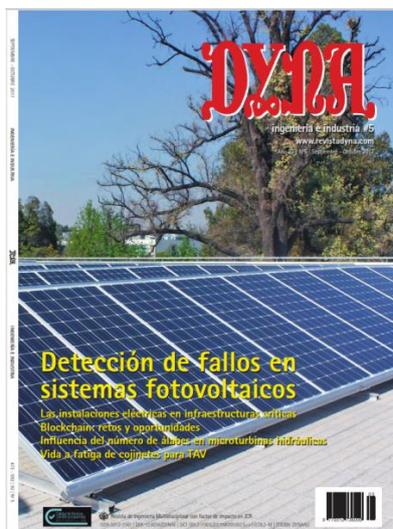
El objetivo de este artículo es presentar el proceso de desarrollo y los resulta-

empresa constructora, si que interviene de forma decisiva en el desarrollo de las obras, a través de la elaboración de proyectos y dirección de obra.

Esta empresa, con más de 50 años de historia, emplea actualmente a más de 2.500 profesionales de los que un 80% son ingenieros y arquitectos. En el año 2014 contaba con 38 oficinas permanentes repartidas en 20 países distintos y realizó proyectos en 122 países, con una facturación de 250 millones de euros. El 80% de la actividad de la compañía se realiza fuera de España, no obstante el trabajo que se recoge en este artículo se circunscribe únicamente al territorio nacional.

La empresa suele tener unas bajas tasas de accidentalidad: en el año 2005,

- “Relación entre la crisis de la construcción y la accidentalidad de las obras en España (periodo 2002-2015”, DOI <http://dx.doi.org/10.6036/8210>. Revista DYNA, año 92, nº5, Septiembre-Octubre 2017, pp 513-516.



colaboración

Relación entre la crisis de la construcción y la accidentalidad de las obras en España (periodo 2002-2015)

The relationship between the construction sector crisis and their accident rates in Spain (period 2002-2015)

José-Francisco Muñoz-Villalba¹, Iván Lidón², Rubén Rebollar¹
¹ IDOM (España)
² Universidad de Zaragoza (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8210>

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de los accidentes laborales en el sector de la construcción se ve reflejada en los numerosos artículos y publicaciones que han aparecido en la literatura en los últimos años. Se pueden encontrar estudios sobre cómo han evolu-

del siglo actual, una serie de indicadores económicos (escasez de créditos, quiebra de empresas promotoras y constructoras, caída del precio de la vivienda, etc.) evidenciaron el rápido deterioro de la industria de la construcción en España, sin olvidar que aquellos acontecimientos estaban ocurriendo en el contexto de una crisis económica mundial. Es por ello que los conceptos “crisis económica” y “sector de la construcción” casi siempre han ido de la mano en los últimos años, ya que es comúnmente aceptado que el sector de la construcción ha sido uno de los sectores más castigados por la actual crisis. Y a la

cioeconómicos y de accidentalidad en la construcción, así como su evolución en el tiempo en los últimos años (periodo 2002-2015), con el objeto de establecer la relación entre ellos mediante un análisis objetivo, y plantear un escenario de accidentalidad actual en un momento en que los indicadores socioeconómicos parece que marcan un cambio de tendencia.

2. FUENTES DE DATOS

Para interpretar el significado de la evolución de la siniestralidad laboral es importante considerar cuáles son las características del entorno económico y laboral. El periodo analizado es el comprendido entre el año 2002 y año 2015.

De los numerosos indicadores socioeconómicos que manejan los ministerios, bancos y otras instituciones, para este trabajo se han considerado unos indicadores de carácter general (producto interior bruto y personas ocupadas), así como otros re-

- “Diseño y validación de una herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción”. Revista DYNA (aprobado para próxima publicación).

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. LOS AGENTES INTERVINIENTES EN LA SEGURIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

Los agentes directamente intervinientes en una obra de construcción (definidos en el Real Decreto 1627/1997) son muchos, de variada naturaleza y con diferentes responsabilidades e intereses en cada una de las fases de la obra e incluso del proyecto previo. La correcta participación de todos ellos es necesaria para que cada obra se ejecute en las condiciones deseables desde el punto de vista preventivo y no se produzcan accidentes.

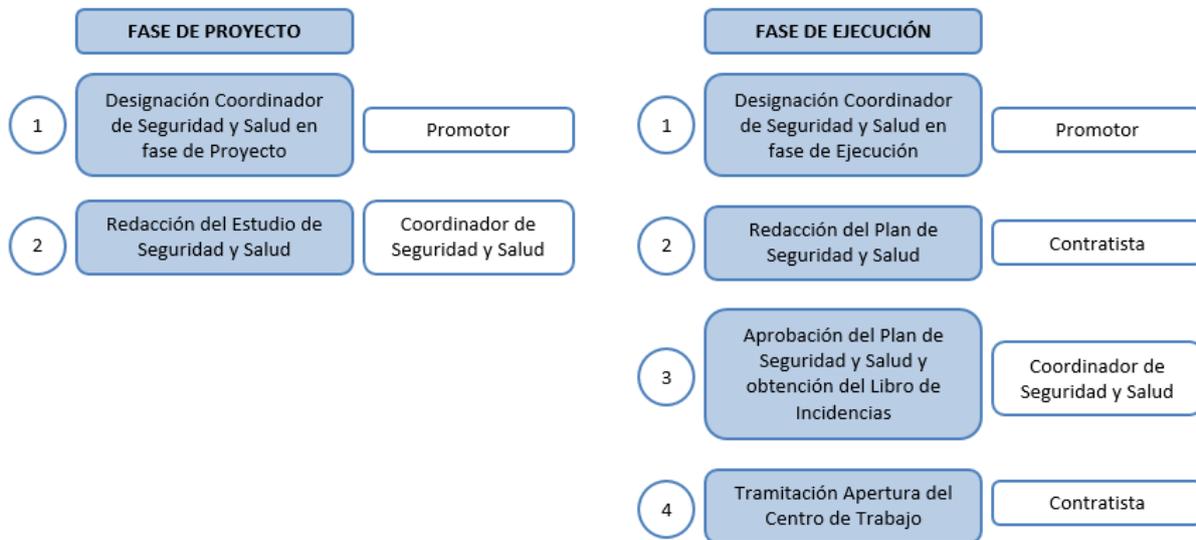


Figura 8. Principales agentes intervinientes en la seguridad de la obra de construcción en fase de proyecto y en fase de ejecución

Llevado el cumplimiento del Real Decreto 1627/1997 a la práctica, no debería haber problemas de seguridad y salud en las obras. Sin embargo, en muchas ocasiones, factores económicos y de plazos llevan a los agentes intervinientes a no considerar la seguridad de la obra como un aspecto fundamental. A continuación se exponen las obligaciones e intereses de cada uno de estos agentes.

- **El promotor**

El promotor es cualquier persona o empresa, pública o privada, por cuenta de la cual se realiza una obra.

El promotor está obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un estudio (o en su caso, estudio básico) de seguridad y salud en los proyectos de obras. Este documento

será elaborado por el técnico competente designado por el promotor. Cuando en la elaboración del proyecto de obra intervengan varios proyectistas, el promotor designará un coordinador en materia de seguridad y de salud durante la elaboración del proyecto de obra. De la misma forma, cuando en la ejecución de la obra intervenga más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, el promotor, antes del inicio de los trabajos o tan pronto como se constate dicha circunstancia, designará un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra. La designación de los coordinadores podrá recaer en la misma persona (el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de proyecto puede ser la misma persona que el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución) y en ningún caso eximirá al promotor de sus responsabilidades.

En la práctica, además de la ausencia de accidentes laborales, el principal interés del promotor es disponer de su obra finalizada en el menor tiempo y con la menor inversión posibles. Por otra parte, y aunque el promotor está interesado en que el proyecto se realice con el menor coste posible, también debe entender que la seguridad y salud en la obra tiene su coste, aplicado tanto en la contratación de la ejecución de la misma (contratistas), como en la contratación de quien va a coordinar su seguridad (coordinadores de seguridad en fase de ejecución).

- **El proyectista**

El proyectista es, por encargo del promotor, el autor del proyecto de la obra o una parte del mismo.

El proyectista debe incluir en el proyecto el Estudio de Seguridad y Salud, que debe recoger las medidas preventivas adecuadas a los riesgos que conlleve la realización de la obra. El proyectista debe tener en consideración los principios generales de prevención en materia de seguridad y salud en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto de obra.

Aunque el proyectista suele quedar olvidado en cuanto a responsabilidades preventivas, hay que rescatar una de las conclusiones del Informe Lorent (Lorent et al., 1989), que decía que el 35% de los accidentes laborales tienen su origen en la fase de proyecto.

En la práctica, además de la ausencia de accidentes laborales, el principal interés del proyectista es redactar un proyecto de ejecución consumiendo los menos recursos posibles, siempre que se ajuste al alcance que ha definido el promotor.

- **El Coordinador de Seguridad y de Salud durante la elaboración del proyecto de obra.**

Es el técnico competente designado por el promotor para coordinar, durante la fase del proyecto de obra, la aplicación de los principios generales de prevención en materia de seguridad y de salud que deberán ser tomados en consideración por el proyectista en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto de obra. Ello implica:

- tomar las decisiones constructivas, técnicas y de organización con el fin de planificar los distintos trabajos o fases de trabajo que se desarrollarán simultánea o sucesivamente;
- estimar la duración requerida para la ejecución de estos distintos trabajos o fases del trabajo.

En la práctica, además de la ausencia de accidentes laborales, el principal interés del Coordinador de Seguridad y Salud en fase de proyecto es que se redacte un Estudio de Seguridad y Salud adecuado al proyecto en cuestión, consumiendo los menos recursos posibles.

- **El Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución**

El Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución es el técnico designado por el promotor para llevar a cabo las tareas de:

- coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad,
- coordinar las actividades de la obra para garantizar que los participantes en la misma apliquen los principios de la acción preventiva,
- aprobar el Plan de Seguridad y Salud elaborado por el contratista,
- organizar la coordinación de actividades empresariales,
- coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

El principal interés del Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución es que no haya accidentes en la obra, optimizando su dedicación a cada obra. Para que el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución pueda realizar su trabajo es necesario que cuente con la adecuada formación tanto técnica como en materia de seguridad, conocimiento del proyecto, y suficiente dedicación a la obra. Con respecto a la formación técnica de los coordinadores, la disposición adicional cuarta de la LOE (Ley de Ordenación de la Edificación) señala que "las titulaciones académicas y profesionales habilitantes para desempeñar la función de Coordinador de Seguridad y Salud en obras de edificación, durante la elaboración del proyecto y la ejecución de la obra, serán las de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, de acuerdo con sus competencias y especialidades".

- **La Dirección Facultativa**

La Dirección Facultativa es el técnico o técnicos competentes designados por el promotor, encargados de la dirección y del control de la ejecución de la obra. Adicionalmente, cuando no sea necesaria la designación de un Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra, la aprobación del Plan de Seguridad y Salud corresponderá a la Dirección Facultativa (aunque son raros los casos, hay que tener en cuenta que la legislación establece que cuando en la ejecución de la obra no intervenga más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, el promotor no tiene la obligación de designar a un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra).

Hay que tener en cuenta que el proyecto que define la obra, contiene un Estudio de Seguridad y Salud, y por tanto al igual que la Dirección Facultativa dirige la obra de acuerdo con los criterios técnicos del proyecto, también la tiene que dirigir de acuerdo con los criterios de seguridad del Estudio de Seguridad y Salud.

En la práctica, además de la ausencia de accidentes laborales, el principal objetivo de la Dirección Facultativa es lograr que la obra se ejecute de acuerdo con el proyecto técnico sin que se produzcan desviaciones sensibles en plazo y coste.

- **El contratista y el subcontratista**

El contratista es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el promotor, con medios humanos y materiales, propios o ajenos, el compromiso de ejecutar la totalidad o parte

de las obras con sujeción al proyecto y al contrato. El subcontratista es la persona física o jurídica que asume contractualmente ante el contratista, empresario principal, el compromiso de realizar determinadas partes o instalaciones de la obra, con sujeción al proyecto por el que se rige su ejecución.

La primera tarea del contratista en materia de seguridad es la elaboración del Plan de Seguridad y Salud. Para ello debe completar el Estudio de Seguridad y Salud adaptándolo a su sistema de ejecución y completándolo adecuadamente. El Plan de Seguridad y Salud en el trabajo constituye el instrumento básico de ordenación de las actividades de identificación y, en su caso, evaluación de los riesgos y planificación de la actividad preventiva.

El contratista también debe analizar las posibles situaciones de emergencia y adoptar las medidas necesarias en materia de primeros auxilios, lucha contra incendios y evacuación de los trabajadores, designando para ello al personal encargado de poner en práctica estas medidas y comprobando periódicamente, en su caso, su correcto funcionamiento. Este personal debe poseer la formación necesaria, ser suficiente en número y disponer del material adecuado.

Las principales obligaciones de contratistas y subcontratistas en materia de prevención de riesgos laborales son:

- aplicar los principios de la acción preventiva,
- cumplir y hacer cumplir a su personal (propio o subcontratado) lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud,
- cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales,
- informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra
- atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra o, en su caso, de la dirección facultativa.

Los contratistas y los subcontratistas son responsables de la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el Plan de Seguridad y Salud en lo relativo a las obligaciones que les

correspondan a ellos directamente o, en su caso, a los trabajadores autónomos por ellos contratados. Además, los contratistas y los subcontratistas responden solidariamente de las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el plan.

Las responsabilidades de los coordinadores, de la dirección facultativa y del promotor no eximen de sus responsabilidades a los contratistas y a los subcontratistas.

La investigación de los accidentes de trabajo debe tener un marcado carácter preventivo, en orden a evitar su repetición. El empresario está obligado a realizar esta investigación. En la misma debe hacer constar las causas del accidente y la propuesta de medidas preventivas. De resultas de estas últimas, será necesario revisar la evaluación de riesgos laborales.

El empresario igualmente debe informar a los representantes legales de los trabajadores sobre las medidas previstas para la coordinación de actividades desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales.

Si en el éxito de una obra en cuestión de coste y plazo es fundamental la planificación de la misma, en materia de seguridad es clave la planificación de los aspectos de seguridad y salud, que viene recogida en el documento Plan de Seguridad y Salud.

No obstante, en este apartado de contratistas y subcontratistas hay que distinguir entre empresarios y trabajadores, ya que las obligaciones y responsabilidades no tienen por qué coincidir. Por ejemplo, en una empresa contratista el empresario tiene la obligación de facilitar al trabajador los equipos de protección individual necesarios para la obra en cuestión, y el trabajador tiene la obligación de hacer buen uso de ellos.

En la práctica, además de la ausencia de accidentes laborales, el principal objetivo de los contratistas y subcontratistas es ejecutar lo acordado buscando ahorros (directos o indirectos) en sus costes sobre el contrato que tienen firmado.

- **Los trabajadores autónomos**

El trabajador autónomo es la persona física distinta del contratista y del subcontratista, que realiza de forma personal y directa una actividad profesional, sin sujeción a un contrato de trabajo, y que asume contractualmente ante el promotor, el contratista o el subcontratista el compromiso de realizar determinadas partes o instalaciones de la obra.

En materia de prevención de riesgos laborales, el trabajador autónomo está obligado a:

- aplicar los principios de la acción preventiva,
- cumplir las disposiciones mínimas de seguridad y salud,
- cumplir con las obligaciones en materia de prevención de riesgos laborales para los trabajadores,
- ajustar su actuación en la obra conforme a los deberes de coordinación de actividades empresariales,
- utilizar equipos de trabajo ajusten a lo dispuesto en el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual,
- atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra o, en su caso, de la dirección de obra,
- cumplir lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud.

En la práctica, además de la ausencia de accidentes laborales, el principal objetivo del trabajador autónomo es ejecutar el trabajo que tiene contratado en el menor tiempo posible, que se traducirá en un mayor beneficio económico.

- **Los recursos preventivos**

El recurso preventivo es una figura creada por la Ley 54/2003 y, aunque el marco legal no la define, se considera recurso preventivo a la persona designada por la empresa, con formación y capacidad adecuadas, que disponen de los medios y recursos necesarios, y son suficientes en número para vigilar el cumplimiento de las actividades preventivas que así lo requieran. El recurso preventivo es una medida preventiva complementaria y en ningún caso debe ser utilizada para sustituir a cualquier otra medida de prevención que sea preceptiva. La presencia de los recursos preventivos en un centro de trabajo está prevista en tres casos:

- cuando los riesgos puedan verse agravados o modificados en el desarrollo de un proceso por la concurrencia de operaciones diversas,
- cuando se realicen actividades consideradas como peligrosas o con riesgos especiales,
- cuando la necesidad de su presencia sea requerida por la Inspección de Trabajo.

La legislación permite compatibilizar las labores de recurso preventivo con las de coordinador de actividades empresariales (así lo establece el Real Decreto 171/2004), y tampoco es incompatible que un recurso preventivo pueda desarrollar simultáneamente una actividad productiva distinta siempre que la labor de vigilancia como recurso preventivo no se vea menoscabada. Sin embargo, en la práctica esto no suele ocurrir, y son los jefes de obra y encargados las personas que son designadas como recursos preventivos por sus empresas, priorizando sus funciones de organización y producción de la obra sobre las tareas propias como recursos preventivos.

- **Otros intervinientes**

Además de los actores anteriores, también conviene conocer otras figuras y sus funciones que, si bien no están reconocidas legalmente como agentes involucrados en la construcción, desarrollan sus funciones en la obra y, por tanto, pueden tener influencia en la seguridad y salud de la misma. A continuación se citan cuatro de ellos: el Project Manager, los organismos de control, los suministradores, y el inspector de trabajo.

Los proyectos de construcción de tamaño mediano y grande tienen una tendencia al alza en cuanto al grado de exigencia. Por ello es necesario que también los actores clave en la gestión del proyecto tengan un alto grado de conocimiento y responsabilidad sobre el trabajo que desarrollan (también en materia de prevención de riesgos laborales). Uno de estos actores es el Project Manager, que debe desarrollar su trabajo desde una perspectiva integradora, representando al Promotor en todas las fases del proyecto, desde la concepción hasta la entrega o comercialización, incluyendo la puesta en funcionamiento. El Project Manager defiende los intereses del Promotor ante los demás agentes de la edificación, para garantizar la transparencia económica, el cumplimiento de los plazos, el cumplimiento de la seguridad y salud en el trabajo y el control de calidad.

El proceso constructivo cuenta como parte integrante con un control de calidad que persigue la calidad del producto final y su integración en la sociedad mediante la legalización correspondiente. Entre estos organismos de control están: los organismos de control técnicos (OCTs), las entidades y laboratorios de control de calidad de la edificación, y los organismos colaboradores de la administración (OCAs). Las personas de estas empresas también van a visitar la obra, y por tanto van a estar expuestos a los riesgos de las mismas e, incluso sus propias actividades pueden hacer variar los riesgos hacia las actividades de producción de la obra, siendo por ello de especial importancia la correcta aplicación de la coordinación de actividades empresariales (según marca el Real Decreto 171/2004).

Los suministradores son empresas que aportan materiales, maquinaria o equipos a las obras, sin disponer en ningún momento de mano de obra asociada directamente a la producción de la misma. Nuevamente en estos casos su actividad (carga y descarga, principalmente) se realiza en el entorno de la obra, con los riesgos que ello conlleva, debiendo prestar de nuevo especial atención a la coordinación de actividades empresariales.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que una obra es un centro de trabajo, y por tanto también puede recibir visitas de un inspector de trabajo. Es posible que un inspector de trabajo visite la obra tras un accidente o una denuncia, pero la visita también puede ser de oficio, ya que función de los inspectores es controlar y vigilar que las empresas y trabajadores cumplan con las responsabilidades administrativas que exige la ley y de asesorar e informar a los mismos en materia laboral y Seguridad Social, por lo que cualquier empresa (en este caso el Promotor, el Contratista, el Subcontratista) puede recibir en cualquier momento una visita tanto esperada como inesperada de un inspector de trabajo, sin necesidad de que haya un preaviso. Si el Inspector de Trabajo detecta la existencia de infracciones sobre la normativa de prevención de riesgos laborales puede requerir al empresario que subsane las deficiencias observadas, además de llevar a cabo la propuesta de sanción que corresponda según el caso.

2.2. LOS ACCIDENTES LABORALES EN LA CONSTRUCCIÓN

El resultado de la falta de seguridad en las obras son los accidentes laborales. Estos accidentes tienen un coste enorme para la persona, pero también para la empresa y para la sociedad.

Los accidentes en las obras tienen su origen principal cuando a determinados aspectos fundamentales de la prevención de riesgos laborales (la formación de las personas a todos los niveles, la organización del trabajo, la gestión de la prevención, la correcta puesta en práctica de las medidas de protección colectiva, la dotación de equipos de protección individual, etc.) no se les asigna el coste y tiempo que requieren, quedando como objetivos secundarios de la obra.

En este apartado se va a analizar la evolución de la accidentalidad en España en los últimos años (periodo 2002-2016) y su relación con la reciente crisis de la construcción, pero antes de ello es necesario exponer una serie de consideraciones sobre las estadísticas de los accidentes.

2.2.1. Consideraciones previas sobre los accidentes: definiciones y metodología de las estadísticas

2.2.1.1. *Sobre las estadísticas del Ministerio de Empleo y Seguridad Social sobre accidentes*

Consideraciones sobre los datos

El Ministerio de Empleo y Seguridad Social elabora estadísticas sobre accidentes de trabajo. La Estadística de Accidentes de Trabajo (ATR) ofrece datos anuales sobre los accidentes de trabajo que han sido notificados en los registros administrativos habilitados al efecto, con el objeto de proporcionar información estadística sobre las causas y circunstancias según las cuales se han producido los accidentes laborales, principalmente para contribuir a la mejora del conocimiento sobre prevención de riesgos laborales.

Para que se pueda contabilizar cada uno de los casos notificados en los registros, la correspondiente notificación tiene que haber sido aceptada tanto por la Entidad Gestora o Colaboradora a la que le corresponda la cobertura del accidente de trabajo por parte del sistema de Seguridad Social como por la Autoridad Laboral de la provincia en la que radica el centro de trabajo donde el trabajador está afiliado a la Seguridad Social.

PARTE DE ACCIDENTE DE TRABAJO

(Por favor, antes de cumplimentar, lea las instrucciones)

Accidente 1 Recaida 2

1 DATOS DEL TRABAJADOR	Apellido 1º Apellido 2º Nombre Sexo: Varón <input type="checkbox"/> 1 Mujer <input type="checkbox"/> 2 N.º Afiliación Seguridad Social (NAF) (1) Fecha ingreso en la empresa Fecha nacimiento Nacionalidad (2) Identificador Persona Física (IPF) (3) Ocupación del trabajador: (4) Española <input type="checkbox"/> Otra <input type="checkbox"/> CND-04 Antigüedad puesto trabajo (5) Tipo contrato (6) meses días Situación profesional: <input type="checkbox"/> Asalariado sector privado <input type="checkbox"/> Asalariado sector público <input type="checkbox"/> Autónomo sin asalariados <input type="checkbox"/> Autónomo con asalariados Régimen Seguridad Social (7) Convenio aplicable: CNAE para cotización AT/EP Ocupación para cotización AT/EP
2 EMPRESA EN LA QUE EL TRABAJADOR ESTABA O DEBAJA EN LA U.S.	Domicilio: Teléfono: Provincia: Municipio: Código Postal: Nombre o Razón Social: CIF o NIF (8) Código C. Cotización en la que está el trabajador (9) Domicilio que corresponde a esa Cuenta de Cotización (C.C.): Provincia: Municipio: Código Postal: Teléfono: Actividad económica principal correspondiente a esa C.C. (10): CNAE Planilla correspondiente a esa C.C. (11) Marque si actuaba en el momento del accidente como: Contratista o subcontrata <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Empresa de Trabajo Temporal <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO ¿Cuál o cuáles de las siguientes son las modalidades de organización preventiva adoptadas por la empresa?: <input type="checkbox"/> Asunción personal por el empresario <input type="checkbox"/> Servicio de prevención propio <input type="checkbox"/> Servicio de prevención ajeno <input type="checkbox"/> Trabajador(es) designado(s) <input type="checkbox"/> Servicio de prevención mancomunado
3 LUGAR Y CENTRO DE TRABAJO DONDE HA OCURRIDO EL ACCIDENTE	Lugar del accidente: <input type="checkbox"/> En el centro o lugar de trabajo habitual <input type="checkbox"/> En otro centro o lugar de trabajo <input type="checkbox"/> En desplazamiento en su jornada laboral (*) <input type="checkbox"/> Al ir o al volver del trabajo, "en itinere" (*) (*) En estos casos, los datos del centro se cumplimentarán con los correspondientes al centro de trabajo habitual Además, marque si ha sido accidente de tráfico: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Si el accidente se ha producido en un lugar ubicado fuera de un centro de trabajo, indicar su situación exacta (país, provincia, municipio, calle y número, vía pública o punto kilométrico), otro lugar: País: Provincia: Municipio: Calle y número: Vía pública y punto kilométrico: Otro lugar (especificar) Centro de trabajo El centro de trabajo a la empresa en la que está dado de alta el trabajador (empresa del apartado 2) En caso negativo, indicar a continuación su relación con la empresa del apartado 2: <input type="checkbox"/> Contratista o subcontrata <input type="checkbox"/> Usuario de ETT <input type="checkbox"/> Otra CIF o NIF Datos del centro: (a cumplimentar cuando el accidente se haya producido en un centro o lugar de trabajo distinto al consignado en el apartado 2, o cuando el trabajador estuviese realizando trabajos para una empresa distinta a la consignada en dicho apartado 2) Nombre o Razón Social: Domicilio: Provincia: Municipio: Código Postal: Teléfono: Planilla actual del Centro (12) Actividad económica principal del centro (13): CNAE
4 ACCIDENTE	Fecha del accidente (día/mes/año) Fecha de Baja Médica Día de la semana del accidente Hora del día del accidente Hora de trabajo (14) Era su trabajo habitual <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO (1 a 24) (1ª, 2ª, etc.) <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Marque si se ha realizado evaluación de riesgos sobre el puesto de trabajo en el que ha ocurrido el accidente Descripción del accidente (15): En qué lugar se encontraba la persona accidentada cuando se produjo el accidente? (Lugar) (16): ¿En qué proceso de trabajo participaba cuando se produjo el accidente? (Tipo de trabajo) (17): ¿Qué estaba haciendo la persona accidentada cuando se produjo el accidente? (Actividad Fis. específica) (18): Agente material asociado a la ACTIVIDAD FÍSICA (19): ¿Qué hecho anómalo que se apartase del proceso habitual de trabajo desencadenó el accidente? (Desviación) (20): Agente material asociado a la DESVIACIÓN (21): ¿Cómo se ha lesionado la persona accidentada (Forma, Contacto-modalidad de la lesión) (22): Aparato o agente material CAUSANTE DE LA LESIÓN (23): <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Marque si este accidente ha afectado a más de un trabajador <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Marque si hubo testigos. En caso afirmativo indicar nombre/s, domicilio/s y teléfono/s (24)
5 ASISTENCIAS	Descripción de la lesión (25): Grado de la lesión (26): Leve <input type="checkbox"/> 1 Grave <input type="checkbox"/> 2 Muy grave <input type="checkbox"/> 3 Fallecimiento <input type="checkbox"/> 4 Parte del cuerpo lesionada (25): Médico que efectúa la asistencia inmediata (nombre, domicilio, teléfono) Marque el tipo de asistencia sanitaria (27): Hospitalaria <input type="checkbox"/> Ambulatoria <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Marque si ha sido hospitalizado. Nombre del establecimiento:
6 ECONÓMICOS	A) Base de cotización mensual: B) Base de cotización al año (4): C) Subsidio: Promedio diario - En el mes anterior (1) B1.- por horas extras -Base reguladora A - Días cotizados (2) B2.- por otros conceptos -Base reguladora B - Base reguladora A (3) Total B1 + B2 Total B.R. diaria (6) Promedio diario base B (5) Cuantía del subsidio 75% (7)
	Don/Doña: en calidad de de la empresa, expide el presente parte en a de de (firma y sello) Entidad gestora o colaboradora n.º: N.º Expediente AUTORIDAD LABORAL (Selliado y fechado)

Figura 9. Parte de Accidente de Trabajo de la Orden TAS2926/2002

La notificación de accidentes de trabajo que han causado la baja del trabajador accidentado se realiza utilizando del documento conocido como parte de accidente de trabajo (Figura 9),

que contiene información relativa a características personales y profesionales del trabajador accidentado, datos del centro de trabajo y de la empresa a la que pertenece el trabajador accidentado así como los datos relativos al centro de trabajo en el que ha ocurrido el accidente cuando dicho centro es distinto de aquel al que está afiliado el trabajador (empresas usuarias de empresas de trabajo temporal, contratas, etc.), asimismo recoge las circunstancias en que ocurrió el accidente.

