



Procedimiento para el análisis de la accidentalidad laboral con énfasis en modelos matemáticos

A procedure for the analysis of the accident rate in the workplace with emphasis on mathematical methods

Maidelis Curbelo-Martínez, Damayse Pérez-Fernández, Rafael Gómez-Dorta

¹ Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.

E-mail: mcmartinez@ucf.edu.cu, dmfernandez@ucf.edu.cu, rgomez@ucf.edu.cu

Recibido: 20/12/2011

Aprobado: 24/09/2014

RESUMEN

La investigación fue aplicada en una empresa de mantenimiento y construcción de redes de generación de energía eléctrica. El objetivo consistió en identificar el modelo de regresión que mejor ajusta a factores incidentes en la ocurrencia de accidentes laborales. Entre las técnicas y herramientas que fueron utilizadas se encuentran las propias de la Gestión del Riesgo Laboral y las relacionadas con la estadística descriptiva y multivariada. Al término de la investigación, se obtuvo que el análisis de diferentes modelos matemáticos para explicar la accidentalidad laboral, permitió identificar que el de Regresión Logística es aquel que brinda resultados con un menor margen de error. Se finalizó la investigación proponiéndose para estas variables, un programa de acciones de mejoras e indicadores que posibilitan el control de su desempeño.

Palabras clave: Accidentalidad laboral, Análisis factorial, Modelo de regresión, Prevención de accidentes laborales.

ABSTRACT

The research was applied in an enterprise for the maintenance and construction of electricity generation networks. It is aimed at identifying the model of regression that better fits the incidental factors in the occurrence of accidents in the workplace. Among the techniques and tools used for the development of the research were found specific techniques related to the Labor Risks Management, and descriptive and multivariate statistics are applied. At the end of this research work, an examination of the different mathematical models to explain the accident rate in the workplace is obtained as the main result. This allows the author to identify that the Logistic Regression model is the one that provides the least margin of error. The research is ended by proposing a program of actions for the improvement of the accident rate in the workplace, as well as indicators that allow the control of its development.

Key words: Occupational accident, factorial analysis, regression models, Accident Analysis y Prevention.

I. INTRODUCCIÓN

Autores tales como Ashby & Diacon (1996); Jarma (2002); Beramendi (2004) y Forastieri 2009; plantean que los accidentes de trabajo constituyen una cuantiosa fuente de generación de costos [1; 2; 3; 4]. Los costos económicos de las lesiones profesionales y relacionadas con el trabajo aumentan con rapidez, indica un informe de la Organización Internacional del Trabajo [5]. Aunque es imposible fijar un valor a la vida humana, las cifras de indemnización indican que el costo de las enfermedades representa cerca del 4% del producto interno bruto mundial. Estos gastos se asocian a absentismo laboral, tratamientos de enfermedades, incapacidad y prestaciones de supervivientes [2; 5; 6; 7].

A nivel internacional y nacional se observan cifras alarmantes de ocurrencia de accidentes laborales. Los cálculos más recientes de la OIT (2011), revelan que hay 2 millones de fallecimientos anuales y 270 millones de accidentes relacionados con el trabajo, más de 5 000 al día, y por cada accidente mortal hay entre 500 y 2 000 lesiones, según el tipo de trabajo. Estadísticas como estas, muestran la necesidad de realizar investigaciones científicas que contribuyan a disminuir estos indicadores. Se propiciando la mejora de las condiciones laborales (al ser estas las que propician la ocurrencia de estos hechos) y un bienestar físico, psíquico y social del factor humano que realiza sus funciones en los ambientes de trabajo [2; 5].

En la literatura internacional, existen investigaciones que partir de aportes de la estadística matemática, se identifican variables que han incidido de manera significativa en la ocurrencia de accidentes laborales, pudiendo establecerse acciones que tributen al control de este indicador. Las investigaciones se inician teniendo en cuenta un análisis del concepto de accidente laboral. En este, se evidencia la relación causal existente entre la ocurrencia del accidente de trabajo y factores tales como: deficiencias en los sistemas de trabajo, características de los individuos, contexto social en que trabajan y viven estos, relaciones sociales, entorno físico-técnico en que se desarrolla el trabajo. Estos hechos indeseados indican también, deficiencias en materia de prevención y en la gestión de la empresa que pueden influir en la calidad, productividad, clima laboral y en general en la eficiencia [1; 2; 7; 8].

