

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

ENCUESTA SOBRE CUESTIONES DE SEGURIDAD EN LA OBRA			
Proyecto nº:	Director de Proyecto:		
Área Técnica:	Área Geográfica:		
Edificio:		SI	NO
B1Q2	¿Existe constancia de que todas las personas de ECOM en la obra han recibido los equipos de protección individual (EPI) adecuados para la obra en cuestión?		
B2Q1	¿Están designados por escrito los recursos preventivos de cada una de las construcciones?		
B2Q1	¿Es suficiente la presencia del Coordinador de Seguridad en la obra?		
B2Q3	¿Se realizan los trabajos con los EPIs correctos?		
B2Q4	¿Es correcto el montaje y acceso de los andamios y plataformas elevadoras?		
B2Q7	¿Están señalizados devoluciones y objetos con riesgo de caídas o golpes?		
B2Q9	¿Está la obra en buen estado de orden e limpieza?		

Design and validation of a predictive tool for work accidents at construction sites

José-Francisco Muñoz¹, Iván Lidón², Rubén Rebollar² y Javier Martín³

¹ Idom. C/Eduardo Ibarra, 6 - 50009 Zaragoza (España)

² Universidad de Zaragoza. Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Dpto. Ingeniería de Diseño y Fabricación. Área de Proyectos de Ingeniería. C/ María de Luna, 3 - 50018 Zaragoza (España)

³ Universidad de Salamanca. Biostatistics Unit-IBSAL. Instituto de Investigación Biomédica de Salamanca. Paseo de San Vicente 58-182 - 37007 Salamanca (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8794> | Recibido: 10/04/2018 • Inicio Evaluación: 23/01/2018 • Aceptado: 07/05/2018

ABSTRACT

• The most used indicators related to occupational safety are indicators that generally refer to accidents that have occurred, they are lagging indicators, because the measures that they offer can no longer avoid the accident that has already happened.

This article presents a tool based on the use of leading indicators that, by contrasting them with certain lagging indicators, allows the predictive evaluation of the possibility of occurrence of work accidents in the construction sites in which it is applied.

This paper explains the methodology followed for the design of the predictive tool and discusses its applicability. The obtained results lead to establish significant statistics correlations between some of the leading indicators formulated in the survey and accident data occurred in each case (lagging indicators), and therefore the predictive tool of work accidents in the construction works can be validated. The predictive capacity get 85.0% for minor accidents and 82.8% for major accidents.

• **Keywords:** crisis; accident rate; construction; accident.

RESUMEN

Los indicadores utilizados habitualmente en materia de seguridad laboral hacen referencia generalmente a accidentes ocurridos, son indicadores retrasados, por cuanto las medidas que de ellos se pueden derivar ya no evitan el accidente que ha tenido lugar.

Este artículo presenta una herramienta basada en la utilización de indicadores adelantados que, contrastándolos con ciertos indicadores retrasados, permite la evaluación predictiva de la posibilidad de ocurrencia de accidentes laborales en las obras de construcción en las que se aplica.

Se explica la metodología seguida para el diseño de la herramienta predictiva y se discute la aplicabilidad de la misma. Los resultados obtenidos llevan a establecer correlaciones estadísticamente significativas entre algunos de los indicadores adelantados que se formularon en la encuesta y los datos de accidentalidad ocurrida en cada caso, y por lo tanto validar la herramienta predictiva de accidentes laborales en las obras de construcción. La capacidad predictiva llega a ser del 85,0% para accidentes leves y del 82,8% para los accidentes graves.

Palabras clave: crisis; accidentalidad; construcción; accidente.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En estos últimos años ha tenido lugar un importante avance de la prevención de riesgos laborales en España, sin embargo, los logros conseguidos se encuentran todavía lejos de cumplir las expectativas que generó en su momento la aprobación de la Ley 31/1995 y del R.D. 1627/1997 en el sector de la construcción. Los datos de siniestralidad en España dan muestra de ello. Así por ejemplo, en el año 2017 se produjeron 503.749 accidentes laborales con baja en jornada laboral, 484 de ellos con resultado de muerte. En el mismo periodo, en el sector de la construcción se produjeron 58.765 accidentes con baja, 79 de los cuales con resultado de muerte. Además, en los últimos años el índice de incidencia en la construcción ha sido más del doble que el índice de incidencia del conjunto de sectores, tal y como muestran las estadísticas de accidentalidad [1].