La notificación de accidentes de trabajo sin baja se realiza utilizando la relación de accidentes de trabajo sin baja. Esta notificación contiene los detalles de los accidentes de trabajo sin baja ocurridos a lo largo de un mes en una determinada cuenta de cotización de la Seguridad.

Para notificar los accidentes de trabajo que hayan ocurrido se puede utilizar el Sistema Delt@ en todo el territorio del Estado. En las comunidades autónomas de Cataluña y País Vasco se han establecido otros procedimientos que se utilizan como alternativa a Delt@, mediante el uso de los registros CoNTA en Cataluña e IGATT en el País Vasco.

Además de la publicación de datos anuales citados con anterioridad, se publican datos provisionales de avance con periodicidad mensual de los accidentes de trabajo registrados en lo que va de año.

Las variables de análisis objeto de estudio en esta estadística son las siguientes:

- Accidentes de trabajo con baja.
- Recaídas con baja de accidentes de trabajo con baja.
- Días de duración de la baja de los accidentes de trabajo.

Adicionalmente, se publica el dato total de accidentes de trabajo sin baja registrados.

Se considera que existe un incentivo para declarar los accidentes de trabajo con baja, ya que las prestaciones de la Seguridad Social a las que se tiene derecho en caso de accidente de trabajo son mejores que las prestaciones por accidente o enfermedad común. El derecho a subsidio por incapacidad temporal se abona por la Seguridad Social desde el día siguiente al de la baja en el trabajo lo cual no ocurre en la incapacidad temporal por accidente o enfermedad común. Por esta razón, se considera que la declaración de accidentes de trabajo con baja es cercana al 100%. Dado que los accidentes de trabajo sin baja no conllevan

prestaciones de la Seguridad Social, se considera que no se comunican a la autoridad competente todos los accidentes de trabajo sin baja laboral.

También se elaboran los siguientes indicadores relativos a accidentes de trabajo con baja:

- Índices de incidencia (accidentes por cien mil trabajadores)
- Índices de frecuencia (accidentes por millón de horas trabajadas y accidentes mortales por cien millones de horas trabajadas)
- Índices de gravedad (días de baja por cada mil horas trabajadas)
- Duración media de las bajas (días de baja por accidente)
- Duración mediana de las bajas

Población Objetivo

La población de referencia estadística está constituida por los trabajadores afiliados a la Seguridad Social con la contingencia de accidentes de trabajo específicamente cubierta.

- Respecto a los trabajadores por cuenta ajena, están incluidos obligatoriamente los trabajadores de todos los Regímenes de la Seguridad Social. Estos son el Régimen General, Régimen Especial de la Minería del Carbón y Régimen Especial del Mar.

A partir de enero de 2012, se incluyen dentro del Régimen General los trabajadores del Sistema Especial para Empleados de Hogar, con la entrada en vigor de la disposición adicional 39ª de la Ley 27/2011, de 1 de agosto, sobre actualización, adecuación y modernización del sistema de Seguridad Social y del Real Decreto 1596/2011, de 4 de noviembre. También se incluyen dentro del Régimen General los trabajadores en situación de actividad en el Sistema Especial para Trabajadores por Cuenta Ajena Agrarios, debido a la entrada en vigor de la Ley 28/2011, de 22 de septiembre.

A raíz de estos cambios también dejan de contabilizarse como afiliados con la contingencia de accidentes de trabajo específicamente cubierta los afiliados al Sistema Especial de Trabajadores por Cuenta Ajena Agrarios en periodos de inactividad. Para poder disponer de índices comparables en los años anteriores a 2012 se llevó a cabo una estimación de los afiliados en este colectivo en periodos de inactividad para los años 2006 a 2011, que se han descontado de la población de referencia considerada

hasta ese momento, volviendo después calcular de nuevo los índices con esta nueva población de referencia.

También desde enero de 2012, no se contabiliza dentro de la población cubierta en el Régimen General a los funcionarios públicos y otros personal de nuevo ingreso afectados por la disposición adicional tercera del texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social, aprobado por el Real Decreto Legislativo 8/2015, de 30 de octubre, debido a que la gestión de las contingencias profesionales de este colectivo se lleva a cabo a través de las mutualidades de funcionarios (MUFACE, ISFAS y MUGEJU).

- Respecto a los trabajadores por cuenta propia:

Están obligatoriamente incluidos dentro de la población de referencia de esta estadística:

- Los trabajadores por cuenta propia del Régimen Especial del Mar.
- Desde el año 2008, los trabajadores autónomos económicamente dependientes (TRADE) afiliados al Régimen Especial para Trabajadores Autónomos.

Desde el año 2004, los trabajadores del Régimen Especial para Trabajadores Autónomos (excepto desde 2008 los autónomos económicamente dependientes) tienen la opción de poder elegir si desean o no tener la cobertura de la Seguridad Social de la contingencia de accidentes de trabajo. En esta estadística se recogen únicamente los accidentes de trabajo de los autónomos que sí hayan optado por tener esta cobertura de la Seguridad Social.

Ámbito geográfico

Todo el territorio del Estado español.

Se incluyen los casos de accidentes de trabajo que han afectado a:

- Trabajadores de empresas españolas desplazados en el extranjero.
- Trabajadores transfronterizos, no residentes en España pero que trabajan en una empresa radicada en España y por tanto están afiliados a la Seguridad Social española.

Se excluyen los casos de accidentes de trabajo que han afectado a:

- Trabajadores de empresas extranjeras desplazados en España.
- Trabajadores transfronterizos, residentes en España pero que trabajan en una empresa no radicada en España y que no estén afiliados a la Seguridad Social española.

Estos casos excluidos computarán, en su caso, en las estadísticas de accidentes de trabajo del país donde está radicada la empresa para la que trabajan.

Comparabilidad geográfica

Los datos son comparables entre las distintas comunidades autónomas o provincias debido a que se sigue un procedimiento idéntico de notificación de accidentes de trabajo a lo largo de todo el Estado. A la hora de comparar entre territorios, debe tenerse en cuenta que la exposición a factores de riesgos laborales por parte de los trabajadores puede variar de unos territorios a otros, debido a la diferente distribución por actividades económicas u ocupaciones de los trabajadores en cada territorio.

Debido a que en Cataluña y País Vasco los datos no se extraen del Sistema Delt@ sino que sus datos de accidentes de trabajo se reciben a través de ficheros mensuales enviados por las Autoridades Laborales de estas comunidades autónomas, el recuento estadístico se cierra antes en estas comunidades autónomas que en el resto y por tanto en los primeros avances del año pueden observarse valores absolutos de accidentes de trabajo en estas dos comunidades autónomas por debajo de los que les corresponderían si el procedimiento de extracción de datos fuese a partir del Sistema Delt@. Este efecto se va corrigiendo según transcurre el año y desaparece por completo en los datos anuales definitivos.

La comparabilidad de los datos de esta estadística con los de otras estadísticas homólogas en otros países no está garantizada, y en general no es viable, ya que puede ocurrir que determinados accidentes de trabajo que se contabilizan en España no se contabilicen en otro país y viceversa. Para encontrar datos de accidentes de trabajo armonizados a nivel europeo se debe acudir a la Estadística Europea de Accidentes de Trabajo .

Comparabilidad temporal

Las series temporales de esta estadística son comparables desde el año 1988, en que entró en vigor el procedimiento administrativo de notificación de accidentes actualmente vigente. A partir de este mismo año 1988, la Subdirección General de Estadística del Ministerio de Empleo

y Seguridad Social realiza anualmente una publicación monográfica de la Estadística de Accidentes de Trabajo. Los datos de esta publicación están accesibles en formato electrónico desde el año 1999 en la página web Ministerio de Empleo y Seguridad Social (<http://www.empleo.gob.es/estadisticas/eat/welcome.htm>, visitada en Mayo de 2018).

2.2.1.2. Definición de accidente. Distinción entre accidente leve y accidente grave.

El concepto de accidente de trabajo viene definido en el artículo 156 del texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social, según el cual se entiende por accidente de trabajo toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecute por cuenta ajena. La misma Ley aclara que también tendrán consideración de accidentes de trabajo:

- a) Los que sufra el trabajador al ir o al volver del lugar de trabajo.
- b) Los que sufra el trabajador con ocasión o como consecuencia del desempeño de cargos electivos de carácter sindical, así como los ocurridos al ir o al volver del lugar en que se ejerciten las funciones propias de dichos cargos.
- c) Los ocurridos con ocasión o por consecuencia de las tareas que, aun siendo distintas a las de su grupo profesional, ejecute el trabajador en cumplimiento de las órdenes del empresario o espontáneamente en interés del buen funcionamiento de la empresa.
- d) Los acaecidos en actos de salvamento y en otros de naturaleza análoga, cuando unos y otros tengan conexión con el trabajo.
- e) Las enfermedades, no incluidas en el artículo 157, que contraiga el trabajador con motivo de la realización de su trabajo, siempre que se pruebe que la enfermedad tuvo por causa exclusiva la ejecución del mismo.
- f) Las enfermedades o defectos, padecidos con anterioridad por el trabajador, que se agraven como consecuencia de la lesión constitutiva del accidente.
- g) Las consecuencias del accidente que resulten modificadas en su naturaleza, duración, gravedad o terminación, por enfermedades intercurrentes, que constituyan complicaciones derivadas del proceso patológico determinado por el accidente mismo

o tengan su origen en afecciones adquiridas en el nuevo medio en que se haya situado el paciente para su curación.

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales no define "accidente de trabajo", la acepción más próxima es la de "daños derivados del trabajo" considerando como tales las enfermedades, patologías o lesiones sufridas con motivo u ocasión del trabajo.

Sin embargo, aunque la legislación habla de "accidentes muy graves o graves" no define claramente "accidente grave" y "accidente leve", por lo que la clasificación de un accidente en "grave" y "leve" no tiene una distinción clara y objetiva, por lo menos en primera instancia.

La Orden TAS/2926/2002 establece los nuevos modelos para la notificación de los accidentes de trabajo y se posibilita su transmisión por procedimiento electrónico. En este modelo (Anexo de la Orden TAS/2926/2002) figura la clasificación del grado de la lesión, pudiendo hacer un paralelismo conceptual entre "grado del accidente" y "grado de la lesión" (Figura 10), y estableciendo los niveles: leve, grave, muy grave, y fallecimiento. Aunque este anexo lo debe cumplimentar la propia empresa para la que trabaja en accidentado, las propias instrucciones de cumplimentación establecen en este apartado de "las casillas que figuran en esta rúbrica son las mismas que figuran en el Parte Médico de Baja, por tanto se marcará el mismo grado que figura en dicho Parte". Es decir, que parece que la calificación del grado de accidente recae en el criterio del médico que atiende al accidentado, generalmente pertenecientes a las mutuas de accidentes (Figura 10).

5.- ASISTENCIALES	
Descripción de la lesión (25) :	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Grado de la lesión (26): Leve <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> Muy grave <input type="checkbox"/> Fallecimiento <input type="checkbox"/>	Parte del cuerpo lesionada (25) :
Médico que efectúa la asistencia inmediata (nombre, domicilio, teléfono) :	
Marque el tipo de asistencia sanitaria (27) : Hospitalaria <input type="checkbox"/> Ambulatoria <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Marque si ha sido hospitalizado. En caso afirmativo indicar nombre del establecimiento:	

Figura 10: Extracto del Parte de Accidente de Trabajo de la Orden TAS2926/2002 con el apartado de datos asistenciales

Tras consulta con las mutuas FREMAP y MAZ, como criterio general se considera que, todo accidente en el que ni la vida del accidentado ni su integridad física corren peligro y ningún órgano vital ha sido afectado se entiende como "accidente leve" (Figura 11). En caso contrario

(casos que requieran ingreso en la UCI, politraumatismos, amputación o comprometer la vida del accidentado o la de alguno de sus órganos), el accidente se considera "grave". Evidentemente, queda fuera de esta disquisición el accidente mortal, por tener un criterio más que objetivo.

Ejemplar para la EMPRESA (para remitir a MAZ)

MAZ | suma

PARTE MÉDICO DE BAJA/ALTA DE INCAPACIDAD TEMPORAL POR CONTINGENCIAS PROFESIONALES

1. RÉGIMEN
 General Agr. c/Propia Agr. c/Ajena Mar M. Carbón Autónomo

2. SITUACIÓN
 Activo Desempleado

3. DATOS DEL TRABAJADOR

Núm. Afiliación Seguridad Social: 50 10209
 Núm. Documento Nacional de Identidad: 29116
 Nombre y apellidos: MANUEL

Domicilio: CL 1 38 3ª c

Localidad: ZARAGOZA Provincia: ZARAGOZA Código Postal: 50 011 Teléfono: 9763

4. DATOS DE LA EMPRESA

Nombre de la Empresa: IDOM INGENIERIA Y CONSULTORIA SA C.C.C.: 50 115

Domicilio: CL ARGUALAS 3 2ªPLT Localidad: ZARAGOZA Provincia: Código postal: 50 012

Entidad pago IT / CP: Mutua INSS ISM Actividad Empresa: Código CNAE: 7 1 1 2 Puesto de trabajo: INGENIEROS EN CONSTRUCCION Y OBRA CIVIL

CÓDIGOS PARA LA TRANSMISIÓN ELECTRÓNICA:

FORMA DE ACCIDENTE.....: 45
 PARTE DEL CUERPO.....: 21
 TIPO DE LESIÓN.....: 39

Duración Probable de la baja:
 Dias 7 Meses
 a dias

PARTE DE BAJA PARTE DE ALTA Fecha del AT o EP: 2 3 / 0 6 / 1 5 Fecha de la BAJA: 2 3 / 0 6 / 1 5 Fecha del ALTA (*): (*) En los partes de alta, cumplimente la fecha de la baja

Leve Grave Muy grave Recaída: Sí No Accidente de Trabajo Enfermedad Profesional Periodos de Observación por E.P.

6. DATOS DEL FACULTATIVO-CIAS

Firma: MARIA Sello: 23 JUN 2015 Nº de colegiado: 5050 Localidad: ZARAGOZA Fecha: 23/06/2015

7. CAUSA DEL ALTA

Curación Fallecimiento Inspección Médica Informe Propuesta Agotamiento plazo Mejoría que permite realizar trabajo habitual Incomparecencia

8. A QUIÉN PERTENECE

Mutua Montañesa Mutua Navarra egarsat

Figura 11. Ejemplo de parte médico de baja emitido por la mutua de accidentes

Otros conceptos relacionados con accidentes de trabajo son los siguientes:

- Accidente de trabajo sin baja. Se trata del accidente de trabajo donde el trabajador ha recibido asistencia médica por el accidente de trabajo pero que no ha causado la baja del trabajador accidentado. También se consideran accidentes sin baja los que han ocasionado la baja médica del trabajador accidentado pero la fecha de alta consignada en el parte médico es exactamente igual a la fecha de baja. En los supuestos citados no corresponde la emisión del parte de accidente de trabajo, sino su inclusión en la relación de

accidentes de trabajo sin baja que corresponda conforme a la normativa vigente.

- Accidente de trabajo con baja. Se trata del accidente de trabajo que ha causado la baja médica o el fallecimiento del trabajador accidentado. La duración de la baja debe ser al menos un día, sin contabilizar el día del accidente o el día de inicio de la baja. Es decir, la fecha de alta debe ser posterior a la fecha de baja médica. En estos casos corresponde la tramitación del parte de accidente de trabajo según el procedimiento establecido en la normativa vigente. Para que el accidente de trabajo se pueda considerar como tal y por tanto se contabilice a efectos estadísticos, el correspondiente parte de accidente de trabajo debe haber sido aceptado por la Entidad Gestora o Colaboradora a la que le corresponde la cobertura de la contingencia y por la Autoridad Laboral competente.
- Accidente de trabajo con baja en jornada. Es el accidente de trabajo con baja que se ha producido durante la jornada laboral, o también en el centro de trabajo, lugar de trabajo o en desplazamiento por motivos laborales, durante el tiempo o en las circunstancias en que la empresa tiene la obligación de garantizar la cobertura de la contingencia de accidente de trabajo.
- Accidente de trabajo con baja in itinere. Es el accidente de trabajo con baja que se ha producido en el trayecto entre el domicilio del trabajador y el lugar de trabajo o viceversa. Este concepto se encuentra extensamente matizado y ampliado por la jurisprudencia en la materia.
- Accidente de trabajo mortal. A los efectos de esta estadística, es accidente de trabajo mortal el accidente de trabajo para el que las lesiones producidas constan como mortales en el parte de accidente de trabajo.

2.2.2. Evolución histórica de los accidentes en la construcción en España

A continuación se presenta la evolución de unas series de datos de accidentes con baja, tanto absolutos (presentados por una parte en el conjunto de sectores y particularizando en el sector de la construcción, y también divididos según su gravedad), como relativos mediante los índices de incidencia.

En la Figura 12 se ubica la evolución en los últimos años de los accidentes laborales en la construcción en el desarrollo de la tesis.



Figura 12. Fase I del desarrollo de la tesis

Los datos que figuran en las páginas siguientes se han obtenido de las siguientes fuentes:

- Accidentes con baja en el conjunto de sectores: Estadísticas del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.
- Accidentes con baja en el sector de la construcción: Informes del Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.
- Índices de incidencia: Informes del Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

El índice de incidencia (i.i.), es el número de accidentes por cada 100.000 trabajadores expuestos y afiliados a la Seguridad Social con las contingencias por accidentes de trabajo cubiertas, y se considera que es un sistema más ajustado de seguimiento de la siniestralidad laboral que las cifras absolutas de accidentes de trabajo, ya que permite interpretar las tendencias.

El resumen de los datos de accidentalidad en el periodo 2002-2016 en España se puede visualizar en la Tabla 1. En la misma se contabilizan por años los accidentes con baja, tanto en el conjunto de sectores como en la construcción, y para todos ellos diferenciados por la gravedad de los accidentes (leves, graves y mortales). Los datos anteriores no contabilizan accidentes in itinere (aquellos accidentes que se producen durante el desplazamiento desde el domicilio hasta el lugar de trabajo, y viceversa).

Pero el número de accidentes por sí solo no da una información completa, ya que no tiene en cuenta el número de personas ocupadas, que son las que están expuestas a los riesgos y que por tanto pueden sufrir los accidentes. Por ello la clave para relacionar la accidentalidad con los efectos de la crisis económica es el índice de incidencia ya que calcula el número de accidentes por cada cien mil trabajadores activos. La Tabla 1 también incluye los índices de incidencia tanto para el conjunto de sectores como particularizado para la construcción.

		Años	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nº Accidentes con baja	Todos sectores	Total	938.188	874.724	871.724	890.872	911.561	924.981	804.959	617.440
		Mortales	1.101	1.020	968	935	947	826	810	632
		Graves	11.886	11.116	10.452	9.255	8.552	8.581	6.892	5.182
		Leves	925.201	862.588	860.304	880.682	902.062	915.574	797.257	611.626
	Construcción	Total	250.414	230.735	224.083	238.495	250.313	250.324	186.655	122.614
		Mortales	304	298	262	310	296	278	253	165
		Graves	3.518	3482	3343	2973	2958	2952	2076	1.329
		Leves	246.592	226.955	220.478	235.212	247.059	247.094	184.326	121.120
Indices de incidencia	Todos sectores	7.057	6.387	6.136	6.012	6.048	5.914	5.211	4.263	
	Construcción	17.316	15.299	13.895	13.498	12.735	12.393	10.684	8.980	

		Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Nº Accidentes con baja	Todos sectores	Total	569.523	512.584	408.537	404.284	424.625	458.023	480.051
		Mortales	569	551	452	447	467	515	476
		Graves	4.935	4.396	3.738	3.390	3.329	3.479	3.543
		Leves	564.019	507.637	404.347	400.447	420.829	454.029	476.032
	Construcción	Total	100.542	78.966	51.327	41.994	43.043	47.228	51.924
		Mortales	134	121	77	62	73	76	62
		Graves	1.180	962	692	490	524	556	607
		Leves	99.228	77.883	50.558	41.442	42.446	46.596	51.255
Índices de incidencia	Todos sectores	4.000	3.634	2.949	3.009	3.111	3.252	3.302	
	Construcción	8.546	7.735	6.297	6.024	6.315	6.794	6.994	

Tabla 1. Cifras de la accidentalidad e índices de incidencia en el periodo 2002-2016

De las cifras globales de esta tabla se pueden extraer una serie de aproximaciones generales:

- En el conjunto de sectores, por cada 1.000 accidentes leves, se producen 10 accidentes graves y 1 accidente mortal. Esta relación, para el sector de la construcción es 770 accidentes leves – 10 accidentes graves – 1 accidente mortal.
- De cada 4 accidentes laborales mortales en el conjunto de sectores, al menos uno de ellos se produce en la construcción.
- El índice de incidencia en la construcción supera en más del doble al índice de incidencia del conjunto de sectores.

La proporción del primero de los puntos anteriores está relacionada con la “pirámide de Heinrich” (Figura 13), y también tiene que ver con una de las consideraciones estadísticas que se harán en el cuestionario predictivo del apartado 3.2.1. Herbert William Heinrich (1886-1962) fue un pionero de la seguridad industrial estadounidense en la década de 1930 que llegó a la conclusión empírica que establecía que por cada accidente de trabajo que produce una lesión grave o mortal, se producen 29 accidentes que dan lugar a lesiones leves y 300 incidentes o accidentes sin daños personales (Heinrich, 1950).

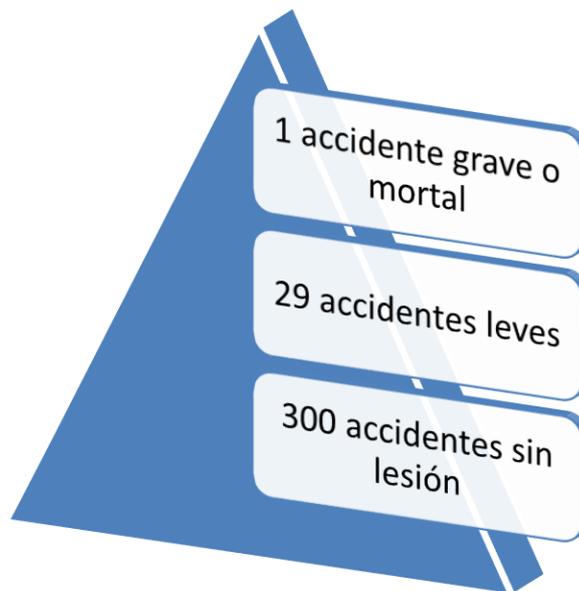


Figura 13. Pirámide de Heinrich

De la Tabla 1 se pueden estudiar varias comparativas y varias tendencias, de las cuales se han trasladado a una gráfica de líneas, por considerarse de mayor relevancia, los datos de accidentes totales (accidentes con baja en jornada, es decir excluidos los accidentes in itinere) y los índices de incidencia correspondientes, en ambos casos tanto para el conjunto de todos los sectores productivos como para el sector de la construcción. El resultado se puede ver en las Figuras 14 y 15. Algunas conclusiones que se pueden extraer son las siguientes:

- Hasta el año 2007, el número de accidentes fue aumentando ligeramente aunque el índice de incidencia fue disminuyendo, tanto en el sector de la construcción como en el conjunto de sectores.
- Desde el año 2007 hasta el año 2013, el número de accidentes disminuyó, al igual que el índice de incidencia, tanto en el sector de la construcción como en el conjunto de sectores.
- A partir del año 2013, el número de accidentes en el conjunto de sectores ha aumentado más que el número de accidentes en el sector de la construcción, mientras que el índice de incidencia en el sector de la construcción ha aumentado más que el índice de incidencia del conjunto de sectores.

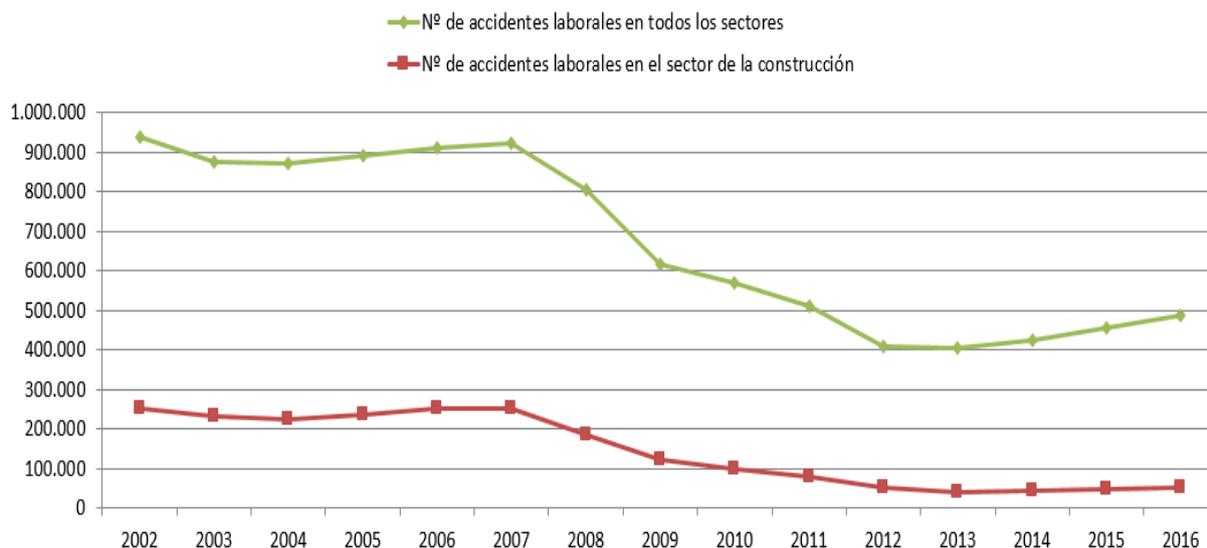


Figura 14. Evolución de la accidentalidad en el periodo 2002-2016

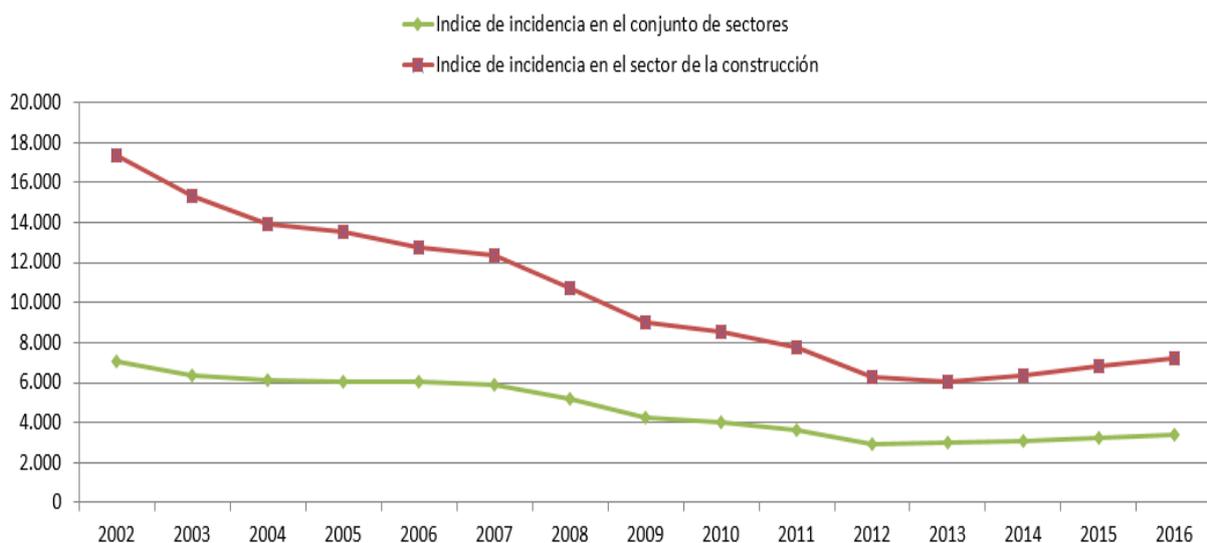


Figura 15. Evolución de los índices de incidencia en el periodo 2002-2016

2.2.3. Relación de la crisis en la construcción y la accidentalidad.

Dentro del periodo mostrado en las tablas anteriores (2002-2016) y los datos mostrados en las mismas, se puede hacer un estudio particular sobre la crisis de la construcción en España, que tuvo lugar entre los años 2008 y 2013. Durante los años previos a la crisis, el número de accidentes laborales en la construcción aumentaba ligeramente, mientras que el índice de incidencia correspondiente disminuía, lo que hacía pensar en que, a pesar de que el empleo aumentaba por el auge del sector, y el número de los accidentes laborales también lo hacía, el

aumento de los accidentes se daba en una proporción menor que el aumento de las personas ocupadas en el sector de la construcción (el índice de incidencia bajó). Sin embargo, a partir de la crisis de la construcción en España (año 2008), tanto el número de ocupados en la construcción, como el número de accidentes en el sector, y su relación (índice de incidencia) bajaron. A continuación se expone un análisis pormenorizado de la cuestión.