La mayor parte de estadísticas que se publican en el campo de la prevención de accidentes laborales suelen ser de carácter descriptivo [2,3], 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, resultan poco útiles para aquellas organizaciones que hacen grandes esfuerzos en mejora continua también en materia de seguridad [4].

Durante mucho tiempo, las empresas han tomado medidas preventivas en función de sus datos de accidentalidad, pero de forma reactiva, cuando los accidentes ya se han producido [5]. Por eso, toda empresa que hoy en día quiere reducir los accidentes laborales, de manera más efectiva, tiene que considerar otras medidas como son los indicadores adelantados (leading indicators) [6]. 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 y retrasados. Grabowski describió los primeros 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) [7].

Desde un punto de vista más práctico, Hinze considera que los indicadores adelantados están diseñados para monitorizar los procesos de seguridad en la construcción y cuando las medidas muestran que hay un defecto en el proceso, se inicia algún tipo

de intervención [6]. En la misma línea, Janicak 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 [8]. Kjellén 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 [9].

Más allá de la mera definición, Stough [10] define cinco características de los indicadores adelantados: estrechamente conectados con los resultados, medibles con objetividad y fiabilidad, interpretables en el mismo sentido por diferentes grupos, aplicables en líneas generales a las operaciones de la compañía, comunicados fácilmente y con precisión.

En cuanto a los indicadores retrasados, Toellner los describió como las mediciones que están vinculadas con el resultado de un accidente [11].

Tampoco hay que considerar que los indicadores adelantados son lo contrario que los indicadores retrasados, sino que los primeros son un aspecto de la seguridad que es probable que se presente antes de un evento no deseado (los segundos), como asegura Harms-Ringdahl [12].

Pero independientemente de la terminología, hay una serie de características que diferencian a los indicadores adelantados de los indicadores retrasados. La más importante la establece Hinze [6] sobre la respuesta que provoca cada tipo de indicador. Con los 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 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.

No obstante, también hay quien considera que la distinción entre indicadores adelantados y 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 [13] señala que la distinción no es tan importante. Incluso Dyreborg [14] propone que algunos indicadores retrasados podrían utilizarse para evaluar la calidad de los indicadores adelantados, tras apuntar que hay una relación causal entre ellos.

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 no se basan en indicadores adelantados.

Uno de los métodos que se utiliza es el de regresión. Este método se utiliza mucho en campos como la medicina y las finanzas, con resultados muy positivos [15]. 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 [16] y la capacidad explicativa identificando las causas que tienen mayor incidencia en los accidentes [17]. Por otra parte, los árboles de decisión son útiles sobretodo en la identificación de las condiciones de trabajo que están asociados con un mayor riesgo de accidente en el campo de la construcción [18].

Kujath et al. [19], realizaron un modelo para plataformas petrolíferas donde parten 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. Posteriormente, Rathnayaka et al. [20] describen

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.

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, según Laitinen et al. [21]. 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. 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 [22]. El método TR sirvió de base para aplicar el método Elmeri en la industria manufacturera [23], del que surgen correlaciones entre alguno de los aspectos observados y los indicadores de accidentes. Es decir, entre lo que posteriormente se ha llegado a denominar, indicadores adelantados e indicadores retrasados.

Sin embargo no son habituales los métodos predictivos validados que se basen en indicadores adelantados. Hinze [6] ya avanza 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 novedad de la herramienta que aquí se presenta se basa en la utilización de indicadores adelantados que, contrastándolos con ciertos indicadores retrasados tomados en el mismo tiempo mediante una encuesta previa para una obra, mediante correlaciones estadísticamente significativas 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.

2. ANTECEDENTES

Como antecedente fundamental existe un estudio realizado por estos mismos autores para la evaluación de la seguridad en obras que fue desarrollada por la empresa de ingeniería española IDOM, muy vinculada al sector de la construcción [24]. El objetivo de aquel estudio era desarrollar una herramienta propia para la evaluación de la seguridad en obras en las que participaba. En ese trabajo se justifican las cuestiones seleccionadas para la encuesta en las que se basó aquella herramienta.

En tres años distintos (2006, 2008 y 2012) se analizaron 314 obras de construcción de diferentes sectores y por toda la geografía española, distribuidas de la siguiente manera: 92 obras en el año 2006, 150 obras en el año 2008 y 72 obras en el año 2012.

En cada obra analizada se empleó la misma encuesta (Figura 1), que tenía tres bloques de preguntas.