En España, aproximadamente desde el año 1985, la industria de la construcción experimentó un notable crecimiento hasta el punto de que, en los primeros años del siglo XXI, la construcción era la locomotora económica estructural. Pero antes de acabar el primer decenio del siglo actual, una serie de indicadores económicos (escasez de créditos, quiebra de empresas promotoras y constructoras, caída del precio de la vivienda, etc.) evidenciaron el rápido deterioro de la industria de la construcción en España, sin olvidar que aquellos acontecimientos estaban ocurriendo en el contexto de una crisis económica mundial. Es por ello que los conceptos "crisis económica" y "sector de la construcción" casi siempre han ido de la mano en los últimos años, ya que es comúnmente aceptado que el sector de la construcción ha sido uno de los sectores más castigados por la actual crisis. Además, también hay quien piensa que el sector de la construcción no solo es un sujeto pasivo de la crisis sino que es uno de los desencadenantes de la misma.

La relación crisis-construcción ha dado pie a muchos artículos de prensa, tertulias de radio y televisión, libros, y otros debates en diversos foros, ya que tiene una gran repercusión en la vida de los españoles: hipotecas, precios de la vivienda, paro, inversiones y otros muchos aspectos que afectan en la economía de las personas. Sin embargo, no se ha hablado tanto de la relación en cifras que hay entre la crisis de la construcción y la accidentalidad de las obras.

Es en este aspecto donde hay discrepancias en las interpretaciones, y mientras hay quienes extraen conclusiones positivas, hay otros que siguen haciendo una interpretación crítica. Entre los primeros se han podido leer declaraciones como las de Celestino Corbacho (Ministro de Trabajo e Inmigración entre los años 2008 y 2010) "... en materia de seguridad y salud no hay que bajar la guardia, a pesar de que en España se va mejorando ..." . Entre los segundos se encuentran declaraciones como las de Manuel Fernández "Lito" (Secretario General de MCA-UGT entre los años 1998 y 2013) "... Hay menos accidentes (en la construcción) porque trabajan menos personas..." o las de Santiago Cubero (Secretario de Salud Laboral y Medio Ambiente

de FECOMA-CCOO en 2009) "...la tendencia no cambia. A pesar de los cantos de sirena de algunos que intentaban distraer la atención asegurando una disminución de la siniestralidad en el sector (de la construcción)...". Y tampoco faltan las visiones intermedias, como por ejemplo las declaraciones de Concepción Pascual (Directora del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en el año 2010) "Estos resultados son fruto de la labor de prevención que empresas, trabajadores y administraciones llevan haciendo desde 2000 y que este año se ha acentuado considerablemente (...) debido al buen hacer de todos y, en parte, a la caída del empleo derivada de la crisis".

Para ayudar a salvar discrepancias como las anteriores, a continuación se resumen algunos datos socioeconómicos y de accidentalidad en la construcción, así como su evolución en el tiempo en los últimos años (periodo 2002-2016), con el objeto de establecer la relación entre ellos mediante un análisis objetivo, y plantear un escenario de accidentalidad actual en un momento en que los indicadores socioeconómicos parece que marcan un cambio de tendencia.

El resumen de los datos socioeconómicos comentados anteriormente se presenta en la Tabla 2.

Años	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variación IPC (% Variación interanual)	4	2,6	3,2	3,7	2,7	4,2	1,4	0,8
PIB Total (% Variación interanual)	2,9	3,2	3,2	3,7	4,2	3,8	1,1	-3,6
Ocupados en todos sectores (Miles de personas)	16.630,3	17.295,9	17.970,8	18.973,3	19.939,1	20.579,9	20.469,7	19.106,9
Ocupados en la construcción (Miles de personas)	1.980,2	2.101,6	2.253,2	2.357,2	2.542,9	2.697,4	2.459,9	1.889,8
Producción interna de construcción (Millones de €)	117.463	129.313	144.665	165.157	186.880	200.457	192.582	163.706
Consumo aparente de cemento (Millones de Tn)	44,1	46,2	48,0	51,5	55,9	56,1	42,7	28,9

Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Variación IPC (% Variación interanual)	3	2,4	2,9	0,3	-1	0,0	1,6
PIB Total (% Variación interanual)	0,01	-1	-2,6	-1,7	1,4	3,2	3,3
Ocupados en todos sectores (Miles de personas)	18.724,5	18.421,4	17.632,7	17.139,0	17.344,2	17.886,0	18.341,5
Ocupados en la construcción (Miles de personas)	1.651,4	1.403,9	1.161,3	1.029,5	993,5	1.073,7	1.073,8
Producción interna de construcción (Millones de €)	143.480	126.951	108.839	93.391	90.214	95.175	97.554
Consumo aparente de cemento (Millones de Tn)	24,5	20,4	13,6	11,0	10,8	11,5	11,1

Tabla 2. Evolución de algunos indicadores socioeconómicos en el periodo 2002-2016

Llevando estos datos a varios gráficos de líneas, en la Figura 16 se ve la evolución en términos económicos. Salvo una bajada puntual del IPC en el año 2006 (debido principalmente a la caída del precio del petróleo) y algunos altibajos en el PIB, en general las líneas muestran un ciclo económico expansivo hasta el año 2006, cambiando la tendencia creciente a partir del año 2007 por lo que se puede marcar el año 2007 como el del comienzo de la crisis. Este mismo gráfico muestra cómo, a partir del año 2013 (año en el que se puede hablar de comienzo de fin de la crisis) las caídas parece que se suavizan e incluso llegan a crecer tímidamente hasta el año 2016.

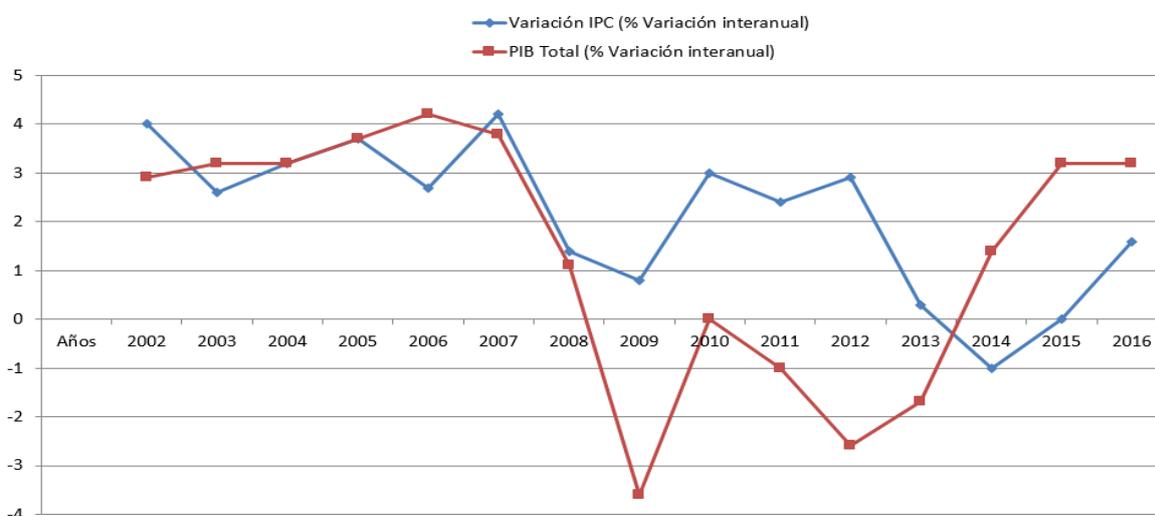


Figura 16. Evolución de algunos indicadores económicos en el periodo 2002-2016.

Centrándonos en el sector de la construcción, en la Figura 17 se puede comprobar que las tendencias, tanto en consumo de cemento como en producción interna de construcción, son similares a las de los datos económicos (Figura 16).

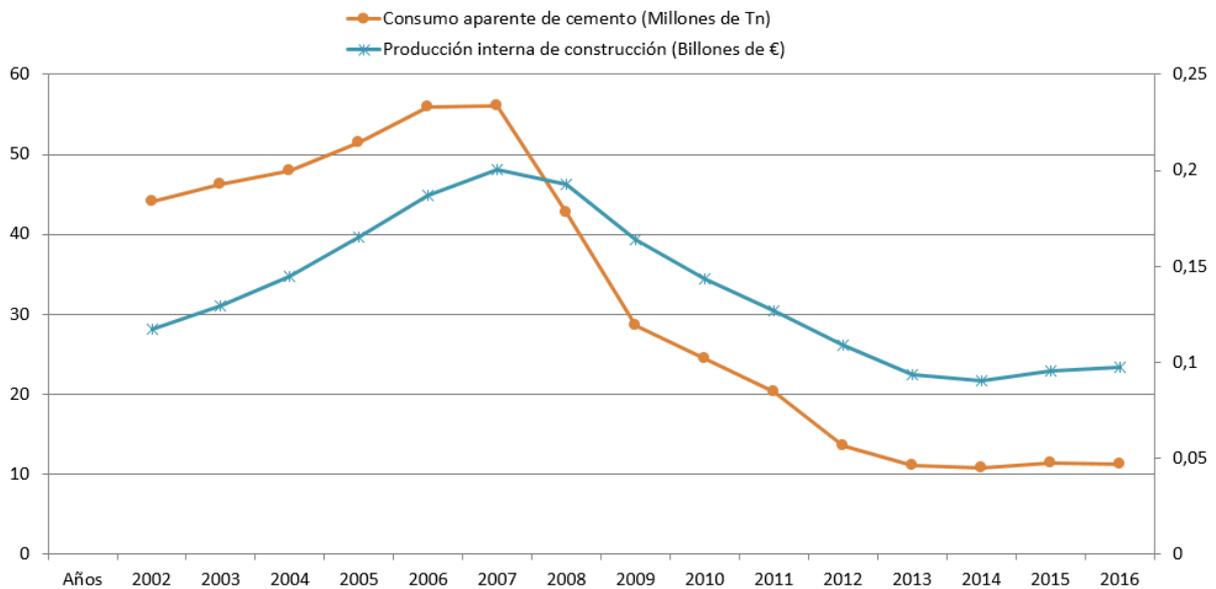


Figura 17. Evolución de indicadores de la construcción en el periodo 2002-2016

Finalmente, en material laboral, extrayendo los datos sobre ocupados, en la Figura 18 las tendencias, tanto en ocupados en el sector de la construcción como en el total de sectores, son similares a las de los gráficos anteriores (Figuras 16 y 17).

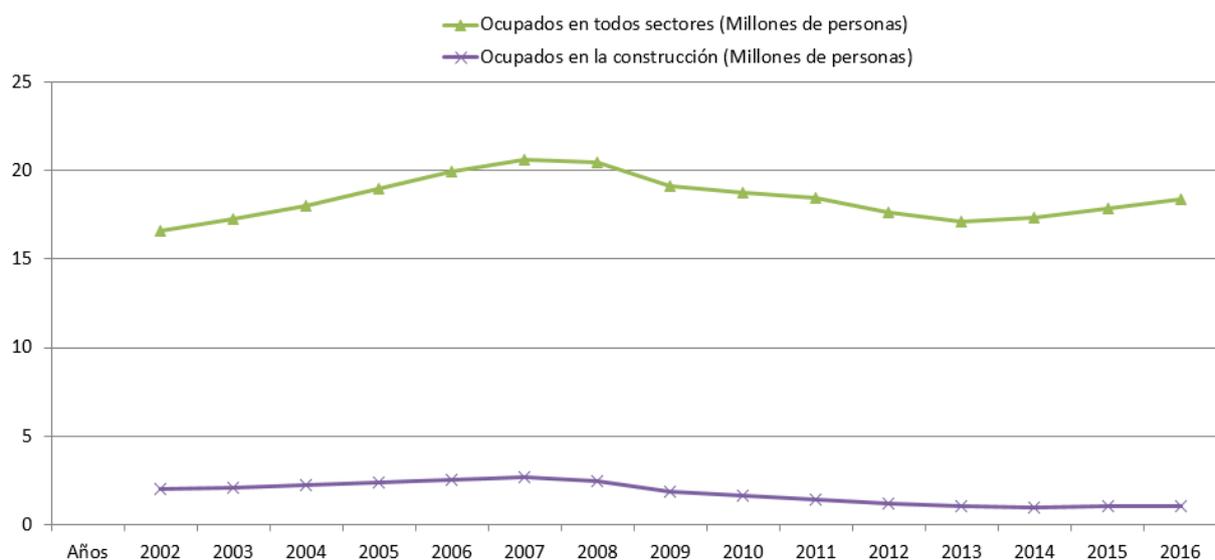


Figura 18. Evolución de personas ocupadas en el periodo 2002-2016

Pero además de hacer un análisis en términos absolutos, también es interesante considerar las figuras con los datos normalizados (Figura 19). La normalización de índices se utiliza en

estadística para ajustar los valores medidos en diferentes escalas respecto a una escala común. Para ello, cada dato normalizado se obtiene de la diferencia de los valores de las variables con respecto a su media y dividido por la desviación típica, tal y como viene descrito en la siguiente fórmula

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Por tanto, tras llevar los datos anteriores, tras ser normalizados, a gráficos de líneas, en la Figura 19 se ve la evolución en términos socioeconómicos, tanto a nivel general como en el sector de la construcción. Aquí se ve mucho más claro que, en general, las líneas muestran un ciclo económico expansivo hasta el año 2006, cambiando la tendencia creciente a partir del año 2007 (año del comienzo de la crisis), y cómo a partir de los años 2013 y 2014 las tendencias cambian y comienzan a crecer hasta el año 2016.

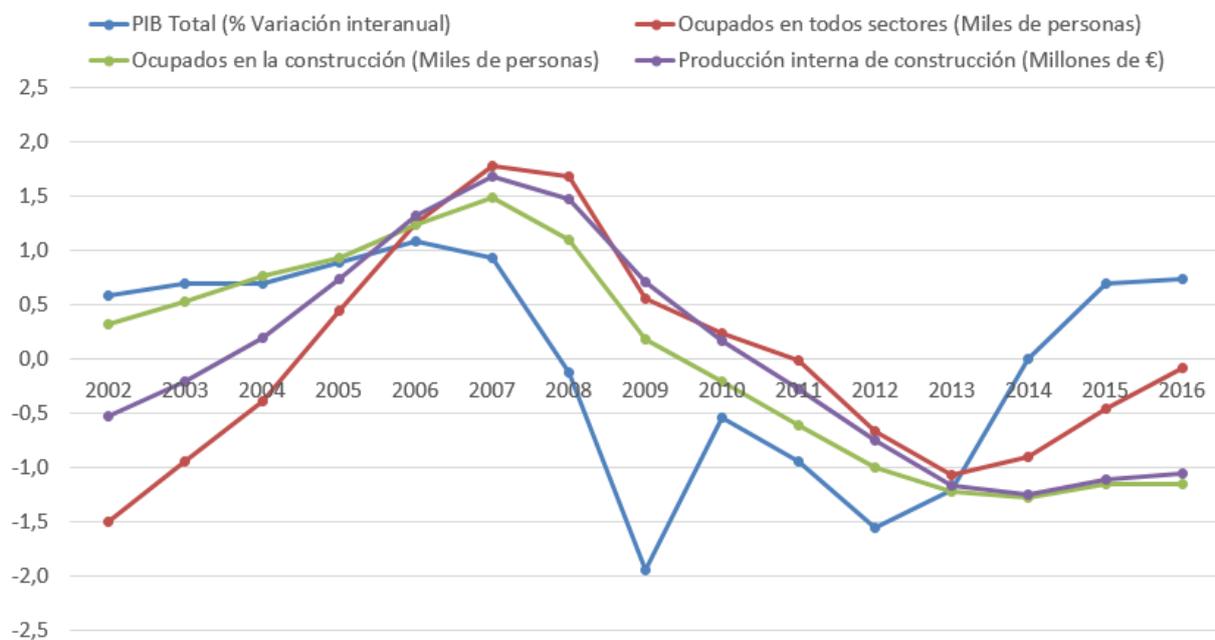


Figura 19. Gráficas normalizadas de la evolución de indicadores económicos en el periodo 2002-2016

En la Figura 20 se puede comprobar que en los años de la crisis, los accidentes laborales disminuyeron en proporción mayor al decrecimiento del empleo, tanto en el sector de la construcción como en el total de sectores. A partir del final de la crisis la tendencia de accidentes cambia y éstos vuelven a aumentar, nuevamente tanto en el sector de la

construcción como en el resto de sectores, si bien aumentan en proporción menor al número de ocupados en cada caso.

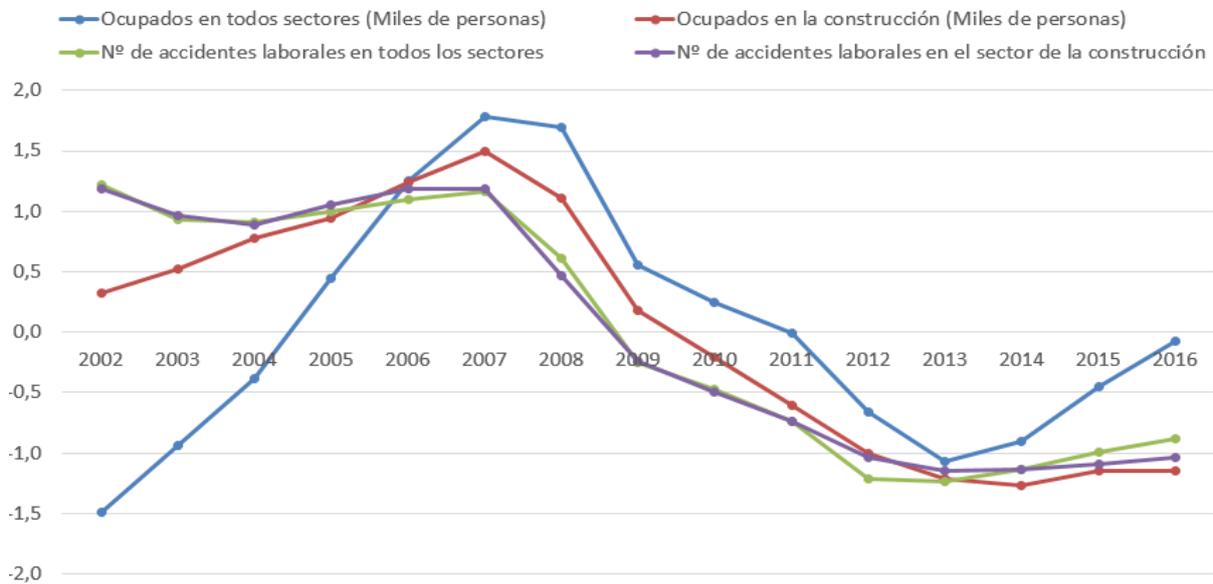


Figura 20. Gráficas normalizadas de la evolución de número de ocupados y de accidentes laborales, en el conjunto de sectores y en el sector de la construcción en el periodo 2002-2016

Otras conclusiones que se pueden extraer del análisis de las figuras anteriores son las siguientes:

- Entre los años 2004 y 2007, el número de accidentes es creciente, tanto en el conjunto de sectores como en el sector de la construcción, al igual que la mayoría de indicadores socioeconómicos.
- No obstante, en este mismo periodo, y a pesar de que el número de accidentes iba aumentando año tras año, el índice de incidencia iba disminuyendo. Es decir, que el número de accidentes aumentaba en una proporción menor a la de las personas ocupadas, tanto en el conjunto de sectores como en el sector de la construcción.
- A partir del año 2007 y hasta el año 2012, el número de accidentes decrece, siguiendo las tendencias de los indicadores socioeconómicos (los años de la crisis).
- En este mismo periodo, el índice de incidencia seguía disminuyendo. Es decir, que el número de accidentes disminuía en una proporción mayor a la de las personas ocupadas, tanto en el conjunto de sectores como en el sector de la construcción.

- Entre los años 2002 y 2012, el índice de incidencia en el sector de la construcción ha disminuido un 5% más que el índice de incidencia del conjunto de sectores.
- El número de accidentes mortales en la construcción se han reducido casi un 80% durante la crisis, mientras que el número de personas ocupadas en el sector descendía algo más de un 60%.
- Hasta el final de la crisis, el índice de incidencia del conjunto de sectores y el índice de incidencia tienen un descenso, destacando que en los primeros años de la crisis, la disminución de los dos índices de incidencia son mayores que antes de la crisis. En estos primeros años de la crisis (2007-2009) la caída del índice de incidencia en el sector de la construcción fue mayor que el índice de incidencia del conjunto de sectores. A partir del año 2009 los dos índices siguen decreciendo hasta el final de la crisis, si bien en este periodo (2009-2013) el índice de incidencia del sector de la construcción disminuye menos que el índice de incidencia del conjunto de sectores.
- Otra consideración importante es que, a partir del final de la crisis (2013), los índices de incidencia aumentan ligeramente.

Por tanto, se puede concluir que durante la crisis en la construcción, la accidentalidad en España cayó, no sólo en términos absolutos (número de accidentes) sino también en términos relativos (índice de incidencia).

El porqué de esta evolución puede dar origen a numerosas interpretaciones. A continuación se plantean algunas:

- Se da por hecho que la cultura preventiva se va extendiendo y va dando sus frutos. Un pilar fundamental es la formación en materia de prevención de riesgos laborales a todos los niveles, desde la formación a los trabajadores en el propio tajo, hasta la formación de nivel superior (según marca el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. BOE nº 27 31/01/1997).
- Las técnicas preventivas también van mejorando, tanto por exigencias de la normativa, como pueden ser los andamios (cumplimiento de Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los

trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura), como por evolución propia de la ciencia, como pueden ser nuevos materiales para redes y arneses.

- Parece ser cierto que en épocas y situaciones difíciles sobreviven las empresas más fuertes y las que saben adaptarse a los cambios. Extrapolando esta idea a la construcción, las empresas que siguen trabajando parece que han sido cumplidoras en todos los aspectos, y probablemente también en materia de seguridad y salud hayan hecho bien las cosas. Aunque en algunos casos se pueda correr el riesgo de recortar las inversiones en seguridad y salud.
- En cuanto a los trabajadores de la construcción, el paro es mayor en trabajadores jóvenes y temporales, dos segmentos de edad y de tipo de contrato en los que las cifras de accidentalidad suelen ser mayores. Por ejemplo, en el año 2007, la tasa de accidentes en trabajadores temporales en la construcción fue 2,5 veces mayor que la tasa de accidentes de trabajadores con contrato indefinido. En ese mismo año, la tasa de incidencia del sector de edad de 16 a 30 años fue 1,3 veces superior a la del grupo de edad de 31 a 54, y 1,6 veces superior a la del grupo de edad de más de 55 años (Almodóvar et al. 2013).
- Los plazos no suelen ser tan exigentes como antes. En general, se eliminan horas extraordinarias (por ejemplo en el sector de la construcción, las horas extras en el año 2015 fueron el 29% de las trabajadas en el año 2008) y se trabaja a un ritmo menor, reduciendo la exposición al riesgo (Muñoz 2010).
- Sin embargo, a partir del año 2013, cuando los indicadores socioeconómicos parece que marcan el final de la crisis (también en la construcción), los indicadores de accidentalidad (no sólo el número de accidentes sino también en índices de incidencia) cambian su tendencia hacia una ligera subida.
- Parece que el actual modelo de cultura preventiva, basado en el cumplimiento normativo y en la sanción puede haber llegado a un punto de saturación y puede ser que sea necesario un cambio de modelo de cultura preventiva que potencie los beneficios de una gestión integrada de la seguridad y salud laboral que incluya nuevas herramientas.

Las consideraciones anteriores hablan de accidentes, pero hay que tener presente que por cada accidente en la construcción, se dan numerosas situaciones peligrosas o incidentes, que acaban sin lesiones (Shapyra y Lyachin, 2008).

A partir de los datos empíricos obtenidos de las obras de construcción en relación con los accidentes que en ellas se producen y relacionando su evolución en el tiempo con la evolución de otros indicadores socioeconómicos, se ha comprobado que, en la época más dura de la crisis en España (periodo 2007-2013) la accidentalidad en el sector de la construcción ha disminuido, tanto en términos absolutos como en términos relativos. Esta tendencia ha cambiado a partir del año 2013 y, si bien el aumento del índice de incidencia no es alarmante, es importante volver a una tendencia a la baja.

Aunque la cultura y prácticas preventivas van mejorando (a destacar, por ejemplo, en los últimos años la renovación que se ha producido en los andamios y equipos de protección colectiva que han llevado a reducir de forma importante una de las causas más destacadas de los accidentes graves y mortales como son las caídas de altura), todavía queda mucho por esforzarse en otros aspectos (como la formación de los trabajadores, en que no prevalezcan los plazos sobre la seguridad, en el uso de equipos de protección individual, o en nuevas técnicas de gestión y mejora continua).

Por otra parte, si el accidente es la forma de siniestralidad laboral más impactante (por su ocurrencia repentina, principalmente), no hay que olvidar que existe otro elemento que produce bajas laborales, y que es la enfermedad profesional.

2.3. LA INVESTIGACIÓN EN MATERIA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES Y ACCIDENTES LABORALES EN LA CONSTRUCCIÓN

La importancia de la investigación en materia de accidentes laborales y de seguridad y salud en las obras se ve reflejada en los numerosos artículos y publicaciones que han aparecido en la literatura de investigación en los últimos años. A continuación se nombran algunas de las temáticas particulares abordadas junto con los autores más citados que las han tratado. Entre las investigaciones más importantes están:

- Las que se centran en fortalecer la cultura preventiva (Spangenberg, 2010), dando instrucciones sobre cómo desarrollar el comportamiento de los trabajadores.
- Sobre las técnicas actuales de evaluación de riesgos (Pinto et al., 2011), concluyendo que muchas de ellas no se ajustan a las necesidades reales del sector de la construcción.
- Sobre la repercusión económica de los accidentes laborales (Waehrer et al., 2007), representando en algunos países hasta el 15% de los costos de la industria de la construcción.
- Sobre la percepción de los riesgos por parte de los trabajadores (Dingsdag 2008), donde se señala que es muy importante tener en cuenta que las percepciones de los trabajadores sobre la promoción de la cultura de seguridad incluyen capacitación y educación, un sólido conocimiento de las reglas y regulaciones, buena comunicación y habilidades interpersonales y comportamiento y acciones que hacen cumplir y monitorean la seguridad.
- Sobre la importancia de la formación, tanto en fase de diseño como en fase de ejecución (Swuste et al., 2012), resaltando la capacidad del formador, el temario específico para cada caso, y la evaluación de la eficacia.
- Dando importancia a la seguridad en fase de diseño o proyecto, (Toole y Gambatese, 2008), estableciendo cuatro líneas de trabajo para los proyectistas: facilitar cada vez más la construcción prefabricada; elegir cada vez más materiales y sistemas que son intrínsecamente más seguros que otros alternativos; realizar cada vez más ingeniería de la construcción; y aplicar cada vez más consideraciones espaciales para reducir los riesgos para los trabajadores.

- Identificando los principales elementos de los programas y campaña de seguridad y que sido demostradamente eficaces en la reducción de accidentes laborales (Hinze, 1997, Hill, 2004), o yendo más allá y midiendo el resultado en términos de reducción de siniestralidad (Matínez et al., 2010), e incluso evaluando la capacidad relativa de los elementos del programa de seguridad para mejorar la seguridad de la obra (Rajendran, 2006).
- Desarrollando estudios sobre la evaluación de riesgos de las principales actividades de la construcción (Janadi y Almishari, 2003), focalizándose sobre todo en aquellas que tienen mayores tasas de siniestralidad.
- Desarrollando un enfoque para el análisis de los accidentes utilizando el concepto de planes de riesgo para evaluar y clasificar los diferentes oficios en términos de accidentalidad (Baradan y Usmen, 2006).
- Haciendo coincidir estratégicamente los elementos del programa de seguridad con los diferentes procesos de construcción (Hallowell, 2008).
- Desarrollando un método estructurado para el análisis y evaluación de riesgos para las actividades de construcción que requiere la capacidad de predecir los niveles fluctuantes de riesgo de seguridad para apoyar la planificación de la seguridad y llevar los esfuerzos de gestión de la seguridad a los lugares y momentos en que son más eficaces (Rozenfeld et al., 2010).
- Considerando un sistema integrado de la construcción en el que la seguridad es transversal mediante análisis de riesgos durante las fases de diseño, planificación y control (Benjaoran y Bhokha, 2010).
- Desarrollando un mecanismo sistemático para interrumpir y prevenir factores considerados como inmediatos a dar lugar a accidentes (Wu et al., 2010).
- Trabajando las estadísticas nacionales y comparándolas con las de otros países (Cheng et al., 2012).
- Caracterizando, clasificando y analizando los diferentes factores de riesgo (Camino et al., 2012; Hinze y Tezier, 2011),
- Otros miden la influencia de la gravedad del accidente (Villanueva y García, 2011).

- Los hay que encuentran relación entre el tamaño de la empresa y el accidente (McVittie et al., 1997).

La mayoría de los estudios como los que se han comentado anteriormente, se centran en análisis de los accidentes ocurridos y por tanto provocan una actuación reactiva (Hollnagel, 2008), es decir, que actúan para intentar evitar que ocurran nuevos accidentes similares en el futuro. Por esta razón es interesante el análisis de las situaciones precursoras, como alternativa a este estudio clásico de los accidentes, que permitan adelantarse al accidente e investigar sobre la información previa (Rozenfeld et al., 2010; Memarian y Mitropoulos, 2013; Yang et al., 2012; Cambraia et al., 2010).

Por tanto, se hace necesario disponer de unos indicadores que permitan adelantar la ocurrencia de un accidente y, de esta forma, poder actuar a tiempo para evitarlo.

2.4. LOS INDICADORES DE SEGURIDAD

2.4.1. Los indicadores retrasados (“lagging indicators”)

La mayor parte de estadísticas que se publican en el campo de la prevención de accidentes laborales suelen ser de carácter descriptivo, como las que utiliza el INSHT o Groves et al. (2007), para las que se utilizan principalmente indicadores retrasados (lagging indicators). A partir de estos datos de accidentes ya ocurridos, en algunas empresas surgen acciones o iniciativas de seguridad y salud que, al basarse en indicadores retrasados (que no son otra cosa que fracasos en temas de seguridad), resultan poco útiles para aquellas organizaciones que hacen grandes esfuerzos en mejora continua también en materia de seguridad (Agnew, 2013).

Toellner (2001) describió los indicadores retrasados como las mediciones que están vinculadas con el resultado de un accidente. En la misma línea Erikson (2009) los define como la medida de resultados de seguridad y salud y que proporcionan una medida del rendimiento pasado. Por su parte Christian et al., (2009) establece que los indicadores retrasados en seguridad y salud son eventos tales como accidentes, lesiones o muertes.

Los accidentes laborales son el resultado de una disfunción del proceso productivo y de los sistemas de prevención de riesgos que se han utilizado, que no han sido lo suficientemente eficaces o suficientes, para poder controlar las situaciones de riesgo. Una vez que ha ocurrido el accidente, es importante que sus datos queden registrados adecuadamente para su posterior tratamiento estadístico, y de esta forma poder ofrecer información a otras personas que eviten su repetición o minimizar sus consecuencias.

En materia de prevención de riesgos laborales se utilizan principalmente tres índices estadísticos (que son indicadores retrasados) cuyos valores se suelen utilizar comparativamente para analizar la tendencia y la evolución de la accidentalidad:

- a) Índice de incidencia (i.i.) representa el número de accidentes ocurridos por cada cien mil personas expuestas. Este índice indica el grado de incidencia que tienen los accidentes en el colectivo (plantilla de la empresa, obra, etc.).

$$i. i. = \frac{n^{\circ} A.}{n^{\circ} T.} \times 10^5$$

donde n° A. = número de accidentes

n° T. = número de trabajadores expuestos

El índice de incidencia ya se ha nombrado en referencias anteriores en este trabajo.

- b) Índice de frecuencia (i.f.) representa el número de accidentes por cada millón de horas de exposición al riesgo. Este índice indica con qué "frecuencia" se producen accidentes en la obra.

$$i.f. = \frac{n^{\circ} A.}{n^{\circ} H.T.} \times 10^6$$

donde n° A. = número de accidentes

n° H.T. = número de horas trabajadas

- c) Índice de gravedad (i.g.) representa el número de jornadas perdidas por cada millón de horas de exposición al riesgo. Este índice indica el nivel de gravedad de los accidentes producidos.

$$i.g. = \frac{n^{\circ} J.P.}{n^{\circ} H.T.} \times 10^3$$

donde n° J.P. = número de jornadas de perdidas (de baja médica)

n° H.T. = número de horas trabajadas

Sin embargo estos tres índices son complicados de obtener para obras concretas, como se podrá comprobar en el estudio de las condiciones de seguridad de las obras en las que participa la empresa IDOM que se expone en el apartado 3.1, donde solo se pudieron obtener datos del índice de incidencia y tan solo en una parte de las obras analizadas.

2.4.2. Los indicadores adelantados ("leading indicators")

Las empresas desempeñan un papel fundamental en la prevención de estos accidentes, y actualmente, las organizaciones más avanzadas en materia de seguridad laboral gestionan sus actividades de forma proactiva desde el punto de vista de prevención de riesgos laborales. Para ello, tienen que ser capaces de anticipar las vulnerabilidades de su gestión de la seguridad, y de anticipar los puntos débiles que pueden dar lugar a accidentes, en vez de simplemente reaccionar cuando éstos ocurren (Woods y Hollnagel, 2006).

Por eso, toda empresa que quiere reducir los accidentes laborales tiene que considerar otras medidas como son los indicadores adelantados (leading indicators) (Hinze, Thurman y Wehle, 2013). Con indicadores retrasados, la adopción de nuevas medidas sólo se dará tras un accidente laboral. Mientras que con el uso de indicadores adelantados, se podrá tener una evaluación más precisa de la gestión de la seguridad, y por tanto, de la prevención de accidentes en las obras.

En la literatura se pueden encontrar muchas definiciones sobre indicadores adelantados. Grabowski et al. (2007) describieron los indicadores adelantados como las principales condiciones, eventos, o medidas que preceden a un incidente y tienen un valor predictivo con respecto a un accidente (ya sea accidente propiamente dicho o incidente).

Desde un punto de vista más práctico, Hinze, Thurman y Wehle (2013) consideran que los indicadores adelantados están diseñados para esencialmente monitorear los procesos de seguridad en la construcción y cuando las medidas muestran que hay un defecto en el proceso iniciar algún tipo de intervención. En la misma línea, Janicak (2010) afirma que los indicadores adelantados ayudan a descubrir las debilidades en los procedimientos de la organización o el comportamiento de los empleados antes de que tengan oportunidad de causar daño real. Kjellén (2009) define el indicador adelantado en la seguridad como un indicador que cambia antes de que haya cambiado el nivel actual de riesgo en la organización.

Más allá de la mera definición, Stough (2012) define cinco características de los indicadores adelantados:

1. estrechamente conectados con los resultados,
2. medibles con objetividad y fiabilidad,
3. interpretables en el mismo sentido por diferentes grupos,
4. aplicables en líneas generales a las operaciones de la compañía,
5. comunicados fácilmente y con precisión.

Por contra, también se pueden encontrar otros autores escépticos en lo referente a los indicadores adelantados. Así, Reiman y Pietikäinen (2012) escriben que el concepto de indicador adelantado y algunos elementos asociados a su naturaleza son "all but clear" ("todo menos claro").

2.4.3. Relación entre indicadores adelantados e indicadores retrasados

Pero independientemente de la terminología, hay una serie de características que diferencian a los indicadores adelantados de los indicadores retrasados. La más importante la establecen Hinze, Thurman y Wehle (2013) sobre la respuesta que provoca cada tipo de indicador. Con los indicadores adelantados, la respuesta es proactiva por naturaleza, y la intención es realizar cambios en el proceso de seguridad para que no se produzcan lesiones o accidentes. Con los indicadores retrasados, la respuesta es de carácter reactivo, por cuanto surge después de que ya se han producido lesiones y la respuesta se inicia para tratar de prevenir la aparición de nuevas lesiones. Por lo tanto, con indicadores retrasados se genera una respuesta sólo después de que los trabajadores ya han sufrido lesiones.

No obstante, también hay quien considera que la distinción entre indicadores adelantados e indicadores retrasados en materia de seguridad no es clara. Algunos autores los han descrito más como una continuidad unos de otros en lugar de dos grupos de indicadores separados; y así Hopkins (2009) señala que la distinción entre adelantados y retrasados no es tan importante. Incluso Dyreborg (2009) propone que algunos indicadores retrasados podrían utilizarse para evaluar la calidad de los indicadores adelantados, tras apuntar que hay una relación causal entre los indicadores adelantados y retrasados.

Sin embargo sí que está generalizado el reconocimiento de que los indicadores adelantados pueden influir en los resultados de la gestión de la seguridad y salud. Sinelnikov et al. (2015: 240) señala que *"existe un consenso general sobre el uso de indicadores adelantados como medida del desempeño de la seguridad y salud en el trabajo"*, va más allá, solicitando el desarrollo y validación de unos índices estándar de indicadores adelantados que se puedan llegar a utilizar para la evaluación comparativa entre empresas y organizaciones.

En esta línea Shea et al. (2016) establecieron que los indicadores adelantados se engloban en los siguientes diez grupos (junto con los principales autores que los han desarrollado):

1. Responsabilidad en seguridad y salud: Una cultura del lugar de trabajo que haga hincapié en un sentido de responsabilidad compartida y de rendición de cuentas por seguridad y salud en el trabajo, al aplicar activamente el escrutinio y la transparencia

en la presentación de informes, es probable que influya en el comportamiento en el lugar de trabajo. Dyreborg (2009) y Fernández-Muñiz et al. (2009).

2. Consulta y comunicación en seguridad y Ssalud: La comunicación y consulta regular, formal e informal sobre la seguridad y salud en el trabajo. Las encuestas a los empleados pueden ser una forma de recolectar información de los empleados acerca de sus percepciones de Seguridad y Salud. DeJoy et al. (2004), Grabowski et al. (2007) y Health and Safety Executive (2005).
3. Empoderamiento y participación de los empleados en la toma de decisiones sobre seguridad y salud: Se entiende ampliamente que la participación de los empleados en la toma de decisiones conducirá a la "propiedad" de su comportamiento y resultados positivos, como la conducta de seguridad. Varios investigadores han investigado el papel del empoderamiento y la participación en la seguridad y salud en el trabajo y encontraron que el empoderamiento de los trabajadores y supervisores para tomar decisiones con respecto a la seguridad y salud en el trabajo (por ejemplo, para detener el trabajo que no es seguro) es un indicador principal del desempeño de seguridad y salud en el trabajo. Nahrgang et al. (2011), Wiegand (2007) and Wurzelbacher and Jin (2011).
4. Compromiso y liderazgo de gestión: Como con cualquier iniciativa organizacional, el compromiso de la gerencia es clave para la Seguridad y Salud en el Trabajo. Esto incluye a los gerentes en todos los niveles, desde los niveles de junta y altos ejecutivos hasta supervisores de primera línea. El compromiso efectivo se demuestra en la participación activa en áreas tales como la recopilación de información sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, la creación de confianza para que todos los empleados vean a los gerentes comprometidos con la Seguridad y Salud en el Trabajo, el comportamiento de los gerentes que demuestren que son modelos de Seguridad y Salud en el Trabajo; y los gerentes que demuestran que la Seguridad y Salud en el Trabajo es una alta prioridad en toda la organización. Choudhry et al. (2007), Frazier et al. (2013), Health and Safety Executive (2005), Lingard et al. (2011) and Zohar (2010)
5. Retroalimentación positiva y reconocimiento de la organización de la seguridad y salud: Se sugiere que el alto rendimiento en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo se

verá reforzado por la retroalimentación positiva y el reconocimiento de los resultados anteriores. Sin embargo, este reconocimiento no debe incluir recompensas que puedan conducir a una notificación de incidentes o lesiones con poco valor. Daniels y Marlow (2005).

6. Priorización de la Seguridad y Salud: La tendencia de la seguridad a ser intercambiada frente a la productividad ha sido discutida extensamente por los académicos. En lugar de considerar la seguridad y la productividad como objetivos contrapuestos, la Seguridad y Salud en el Trabajo incorporada en la organización como una prioridad alta, junto con la eficiencia y la productividad, puede considerarse un indicador adelantado del desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo. Glendon y Litherland (2001), Health and Safety Executive (2005), Van Dyck et al. (2013), y Zanko y Dawson (2012)
7. Gestión de riesgos: La integración de la gestión de riesgos con la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo; aspectos de la gestión del riesgo incluyen la evaluación del riesgo, el control, la inspección y el mantenimiento. Los riesgos pueden estar asociados con las dimensiones psicosociales, físicas y / o fisiológicas de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Fernández-Muñiz et al. (2009), Hopkins (2009), Kjellén (2009) y Pidgeon (1991)
8. Sistemas de gestión para seguridad y salud (políticas, procedimientos, prácticas): Estos sistemas se refieren a las políticas, procesos y prácticas en el lugar de trabajo diseñados para controlar y monitorear la Seguridad y Salud en el Trabajo, y son típicamente implementados y mantenidos por los gerentes y en los grupos de trabajo. Frazier et al. (2013), Payne et al. (2009), Pidgeon (1991), Wachter y Yorio (2014), y Wurzelbacher and Jin (2011)
9. Formación, información, herramientas y recursos de seguridad y salud: Junto con los recursos de Seguridad y Salud en el Trabajo que cuentan con experiencia especializada en Seguridad y Salud en el Trabajo adecuadamente calificada, la provisión de capacitación, información, herramientas y recursos de Seguridad y Salud en el Trabajo son indicadores clave del desempeño de Seguridad y Salud en el Trabajo. Esto incluye

preparación para actuar y tener un plan de respuesta en el lugar. Health and Safety Executive (2005) y Lingard et al. (2011)

10. Inspecciones y auditorías de Seguridad y Salud en el trabajo: Una frase que a menudo se atribuye al erudito de administración Peter Drucker es: "*Lo que se mide, se maneja*". Una implicación importante de esto es que la conducta de una auditoría o inspección puede no ser adecuada como indicador principal del desempeño de Seguridad y Salud en el Trabajo. Las inspecciones y auditorías deben diseñarse para proporcionar información adecuada y completa. Deberían tomarse medidas correctivas apropiadas y oportunas para abordar las cuestiones identificadas en auditorías o inspecciones. Carson y Snowden (2010), y Hallowell et al. (2013)

Pero además de estos indicadores adelantados generales de gestión, conviene particularizarlos para cada sector productivo. Siguiendo la línea que marca Dyreborg (2009) por cuanto los indicadores retrasados pueden servir para medir la calidad de los indicadores adelantados, en el apartado 3.2 se desarrolla y valida una herramienta que combina indicadores tanto retrasados como adelantados que permite detectar de forma temprana un accidente laboral en el sector de la construcción.

Antes de entrar a explicar esta herramienta, a continuación se exponen otras herramientas predictivas existentes, con objeto de plantear las particularidades que hacen diferente a esta nueva herramienta.

2.5. HERRAMIENTAS PREDICTIVAS EXISTENTES

La mayor parte de herramientas y modelos de seguridad laboral que se encuentran en la literatura son de carácter descriptivo, y los pocos que se definen como modelos predictivos señalan más bien tendencias o no relacionan indicadores adelantados e indicadores retrasados.

Uno de los métodos que se utiliza es el data-mining. Este método se utiliza mucho en campos como la medicina y las finanzas, con resultados muy positivos (Hastie et al., 2001). En el campo de la gestión de riesgos laborales, se han realizado estudios para evaluar la utilidad de estas técnicas en términos de su capacidad de predicción (Matías et al., 2008) y la capacidad explicativa identificando las causas que tienen mayor incidencia en los accidentes (Martín et al., 2009). Por otra parte, los árboles de decisión son útiles sobre todo en la identificación de las condiciones de trabajo que están asociados con un mayor riesgo de accidente en el campo de la construcción (Liao et. Al. 2008; Liao et. Al. 2009).

Para las plataformas petrolíferas se realizó un modelo donde se parte de una modelización de los accidentes, de forma que su modelo conceptual llega a proporcionar una visión integral de los procesos peligrosos y mecanismos de cuantificación con capacidad de predicción. A partir de los datos recopilados, se identifican los elementos que intervienen en un accidente y se construye un modelo conceptual para describir la progresión del accidente (Kujath et al., 2010). Este modelo de accidente pretende ser una herramienta que resalte las vulnerabilidades de las operaciones de la industria del petróleo y gas, de forma que se obtienen orientaciones sobre cómo minimizar sus peligros. Posteriormente, se describió un mecanismo de actualización del modelo de Kujath para reducir la incertidumbre de la cuantificación probabilística. Utiliza una combinación de eventos y un árbol de fallos para modelizar la relación causa-efecto. El modelo puede actualizar la probabilidad de accidente utilizando un mecanismo de actualización bayesiano, a partir de capturas del comportamiento operativo del proceso. A partir de la estimación del riesgo que ofrece el modelo, se pueden desarrollar y priorizar estrategias de operaciones más seguras (Rathnayaka et al., 2011).

Otro modelo predictivo, en este caso de la frecuencia de accidentes laborales y del coste de los mismos, también se desarrolló en el campo de la industria del gas y el petróleo (Attwood et al, 2006). Pero este modelo se centra en resultados colectivos ya que da por supuesto que

la seguridad funciona correctamente como factor individual y son únicamente factores externos y corporativos los que pueden afectar al proceso del accidente. Por otra parte, es un modelo teórico que tampoco se ha llegado a probar en campo.

En el sector de la construcción se puede encontrar el método TR (TR es un acrónimo en finlandés de "construcción de edificios"), que probablemente es el primer método de observación validado y estandarizado de control de la seguridad que se ha desarrollado con un enfoque realmente preventivo (Laitinen et al., 1999). Los aspectos de seguridad observados del método TR son: los hábitos de trabajo, los andamios y escaleras, máquinas y equipos, la protección contra caídas, iluminación y electricidad, y el orden y limpieza. En cada obra, cada ítem de cada aspecto observado se califica como "correcto" si cumple con las normas de seguridad, y en caso contrario se califica como "no es correcto". El índice de seguridad se calcula como un porcentaje de las calificaciones "correcto" relacionados con todos los elementos observados. El método llegó a estandarizarse para las grandes constructoras en Finlandia, aunque no llegó a todo el sector de la construcción del país. Otra debilidad del método es que los datos obtenidos de las rondas de observación no siempre estaban disponibles con facilidad. En cambio se demostró que podía ser un método de observación estándar, con posibilidad de calibración, y que se puede extrapolar a otros lugares teniendo en cuenta sus índices de siniestralidad (Laitinen et al., 2010). Los resultados apoyaron firmemente la validez del método de observación para la predicción de accidentes en la industria de la construcción de edificios. Un alto índice de seguridad como resultado de la observación indicó una baja tasa de accidentes (Laitinen et al., 1999).

El método TR sirvió de base para aplicar el método Elmeri en la industria manufacturera. El método Elmeri fue diseñado para su uso práctico, no para la investigación, ya que su objetivo fue desarrollar un método estándar y sencillo de inspección de seguridad y salud en el trabajo que pudiera ser utilizado por inspectores de seguridad, por auditores y por personal de la empresa. Sin embargo, del método Elmeri surgen correlaciones entre alguno de los aspectos observados y los indicadores de accidentes. Es decir, entre indicadores adelantados (leading indicators) e indicadores retrasados (lagging indicators) (Laitinen et al., 2013).

Sin embargo no son habituales los métodos predictivos validados que se basen en indicadores adelantados. Hinze et al. (2013) ya avanzan que un número de indicadores adelantados

seleccionados adecuadamente pueden llegar a ofrecer unos resultados predictivos. Buscando unos adecuados indicadores adelantados y tratándolos de manera conjunta con indicadores retrasados, no solo se puede dar con una herramienta predictiva (con los indicadores adelantados), sino que se puede llegar a validar (con los indicadores retrasados).

La herramienta QRAM (Pinto, 2013) se utiliza para la medición cualitativa del riesgo en la industria de la construcción, y propone un procedimiento para la estimación de riesgos en obra, mediante un listado estructurado de preguntas, y su tratamiento posterior para llevar a cabo la evaluación. Analiza nueve modos de accidentes en función de la efectividad de las medidas preventivas, la posibilidad y la severidad. CONSRAT (Forteza et al., 2016) es una herramienta de evaluación de obras de construcción que también utiliza correlaciones, con una aplicación práctica más sencilla que QRAM (Pinto, 2013), con una vocación más predictiva, y es más fácil de llevar a cabo por cualquier técnico con capacitación básica previa. Se puede utilizar como herramienta para la evaluación de riesgos previa y para verificar el nivel de riesgo de una obra de forma regular. En este sentido, se puede considerar como un indicador adelantado o predictor (Grabowski et al., 2007; Hinze et al., 2013), aunque no por ello es una herramienta predictiva. Esta herramienta adopta un enfoque de riesgo de la obra a través de la construcción de varias variables para evaluar las principales condiciones de vida, los factores de complejidad y las características de la estructura organizacional que están relacionadas con el riesgo. Hace posible un análisis posterior de las relaciones entre esas variables, para orientar los posibles programas de intervención que lleven a mejorar la seguridad y la salud. Sin embargo esta herramienta tiene una limitación importante en su uso, y es la necesidad de proporcionar una capacitación previa para los inspectores. El conocimiento de la ley y los criterios técnicos experimentados son imprescindibles para corregir el manejo de esta herramienta. Otra limitación es la extensión del cuestionario, con 97 preguntas.

También se han utilizado la lógica difusa aplicada a redes neuronales, no solo para evaluar el nivel de seguridad de una obra sino también para predecir el número de accidentes (Ciarapica, 2009), aunque sea una predicción a corto plazo, y su capacidad predictiva no alcanza a adoptar acciones preventivas en una obra concreta.

Finalmente, hay otros modelos como el ORCA (Occupational Risk Model) (Aneziris, 2012) o los horóscopos (Bellamy, 2014) que desarrolla el anterior, que son capaces de predecir el número

de accidentes por tipo de obra en general, y funcionan mejor para grupos de trabajo homogéneos, pero no de una obra en particular en función de su estado concreto en materia de seguridad.

En una línea parecida, hay estudios en el ámbito de España que dan una predicción de las tasas de incidencia de diferentes grados de accidentes, que posteriormente se usan para evaluar la efectividad de los programas y estrategias estatales para luchar contra la siniestralidad laboral (Carnero y Pedregal, 2010, 2013). Y también hay otros que se centran en identificar variables (relacionadas con el tiempo del accidente, relacionadas con las características del trabajador accidentado, relacionadas con la compañía en la que trabaja) que pueden llevar a identificar las situaciones más probables de generar accidentes (Rivas et al., 2011). Pero nuevamente su capacidad predictiva se reduce a sacar conclusiones con respecto a las causas de accidentes, no llega a predecir los futuros accidentes en una obra determinada.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, sería importante disponer de un tipo de herramienta de uso sencillo que tuviera la capacidad de predecir los accidentes a partir de los indicadores adelantados.

Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación es encontrar relaciones entre los indicadores adelantados que se puedan obtener en una serie de obras y los indicadores retrasados en forma de accidentalidad de las mismas, que permitan elaborar un cuestionario con capacidad predictiva de accidentes. No se trata de analizar solamente la accidentalidad futura en base a una calificación de seguridad de una obra, sino de establecer cuáles son los aspectos concretos de seguridad en una obra de construcción que pueden predecir si van a ocurrir accidentes o no.

3. DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PREDICTIVA DE ACCIDENTES LABORALES

Una vez planteada la necesidad de nuevas técnicas y herramientas cuya aplicación ayude a la disminución de la siniestralidad laboral en la construcción, y después de haber revisado la literatura sobre indicadores adelantados e indicadores retrasados y diversos modelos predictivos, se va a desarrollar una herramienta predictiva para anticipar la ocurrencia de accidentes laborales en las obras de construcción y, de esta forma, poder adoptar medidas correctoras antes de la ocurrencia de estos accidentes. Para ello nos basaremos en un estudio realizado previamente acerca de las condiciones de seguridad de las obras en las que participa una empresa de ingeniería. El objetivo de aquel estudio era desarrollar una herramienta propia de la empresa para la evaluación de la seguridad en obras en las que participaba y adoptar medidas las medidas correctoras adecuadas para mejorar el nivel de seguridad. Sin embargo, esta herramienta tenía una serie de inconvenientes, ya que las medidas eran de carácter reactivo y además la encuesta era considerada en ocasiones como excesivamente larga. Por esta razón resultaba interesante disponer de una herramienta que tuviera capacidad predictiva y que fuera más sencilla de rellenar. Por tanto, la herramienta que se presenta ahora se basa en la utilización de indicadores adelantados (variables independientes de la encuesta anterior) que, contrastándolos con ciertos indicadores retrasados (variables dependientes) tomados al mismo tiempo mediante la encuesta previa para una obra, a través del establecimiento de correlaciones permite la formación de un cuestionario predictivo de la posibilidad de ocurrencia de accidentes laborales en las obras de construcción en las que se aplica, siendo un cuestionario sencillo y rápido de cumplimentar.

3.1. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD DE LAS OBRAS EN LAS QUE PARTICIPA LA EMPRESA IDOM

3.1.1. Contexto del estudio

A continuación, se expone el estudio del contexto al que hace referencia el párrafo anterior, sobre las condiciones de seguridad en las que participa IDOM, una importante empresa de ingeniería, como agente interviniente en el proceso de la construcción. La Dirección de IDOM mostró su interés en mejorar la seguridad de las obras en las que participaba, para lo cual el primer paso necesario era conocer el punto de partida en cuanto al nivel de seguridad de las mismas, y detectar aquellas sobre las que fuera necesario actuar para mejorarlo. Para ello, yendo más allá incluso de las disposiciones legales existentes, planteó una metodología consistente en proponer una línea de trabajo, utilizando la práctica del benchmarking interno, que mejorase el control de la seguridad en la obra y, por tanto, la seguridad de los trabajadores.

En la Figura 21 se ubica el análisis del nivel de seguridad en las obras de construcción en el desarrollo de la tesis.



Figura 21. Fase II del desarrollo de la tesis

IDOM es una empresa de servicios profesionales integrados de ingeniería y arquitectura en el ámbito industrial, obra civil y edificación, trabajando tanto para clientes públicos como para clientes privados. Aunque no es una empresa constructora, sí que interviene de forma decisiva en el desarrollo de las obras, a través de la elaboración de proyectos y dirección de obra.

Esta empresa, con más de 60 años de historia, emplea actualmente a más de 2.700 profesionales de los que un 80% son ingenieros y arquitectos. En el año 2016 contaba con 39 oficinas permanentes repartidas en 20 países distintos y realizó proyectos en 123 países, con una facturación de 300 millones de euros. El 80% de la actividad de la compañía se realiza fuera de España, no obstante el estudio de referencia se circunscribe únicamente al territorio nacional.

La empresa suele tener unas bajas tasas de accidentalidad: en el año 2005, cuando se decide comenzar este estudio, el índice de incidencia español en el sector de la construcción, según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2015) fue del orden de 13.500 y el índice de incidencia en oficinas técnicas de 1.500, mientras que el índice de incidencia para IDOM fue de 780 en ese mismo año.

Debe subrayarse, asimismo, que dicha actuación fue ejecutada desde la perspectiva de una empresa que no pertenece al sector de la construcción, pero sí que interviene de forma decisiva en el desarrollo de las obras: una empresa que desarrolla proyectos y direcciones de obra.