El primer bloque, tenía por objeto conocer si los empleados de IDOM destinados en la obra habían recibido la formación en segu-

ridad y los equipos de protección individual, para hacer frente a los riesgos laborales a los que pudieran estar sometidos.

El segundo bloque tenía por objeto la verificación documental del cumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad y salud.

En el tercer bloque tenía 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 [25]. La última pregunta de este grupo tenía tres apartados: número de accidentes leves, número de accidentes graves, e índice de incidencia.

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.

Los resultados de esta encuesta permitieron implementar medidas de mejora en las obras, sin embargo, estas medidas eran de carácter reactivo y además la encuesta era considerada en ocasiones como excesivamente larga. Por esta razón resultaba interesante extraer un número de preguntas más reducido y que tuvieran una capacidad predictiva.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A efectos del tratamiento estadístico de la herramienta predictiva, las preguntas de los bloques primero, segundo y tercero

se consideraron indicadores adelantados, 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 trataron como indicadores retrasados.

Los modelos de regresión logística se suelen utilizar para la descripción de las relaciones entre una variable dependiente binaria (con dos posibles resultados) y una o varias variables independientes. En este caso se utilizaron como variables dependientes los indicadores retrasados de la encuesta, es decir, los datos obtenidos de las preguntas B3Q10a, B3Q10b. Y como variables independientes se consideraron el resto de ítems de la encuesta previa, a modo de indicadores adelantados.

A partir de los datos obtenidos de las encuestas de los años 2006 y 2008 se seleccionaron los ítems de la encuesta que mejor podían explicar los datos de accidentalidad, con la intención de obtener un modelo que se pudiera validar con los datos obtenidos en el año 2012.

Se realizó un modelo logístico para la clasificación de las obras en términos de la ocurrencia de más de 5 accidentes leves (el criterio de 5 accidentes leves se tomó como una relación más restrictiva que la que marca la "pirámide de Heinrich" que establece que por 29 accidentes leves se produce 1 accidente grave) y también de la presencia de accidentes graves, ambas casuísticas consideradas por la empresa como motivo de alarma. La clasificación se

realizó en base a los ítems recogidos en la encuesta descrita en el punto 2, y el modelo se generó mediante un procedimiento similar al stepwise descrito por Collet [26]. Para la construcción del modelo se utilizó una muestra correspondiente a los años 2006 y 2008, y se validó con otra muestra correspondiente al año 2012. La bondad de ajuste de modelo se midió mediante el R^2 de Nagelkerke. Esta medida de bondad de ajuste varía entre 0 y 1, como el R^2 de la regresión lineal, si bien, dado que la variable es dicotómica tomas valores inferiores a los obtenidos por el coeficiente de determinación de la recta mínimo cuadrática [27]. La transformación exponencial de los coeficientes del modelo logístico es un odds-ratio (OR) que indicó el grado de asociación entre las dos variables involucradas. Mediante la muestra de validación se calculó el valor predictivo de tener más de cinco accidentes

ENCUESTA SOBRE CUESTIONES DE SEGURIDAD EN LA OBRA				
Proyecto nº:		Director de Proyecto:		
Área Técnica:		Área Geográfica:		
Fecha:				
		SI	NO	NS/NC
B1Q1.	¿Existe constancia de que todas las personas de IDOM en la obra han recibido la formación adecuada 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?			
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 contrataciones?			
B2Q4.	¿Existe constancia de la entrega de los EPIs adecuados a cada trabajador de contrataciones y subcontratas en la obra?			
B3Q1.	¿Es suficiente la presencia del Coordinador de Seguridad en la obra?			
B3Q2.	¿Son correctos la señalización y el 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 en altura?			
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?			
B3Q10a.	Datos de la accidentalidad de la obra: número de accidentes leves.			
B3Q10b.	Datos de la accidentalidad de la obra: número de accidentes graves.			
B3Q10c.	Datos de la accidentalidad de la obra: índice de incidencia (media)			

Figura 1: Encuesta utilizada en los análisis de las obras en los años 2006, 2008 y 2012 [24]

leves se definió como la probabilidad de que se produzcan cinco o más accidentes leves cuando el modelo ha predicho que iban a ocurrir. De la misma manera se pudo calcular el valor predictivo de tener cinco o menos accidentes. El nivel de significación elegido fue del 0,05. El software utilizado fue IBM-SPSS versión 23.

El resultado de este modelo debería dar un cuestionario rápido de responder (en cuanto a número y complejidad de preguntas) que permitiera predecir la ocurrencia o no de accidentes leves y de accidentes graves.

4. RESULTADOS

4.1. CREACIÓN DE LOS MODELOS

4.1.1. Accidentes leves

El conjunto de variables que se utilizaron para la creación del modelo las variables y que mejor explicaban la probabilidad de presentar más de cinco accidentes leves fueron B3Q7, B3Q3, B2Q3, B1Q1, B3Q1 (ver Figura 2). La bondad de ajuste del modelo es R^2 de Nagelkerke=0,541.

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	OR	95% IC para OR	
							Inferior	Superior
B1Q2(1)	1,538	0,712	4,663	1	0,031	4,656	1,153	18,812
B2Q3(1)	2,769	1,131	5,995	1	0,014	15,942	1,737	146,279
B3Q1(1)	0,661	0,572	1,334	1	0,248	1,937	0,631	5,949
B3Q3(1)	2,176	0,924	5,545	1	0,019	8,808	1,440	53,865
B3Q4(1)	1,361	0,714	3,632	1	0,057	3,899	0,962	15,800
B3Q7(1)	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		

Figura 2: Relación de variables que forman parte del modelo para accidentes leves. 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 las variables B3Q4 y B3Q1 no muestra significación, se incluyen en el modelo ya que, desde el punto de vista técnico, se trata de cuestiones muy importantes (fueron los dos 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 introducidas en el modelo han aumentado el porcentaje de bien clasificados y la magnitud de los odds-ratio es importante.

4.1.2. 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 son:

	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	OR	95% IC para OR	
							Inferior	Superior
B1Q2(1)	1,977	0,675	8,584	1	0,003	7,222	1,924	27,106
B3Q1(1)	1,344	0,644	4,356	1	0,037	3,836	1,085	13,555
B3Q3(1)	1,206	0,657	3,370	1	0,066	3,339	0,922	12,095
B3Q4(1)	0,647	0,636	1,035	1	0,309	1,910	0,549	6,647
B3Q7(1)	0,861	0,738	1,362	1	0,243	2,366	0,557	10,049
B3Q9(1)	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		

Figura 3: Relación de variables que forman parte del modelo para accidentes graves. 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

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.

4.2. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS

4.2.1. Accidentes leves

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

Reales	Accidentes leves	Pronosticados		Total	Porcentaje correcto (%)
		<=5	>5		
	<=5	47	7	54	87,0
	>5	11	55	66	83,3
Total				120	85,0

Figura 4: 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 clasificado 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.

Para la validación del modelo se ha probado con la información de los resultados del 2012. Se han calculado los valores predictivos para ambos eventos. Si la probabilidad era mayor de 0,5 se clasifica como candidata a que ocurran más de cinco accidentes leves. Lamentablemente las obras que presentaban información completa en las variables del modelo fueron 31 de las 72 analizadas. La tabla de bien clasificados es la siguiente:

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

Figura 5: 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 de tener más de cinco accidentes leves, el modelo ha predicho que iban a ocurrir más de cinco accidentes graves en 13 obras y ha acertado en 9, es decir, en un 69,2%. El poder predictivo de ≤ 5 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.

4.2.2. Accidentes graves

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

		Pronosticados		Total	Porcentaje correcto (%)
		Accidente grave			
Reales	0	63	5	68	92,6
	>=1	12	19	31	61,3
Total				99	82,8

Figura 6: 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%. Al igual que en el caso anterior, en una segunda fase se valida el modelo con una muestra externa obtenida del año 2012 donde se puede valorar cómo funciona el modelo y calcular las estimaciones del poder predictivo de tener por lo menos un accidente grave o de no tenerlo. Sólo se ha podido obtener la información completa de 25 obras de las 72 analizadas. El porcentaje de bien clasificados es del 72% (ver Figura 7).

		Pronosticados		Total
		Accidente grave		
Reales	0	15	0	
	>=1	7	3	
Total		18	22	3
Porcentaje correcto (%)		68,2	100	72,0

Figura 7: Validación del modelo para accidentes graves en el año 2012

En este caso el poder predictivo de tener al menos un accidente grave 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 de no tener accidentes graves es de 68,2%, es decir, de las 22 obras que estimo el modelo que no se iba a producir accidentes graves en 15 no se produjo.

4.3. HERRAMIENTA 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 8. 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.

Aunque se ha llegado a la selección de estas preguntas a través del modelo de regresión logística, a continuación se analiza su contenido para evaluar su idoneidad desde un punto de vista práctico.