Para llevar a cabo el estudio, se constituyó un grupo de expertos compuesto por cuatro empleados de IDOM con más de diez años de antigüedad en la compañía, con formación superior en Prevención de Riesgos Laborales y con experiencia en seguridad a pie de obra. Estas cuatro personas aplicaron la práctica del benchmarking en varias fases del estudio: elaboración de la encuesta, procedimiento de inspección, análisis de datos, e implantación de medidas de mejora. El doctorando fue una de estas cuatro personas seleccionadas, y dirigió el trabajo del grupo.

La práctica del benchmarking ya se ha aplicado a la prevención de riesgos laborales, como por ejemplo para optimizar los costes destinados a ello (Wright, 1998), orientados al cumplimiento legal (Osborne y Zairi, 1997) o para implicar a la alta dirección (Fuller, 1999). Sin embargo, el benchmarking no se ha empleado tanto de forma particularizada a la prevención de riesgos en la construcción. Hay algunos estudios evaluando la gestión de la seguridad en la

construcción (Fang, Huang, y Hinze, 2004) analizando el rendimiento en seguridad de los contratistas (Ng et al., 2005; Mohammad et al., 2010), o estudiando los factores que influyen en la seguridad en la construcción (Teo y Ling, 2006). Sin embargo en la literatura se echan en falta trabajos que presenten herramientas prácticas de mejora y que demuestren su eficacia contrastada, que es lo que pretendió IDOM con este estudio.

3.1.2. Obras analizadas

A lo largo de tres años (2006, 2008 y 2012) se visitaron 353 obras de construcción de diferente índole por toda la geografía española. De todas estas obras, se descartaron 39 para el estudio, por encontrarse en un estado incipiente o bien en avanzado estado de finalización, con apenas actividad en ambos casos.

Por tanto se consideraron para el estudio 92 obras en el año 2006, 150 obras en el año 2008 y 72 obras en el año 2012. Es decir, un total de 314 obras, distribuidas en tres zonas (norte, este y centro-sur) según la Figura 22 y de diferentes especialidades técnicas según la Figura 23.

En la Tabla 3 se recogen las obras analizadas cada año atendiendo a dichas áreas geográficas, mientras que la Tabla 4 presenta una clasificación de las mismas atendiendo al sector.

Zona	2006	2008	2012	TOTAL
Norte	40	47	37	124
Centro-Sur	37	61	18	116
Este	15	42	17	74
TOTAL	92	150	72	314

Tabla 3. Clasificación de obras por zona geográfica

Sector	2006	2008	2012	TOTAL
Industria y Energía (IE)	21	28	17	66
Ingeniería Civil (IC)	23	45	22	90
Arquitectura y Edificación (AE)	38	51	23	112
Medio Ambiente (MA)	6	12	2	20
Telecomunicaciones (TL)	4	14	8	26
TOTAL	92	150	72	314

Tabla 4. Clasificación de obras por sector

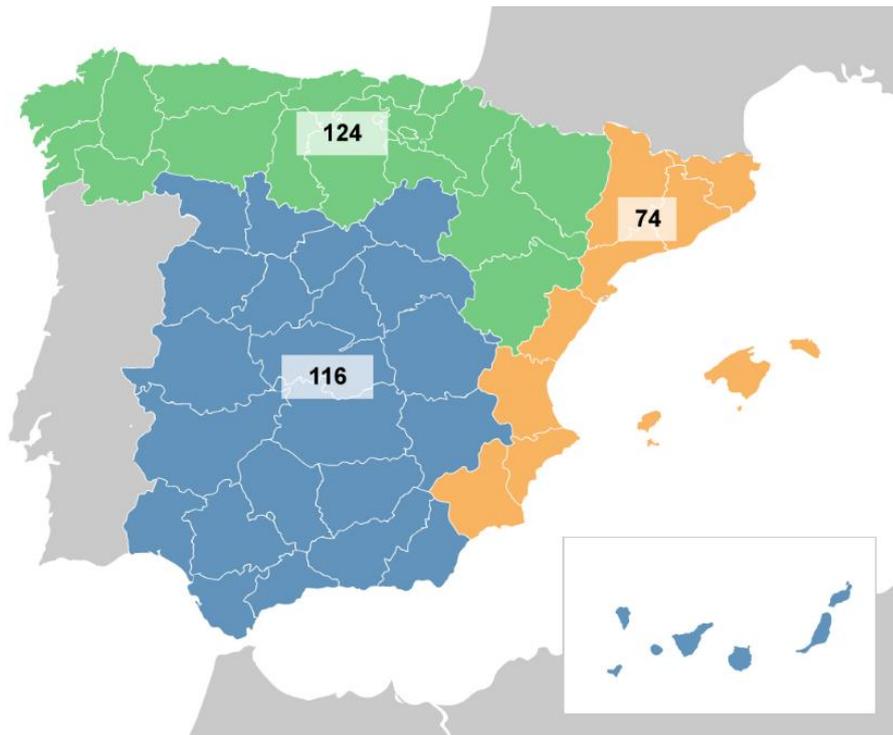


Figura 22. Localización en número de las obras analizadas por zonas

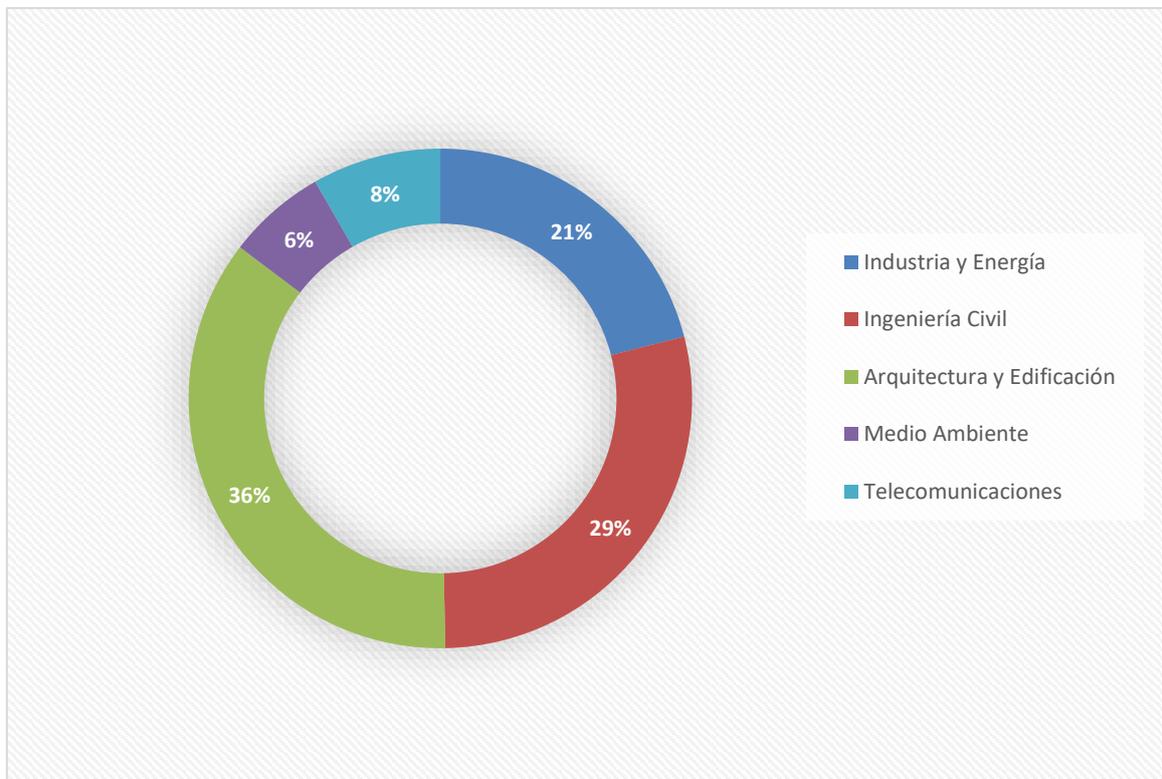


Figura 23. Distribución de obras por especialidad técnica

3.1.3. La encuesta

Para la evaluación del nivel de seguridad en las obras, el grupo de expertos designado por la empresa elaboró una encuesta estructurada en tres bloques, tal y como puede apreciarse en la Tabla 5.

Bloque 1 – Situación de las personas de IDOM en las obras	
B1Q1	¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido formación en seguridad?
B1Q2	¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido los equipos de protección individual (EPIs) adecuados para la obra en cuestión?
Bloque 2 – Verificación documental del cumplimiento de la legislación	
B2Q1	¿Se encuentra el Plan de Seguridad y Salud en la obra?
B2Q2	¿Hay Acta de Aprobación del Plan de Seguridad y Salud (y de sus anexos, si procede)?
B2Q3	¿Están designados por escrito los recursos preventivos de cada una de las contratatas?
B2Q4	¿Existen acuses de entrega de EPIs firmados por cada trabajador de la obra?
Bloque 3 – Verificación “in situ” del estado de la seguridad en la obra	
B3Q1	¿Es suficiente la presencia del Coordinador de Seguridad en la obra?
B3Q2	¿Existe señalización y vallado de la obra?
B3Q3	¿Se realizan los trabajos con los EPIs correctos?
B3Q4	¿Es correcto el montaje y acceso de los andamios y plataformas elevadoras?
B3Q5	¿Es correcta la instalación eléctrica de la obra: generador (si lo hay), cuadro eléctrico, protecciones, conexiones, tomas?
B3Q6	¿Están protegidos los huecos y puntos de riesgo de caída?
B3Q7	¿Están señalizados desniveles y objetos con riesgos de caídas o golpes?
B3Q8	¿Hay iluminación suficiente en todos los tajos?
B3Q9	¿Está la obra en buen estado de orden y limpieza?
B3Q10	Datos de la accidentalidad de la obra en el último año: nº de accidentes leves, nº de accidentes graves, índice de incidencia

Tabla 5. Cuestiones de la encuesta

El primer bloque, compuesto por dos preguntas, se diseñó para conocer si los empleados de IDOM destinados en la obra habían recibido la formación en seguridad y los equipos de protección individual, para hacer frente a los riesgos laborales a los que pudieran estar sometidos.

El segundo bloque contenía cuatro preguntas y tenía por objeto la verificación documental del cumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad y salud en las obras de construcción (principalmente el Real Decreto 1627/1997), tanto si era responsabilidad del contratista (el Plan de Seguridad y Salud, designación de los recursos preventivos, acuses de recibo de EPIs) como si lo era del Coordinador de Seguridad y Salud (aprobación del Plan de Seguridad y Salud).

En el tercer bloque tenía diez preguntas para la verificación "in situ" del estado de seguridad de la obra, relacionadas con los accidentes laborales más comunes en el sector de la construcción, según el Observatorio Español de Condiciones de Trabajo (OECT). A efectos de este trabajo se considera accidente lo dispuesto en el Real Decreto 1/1994, aunque solamente se tendrán en cuenta en este apartado los accidentes con baja, relacionados con: señalización y vallado, uso de equipos de protección individual, andamios y plataformas elevadoras, huecos y puntos de riesgo de caída, desniveles y objetos con riesgo de caída, iluminación, instalación eléctrica, y orden y limpieza. La primera pregunta de este bloque no estaba directamente relacionada con riesgos laborales, pero sí que invitaba a la reflexión, ya que trataba sobre la dedicación de tiempo en la obra del Coordinador de Seguridad y Salud.

Las opciones de respuesta para cada pregunta eran SI, NO y NS/NC, salvo en la última pregunta del bloque 3, donde se solicitaban datos numéricos sobre accidentalidad (nº de accidentes leves, nº de accidentes graves, índice de incidencia). Estos datos se canalizaron a través del Coordinador de Seguridad y Salud en fase de Ejecución en cada obra, teniendo en cuenta los criterios del apartado 2.2.1.2 en cuanto a la consideración de accidentes, accidentes leves y accidentes graves.

3.1.4. Procedimiento y análisis de datos

Cuando la Dirección de IDOM tomó la decisión de realizar el estudio y constituyó el grupo de trabajo, ésta lo comunicó a los directores de oficina, quienes lo hicieron extensivo a todos los directores de proyecto de la organización.

A través de los directores de oficina, se tuvo acceso al listado de proyectos con obra en ejecución en cada área. A partir de esa información, se organizó la visita de uno de los

miembros del grupo a cada obra. En dichas visitas, siempre estaba presente el director del proyecto.

En la obra, se hacía una revisión de toda la documentación existente y se realizaba una visita a las instalaciones. Concluida ésta, se entrega al director del proyecto la encuesta para que la rellenara y la remitiera al experto que le había acompañado para su posterior tratamiento.

De acuerdo con el objetivo de aquel trabajo, y con el propósito de que la evaluación resultante fuese cuantitativa, el grupo de expertos desarrolló un criterio para la valoración y ponderación de cada una de las respuestas de la encuesta, utilizando el método de consenso inter-jueces (Glaser y Strauss, 1967).

A partir de la encuesta, se pretendía obtener dos medidas distintas. La primera, una valoración global del nivel de seguridad en la obra, de tal manera que se pudiera juzgar si ésta era aceptable o no aceptable en materia de seguridad y salud. La segunda medida tenía que ver con el grado de cumplimiento de cada ítem de la encuesta a nivel individual, con el fin de detectar puntos críticos y mejorarlos.

A continuación se expone el método seguido para la valoración de cada una de estas medidas.

3.1.4.1. Valoración del nivel de seguridad de la obra

Con la valoración del nivel de seguridad de cada obra se pretendía principalmente calificar cada obra como aceptable o no aceptable en materia de seguridad, de forma que se pudiera priorizar la adopción de acciones correctoras. También esta información serviría para medir la evolución en sucesivas tandas de encuestas del porcentaje de obras aceptables y no aceptables, con objeto de comprobar si las acciones correctoras daban sus frutos o eran insuficientes.

Para la determinación de esta valoración, se tomaron las siguientes consideraciones:

- La valoración global se hizo a partir del cómputo de respuestas afirmativas obtenidas en cada uno de los ítems de la encuesta realizada por el director del proyecto.
- No obstante, como no todas las preguntas tenían la misma importancia, se estableció un coeficiente de ponderación para cada ítem de 1 a 3 (1 para los aspectos menos

importantes, 2 para los importantes y 3 para los muy importantes). La puntuación final se estableció de forma consensuada entre los expertos.

- Adicionalmente, se decidió una penalización para aquellos casos en los que se hubieran producido accidentes durante la ejecución de la obra, penalización que se aplicaría independientemente de las respuestas que hubiera dado el director del proyecto. Se estableció que la penalización en la valoración global del nivel de seguridad de la obra sería de 5 puntos en caso de que se hubiera producido algún accidente en la obra pero manteniendo el nivel de incidencia por debajo de la referencia de 6.750 – se decidió, siguiendo la sugerencia de la dirección de la empresa, tomar como nivel de referencia la mitad del índice del año 2005 para el sector de la construcción que fue de 13.500 – y de 12 puntos cuando habiéndose producido un accidente el índice de incidencia fuera superior a dicha cifra.

De esta forma, la puntuación global de cada obra (O_i) se obtenía a partir de la siguiente fórmula:

$$O_i = \left(\sum_{j=1}^{15} [C_j \cdot X_j] \right) + X_{16}$$

donde: O_i es la puntuación de cada obra, desde $i=1$ hasta $i=n$, siendo n , el número de obras consideradas para la evaluación

j es el número de pregunta desde $j=1$ hasta $j=15$

$C_j=1$ si $j= 6, 8, 11$.

$C_j=2$ si $j= 3, 4, 5, 10, 13, 14, 15$.

$C_j=3$ si $j= 1, 2, 7, 9, 12$.

$X_j= 1$ si respuesta era afirmativa

$X_j= 0$ si respuesta era negativa o quedó en blanco

$X_{16}= 0$ si i.i. (índice de incidencia) = 0

$X_{16}= -5$ si $0 < i.i. < 6.750$

$X_{16}= -12$ si $i.i. \geq 6.750$

A partir de esta fórmula y considerando que el valor máximo que se podía obtener era de 32 puntos, el grupo de trabajo estableció un criterio para clasificar la valoración global del nivel de seguridad en la obra en dos niveles:

- Aceptable en materia de seguridad, cuando $O_i \geq 25$.
- Necesita mejorar en materia de seguridad, cuando $O_i < 25$.

Para el establecimiento de la puntuación de corte (25 puntos) se consideró que para que una obra tuviera una puntuación por encima del mismo, o bien que no tuviera ningún accidente y al menos obtener 25 de los 32 puntos posibles (una implantación mejorable pero sin accidentes), o bien que, en caso de tener algún accidente se lograra manteniendo un índice de incidencia inferior a 6.750 y se obtuvieran 30 de los 32 puntos posibles (una muy buena implantación de la seguridad pero con accidentes).

3.1.4.2. Valoración del cumplimiento de cada ítem de la encuesta.

Además de la valoración global del nivel de seguridad de la obra, el grupo de expertos consideró relevante analizar el grado de cumplimiento de cada pregunta de la encuesta en las diferentes obras analizadas. Esta información serviría para detectar puntos críticos de mejora para cada año de análisis, y a la vez comprobar la evolución (mejora o no) de cada ítem en posteriores tandas de encuestas.

Para la puntuación de cada cuestión se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_j = \left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right) \cdot \frac{100}{n}$$

donde: P_j es el porcentaje de cumplimiento de cada pregunta para todas las obras

j es el número de pregunta desde $j=1$ hasta $j=15$

$X_{ij} = 1$ si la respuesta era afirmativa

$X_{ij} = 0$ si la respuesta era negativa o quedó en blanco

i es el número de obras analizadas cada año, desde $i=1$ hasta n .

3.1.5. Resultados

3.1.5.1. Resultados respecto al nivel de seguridad de las obras

En la Tabla 6, se puede consultar la evolución del número de obras "aceptables en materia de seguridad", tanto a nivel global como por sector, durante los tres periodos de análisis 2006, 2008 y 2012. De acuerdo con estos datos, se observa un importante aumento del número de obras consideradas como aceptables y una evolución positiva en todas las áreas, salvo en la de telecomunicaciones, que tuvo una bajada puntual en 2008.

	2006	2008	2012
Número de obras analizadas	92	150	72
Número de obras aceptables (%)	22 (23,9%)	65 (43,3%)	55 (76,4%)
Industria y Energía (IE)	5 (23,8%)	14 (50,0%)	16 (94,1%)
Ingeniería Civil (IC)	6 (26,1%)	23 (51,1%)	16 (72,7%)
Arquitectura y Edificación (AE)	8 (21,1%)	21 (41,2%)	13 (56,5%)
Medio Ambiente (MA)	2 (33,3%)	5 (41,7%)	2 (100,0%)
Telecomunicaciones (TL)	1 (25,0%)	2 (14,3%)	8 (100,0%)

Tabla 6. Evolución del número de obras "aceptables en materia de seguridad", como resultado del estudio

3.1.5.2. Evolución de los resultados

En la Tabla 7, se recogen los resultados obtenidos a lo largo de los tres años en cada uno de los ítems de la encuesta.

En líneas generales, la mayoría de los ítems han aumentado sus porcentajes de cumplimiento durante el análisis, si bien algunos de ellos sufrieron altibajos.

	2006 – 92 obras			2008 – 150 obras			2012 – 72 obras		
	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC
Bloque 1 – Situación de las personas de IDOM en las obras									
¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido formación en seguridad?	51 (55,4%)	36 (39,1%)	5 (5,5%)	92 (61,3%)	35 (23,3%)	23 (15,4%)	59 (81,9%)	13 (18,1%)	0 (0%)
¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido los EPIs?	49 (53,3%)	29 (31,5%)	14 (15,2%)	123 (82%)	22 (14,7%)	5 (3,3%)	65 (90,3%)	6 (8,3%)	1 (1,4%)
Bloque 2 – Verificación documental del cumplimiento de la legislación									
¿Se encuentra el Plan de Seguridad y Salud en la obra?	77 (83,7%)	10 (10,9%)	5 (5,4%)	148 (98,7%)	2 (1,3%)	0 (0%)	60 (83,3%)	3 (4,2%)	9 (12,5%)
¿Hay Acta de Aprobación del Plan de Seguridad y Salud (y de sus anexos, si procede)?	74 (80,4%)	8 (8,7%)	10 (10,9%)	146 (97,3%)	4 (2,7%)	0 (0%)	71 (98,6%)	1 (1,4%)	0 (0%)
¿Están designados por escrito los recursos preventivos de las contratas?	74 (80,4%)	15 (16,3%)	3 (3,3%)	134 (89,3%)	16 (10,7%)	0 (0%)	65 (90,3%)	6 (8,3%)	1 (1,4%)
¿Existen acusos de entrega de EPIs firmados por cada trabajador de la obra?	71 (77,2%)	4 (4,3%)	17 (18,5%)	123 (82%)	6 (4%)	21 (14%)	69 (95,8%)	3 (4,2%)	0 (0%)
Bloque 3 – Verificación “in situ” del estado de la seguridad en la obra									
¿Es suficiente la presencia del CS en la obra?	33 (35,9%)	50 (54,3%)	9 (9,8%)	131 (87,3%)	19 (12,7%)	0 (0%)	35 (48,6%)	22 (30,6%)	15 (20,8%)
¿Existe señalización y vallado de la obra?	72 (78,2%)	17 (18,5%)	3 (3,3%)	122 (81,3%)	21 (14%)	7 (4,7%)	62 (86,1%)	7 (9,7%)	3 (4,2%)
¿Se realizan los trabajos con los EPIs correctos?	51 (55,4%)	31 (33,7%)	10 (10,9%)	117 (78%)	28 (18,7%)	5 (3,3%)	66 (91,7%)	6 (8,3%)	0 (0%)
¿Es correcto el montaje y acceso de los andamios y plataformas elevadoras?	32 (34,8%)	26 (28,2%)	34 (37%)	133 (88,7%)	17 (11,3%)	0 (0%)	59 (81,9%)	7 (9,7%)	6 (8,3%)
¿Es correcta la instalación eléctrica de la obra: generador, cuadros, etc.?	50 (54,3%)	8 (8,7%)	34 (37%)	122 (81,3%)	22 (14,7%)	6 (4%)	65 (90,3%)	3 (4,2%)	4 (5,6%)
¿Están protegidos los huecos y puntos de riesgo de caída?	46 (50%)	30 (32,6%)	16 (17,4%)	117 (78%)	17 (11,3%)	16 (10,7%)	53 (73,6%)	10 (13,9%)	9 (12,5%)
¿Están señalizados desniveles y objetos con riesgos de caídas o golpes?	42 (45,7%)	26 (28,3%)	24 (26%)	120 (80%)	30 (20%)	0 (0%)	46 (63,9%)	7 (9,7%)	19 (26,4%)
¿Hay iluminación suficiente en todos los tajos?	60 (65,2%)	5 (5,4%)	27 (29,4%)	141 (94%)	9 (6%)	0 (0%)	68 (94,4%)	3 (4,2%)	1 (1,4%)
¿Está la obra en buen estado de orden y limpieza?	49 (53,3%)	36 (39,1%)	7 (7,6%)	84 (56%)	40 (28,7%)	23 (15,3%)	53 (73,6%)	14 (19,5%)	5 (6,9%)
Datos de la accidentalidad de la obra: índice de incidencia	8.862			7.094			5.038		

Tabla 7: evolución de los resultados de cada ítem de la encuesta

Con respecto a los resultados del primer bloque de preguntas, se observa un crecimiento muy importante y sostenido en el grado de cumplimiento de ambos ítems a lo largo del estudio y la reducción del porcentaje de encuestados que desconocían o eludían responder.

En lo que se refiere al bloque 2, se observa que el punto de partida inicial del análisis era superior al del bloque anterior y que en todos los ítems se ha conseguido una evolución positiva, salvo en la existencia del Plan de Seguridad y Salud en la obra, que se redujo en el año 2012 con respecto a 2008, debido al aumento de encuestados que respondieron NS/NC a esta cuestión.

Si se analizan los resultados obtenidos en el bloque de preguntas relacionado con la verificación "in situ" del estado de Seguridad en la Obra, se observa una disparidad importante en el porcentaje de cumplimiento de cada cuestión en el primer análisis.

Por último, la Tabla 7, refleja un importante descenso del índice de incidencia en las obras analizadas.

3.1.5.3. Planes de mejora

Como resultados de los análisis realizados en los años 2006, 2008 y 2012, y tras un proceso de benchmarking interno, se realizaron unas propuestas de mejora, validadas por la Dirección de la empresa, y que marcaron la línea de mejora mostrada.

Estas propuestas de mejora se enmarcan en dos grandes áreas (organización y procedimiento de análisis).

- Con respecto a la organización:
 - La Dirección de IDOM designó en cada oficina un responsable de seguridad en las obras, con titulación superior en prevención de riesgos laborales y experiencia en el sector, al que se le asignó una dedicación de su tiempo de trabajo (variable entre oficinas, en función del número de obras de cada zona) para dedicar al apoyo en materia de seguridad y salud (resolución de dudas, consultas, novedades normativas, formación, entrega de EPIs, etc.) a los directores de obra. Este responsable de seguridad tenía las siguientes funciones

principales: apoyo técnico en materia de seguridad al resto de personas de la oficina, impartición de los cursos de formación a las personas de la oficina, asesoría en la contratación del Coordinador de Seguridad y Salud en los casos en los que dependía de IDOM.

- La Dirección estableció el requerimiento de que toda persona de IDOM que tuviera relación con un proyecto de construcción, ya fuera a nivel de proyecto o a nivel de obra, asistiese al curso interno de seguridad en las obras. Este curso interno, de 8 horas de duración, fue diseñado por los cuatro expertos y en el que se trataban cuestiones teóricas y normativas a la vez que en la parte práctica se trataban casos en base a fotografías de situaciones reales vividas en las obras en las que participaba IDOM, lo que redundó en la concienciación y mejora del desempeño de las personas que asistieron al curso.
- Hubo varias campañas, tanto presenciales como a través de la intranet para la concienciación en materia de seguridad en la construcción, como para llamamientos a la vigilancia del cumplimiento de los contratos relacionados con la seguridad en los diferentes stakeholders, especialmente de los coordinadores de seguridad y salud en fase de ejecución.
- Se creó un foro en la intranet de IDOM para facilitar la participación y consulta de la personas de IDOM en materia de prevención de riesgos laborales en la construcción.
- Se ordenó todo este trabajo como parte de un sistema de gestión, para lo cual ya se estaba pensando en el estándar OHSAS 18001. Y más teniendo en cuenta que IDOM ya contaba con sistemas de gestión certificados tanto de calidad (ISO 9001) como de medio ambiente (ISO 14001).
- Con respecto a los análisis realizados (de cara a futuras revisiones):
 - Depurar y mejorar la metodología, revisando si los ítems que contiene se ajustan a las necesidades requeridas en cada momento, y si todos ellos pueden/deben ser cumplimentados en todos los casos. A este respecto, algunos autores ya han señalado que las deficiencias en la cumplimentación de

formularios e informes de accidentes pueden limitar los estudios que de ellos se derivan (Salguero-Caparros et al., 2015).

- Instaurar sistemáticamente autoevaluaciones periódicas. No se trata de requerir por parte de la Dirección de IDOM cada cierto tiempo una “fotografía” de la seguridad de las obras en las que participa, sino que quedara pautado el proceso con una periodicidad determinada (por ejemplo cada dos años).
- Con respecto a los resultados: extraer conclusiones por áreas técnicas y áreas geográficas. Los resultados obtenidos fueron como una única empresa, pero la realidad es que las obras son diferentes en sí mismas y en cuanto a su seguridad, dependiendo de su especialidad (carreteras, puertos, industriales, de edificación, etc.). Algo similar ocurrió con la distribución geográfica, ya que la sensibilidad con respecto a la seguridad varía en función de la ubicación de la oficina dentro del país. Por tanto se hacía necesario incidir tanto en aquellas áreas técnicas (civil, industria y energía, arquitectura) como en las áreas geográficas que tenían resultados menos buenos.

Con todo ello se consiguió mejorar el nivel de seguridad de las obras y disminuir la accidentalidad. Sin embargo, a pesar de los resultados positivos, las medidas que llevaron a ello fueron medidas reactivas. Llegados a este punto, se requiere que las medidas de mejora sean proactivas, y para ello se necesita una herramienta predictiva.

3.2. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA PREDICTIVA

En la Figura 24 se ubica la creación de la herramienta predictiva (configuración del cuestionario y su validación) en el desarrollo de la tesis.