ENCUESTA SOBRE CUESTIONES DE SEGURIDAD EN LA OBRA				
Proyecto n°:	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 contratatas?			
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 8: Cuestionario predictivo

La primera pregunta (B1Q2), está relacionada con un comportamiento ejemplar del Director de Obra. 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 EPIs 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.

De las preguntas relacionadas con cuestiones documentales del personal de la obra, dos resultaron significativas. La normativa española definió la participación de los recursos preventivos en las obras con función de 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 (B2Q3).

El Coordinador de Seguridad y Salud (CSS) en fase de ejecución es una figura clave en la seguridad de la obra. Debe contar 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 (B3Q1).

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.

Las preguntas sobre el correcto el montaje y acceso de los andamios y plataformas elevadoras (B3Q4), y sobre la señalización de desniveles y objetos con riesgos de caídas o golpes (B3Q7) están directamente relacionadas con la lista de mayores riesgos de accidentes en el sector de la construcción [25].

En cuanto a la última pregunta que forma parte del modelo, sobre el estado de orden y limpieza de la obra (B3Q9), 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).

6. DISCUSIÓN

Esta investigación aporta las asociaciones 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 principal limitación que tuvo el estudio 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.

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).

El modelo tiene un alto porcentaje de las previsiones correctamente clasificadas. Además, los porcentajes de mal clasificados son relativamente bajos, tanto para el caso de asignación a más de 5 accidentes leves cuando no lo son (12,96%) como para más de 1 accidente grave (7,35%). Para los casos de asignación errónea a tener menos de 5 accidentes leves (16,67%) el porcentaje es similar a la asignación errónea a > 5 accidentes leves. Sin embargo, 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). Durante la puesta en práctica de la misma no se han encontrado 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.

7. CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación fue diseñar una herramienta que permitiera predecir los accidentes laborales en las obras de construcción, teniendo en cuenta los indicadores adelantados que ofrecía una encuesta previa. Además, dado que el cuestionario contenía indicadores adelantados y retrasados, la herramienta se podría reprogramar según la evolución con el tiempo de ambos indicadores.

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.

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.

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

REFERENCIAS

- [1] 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>>
- [2] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, del Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Informes anuales de trabajo en España 2006 a 2014. Informe sobre el sector.
- [3] Groves WA, Kecojevic VJ, Komljenovic D. Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. *Journal of Safety Research* 2007;38:461-70.
- [4] 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).
- [5] 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.
- [6] Hinze, J., Thurman, S., Wehle, A. Leading indicators of construction safety performance. *Safety Science*, 2013; 51:23-28.
- [7] 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.
- [8] Janicak, C.A., 2010. *Safety Metrics: Tools and Techniques for Measuring Safety Performance*, second ed. Government Institutes, Lanham, MD
- [9] Kjellén, U., 2009. The safety measurement problem revisited. *Safety Science* 47, 486-489.
- [10] Stough, J., 2012. Using Leading Indicators to Continuously Improve OHS & Sustainability Performance. IHS
- [11] Toellner, J., 2001. Improving safety and health performance. Identifying and measuring leading indicators. *Professional Safety* 46 (9), 42-47.
- [12] Harms-Ringdahl, L., 2009. Dimensions in safety indicators. *Saf. Sci.* 47 (4), 481-482.
- [13] Hopkins, A., 2009. Thinking about process safety indicators. *Safety Science* 47, 460-465.
- [14] Dyreborg, J., 2009. The causal relation between lead and lag indicators. *Safety Science* 47, 474-475.
- [15] Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. *The Elements of Statistical Learning. data mining, inference and prediction*. Springer; 2001.
- [16] Matias JM, Rivas T, Martín JE, Taboada J. A machine learning methodology for the analysis of workplace accidents. *International Journal of Computer Mathematics* 2008;85:559-78.
- [17] Martín 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.
- [18] Liao CW, Peng YH, Chiang TL. Discovery of unapparent association rules based on extracted probability. *Decision Support Systems* 2009;47:354-63.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Muñoz, J.F., Lidón, I., Rebollos R., Cano J.L., Diseño de una herramienta para la evaluación de la seguridad laboral en obras. *DYNA* 2016; 91:402-405. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7769>
- [25] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 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 [28 Jul 2015]
- [26] Collet, D. *Modelling binary data*. Chapman & Hall, 2003.
- [27] Walker, D. A. and Smith, T. J., 2016. Nine Pseudo R² indices for binary logistic regression models. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 15(1), 848-854.