Figura 24. Fase III del desarrollo de la tesis

3.2.1. Consideraciones estadísticas previas

Como información de partida, se tomó la encuesta y la información obtenida del estudio de las condiciones de seguridad de las obras descrito en el apartado 3.1. A efectos del tratamiento estadístico que se va a desarrollar a continuación como base de la herramienta predictiva, las preguntas de los bloques primero, segundo y tercero se consideran indicadores adelantados (leading indicators), a excepción de la última pregunta (respuesta numérica triple, indicando el número de accidentes leves, el número de accidentes graves y el índice de incidencia de cada obra) de este tercer grupo, que se trata de indicadores retrasados (lagging indicators).

A partir de los datos obtenidos de las encuestas de los años 2006 y 2008 se construyó un modelo obteniendo el menor número de ítems que mejor discriminaba en relación a las variables dependientes. En este caso se utilizaron como variables dependientes los indicadores retrasados de la encuesta, es decir, los datos obtenidos de las preguntas B3Q10a, B3Q10b. Ambas variables hacen referencia a las ocurrencias de accidentes leves y graves. La primera

variable fue recodificada en términos de la ocurrencia de más de 5 accidentes leves y la segunda como presencia-ausencia de accidentes graves. Ambas casuísticas son consideradas por la empresa como motivo de alarma. El criterio de 5 accidentes leves se tomó como una relación más restrictiva que la que marca la "pirámide de Heinrich" (29 accidentes leves por cada accidente grave) la que marca la estadística española entre los años 2002 y 2016 para el sector de la construcción (77 accidentes leves por cada accidente grave), ambos casos explicados en el apartado 2.2.2 anterior, y fue una decisión de la Dirección de IDOM.

3.2.1.1. *La regresión logística*

Dada la naturaleza de ambas variables dependientes (dicotómicas) el modelo utilizado fue la regresión logística. Debido a la característica de la variable dependiente, se pretende modelizar la proporción de eventos que se produce en un fenómeno. En este caso que se produzcan más de 5 accidentes leves en un modelo y que se produzca al menos un accidente grave en el segundo modelo. Una aproximación simple sería realizar una regresión lineal múltiple, sin embargo, esta solución tendría varios inconvenientes. El primero (Figura 25), que la regresión podría dar estimaciones fuera del rango real de la variable dependiente (0 a 1), otro problema adicional es que no se cumpliría el supuesto fundamental de la regresión lineal sobre la igualdad de varianza de los errores, condición importante para las predicciones del modelo. Para resolver estos problemas se realiza una transformación de la proporción del evento de interés que presenta varias ventajas. La transformación utilizada es la transformación logit definida como:

$$\text{logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$$

De esta manera, el rango de la variable transformado es $-\infty, \infty$.

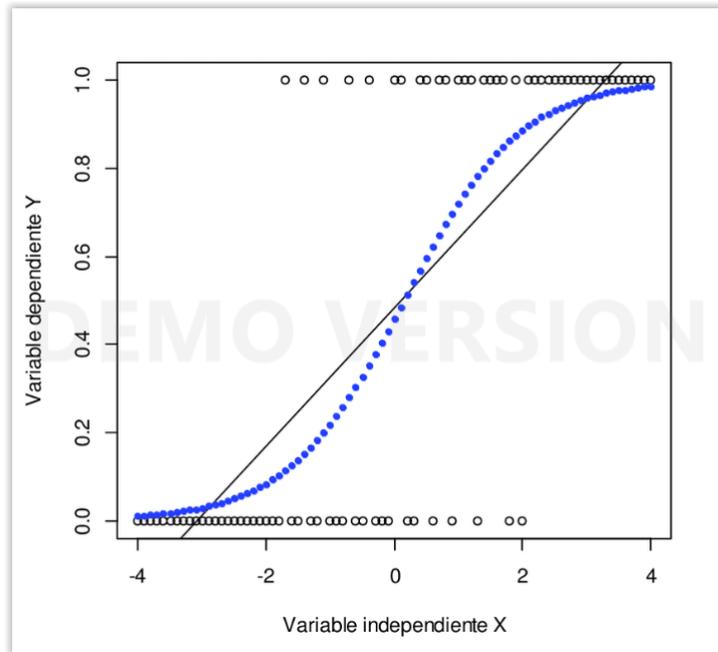


Figura 25. Representación del ajuste lineal y logístico en la situación donde la variable dependientes es dicotómica

El modelo que se ajusta es

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p$$

La estimación de los parámetros no se puede realizar mediante el método de mínimos cuadrados y se utiliza el método de la máxima verosimilitud. Para analizar la bondad de ajuste del modelo logístico se ha utilizado la medida propuesta por Nagelkerke (1991). debido a su interpretación similar al coeficiente de determinación de la regresión lineal. La expresión de esta medida es:

$$R_g^2 = \frac{1 - \left(\frac{\hat{L}_c}{\hat{L}_0}\right)^{\frac{2}{n}}}{1 - \left(\hat{L}_0\right)^{\frac{2}{n}}}$$

Donde \hat{L}_c es la verosimilitud del modelo evaluado y \hat{L}_0 la verosimilitud del modelo nulo, es decir, aquel que no contiene ninguna variable. Este coeficiente está acotado entre 0 y 1.

Para la selección de las variables se ha utilizado el test de razón de verosimilitud que nos permite comparar modelos anidados, y por lo tanto, analizar si la inclusión o eliminación de

una variable afecta a la bondad de ajuste del modelo y es importante o no a la hora de predecir. El test de razón de verosimilitud viene expresado por:

$$Rv = -2 \ln \left(\frac{\hat{L}_{c1}}{\hat{L}_{c2}} \right) = -2(\ln \hat{L}_{c1} - \ln \hat{L}_{c2})$$

Donde \hat{L}_{c1} y \hat{L}_{c2} son las máximas verosimilitudes de los modelos c1 y c2 respectivamente. Hay que tener en cuenta que el modelo c1 presenta una variable nueva (también puede ser un conjunto de variables) con respecto al modelo c2. Este estadístico sigue una Chi-cuadrado con el número de variables del modelo c1 menos el número de variables del modelo c2 como grados de libertad. Si la diferencia es sólo una variable entre ambos modelos, los grados de libertad serán 1.

Para la revisión de los aspectos más técnicos de la regresión logística se puede consultar Hosmer et al. (2013).

Una de las características interesante de este modelo es la interpretación de los parámetros. Como se puede observar en la transformación realizada, el término $\frac{p}{1-p}$, es el ratio de la proporción entre los sucesos que presentan el evento (en nuestro caso los accidentes leves o graves) y los que no presentan el evento. Este ratio es conocido como odds, concepto muy utilizado en los países anglosajones relacionado con las apuestas. En el caso de que la variable independiente es también binaria, como es nuestro caso, los coeficientes transformados son estimaciones del odds-ratio.

Los odds-ratios es una medida de asociación en tablas de contingencia de 2x2 muy utilizada en el campo clínico, aunque cada vez más se está generalizando a otros campos debido a la regresión logística. Cuando se está estudiando la presencia de un evento, en el campo clínico la presencia de una enfermedad (en nuestro caso tener más de cinco accidentes leves o un accidente grave) asociado a la presencia de un factor de riesgo (en nuestro caso la respuesta positiva o negativa a ítems del cuestionario) la información viene dada en una tabla de contingencia, como muestra la Tabla 8:

	E (+)	E (-)	Total fila
FR (+)	a	b	a+b
FR (-)	c	d	a+c
Total columna	a+c	b+d	

Tabla 8. Tabla de contingencia

Donde a, b, c y d son las frecuencias que presentan la combinación de categorías de cada variable dicotómica. A partir de estos datos se pueden calcular el odds de presentar el evento o no cuando el factor está presente y el odds de presentar el evento o no cuando el factor está ausente.

$$\left. \begin{array}{l} P(E+/FR+) = p_{E+/FR+} = \frac{a}{a+b} \\ P(E-/FR+) = 1 - p_{E+/FR+} = \frac{b}{a+b} \end{array} \right\} \Rightarrow odds_{FR+} = \frac{p_{E+/FR+}}{1 - p_{E+/FR+}} = \frac{a}{b}$$

$$\left. \begin{array}{l} P(E+/FR-) = p_{E+/FR-} = \frac{c}{c+d} \\ P(E-/FR-) = 1 - p_{E+/FR-} = \frac{d}{c+d} \end{array} \right\} \Rightarrow odds_{FR-} = \frac{p_{E+/FR-}}{1 - p_{E+/FR-}} = \frac{c}{d}$$

Por lo tanto, el odds-ratio viene definido por el producto cruzado de las frecuencias:

$$Or = \frac{odds_{FR+}}{odds_{FR-}} = \frac{a.d}{b.c}$$

Esta medida se interpreta como en número de veces que es más habitual la presencia del evento en presencia del factor que en ausencia. Cuando el evento que se estudia es raro y por lo tanto, las frecuencias de presencia del evento son bajas, se puede interpretar en términos de probabilidad, como el número de veces que es más probable que se dé el evento en presencia del factor de riesgo que en ausencia del mismo.

Si ahora tenemos en cuenta el modelo logístico, donde tanto la variable dependiente como la independiente son dicotómicas, el modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

Donde X_1 puede tomar el valor 1 si está presente el factor y 0 si está ausente.

$$\left. \begin{aligned} \ln\left(\frac{p_1}{1-p_1}\right) &= \beta_0 + \beta_1; \text{ Si } X = 1 \\ \ln\left(\frac{p_0}{1-p_0}\right) &= \beta_0; \text{ si } X = 0 \end{aligned} \right\}$$

Si se realiza la diferencia de ambas expresiones se obtiene:

$$\ln\left(\frac{p_1}{1-p_1}\right) - \ln\left(\frac{p_0}{1-p_0}\right) = \ln\left(\frac{\frac{p_1}{1-p_1}}{\frac{p_0}{1-p_0}}\right) = \ln\left(\frac{\text{odds}_1}{\text{odds}_0}\right) = \ln Or = \beta_1 \Rightarrow Or = e^{\beta_1}$$

Por lo tanto, la transformación exponencial de cada beta estima el odds-ratio para cada variable, y se puede interpretar como se ha indicado anteriormente.

Para la selección de las variables se ha seguido el procedimiento descrito por Collet (2015) y adaptado al contexto de la regresión logística. Este procedimiento se ha utilizado en lugar de los procedimientos automáticos paso a paso debido al mayor control por parte del investigador en la elaboración del modelo y tratar de evitar de qué variables importantes se puedan quedar fuera de dicho modelo. El algoritmo de selección del modelo que se llevó a cabo fue el siguiente:

Paso 1: ajustar un modelo logístico con cada una de las variables independientes (indicadores adelantados). Quedarse con aquellas variables que han sido significativas. Se considera como nivel de significación el 5%.

Paso 2: ajustar el modelo logístico conjunto de todas las variables que has sido significativas en el paso anterior.

Paso 3: a partir del modelo completo, y como algunas variables pueden perder importancia al estar presentes con otras y no ser significativas, se van eliminando una a una las variables y se analiza el cambio en la deviance ($-2\ln < \hat{L}_0$) mediante el test de razón de verosimilitud (la deviance es la varianza para los modelos lineales generalizados). Se eliminan paso a paso aquellas variables del conjunto inicial en ese paso donde este cambio es pequeño y por lo tanto no significativo. Nos quedaremos al final con todas aquellas variables que si se eliminaban del modelo se produce un aumento importante en la deviance.

Paso 4: variables que se quedaron en paso 1 fuera del modelo, ahora podrían tener importancia en presencia de las variables elegidas en el paso 3. Por lo tanto, se van añadiendo una a una y

se analiza si el cambio en la deviance es importante. Se van incorporando al modelo aquellas donde el descenso de la verosimilitud es importante.

5.- En este último paso se chequea el modelo para asegurarse de que ningún término del modelo puede ser omitido sin un aumento importante en la deviance y que ningún término nuevo sea añadido sin un descenso importante de la deviance.

En el modelo no se ha considerado las interacciones entre los predictores para no obtener un modelo con demasiados parámetros y con mayor dificultad de interpretación.

El punto de corte de probabilidad para asignar la predicción al evento (más de 5 accidentes leves o un accidente grave) fue a partir de 0,5 . A partir de los parámetros estimados en el modelo se pueden predecir la probabilidad de fracaso aplicando la siguiente expresión:

$$\hat{p}_i = \frac{e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \dots + \hat{\beta}_i X_i + \dots + \hat{\beta}_p X_p}}{1 + e^{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \dots + \hat{\beta}_i X_i + \dots + \hat{\beta}_p X_p}}$$

Una vez que se ha obtenido el modelo de mejor pronóstico se analizan los porcentajes de bien clasificados, tanto a nivel global como para cada categoría de la variable dependiente.

Por último, se valida el modelo con una nueva muestra obtenida en el año 2012 y comprobar si los porcentajes de observaciones bien predichas se mantienen y se estima el poder predictivo positivo y el negativo. El poder predictivo positivo nos indica de todos los casos que el modelo ha predicho el evento, en cuantos realmente se ha producido. El poder predictivo negativo, por el contrario, nos indica de todos los casos que el modelo ha predicho el no evento, en cuantos se ha acertado realmente.

3.2.1.2. *Los árboles de regresión y clasificación*

Una vez realizado el modelo logístico, y dado que sólo nos centramos en el efecto de cada variable independiente por separado (modelo aditivo), sin tener en cuenta las interacciones debido a la mayor complejidad del modelo y a los problemas de estimación debido el aumento de parámetros a estimar, se quiso examinar también el efecto de las interacciones de los ítems. Para ello a partir de las variables seleccionadas con el modelo logístico se realizó un modelo CART (Classification and Regression Trees) propuesto por Breiman et al., (1984). Los modelos

CART son métodos que segmentan recursivamente el espacio multidimensional definido por las variables predictoras (o independientes) en grupos los más homogéneos como sea posible en términos de la variable respuesta (dependiente). Son modelos considerados no paramétricos porque no parten de ningún supuesto de distribución subyacentes y el resultado del análisis es un árbol de decisión binario que permite la clasificación de los nuevos casos.

Los árboles de regresión es una técnica no paramétrica de segmentación binaria que se aplica en muchas áreas, desde la medicina hasta la administración de empresas o la industria (Kitsantas et al., 2006; Lee et al. 2006).

Una de las ventajas que tienen los modelos CART es la facilidad de la interpretación y su mayor comprensión del funcionamiento del proceso que se está estudiando (De'ath y Fabricius, 2000).

Este análisis es un proceso iterativo de partición de la muestra total en base a las asociaciones de los predictores con la variable respuesta. La división se considera siempre binaria. Una vez que se ha detectado en una primera división los dos grupos, el procedimiento se vuelve a realizar con el resto de variables en cada uno de los grupos. El proceso de partición finaliza cuando no se detecta asociación entre las predictoras y la variable de interés, o bien, el tamaño de muestra es muy pequeño. El tamaño muestral máximo elegido para finalizar el proceso de segmentación fue de 20 individuos. En nuestro estudio todas las variables independientes han sido binarias y no ha sido necesario la realización del procedimiento de agrupamiento en el caso de variables categóricas o búsqueda de punto de corte para variables continuas u ordinales para la definición de la segmentación binaria. El mejor predictor en cada segmentación se elige de entre todos el que presenta mayor valor del test del ratio de verosimilitud o p-valor asociado al mismo. En el software utilizado para realizar el p-valor es transformado en el *log-utilidad* (logworh) para obtener una mayor discriminación cuando los p-valores son muy pequeños ($p\text{-valor} < 0,001$). La transformación es: $-\log(p - value)$. Se considera por lo tanto que la segmentación sería significativa al 5% cuando el log-utilidad es mayor de 1,3 y sería significativa al 1% cuando es mayor de 2.

Para evitar el incremento de error tipo I debido a la gran cantidad de comparaciones que se realizan en este análisis se ha utilizado la penalización descrita en Sall (2002) la cual no es tan restrictiva como la propuesta por Bonferroni y usualmente utilizada en estos procedimientos.

La predicción en estos modelos se realiza situando cada obra en función de los predictores en un grupo terminal donde se le asignará el evento si la proporción del mismo en este grupo es mayor que la del no evento.

Al igual que en el modelo logístico se validó este procedimiento con la muestra externa recogida en el año 2012.

Los niveles de significación utilizados para todos los análisis tanto de la regresión logística como de los árboles de regresión han sido los habituales del 0,05 y 0,01.

El software utilizado para la realización de los análisis ha sido: *IBM SPSS versión 23* en la regresión logística y *SAS JMP versión 12*, en los modelos CART .

3.2.2. Modelo predictivo a partir del método de regresión logística

La clasificación se realizó en base a los ítems recogidos en la encuesta descrita en el apartado 3.1, y el modelo se generó mediante un procedimiento similar al stepwise descrito por Collet (2015). Para la construcción del modelo se utilizó la muestra correspondiente a los años 2006 y 2008, y se validó con la muestra correspondiente al año 2012. La bondad de ajuste de modelo se midió mediante el R^2 de Nagelkerke. La transformación exponencial de los coeficientes del modelo logístico se interpretó como un odds-ratio. El nivel de significación elegido fue del 0,05.

3.2.2.1. Creación del modelo para accidentes leves

Para ver las variables que mejor se ajustan al modelo se utiliza la R^2 de Nagelkerke. Las variables que mejor explicaban la probabilidad de presentar más de cinco accidentes leves fueron B3Q7, B3Q3, B2Q3, B1Q2, B3Q4 (Tabla 9). La bondad de ajuste del modelo es R^2 de Nagelkerke=0,541.

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B)	
							Inferior	Superior
B1Q2	1,538	0,712	4,663	1	0,031	4,656	1,153	18,812
B2Q3	2,769	1,131	5,995	1	0,014	15,942	1,737	146,279
B3Q1	0,661	0,572	1,334	1	0,248	1,937	0,631	5,949
B3Q3	2,176	0,924	5,545	1	0,019	8,808	1,440	53,865
B3Q4	1,361	0,714	3,632	1	0,057	3,899	0,962	15,800
B3Q7	3,335	1,102	9,160	1	0,002	28,072	3,239	243,307
Constante	-1,516	0,365	17,213	1	0,000	0,220		

Tabla 9: Relación de variables que forman parte del modelo para accidentes leves.

En las Tablas 9 y 11:

- B son los estimadores del modelo
- Wald, es el valor del test de Wald para contrastar si los coeficientes son diferentes de cero
- gl son los grados de libertad
- sig, es el p-valor
- OR es el odds-ratio.

Si bien la variable B3Q1 no muestra significación, se incluye en el modelo ya que, desde el punto de vista técnico, se trata de una cuestión muy importante (fue uno de los aspectos en los que más se incidió en el año 2006 tras la encuesta, con notables mejorías en cuanto a accidentalidad en los años siguientes), y además, resulta que una vez introducida en el modelo ha aumentado el porcentaje de bien clasificados. Además, la magnitud del odds-ratio es importante. Es relevante la magnitud de los odds-ratios para las variables incluidas en el modelo, si bien, la precisión de los estimadores es alta como indican los intervalos de confianza.

Si se analiza la tabla de bien clasificados con el modelo utilizando los datos de 2006 y 2008 (Tabla 10), los resultados son los siguientes:

Reales		Pronosticados		
		Accidentes leves		Porcentaje correcto
		<=5	>5	
Accidentes leves	<=5	47	7	87,0%
	>5	11	55	83,3%
Porcentaje global				85,0%

Tabla 10: Resultados del modelo para accidentes leves en los años 2006 y 2008

El porcentaje de bien clasificado es elevado para los propios datos que se han utilizado para la creación del modelo (85%). Hay un 87% de bien clasificados por el modelo cuando los accidentes leves son inferiores o iguales a 5 y un 83,3% cuando los accidentes son superiores a 5. Es decir, con este modelo a partir de la información de las variables seleccionadas se ha podido prever del total de obras que presentaban más de cinco accidentes leves un 83% de ellas.

3.2.2.2. Creación del modelo para accidentes graves

Si consideramos ahora la presencia o no de accidentes graves. El modelo que mejor predice es el que está formado por las variables B1Q2, B3Q1, B3Q3, B3Q4, B3Q7 y B3Q9. Los parámetros del modelo y sus significaciones aparecen en la Tabla 11:

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B)	
							Inferior	Superior
B1Q2	1,977	0,675	8,584	1	0,003	7,222	1,924	27,106
B3Q1	1,344	0,644	4,356	1	0,037	3,836	1,085	13,555
B3Q3	1,206	0,657	3,370	1	0,066	3,339	0,922	12,095
B3Q4	0,647	0,636	1,035	1	0,309	1,910	0,549	6,647
B3Q7	0,861	0,738	1,362	1	0,243	2,366	0,557	10,049
B3Q9	0,447	0,671	0,444	1	0,505	1,564	0,420	5,828
Constante	-2,945	0,587	25,150	1	0,000	0,053		

Tabla 11. Relación de variables que forman parte del modelo para accidentes graves

Se observa que los coeficientes de varias variables no son significativos pero el test de razón de verosimilitud de este modelo con el resto de modelos donde se han eliminado las variables no significativas presenta p-valores inferiores a 0,0001. Además, la tabla de bien clasificados es sustancialmente mejor que cualquiera de las obtenidas eliminando las variables no significativas. La bondad de ajuste es mejor que el modelo utilizado para accidentes leves (R^2 de Nagelkerke=0,465). Los odds-ratios son elevados en la mayoría de las variables. Como ocurre en el caso de accidentes leves, se han incluido las variables B3Q1 y B3Q4 por su relevancia y aumento en el poder de clasificación.

La tabla de bien clasificados utilizando el modelo para los datos de los años 2006 y 2008 (Tabla 12), es la siguiente:

Reales		Pronosticados		
		Accidentes graves		Porcentaje correcto
		0	>=1	
Accidentes graves	0	63	5	92,6%
	>=1	12	19	61,3%
Porcentaje global				82,8%

Tabla 12: Resultados del modelo para accidentes graves en los años 2006 y 2008

Se obtiene un 82,8 % de bien clasificados. Si se analizan los bien clasificados en el grupo de obras donde no se han producido accidentes graves, el porcentaje de bien clasificados es del 92,6% mientras que en caso de la obras donde sí se han producido, el porcentaje desciende a un 61,3%.

Tras plantear el cuestionario con los datos obtenidos los años 2006 y 2008, se trata de aplicarlo a los datos del año 2012, para comprobar la validez del cuestionario.

3.2.2.3. Validación del modelo para accidentes leves

Para la validación del modelo se ha probado con los datos obtenidos en 2012. Mediante el modelo se ha predicho la probabilidad de si la obra iba a tener más de cinco accidentes leves o no. Si la probabilidad era mayor de 0,5 se clasifica como candidata a que ocurran más de cinco accidentes leves. Como se tiene la información de lo que ha ocurrido podemos analizar

el poder predictivo del modelo. Lamentablemente las obras que presentaban información completa en las variables del modelo fueron 31 de las 72 analizadas. La tabla de bien clasificados (Tabla 13) es la siguiente:

Reales		Pronosticados		
		Accidentes leves		Total
		<=5	>5	
Accidentes leves	<=5	13	4	17
	>5	5	9	14
Total		18	13	31
Porcentaje correcto		72,2%	69,2%	71,0%

Tabla 13 Validación del modelo para accidentes leves en el año 2012

De las 31 obras el modelo ha clasificado bien en función de los accidentes leves a 22, es decir el 71,0%. Si analizamos el poder predictivo positivo, es decir, la estimación de la probabilidad de que se presenten más de cinco accidentes leves cuando el modelo ha predicho que se van a producir más de cinco accidentes leves, en este caso el modelo ha predicho que iban a ocurrir más de cinco accidentes leves en 13 obras y ha acertado en 9, es decir, en un 69,2%. Y el poder predictivo negativo es de un 72,2%, es decir, de 18 obras que considera el modelo que no se van a producir más de cinco accidentes leves, en 13 de ellas acierta. Es un modelo que prevé mejor la no presencia de que no ocurran más de cinco accidentes leves que la presencia de más de cinco accidentes leves, aunque no hay gran diferencia.

3.2.2.4. Validación del modelo para accidentes graves

Al igual que en el caso anterior, en una segunda fase se valida el modelo con la muestra obtenida del año 2012 donde se puede valorar cómo funciona el modelo y calcular las estimaciones del poder predictivo positivos y negativo. Sólo se ha podido obtener la información completa de 25 obras de las 72 analizadas. El porcentaje de bien clasificados es del 72% (Tabla 14).

Reales		Pronosticados		
		Accidentes graves		Total
		0	>=1	
Accidentes graves	0	15	0	15
	>=1	7	3	10
Total		22	3	25
Porcentaje correcto		68,2%	100,0%	72,0%

Tabla 14. Validación del modelo para accidentes graves en el año 2012

En este caso el poder predictivo positivo es del 100%. De las 3 obras que el modelo ha predicho que iba a presentarse un accidente grave, en las 3 se produjo. Sin embargo, el poder predictivo negativo es de 68,18%, es decir, de las 22 obras que estimó el modelo que no se iba a producir accidentes graves en 15 no se produjo.

3.2.3. Modelo predictivo a partir de los árboles de regresión (modelo CART)

3.2.3.1. Creación del modelo para accidentes leves

Para la construcción del árbol de más de 5 accidentes leves (Figura 26), se estudia cómo se clasifican los casos en los que está basado, en este caso son 120 casos. Se parte de la pregunta que mejor clasifica, la B3Q7. Con esta primera clasificación, si la respuesta es 0 significa que en el 95,8% de los casos no tendrá accidentes, y como el valor es tan alto, no merece la pena clasificar más por esta vía (24 casos). Pero sí que hay que seguir por la vía en la que la respuesta a la pregunta B3Q7 es 1. En este caso, la probabilidad está muy repartida (55,2% de que haya 5 o menos accidentes leves, y un 44,8% de que haya más de 5 accidentes leves), y por tanto hay que continuar el árbol con la segunda pregunta mejor clasificada, que es la B3Q3. Se repite esta operación con criterio similar hasta al final del árbol.

Se llega al final del árbol cuando se da una de las siguientes condiciones:

- 1) Los casos restantes son menores de 20 (tamaño mínimo muestral considerado).
- 2) La siguiente pregunta no tiene significación (nivel de significación < 0,05).

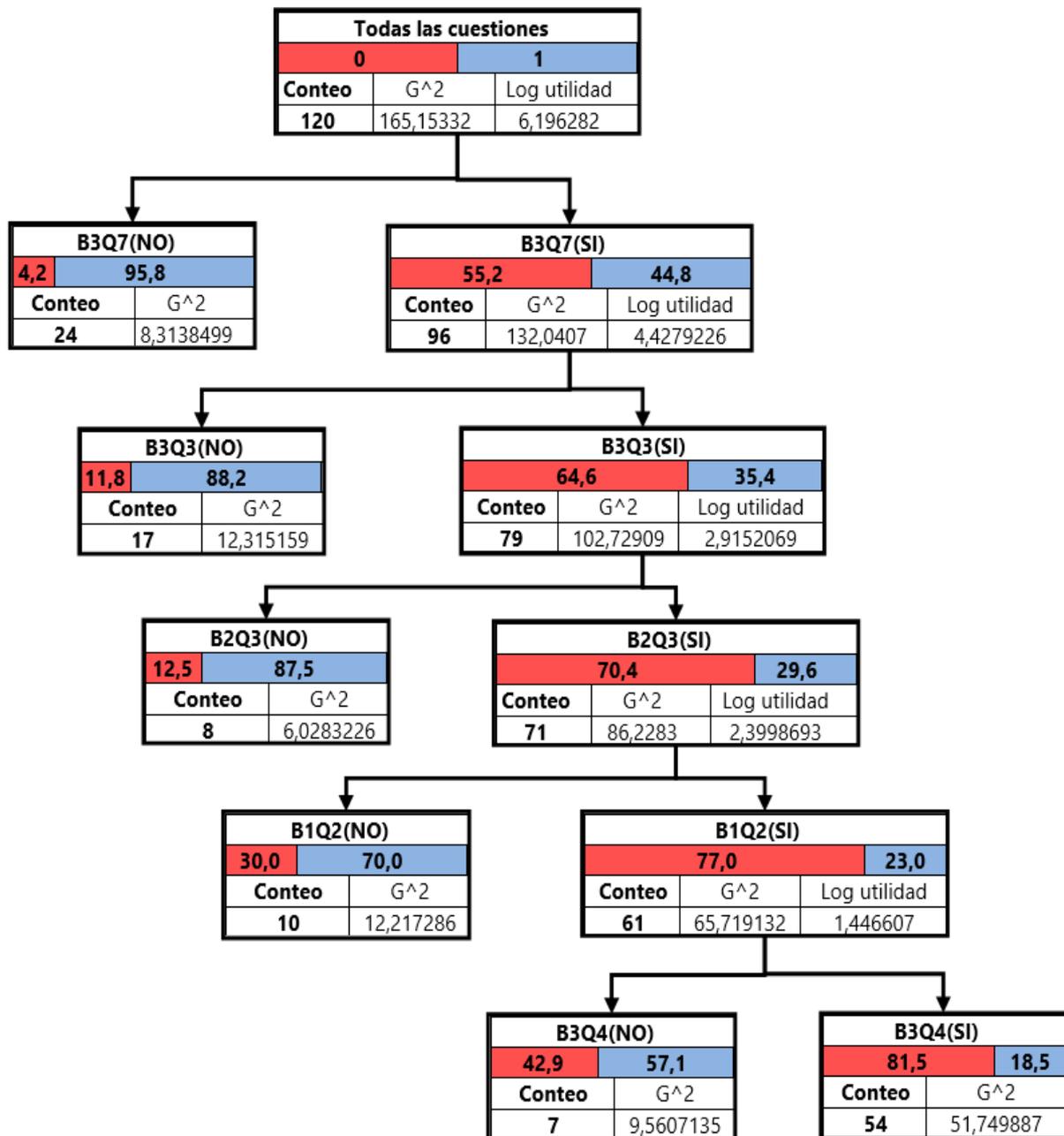


Figura 26. Árbol de regresión para más de cinco accidentes leves en los años 2006 y 2008

Si se analiza la tabla de bien clasificados con el modelo utilizando los datos de 2006 y 2008 (Tabla 15), los resultados son los siguientes:

Reales		Pronosticados		
		Accidentes leves		Porcentaje correcto
		<=5	>5	
Accidentes leves	<=5	44	10	81,5%
	>5	10	56	84,8%
Porcentaje global				83,3%

Tabla 15. Resultados del modelo para accidentes leves en los años 2006 y 2008

El porcentaje de bien clasificado es elevado para los propios datos que se han utilizado para la creación del modelo (83.3%). Hay un 81,5% de bien clasificados por el modelo cuando los accidentes leves son inferiores o iguales a 5 y un 84,8% cuando los accidentes son superiores a 5.

3.2.3.2. Creación del modelo para accidentes graves

La construcción del árbol de accidentes graves (Figura 27), para uno o más graves, es similar al árbol de accidentes leves, tomando las preguntas que en esta ocasión mejor clasifican.

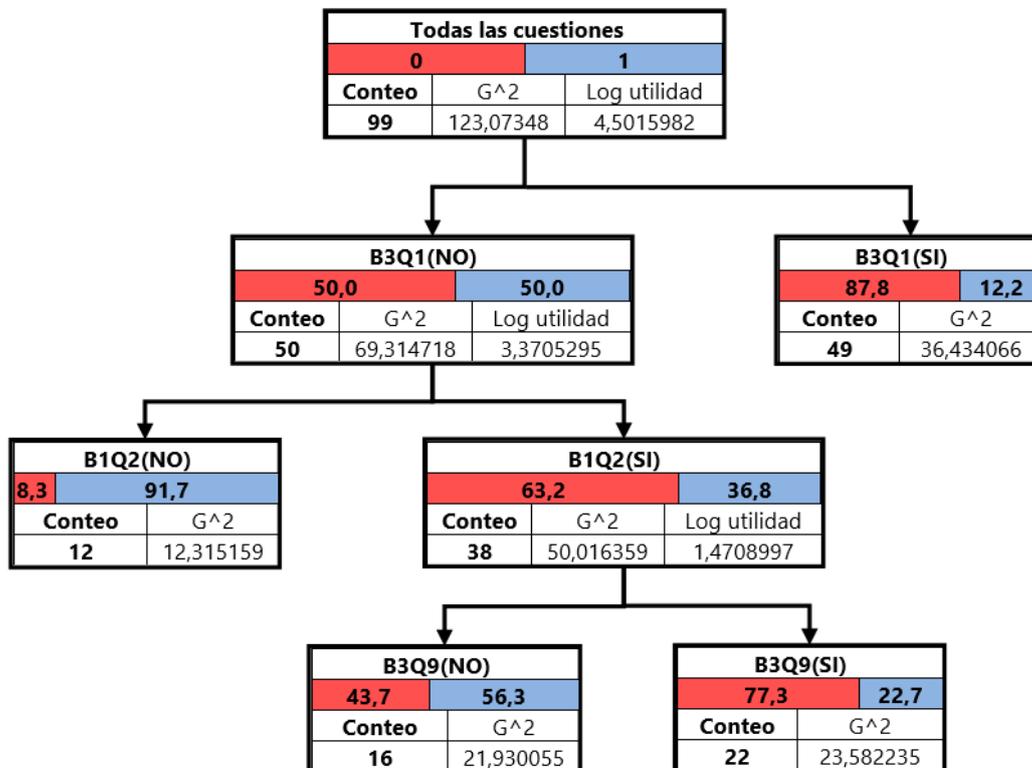


Figura 27. Árbol de regresión para accidentes graves en los años 2006 y 2008

Si se analiza la tabla de bien clasificados con el modelo utilizando los datos de 2006 y 2008 (Tabla 16), los resultados son los siguientes:

Reales		Pronosticados		
		Accidentes graves		Porcentaje correcto
		0	>=1	
Accidentes graves	0	60	8	88,2%
	>=1	11	20	64,5%
Porcentaje global				80,8%

Tabla 16. Resultados del modelo para accidentes graves en los años 2006 y 2008

El porcentaje de bien clasificado es elevado para los propios datos que se han utilizado para la creación del modelo (80,8%). Hay un 88,2% de bien clasificados por el modelo cuando no hay accidentes graves y un 64,5% cuando hay accidentes graves.

3.2.3.3. Validación del modelo para accidentes leves

Para la validación del modelo se ha probado con los datos obtenidos en el año 2012. De forma similar al método de regresión logística se obtienen los resultados de la Tabla 17.

Reales		Pronosticados		
		Accidentes leves		Total
		<=5	>5	
Accidentes leves	<=5	13	5	18
	>5	4	9	13
Total		17	14	31
Porcentaje correcto		76,7%	64,3%	71,0%

Tabla 17. Validación del modelo para accidentes leves en el año 2012

De las 31 obras el modelo ha clasificado bien en función de los accidentes leves a 22, es decir el 71,0%. Si analizamos el poder predictivo positivo, es decir, la estimación de la probabilidad de que se presenten más de cinco accidentes leves cuando el modelo ha predicho que se van a producir más de cinco accidentes leves, en este caso el modelo ha predicho que iban a ocurrir más de cinco accidentes leves en 14 obras y ha acertado en 9, es decir, en un 64,3%. Y el poder predictivo negativo es de un 76,7%, es decir, de 17 obras que considera el modelo que no se van a producir más de cinco accidentes leves, en 13 de ellas acierta. Es un modelo que prevé mejor la no presencia de que no ocurran más de cinco accidentes leves que la presencia de

más de cinco accidentes leves, con una diferencia algo mayor que la que se da con el modelo de regresión logística.

3.2.3.4. Validación del modelo para accidentes graves

Para la validación del modelo de accidentes graves, se ha vuelto a probar con los resultados del 2012. De forma similar al método de regresión logística se obtienen los resultados de la Tabla 18, que en este caso tienen las cifras coincidentes:

Reales		Pronosticados		
		Accidentes graves		Total
		0	>=1	
Accidentes graves	0	15	0	15
	>=1	7	3	10
Total		22	3	25
Porcentaje correcto		68,2%	100,0%	72,0%

Tabla 18. Validación del modelo para accidentes graves en el año 2012

En este caso el poder predictivo positivo es del 100%. De las 3 obras que el modelo ha predicho que iba a presentarse un accidente grave, en las 3 se produjo. Sin embargo, el poder predictivo negativo es de 68,18%, es decir, de las 22 obras que estimo el modelo que no se iba a producir accidentes graves en 15 no se produjo. Exactamente igual que con el modelo de regresión logística.

3.3. HERRAMIENTA PREDICTIVA RESULTANTE

Los dos métodos utilizados en el punto anterior (regresión logística y árboles de regresión) ofrecen unos resultados similares, por lo que la herramienta resultante es más robusta.

Basándonos en los datos obtenidos en los modelos anteriores, se puede crear un cuestionario con los ítems que han resultado tener la capacidad predictiva. De todas las preguntas de la encuesta inicial, el modelo selecciona las variables que conforman el cuestionario predictivo que se muestra en la Figura 28. Hay que reseñar que la variable B2Q3 corresponde únicamente al modelo que predice los accidentes leves y la variable B3Q9 corresponde únicamente al modelo que predice los accidentes graves.

ENCUESTA SOBRE CUESTIONES DE SEGURIDAD EN LA OBRA				
Proyecto nº:		Director de Proyecto:		
Área Técnica:		Área Geográfica:		
Fecha:				
		SI	NO	NS/NC
B1Q2.	¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido los equipos de protección individual (EPIs) adecuados para la obra en cuestión?			
B2Q3.	¿Están designados por escrito los recursos preventivos de cada una de las contratas?			
B3Q1.	¿Es suficiente la presencia del Coordinador de Seguridad en la obra?			
B3Q3.	¿Se realizan los trabajos con los EPIs correctos?			
B3Q4.	¿Es correcto el montaje y acceso de los andamios y plataformas elevadoras?			
B3Q7.	¿Están señalizados desniveles y objetos con riesgos de caídas o golpes?			
B3Q9.	¿Está la obra en buen estado de orden y limpieza?			

Figura 28. Cuestionario predictivo resultante

3.3.1. Análisis de las preguntas que forman el cuestionario predictivo

Aunque se ha llegado a la selección de estas preguntas a través de la estadística, a continuación se analiza su contenido, acreditando su valor.

- B1Q2 (¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido los equipos de protección individual (EPIs) adecuados para la obra en cuestión?). Esta pregunta perteneciente al grupo de cuestiones sobre la situación de las personas de IDOM en las obras, está relacionada con el concepto de comportamiento ejemplar. Una obra bien dirigida requiere que el Director de Obra haga el uso adecuado de los

EPIs. En caso contrario, no tendrá autoridad moral para exigir el uso de los mismos al resto de personal de la obra. De la misma forma, es posible que el nivel de exigencia del resto de prácticas de seguridad y salud, también se relaje.

- B2Q3 (¿Están designados por escrito los recursos preventivos de cada una de las contrataciones?).

Es la primera de las preguntas relacionadas con cuestiones documentales del personal de la obra que resultaron significativas. Desde que la normativa española definió la participación de los recursos preventivos en la organización de la seguridad en las obras, empresas y trabajadores tomaron conciencia de la labor de esta figura que tiene como principal vigilar el cumplimiento de las medidas incluidas en el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo y comprobar la eficacia de éstas. De ahí la importancia de que los recursos preventivos estén designados por escrito.

- B3Q1 (¿Es suficiente la presencia del Coordinador de Seguridad y Salud en la obra?)

El Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución es una figura clave en la seguridad de la obra. Para que el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución pueda realizar su trabajo es necesario que cuente con la adecuada formación tanto técnica como en materia de seguridad, conocimiento del proyecto, y suficiente dedicación a la obra. Este último aspecto es el que puede corregir situaciones deficientes en materia de seguridad y salud en caso de que el resto de la organización preventiva de la obra falle, de ahí la importancia de que esta figura tenga la presencia necesaria en cada obra (B3Q1).

- B3Q3 (¿Se realizan los trabajos con los EPIs correctos?)

En cuanto al uso correcto de los EPIs por parte de cada trabajador de la obra (B3Q3), además de la influencia que tiene la formación y concienciación en ellos, en los registros de entrega de dichos EPIs con el paso del tiempo se ha pasado de un estilo pasivo de redacción " ... se entregan los siguientes EPIs al trabajador ..." a una redacción activa, en el que se implica al trabajador a aceptar la obligatoriedad de su uso: " ... se entregan los siguientes EPIs al trabajador ... quien se compromete a usarlos adecuadamente de acuerdo con la normativa ...", lo cual redundará en su mayor uso, y por tanto, en la disminución de los accidentes laborales.

En la Figura 29 se pueden ver dos situaciones en las que los trabajos de construcción no se están realizando con los EPIs correctos.



Figura 29. Situaciones con uso incorrecto de EPIs

- B3Q4 (¿Es correcto el montaje y acceso de andamios y plataformas elevadoras?) y B3Q7 (¿Están señalizados desniveles y objetos con riesgo de caídas o golpes?).

Estas dos cuestiones están directamente relacionadas con la lista de mayores riesgos de accidentes en el sector de la construcción (INSHT, 2015).

En la Figura 30 se pueden ver la realización de dos trabajos diferentes en una misma obra, uno de ellos sobre una plataforma de tijera con total seguridad y otro sobre un andamio inestable con riesgo de caída.



Figura 30. Usos diferentes de andamio y plataforma elevadora

En la Figura 31 se puede ver la fachada de un edificio de viviendas en fase de obra donde están correctamente protegidos los puntos de riesgo de caída a diferente nivel y los puntos de riesgos de caída de objetos.



Figura 31. Obra con zonas de riesgo de caídas y golpes protegidas

- B3Q9 (¿Está la obra en buen estado de orden y limpieza?)

Esta pregunta, además de tratarse de cuestiones directamente que pueden afectar a la seguridad (cortes y pinchazos en las extremidades inferiores, tropiezos y caídas al mismo nivel, etc.), el orden y la limpieza de una obra generalmente suele ser imagen de otros muchos aspectos de la misma (calidad de ejecución, cumplimiento de plazos, ... y también del nivel de seguridad). En la Figura 32 se pueden ver dos obras en las que el orden y limpieza son claramente mejorables.



Figura 32. Situaciones de obras en deficiente estado de orden y limpieza

3.3.2. Procedimiento propuesto para el uso de la herramienta predictiva

El uso de la herramienta predictiva propuesta se puede utilizar tanto a nivel individual (obra aislada), como a nivel colectivo. Este uso a nivel colectivo puede ser tanto a nivel de una empresa constructora que cuenta con varias obras, como a nivel de las diferentes administraciones públicas. Si bien su uso de forma colectiva puede ayudar a las medidas preventivas en forma de campañas, o como lecciones aprendidas, a la vez que las propia realimentación con los nuevos indicadores retrasados pueden modificar el contenido del cuestionario predictivo con el tiempo.

Como uso a nivel individual, se exponen algunos ejemplos en relación con los agentes descritos en el apartado 2.1:

- El promotor, para tener una primera impresión sobre el estado de seguridad de la obra que está ejecutando un constructor y está dirigiendo en materia de seguridad el coordinador de seguridad y salud en fase de ejecución, sin necesidad de ser experto en prevención de riesgos laborales ni en construcción.
- El director de obra, ocupado en el desarrollo técnico de la obra, también puede tomar el pulso de la misma en lo referente a la seguridad laboral de las personas que trabajan en ella, de forma sencilla sin excederse de sus funciones.
- Personas del contratista con responsabilidades en materia de seguridad y salud que visiten periódicamente la obra, con objeto de tomar medidas correctoras con mayor o menor urgencia y alcance.
- El inspector de trabajo, cuando visita de oficio una obra, como información de partida que le puede servir de ayuda para continuar con sus requerimientos habituales.

Para el caso del uso de la herramienta predictiva por un colectivo (tal y como se ha hecho en IDOM), la recomendación sobre su uso consta de los siguientes puntos:

- Asignar en el colectivo a un responsable que va a dirigir las campañas de seguridad basadas en la herramienta predictiva. Puede ser una persona con responsabilidades en materia de seguridad y salud, pero también puede ser una persona ajena al

departamento de seguridad de la empresa.

- Realizar campañas de cumplimentación del cuestionario en todas las obras del colectivo con una periodicidad establecida, por ejemplo cada dos meses. De esta forma, sería habitual que en cada obra se realizase el cuestionario varias veces y en diferentes fases de la misma.
- Asignar previamente la persona responsable de su cumplimentación. Puede ser tanto de la empresa constructora como externo. Esta persona debe tener un cargo relevante en la obra: encargado, jefe de obra, coordinador de seguridad y salud, director de obra, director de ejecución de la obra.
- El responsable de las campañas predictivas ha de recopilar los cuestionarios predictivos y realizar el estudio tanto individual como colectivo de los resultados.
- El responsable de las campañas predictivas intervendrá de inmediato en la organización de cada obra particular en la que se hayan predicho accidentes.
- El responsable de las campañas predictivas organizará medidas preventivas en el conjunto de la organización, a modo de lecciones aprendidas.
- El responsable de las campañas puede organizar, con periodicidad anual, una encuesta como la del apartado 3.1.3 con el objeto de actualizar las correlaciones entre las variables dependiente y las independientes que puedan conducir a modificar el cuestionario predictivo.

4. DISCUSIÓN

Esta tesis doctoral aporta las correlaciones existentes entre determinados aspectos de la seguridad en las obras de construcción y la existencia o no de accidentes, tanto leves como graves. Los porcentajes de capacidad predictiva son altos, y el resultado es un modelo predictivo sencillo en cuanto a número de preguntas y ágil en cuanto a uso, de forma que cualquier Director de Obra o cualquier otra persona con responsabilidad en materia de seguridad y salud lo puede utilizar sin problema. Dado que las variables utilizadas son de carácter general, pueden ser utilizadas por otras empresas.

La herramienta es de carácter generalista dentro del sector de construcción, ya que se han estudiado obras de tipología, especialidad, tamaño, y localización variadas. Para otros sectores con alta siniestralidad la metodología también se podría aplicar, aunque la herramienta cambiará ya que los ítems serán diferentes que los utilizados para el sector de la construcción.

La herramienta predictiva propuesta cubre por sí sola las deficiencias de otras herramientas predictivas citadas en el apartado 2.5, entre las que destacan:

- El modelo propuesto ofrece un resultado rápido, ya que consta de 7 preguntas. La extensión del cuestionario de la herramienta QRAM (Pinto, 2013) eran 97 preguntas.
- La herramienta se ha validado en obras de diferente tamaño y tipología, no sólo en grandes constructoras, como lo hizo el método TR (Laitinen et al., 2010), o en grupos de trabajo más homogéneos como el método ORCA (Aneziris, 2012).
- El dato de salida que ofrece es la ocurrencia o no de un accidente, no una estimación del riesgo como el modelo de Rathnayaka (Rathnayaka et al., 2011).

Una de las limitaciones que tuvo el estudio en su fase inicial fue que no todas las preguntas de la encuesta previa en todas las obras tuvieron respuesta, sino que hubo preguntas que quedaron en blanco, probablemente por la falta de formación o capacidad del entrevistado. En ese caso, la persona encargada de su cumplimentación debería haber insistido con otro interlocutor. La repercusión que tuvo en el modelo propuesto es que algunas cuestiones que podían resultar clave no se llegaron a considerar como variables dependientes.

En concreto, la obtención de los datos numéricos no fue tarea sencilla. En aproximadamente la tercera parte de las obras, el coordinador facilitó las cifras de la obra en cuanto a índices de incidencia (número de accidentes ocurridos por cada mil trabajadores expuestos), tan solo en

la décima parte de las obras facilitó el índice de frecuencia (número de accidentes ocurridos por cada millón de horas trabajadas), y en ningún caso facilitó el índice de gravedad (número de jornadas perdidas por cada mil horas trabajadas). Esto se debe a que, generalmente, el Coordinador de Seguridad y Salud tiene un control de los accidentes ocurridos en la obra, pero no tanto de las personas que en cada momento están en la obra, y mucho menos hacen un seguimiento de la recuperación de los accidentados.

En la posterior puesta en práctica de la herramienta predictiva no se encontraron grandes problemas, salvo puntuales reticencias iniciales en la aceptación de los resultados predictivos cuando éstos avanzaron la ocurrencia de accidentes. Esta barrera se salvó analizando las deficiencias de la obra en materia de seguridad y aplicando las medidas correctoras que, en general, cambiaron la percepción de la situación por parte de las personas implicadas.

En cuanto a la metodología, otra limitación puede estar en la consideración de la cantidad de accidentes leves como variable dicotómica del modelo. En este caso se tomaron cinco accidentes leves como se ha explicado en los apartados anteriores, pero la consideración de otra cantidad diferente podría haber llevado a variaciones en el cuestionario, ya que las conclusiones de los modelos de regresión logística y de los árboles de regresión hubieran sido seguramente otras diferentes.

La herramienta solo se ha probado en España, y en una empresa de ingeniería, debido al interés que tiene la Dirección de los temas de seguridad y salud. Si bien la dispersión territorial de las obras en las que se aplicó lleva a considerar que no habría mucha diferencia en los resultados al ser aplicada en otras empresas (de ingeniería, constructoras, etc.), no se puede decir lo mismo con el carácter territorial. Por cuestiones culturales, económicas, formativas y otras, convendría revisar las preguntas del modelo en caso de aplicar la herramienta fuera de España. De aquí surge una posible línea de trabajo futura.

Igualmente convendría comprobar los resultados de la aplicación de esta herramienta predictiva en otras empresas españolas.

Independientemente de que esta herramienta se utilice o no en otros ámbitos fuera de IDOM, el modelo requiere un ajuste de las cuestiones que conforman el cuestionario predictivo (por la propia evolución de la cultura y las prácticas preventivas, por los cambios normativos, etc.).

El modelo tiene un alto porcentaje de previsiones correctamente clasificadas. Además, los porcentajes de falsos positivos son relativamente bajos, tanto para accidentes leves (12,96%) como para accidentes graves (7,35%). Sin embargo, para los casos de falsos negativos, si bien para los accidentes leves presentan porcentajes similares a los falsos positivos (16,67%), para los accidentes graves el porcentaje es mayor (38,71%), lo que puede suponer una cierta debilidad del modelo.

Esta herramienta se ha comenzado a utilizar en la compañía en el año 2017, con adopción generalizada de medidas correctoras y preventivas por parte de las empresas constructoras cuando la herramienta ha predicho la ocurrencia de accidentes, rebajando el índice de incidencia de las obras en las que participa la compañía hasta 3.436 (mientras que el índice a nivel nacional en el año 2016 fue 7.217).

La empresa cuenta con la certificación OHSAS 18001:2007 y el uso de la herramienta predictiva desarrollada se encuadra en punto 4.3.3 (objetivos) de este estándar, tal y como figura en el Informe de Revisión de la Dirección de los años 2016 y 2017, ya que la empresa ha considerado la bajada del índice de incidencia de las obras en las que participa como "otros requisitos", dando respuesta de esta forma al punto 4.3.2 (requisitos legales y otros requisitos) del estándar. Con ello la empresa persigue un modelo de madurez en la cultura de seguridad que Hudson (2007) calificaría como organización generativa por cuanto maneja la seguridad proactivamente (no solo la seguridad de sus propios técnicos sino también la de otras personas que trabajan en la ejecución de las obras).

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El objetivo de esta tesis fue diseñar una herramienta que permitiera predecir los accidentes laborales en las obras de construcción, de forma rápida y sencilla. Para ello se tuvieron en cuenta los indicadores adelantados que ofrecía una encuesta previa. Además, dado que el cuestionario contiene indicadores adelantados y retrasados, la herramienta se puede reprogramar según la evolución con el tiempo de ambos indicadores.

Para ello se ha realizado una revisión de la literatura existente en materia de prevención de riesgos laborales sobre todo enfocada al estudio de los accidentes laborales en la construcción.

Se ha estudiado la evolución de la accidentalidad en el sector de la construcción en España en los últimos años, en comparación con otros sectores productivos, y analizando las tendencias, tanto en cifras absolutas como relativas.

En el estudio sobre la accidentalidad laboral en la construcción se distinguieron entre indicadores adelantados y retrasados, y las posibilidades de trabajo que había con ellos por cuanto se podría buscar una herramienta que los combinara con carácter predictivo ante la ocurrencia de accidentes laborales. También se ha realizado una revisión de la literatura existente sobre el uso de indicadores adelantados y retrasados en temas de prevención de riesgos laborales.

A continuación se ha expuesto el diseño de un cuestionario de análisis del nivel de seguridad de una obra, y el posterior estudio de las condiciones de seguridad en las que se encontraban las obras con las que una empresa de ingeniería tenía relación. Este estudio fue dirigido por el autor de la presente tesis, como responsable del Sistema de Gestión (Calidad, Medio Ambiente, y Seguridad y Salud) de esta empresa. El estudio anterior se realizó en tres ocasiones (años 2006, 2008 y 2012).

Con los datos obtenidos en los años 2006 y 2008 se ha diseñado un cuestionario predictivo. Con el fin de probar la fiabilidad y validez del cuestionario utilizado en los años 2006 y 2008, se probó en el año 2012. En los tres casos se demostró que es una herramienta de predicción adecuada, con un 85,0% de capacidad predictiva para accidentes leves y un 82,8% para los accidentes graves.

Además, el cuestionario predictivo se ha diseñado y validado con dos modelos diferentes, uno de regresión logística y otro de árboles de decisión, tanto para accidentes leves como

accidentes graves, obteniéndose resultados similares en ambos casos, por lo que se demuestra la robustez de la herramienta.

Esta herramienta se ha comenzado a utilizar en la compañía en el año 2017, con resultados satisfactorios en la medida en que se ha conseguido rebajar notablemente el índice de incidencia medio de las obras en las que participa la compañía, y se podría aplicar en otros ámbitos diferentes.

El futuro trabajo en esta línea podría consistir en particularizar esta herramienta segmentando las obras por diferentes criterios: tipología, presupuesto, geografía, diferentes contextos, etc. de forma que se pudieran identificar los adecuados indicadores adelantados para cada segmentación.

6. REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Agnew, J., 2013. The Leading Indicator Journey. Post for Safety Cary, Predictive Solutions. Oakdale, PA. <<http://www.predictivesolutions.com/safetycary/theleading-indicator-journey/>> (November 8, 2013).
- Almodóvar A, Galiana L, Gómez-Cano M (2013). Análisis del mercado laboral, condiciones de trabajo y siniestralidad. Una perspectiva según la edad. Obtenido el 08 de enero de 2017, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. P 44. NIPO: 272-13-046-5:
[http://www.oect.es/Observatorio/5%20Estudios%20tecnicos/Otros%20estudios%20tecnicos/Publicado/Ficheros/INFORME%20sobre%20la%20edad%20\(INSHT%202013\).pdf](http://www.oect.es/Observatorio/5%20Estudios%20tecnicos/Otros%20estudios%20tecnicos/Publicado/Ficheros/INFORME%20sobre%20la%20edad%20(INSHT%202013).pdf)
- Aneziris O.N., Topali E. Papazoglou I.A. 2012, Occupational risk of building construction, Reliability Engineering and System Safety 105 (2012) 36–46.
- Attwood D, Veitch Khan F., 2006. Can we predict occupational accident frequency. Process Safety and Environment Protection 2006;84:208–21.
- Barandan, S., 2004. Comparative Injury Risk Analysis of Building Trades. Graduate School of Wayne State University, Detroit, Michigan, Doctorate.
- Battaglia, M., Bianchi, L., Frey, M., Passetti, E., 2015. Sustainability reporting and corporate identity: action research evidence in an Italian retailing cooperative. Bus. Ethics: Eur. Rev. 24, 52–72.
- Bellamy L.J., Damen M., Jan H., Aneziris O.N., Papazoglou I.A., Oh J.I., 2015. Risk horoscopes: Predicting the number and type of serious occupational accidents in The Netherlands for sectors and Jobs. Reliability Engineering and System Safety 133 (2015) 106–118.
- Benjaoran, V., Bhokha, S., 2010. An integrated safety management with construction management using 4D CAD model. Safety Science 48 (3), 395–403.
- Bird, F.E., Germain, G.L. 1990. Practical loss control leadership. Edición revisada. International Loss Control Institute, 1990. ISBN: 0-88061-054-9.
- Breiman L, Friedman J, Olshen R, Stone C., 1984. Classification and regression trees. Wadsworth.
- Byrne J., 1992, "Nuestro pan de cada día: accidentes de trabajo y respuestas de los albañiles de Madrid en el cambio de siglo", en "Medicina Social y clase obrera en España siglos XIX y XX, Madrid, Fundación de Investigaciones Marxistas, Tomo I, 1992, pp 21-48.
- Cambráia, F. B., Saurin, T. A., & Formoso, C. T. (2010). Identification, analysis and dissemination of information on near misses: A case study in the construction industry. Safety Science, 48(1), 91–99. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.06.006>

- Camino López, M. A., Ritzel, D. O., Fontaneda González, I., & González Alcántara, O. J. (2011). Occupational accidents with ladders in Spain: Risk factors. *Journal of Safety Research*, 42(5), 391–398. <http://doi.org/10.1016/j.jsr.2011.08.003>
- Capmany, A. (2003). *Memorias históricas sobre la Marina, Comercio y Artes de la antigua ciudad de Barcelona*. Altafulla.
- Carnero, M. del C., Pedregal, D.J., 2013. Ex-ante assessment of the Spanish Occupational Health and Safety Strategy (2007–2012) using a State Space framework. *Reliability Engineering & System Safety* 110, 14–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2012.09.003>.
- Carson, P.A., Snowden, D., 2010. Health, safety and environment metrics in loss prevention – part 1. *Loss Prevention Bulletin* 212, 11–15.
- Carrión, R., 1861. Consejos higiénicos e instrucciones sanitarias para todos los empleados de la Compañía de Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y a Alicante". *El Monitor de la Salud*, nºXIV, 1861, p.167.
- Cheng, C.-W., Leu, S.-S., Cheng, Y.-M., Wu, T.-C., & Lin, C.-C. (2012). Applying data mining techniques to explore factors contributing to occupational injuries in Taiwan's construction industry. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 214–222. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.014>
- Christian, M.S., Bradley, J.C., Wallace, J.C., Burke, M.J., 2009. Workplace safety: a meta-analysis of the roles of person and situation factors. *Journal of Applied Psychology* 94, 1103–1127.
- Choudhry, R.M., Fang, D., Mohamed, S., 2007. The nature of safety culture: a survey of the state-of-the-art. *Safety Science* 45, 993–1012.
- Collet, D., 2015. *Modelling survival data in medical research*. CRC press.
- Daniels, C., Marlow, P., 2005. Literature Review on the Reporting of Workplace Injury Trends. Retrieved June 2012 from: <www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2005/hsl0536.pdf>.
- Dantín, J. (1940) "Antecedentes para el estudio de la higiene industrial en España" Madrid, *Revista de Sanidad e Higiene Pública*, nº4, julio-agosto 1940, pero manejando datos de 1930-1936:p 374.
- De'ath, G., Fabricius, K. E. (2000). Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81(11), 3178–3192.
- DeJoy, D.M., Schaffer, B., Wilson, M., et al., 2004. Creating safer workplaces: assessing the determinants and role of safety climate. *Journal of Safety Research* 35, 81–90.
- Dingsdag DP, Biggs HC, Sheahan VL. "Understanding and defining OH&S competency for construction site positions: worker perceptions". *Safety Science*. April 2008. Vol.46-4. p.619–633. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.008>

- Dyreborg, J., 2009. The causal relation between lead and lag indicators. *Safety Science* 47, 474–475.
- de Francisco, R., 2006. La medicina e higiene militar en los siglos XVIII y XIX una olvidada medicina del trabajo. *Revista La Mutua*, nº14, 2006:125.
- Erikson, S.G., 2009. Performance indicators. *Safety Science* 47, 468.
- España. Archivo Histórico Nacional; Sala de Alcaldes de Casa y Corte, año 1725, folio 254. Anotado Curiel, 1946:496.
- España. Archivo Histórico Nacional; Sala de Alcaldes de Casa y Corte, año 1728, folio 136. Anotado Curiel, 1946:497.
- España. Archivo Histórico Nacional; Sala de Alcaldes de Casa y Corte, año 1763, folio 32. Anotado Curiel, 1946:520.
- España. Decreto de 23 de Agosto de 1934 de creación de la Inspección Médica del Trabajo, *Gaceta de Madrid*, 16 de Septiembre de 1934, num 259.
- España. Nueva Recopilación; Ley V, Tit XIX, Lib III, Curiel 1946,544
- España. Ley 30/1900, de 30 de Enero, sobre Accidentes de Trabajo. *Gaceta de Madrid*, 31 de Enero de 1900, Tomo I, pp 363-364.
- Fang DP, Huang XY, Hinze J. (2004) Benchmarking studies on construction safety management in China. *Journal of Construction Engineering and Management*;130(3): 424–32.
- Fang, D.P., Xie, F., Huang, X.Y., Li, H., 2004. Factor analysis-based studies on construction workplace safety management in China. *International Journal of Project Management* 22 (1), 43–49, [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00115-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00115-1).
- Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J.M., Vázquez-Ordás, C.J., 2009. Relation between occupational safety management and firm performance. *Safety Science* 47, 980–991.
- Forteza, F.J., Sese, A., Carretero-Gómez, J.M., 2016. CONSRAT Construction sites risk assessment tool. *Safety Science* 89, 338-354.
- Frazier, C.B., Ludwig, T.D., Whitaker, B., Roberts, D.S., 2013. A hierarchical factor analysis of a safety culture survey. *Journal of Safety Research* 45, 15–28.
- Fuller, C. (1999). Benchmarking health and safety performance through company safety competitions. *Benchmarking: An International Journal*, 6, 325–337.
- García A., 1992, La sobremortalidad de la clase obrera madrileña a finales del siglo XIX (1880-1900) en "Medicina Social y clase obrera en España siglos XIX y XX, Madrid, Fundación de Investigaciones Marxistas, Tomo I, pp 147-148.

- Glaser, B.G. & Strauss, A.L. (1967). The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research. Aldine, Chicago
- Glendon, A.I., Litherland, D.K., 2001. Safety climate factors, group differences and safety behavior in road construction. *Safety Science* 39, 157–188.
- Grabowski, M., Ayyalasomayajula, P., Merrick, J., McCafferty, D., 2007. Accident precursors and safety nets: leading indicators of tanker operations safety. *Maritime Policy and Management* 34 (5), 405–425. <http://dx.doi.org/10.1080/03088830701585084>.
- Groves WA, Kecojevic VJ, Komljenovic D. Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. *Journal of Safety Research* 2007;38:461–70.
- Hallowell, M.R., 2012. Safety-knowledge management in american construction organizations. *Journal of Management in Engineering* 28 (2), 203–211, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479).
- Hallowell, M., Hinze, J., Baud, K., Wehle, A., 2013. Proactive construction safety control: measuring, monitoring, and responding to safety leading indicators. *Journal of Construction Engineering and Management* 139, 04013010.
- Hallowell, M.R., 2008. A Formal Model for Construction Safety and Health Risk Management. Oregon State University, Oregon, Doctorate.
- Hastie T, Tibshirani R, Friedman J., 2001. The Elements of Statistical Learning. data mining, inference and prediction. Springer.
- Health and Safety Executive (HSE), 2005. Development and validation of the HMRI safety culture inspection toolkit. HSE Research Report 365. HSE Books, London. Retrieved July 2014 from: <<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr365.pdf>>.
- Heinrich H.W., 1950. Industrial Accident Prevention, a Scientific Approach. 3ª edición. McGraw Hill.
- Hill, D.C., 2004. Construction Safety Management Planning. Des Plaines, American Society of Safety Engineers.
- Hinze J., Thurman S., Wehle A., Leading indicators of construction safety performance. *Safety Science*, 2013; 51:23-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.016>.
- Hinze, J., 2002. Making zero accidents a reality. In: CII Research Rep. University of Texas at Austin, EEUU (160-11).
- Hinze, J.W., 1997. Construction Safety. Prentice Hall, Columbus.

- Hinze, J. W., & Teizer, J. (2011). Visibility-related fatalities related to construction equipment. *Safety Science*, 49(5), 709–718. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.007>.
- Hollnagel, E. (2008). Risk + barriers = safety? *Safety Science*, 46(2), 221–229. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.028>
- Hopkins, A., 2009. Thinking about process safety indicators. *Safety Science* 47, 460–465.
- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley & Sons.
- Huang, X., Hinze, J., 2006. Owner's role in construction safety. *Journal of Construction Engineering and Management* 132 (2), 164–173.
- Hudson, P., 2007. Implementing a safety culture in a major multi-national. *Safety Science*. 45, 697–722.
- Jannadi, O.A., Almishari, S., 2003. Risk assessment in construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 129 (5), 492–500.
- Janicak, C.A., 2010. *Safety Metrics: Tools and Techniques for Measuring Safety Performance*, second ed. Government Institutes, Lanham, MD
- Jaselskis, E.J., Anderson, S.D., Russell, J.S., 1996. Strategies for achieving excellence in construction safety performance. *J. Constr. Eng. Manage.* 122 (1), 61–70.
- Kitsantas, P., Hollander, M., Li, L., 2006. Using classification trees to assess low birth weight outcomes. *Artificial Intelligence in Medicine* 38 (3), 275–289.
- Kjellén, U., 2009. The safety measurement problem revisited. *Safety Science* 47, 486–489.
- Knegtering, B., Pasman, H.J.. 2009. Safety of the process industries in the 21st century: A changing need of process safety management for a changing industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 162–168.
- Kujath, M.F., Amyotte, P.R., Khan, F.I., 2010. A conceptual offshore oil and gas process accident model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 23, 323–330.
- Laitinen, H., Marjamäki, M., Päivärinta, K., 1999a. The validity of the TR safety observation method on building construction. *Accident Analysis and Prevention* 31, 463–472.
- Laitinen, H., Päivärinta, K., 2010. A new-generation safety contest in the construction industry – A long-term evaluation of a real-life intervention. *Safety Science* 48, 680–686.
- Laitinen, H., Vuorinen, M., Simola, A., Yrjänheikki, E., 2013. Observation-based proactive OHS outcome indicators – Validity of the Elmeri+ method. *Safety Science* 54, 69–79.

- Lebeau, M., Duguay, P., Boucher, A., 2014. Costs of occupational injuries and diseases in Quebec. *Journal of Safety Research* 50, 89–98.
- Lee, T.-S., Chiu, C.-C., Chou, Y.-C., Lu, C.-J., 2006. Mining the customer credit using classification and regression tree and multivariate adaptive regression splines. *Computational Statistics and Data Analysis* 50 (4), 1113–1130.
- Liao CW, Perng YH., 2008. Data mining for occupational injuries in the Taiwan construction industry. *Safety Science*;46:1091–102.
- Liao CW, Perng YH, Chiang TL. Discovery of unapparent association rules based on extracted probability. *Decision Support Systems* 2009;47:354–63
- Lingard, H., Wakefield, R., Cashin, P., 2011. The development and testing of a hierarchical measure of project OHS performance. *Engineering, Construction and Architectural Management* 18, 30–49.
- Lorent, P. et al. (1989). Impacto de la proposición de Directiva "obras temporales o móviles" sobre la formación en Seguridad". Fundación Dublín. Bruselas.
- Maganto, E. (1992). El Hospital Real de Laborantes de El Escorial (1563-1599) : Primera institución española para la asistencia de los trabajadores durante la construcción del Monasterio. *Escritos Escorialenses*, Ayuntamiento de El Escorial.
- Martin JE, Rivas T, Matias JM, Taboada J, Argüelles A. A Bayesian network analysis of workplace accidents caused by falls from a height. *Safety Science* 2009;47:206–14.
- Martínez Aires, M. D., Rubio Gámez, M. C., & Gibb, A. (2010). Prevention through design: The effect of European Directives on construction workplace accidents. *Safety Science*, 48(2), 248–258. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.09.004>.
- Matías JM, Rivas T, Martín JE, Taboada J., 2008. A machine learning methodology for the analysis of workplace accidents. *International Journal of Computer Mathematics*; 85:559–78.
- McVittie, D., Banikin, H., & Brocklebank, W. (1997). The effects of firm size on injury frequency in construction. *Safety Science*, 27(1), 19–23. [http://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00048-9](http://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00048-9)
- Memarian, B., & Mitropoulos, P. (2013). Accidents in masonry construction: The contribution of production activities to accidents, and the effect on different worker groups. *Safety Science*, 59, 179–186. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.05.013>

- Mohammad S. El-Mashaleh, Shafer M. Rababeh, Khalied H. Hyari. Utilizing data envelopment analysis to benchmark safety performance of construction contractors. *International Journal of Project Management* 28 (2010) 61–67.
- Muñoz J.F. (2010). Influencia de la crisis de la construcción en la accidentalidad de las obras. En *Actas del XIV International Congress on Project Engineering*, Madrid 30 de Junio - 2 de Julio 2010. P. 0828-0834. ISBN: 978-84-614-2607-2
- Muñoz, J.F. (2011). Relación entre la crisis de la construcción y la accidentalidad de las obras (periodo 2002-2010). *Gestión práctica de Riesgos Laborales*, 83, pp. 14-18.
- Nagelkerke, N. J. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78(3), 691-692.
- Nahrgang, J.D., Morgeson, F.P., Hofmann, D.A., 2011. Safety at work: a meta-analytic investigation of the link between job demands, job resources, burnout, engagement, and safety outcomes. *Journal of Applied Psychology* 96, 71–94.
- Ng S, Cheng K, Skitmore R. A framework for evaluating the safety performance of construction contractors. *Building and Environment* 2005; 40:1347–55.
- Olutuase, S.O., 2014. A study of safety management in the Nigerian construction industry. *IOSR Journal of Business and Management* 16 (3), 1–10.
- Osborne, J. and Zairi, M. (1997), *Total Quality Management and the Management of Health and Safety*, HSE Books, Sudbury.
- Payne, S.C., Bergman, M.E., Beus, J.M., Rodríguez, J.M., Henning, J.B., 2009. Safety climate: leading or lagging indicator of safety outcomes? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 735–739.
- Pellicer, E., Carvajal, G.I., Rubio, M.C., Catalá, J., 2014. A method to estimate occupational health and safety costs in construction projects. *KSCE Journal of Civil Engineering* 18 (7), 1955–1965.
- Pidgeon, N.F., 1991. Safety culture and risk management in organizations. *Journal of Cross-Cultural Psychology* 22 (1), 129–140.
- Pinto, A., 2013. QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. *Safety Science* 63 (2014), 57-76.
- Pinto A, Nunes IL, Ribeiro RA. "Occupational risk assessment in construction industry, overview and reflection". *Safety Science*. June 2011. Vol.49-5. p.616–624. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.003>

- Rajendran, S., 2006. Sustainable Construction Safety and Health Rating System. Civil, Construction and Environmental Engineering. Corvallis, Oregon State University. Doctorate.
- Rathnayaka, S., Khan, F., Amyotte, P., 2011. SHIPP methodology: Predictive accident modeling approach. Part I: Methodology and model description. *Process safety and environmental protection* 89 (3), 151–164.
- Reiman, T., Pietikäinen, E., 2012. Leading indicators of system safety—monitoring and driving the organizational safety potential. *Safety Science* 50 (10), 1993–2000.
- Rivas, T., Paz, M., Martín, J.E., Matías, J.M., García, J.F., Taboada, J., 2011. Explaining and predicting workplace accidents using data-mining techniques. *Reliab. Eng. Syst. Safety* 96 (7), 739–747. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2011.03.006>.
- Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., Baum, H., 2010. Construction job safety analysis. *Safety Science* 48 (4), 491–498. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.017>.
- Salguero-Caparros, F., Suarez-Cebador, M., Rubio-Romero, J.C., 2015. Analysis of investigation reports on occupational accidents. *Saf. Sci.* 72, 329–336. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.10.005>.
- Sall, J. (2002): MonteCarlo calibration of distributions of partition statistics. Technical report, SAS Inst., jmp.com/software/whitepapers/pdfsmontecarlocal.pdf
- Shapira, A., Lyachin, B., 2008. Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management* 135 (1), 24–33.
- Shea, T., De Cieri, H., Donohue, R., Cooper, B., Sheehan, C., 2015. Leading indicators of occupational health and safety: An employee and workplace level validation study. *Safety Science* 85, 293–304.
- Sinelnikov, S., Inouye, J., Kerper, S., 2015. Using leading indicators to measure occupational health and safety performance. *Safety Science* 72, 240–248.
- Spangenberg S. "Large Construction Projects and Injury Prevention". Doctoral Dissertation. National Research Centre for the Working Environment, Denmark & University of Aalborg, 2010.
- Stough, J., 2012. Using Leading Indicators to Continuously Improve OHS & Sustainability Performance. IHS

- Swuste P, Frijters A, Guldenmund F. "Is it possible to influence safety in the building sector? A literature review extending from 1980 until the present". *Safety Science*. June 2012. Vol.50-5. p.1333–1343. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.036>
- Teo E, Ling F. Developing a model to measure the effectiveness of safety management systems of construction site. *Building and Environment* 2006;41:1586–92.
- Toellner, J., 2001. Improving safety and health performance. Identifying and measuring leading indicators. *Professional Safety* 46 (9), 42–47.
- Toole, M., Gambatese, J. 2008. The Trajectories of Prevention through Design in Construction. *Journal of Safety Research* 39 (2008) 225–230.
- Ciarapica FF, Giacchetta G., 2009. Towards an international limit value for occupational trauma risk: industrial exposures associated with occupational trauma, permanent impairment and fatalities in a five-year national claims material. *Safety Science* 2009;47:39–46.
- Unión Europea. Directiva 89/391/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo. *Diario Oficial*, 29 de Junio de 1989, núm. L 183, pp. 0001-0008.
- Unión Europea. Directiva 92/57/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles. *Diario Oficial*, 26 de agosto de 1992, núm. L 245, pp. 0006 - 0022.
- Van Dyck, C., Dimitrova, N.G., de Korne, D.F., Hiddema, F., 2013. Walk the talk: leaders' enacted priority of safety, incident reporting, and error management. *Advances in Health Care Management* 14, 95–117.
- Villanueva, V., & Garcia, A. M. (2011). Individual and occupational factors related to fatal occupational injuries: A case-control study. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 123–127. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.001>
- Vinodkumar, M.N., Bhasi, M., 2010. Safety management practices and safety behaviour: assessing the mediating role of safety knowledge and motivation. *Accid. Anal. Prev.* 42 (6), 2082–2093, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.06.021>.
- Visser, J.P. "Managing safety in the oil industry: the way ahead". 8th International symposium loss prevention and safety promotion. Antwerp 1995.
- Waehrer, G.M., Dong, X.S., Miller, T., Haile, E., Men, Y., 2007. Cost of occupational injuries in construction in the United States. *Accident Analysis & Prevention* 39 (6), 1258–1266.

- Wachter, J.K., Yorio, P.L., 2014. A system of safety management practices and worker engagement for reducing and preventing accidents: an empirical and theoretical investigation. *Accident Analysis & Prevention* 68, 117–130.
- Waehrer GM, Dong XS, Miller T, Haile, E, Men, Y. "Costs of occupational injuries in construction in the United States". *Accident Analysis and Prevention*. November 2007. Vol.39-6. p.1258–1266. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2007.03.012>
- Wiegand, D.M., 2007. Exploring the role of emotional intelligence in behavior-based safety coaching. *Journal of Safety Ressearch* 38, 391–398.
- Woods, D.D., Hollnagel, E., 2006. Prologue: resilience engineering concepts. In: Hollnagel, E., Woods, D.D., Leveson, N. (Eds.), *Resilience Engineering. Concepts and Precepts*. Ashgate, Aldershot.
- Wright, M.S. (1998), *Factors Motivating Proactive Health and Safety Management*, HSE Books, Sudbury.
- Wu, W., Gibb, A.F., Li, Q., 2010. Accident precursors and near misses on construction sites: an investigative tool to derive information from accident databases. *Safety Science* 48 (7), 845–858.
- Wurzelbacher, S., Jin, Y., 2011. A framework for evaluating OSH program effectiveness using leading and trailing metrics. *Journal of Safety Ressearch* 42, 199–207.
- Yang, H., Chew, D. A. S., Wu, W., Zhou, Z., & Li, Q. (2012). Design and implementation of an identification system in construction site safety for proactive accident prevention. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 193–203. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.06.017>
- Zanko, M., Dawson, P., 2012. Occupational health and safety management in organizations: a review. *International Journal of Management Reviews* 14, 328–344.
- Zaragoza, J.R. (1971) *Medicina y sociedad en la España romana*. Barcelona, Editorial Pulso, pag 139-144.
- Zohar, D., 2010. Thirty years of safety climate research: reflections and future directions. *Accident Analysis & Prevention* 42, 1517–1522.

REFERENCIAS A NORMATIVA Y ORGANISMOS ESPAÑOLES

- España. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado, 10 de noviembre de 1995, núm. 269, pp. 32590-32611.
- España. Ley 54/2003, de 12 de Diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. Boletín Oficial del Estado, núm. 298, de 13 de diciembre de 2003, páginas 44408 a 44415
- España. Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. Boletín Oficial del Estado, 25 de octubre de 1997, núm. 256, pp. 30875-30886.
- España. Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales. Boletín Oficial del Estado, 31 de Enero de 2004, núm. 227.
- España. Instituto Nacional de Estadística (INE), Serie I.1.1 Índice de Incidencia de Accidentes en Jornada de Trabajo con Baja, por Sector y División de Actividad. Disponible en: <http://www.empleo.gob.es/estadisticas/eat/eat13/l/index.htm> [28 jul 2015]
- España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (2016). Análisis de mortalidad por accidente de trabajo en España. 2014. NIPO 272-15-093-7, pp. 13-14.
- España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), del Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Informes anuales de accidentes trabajo 2006 a 2014, Informe sobre el sector. [en línea]. Disponible en Web:
<<http://www.insht.es/portal/site/Observatorio/menuitem.1a9b11e0bf717527e0f945100bd061ca/?vgnextoid=58d15a2b13b46210VgnVCM1000000705350aRCRD&vgnnextchannel=eb02a89ccfbf6410VgnVCM1000008130110aRCRD>>
- España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2015). IV Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo: Tipo de riesgo de accidente, según sector de actividad. Disponible en
http://www.oect.es/Observatorio/Contenidos/InformesPropios/Desarrollados/Ficheros/Informe_IV_ENCT.pdf
- España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Estadísticas de accidentes de trabajo. [en línea]. Disponible en Web:
<<http://www.empleo.gob.es/estadisticas/eat/welcome.htm>>
- España. Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT). Estudios del Sector de la Construcción. Disponible en World Wide Web:
<<http://www.oect.es/portal/site/Observatorio/menuitem.1a9b11e0bf717527e0f94510>>

0bd061ca/?vgnnextoid=c548ffbb4b056210VgnVCM1000000705350aRCRD&vgnnextchannel=cb322f5af8dc6410VgnVCM1000008130110aRCRD>

España. Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT). Informes interanuales.

Disponible en World Wide Web:

<<http://www.oect.es/portal/site/Observatorio/menuitem.1a9b11e0bf717527e0f945100bd061ca/?vgnnextoid=81805a2b13b46210VgnVCM1000000705350aRCRD&vgnnextchannel=d102a89ccfbf6410VgnVCM1000008130110aRCRD>>

España. Observatorio Estatal de Condiciones de Trabajo (OECT). IV Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo: Tipo de riesgo de accidente, según sector de actividad.

Disponible en [http:// www.oect.es/Observatorio/Contenidos/](http://www.oect.es/Observatorio/Contenidos/)

InformesPropios/Desarrollados/Ficheros/ Informe_IV_ENCT.pdf [28 jul 2015]

España, Orden del Ministerio de Trabajo, de 31 de enero de 1940, aprobando el Reglamento general de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Boletín Oficial del Estado, de 3 de febrero de 1940, pp 914-924.

España, Orden del Ministerio de Trabajo de 20 de Mayo de 1952, por la que se aprueba el "Reglamento de Seguridad del Trabajo en la Industria de la Construcción", Boletín Oficial del Estado , num 167, de 15 de Junio de 1952.

España, Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Boletín Oficial del Estado, num.64, de 16 de marzo de 1971, pp.4303-4314.

España, Orden de 28 de agosto de 1970, por la que se aprueba la Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica. Boletín Oficial del Estado, num213, de 5 de septiembre de 1970, pp 14624 a 14625.

España, Orden TAS/2926/2002, de 19 de noviembre, por la que se establecen nuevos modelos para la notificación de los accidentes de trabajo y se posibilita su transmisión por procedimiento electrónico, Boletín Oficial del Estado, 21 de Noviembre de 2002, num. 279..

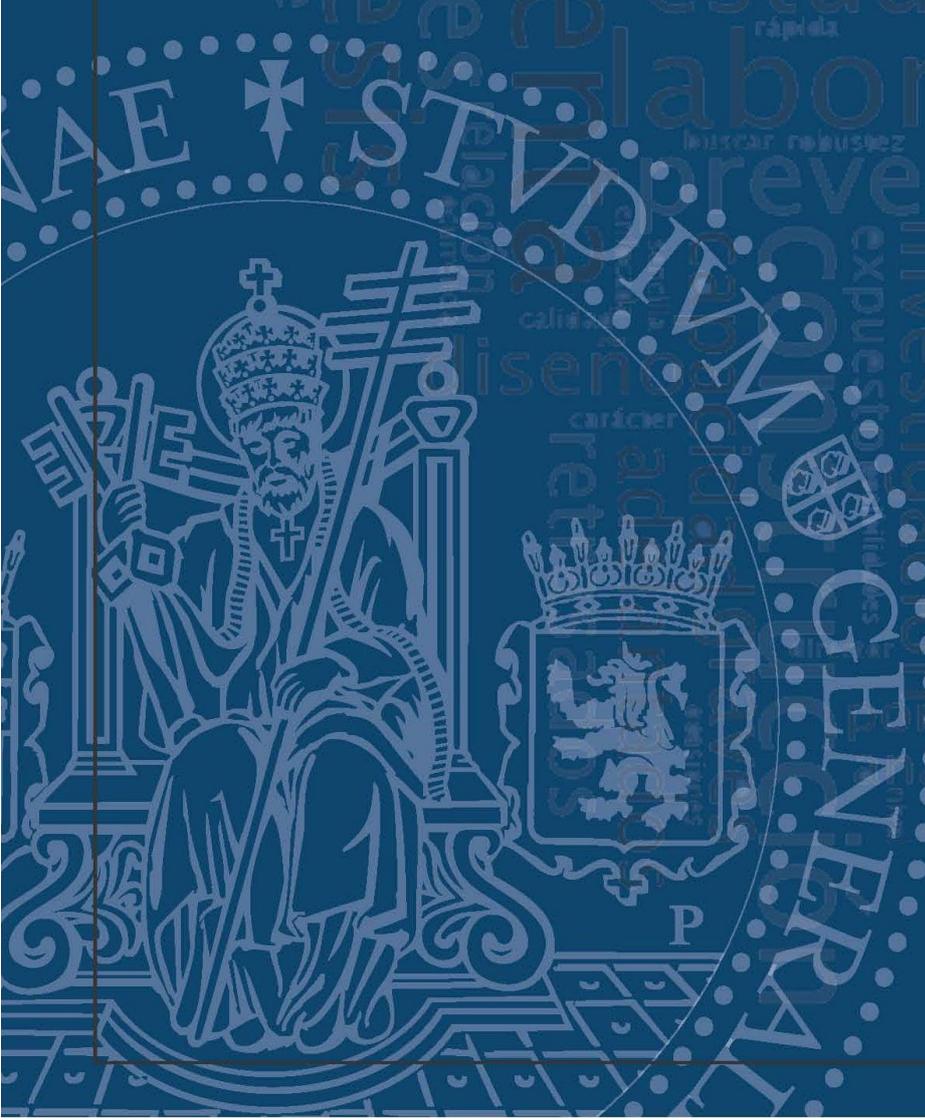
España, Decreto de 7 de Julio de 1944 se crea el Instituto Nacional de Medicina, Higiene y Seguridad del Trabajo, Boletín Oficial del Estado , num 7, de 7 de Enero de 1945.

España, Real Decreto Legislativo 8/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social. Boletín Oficial del Estado, 31 de Octubre de 1995, núm. 261, pp. 32590-32611.

España, Real Decreto-ley 36/1978, de 16 de noviembre, sobre gestión institucional de la Seguridad Social, la salud y el empleo. Boletín Oficial del Estado, num.276, de 18 de noviembre de 1978, pp 26246-26249.



Universidad
Zaragoza



riesgos
indicadores
predictiva
herramientas
accidentes
laborales
prevención
regresión
seguridad
validez
leves
logística
salud
ingeniería
estudio
árboles
evolución
trabajo
objetivo
variables
investigación
personas
porcentajes
análisis
responsable
correlaciones
modelos
rápida
robustez
carácter
revisión