A partir de esa relación causal, se evidencian cada vez más, los aportes dados por el uso de modelos lineales generalizados y/o transformaciones de variables para analizar los accidentes laborales. Autores, tales como: Tomas et al,(2005); Cheng (2010); Suárez (2011); Nenonen (2013) constatan que la predicción de la accidentalidad laboral conlleva una problemática especial y demuestran los aportes dados a la prevención de accidentes laborales al usar modelos matemáticos [9; 10; 11; 12]. Estos autores logran objetividad en la investigación de accidentes laborales, sus investigaciones constituyen antecedentes del presente trabajo. Dichas investigaciones no utilizan un procedimiento estructurado centrado en los aportes de la aplicación de la estadística multivariada a la mejora proceso de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, cuestión que es pretendida en la investigación mostrada en este artículo.

Se puede concluir que, actualmente el análisis de la accidentalidad laboral, no se centra solamente en llevar registros estadísticos y de análisis de tendencia como lo fue en épocas de antaño, los cuales, no permitían tomar medidas preventivas, toda vez que se analizaban cifras aisladas. Se trabaja en el uso de modelos matemáticos, estos explican la relación entre variables críticas (número de incidentes, de lesiones leves, de lesiones con incapacidad y de accidentes mortales) y explicativas (evaluación de factores de riesgos laborales, clima de seguridad). A través del análisis de la significación estadística, se identifican las variables explicativas que más han incidido en la ocurrencia de los daños a la salud de los trabajadores. De esta manera surge la posibilidad de establecer planes de acción que permitan mejorar el comportamiento de estas variables. Se ha constatado la carencia de un enfoque metodológico que haga uso de técnicas para el análisis anterior y posterior a la ocurrencia de accidentes laborales en las empresas. Tampoco utilizan modelos matemáticos para explicar cuestiones relacionadas con la ocurrencia de estos hechos.

En el territorio de Cienfuegos se han encaminado estudios para disminuir los índices de accidentalidad en diferentes organizaciones. Pero, estas investigaciones en su mayoría, han carecido de la integración de todas las variables que inciden en los accidentes laborales y su análisis matemático, lo que dadas las tendencias actuales es una valoración necesaria a efectuar en las empresas de la provincia y del país.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD LABORAL CON ÉNFASIS EN MODELOS MATEMÁTICOS

Una de las empresas del sector de generación eléctrica es considerada de importancia en la provincia, la misma brinda servicio eléctrico al 97% de sus habitantes. En el 2013 esta entidad cuenta con un total de 1493 trabajadores, de ellos el 71% está expuesto a altos riesgos. En el periodo analizado (2001–2012) han ocurrido 52 accidentes, de ellos 4 resultaron mortales, 23 graves y 25 leves. De esta cifra de accidentes ocurridos, el puesto de trabajo de mayor incidencia es el del liniero eléctrico debido al contacto con la electricidad. Este factor de riesgo ha ocasionado daños a la salud y hasta la muerte a varios trabajadores. Por lo anterior, es necesario efectuar estudios que permitan disminuir los indicadores de accidentalidad laboral en esta organización.

A partir de un análisis de siniestralidad laboral realizado en dicha empresa, se concluye que las causas que provocan los accidentes de trabajo están fundamentadas en las de tipo de conducta humana en un 51% y organizativas en un 34%. En el diagnóstico realizado se identifica como prioridad el control estadístico de la accidentalidad. Detectándose que no se realiza un análisis exhaustivo desde el punto de vista estadístico matemático que posibilite obtener conclusiones objetivas sobre la ocurrencia de accidentes. En estudios precedentes se identificaron una serie de sugerencias por parte de los trabajadores relacionados con: la exigencia y el control por parte de la dirección y el incremento de la calidad de los medios de protección.

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un procedimiento que permita identificarlos factores de mayor incidencia en la ocurrencia de accidentes laborales, haciendo uso de modelos matemáticos. Se muestra los resultados de esta investigación: el procedimiento y los resultados de su implementación en el sector y empresa identificados con cifras significativas de accidentalidad laboral. Se exponen los métodos empleados y se procede al análisis y discusión de los resultados.

II. MÉTODOS

El análisis de la accidentalidad laboral basado en la utilización de un modelo matemático permite valorar este indicador de la gestión de la seguridad y salud laboral y luego proyectar acciones de mejora que tributen a su disminución en las organizaciones. El procedimiento adaptado por la autora de esta investigación que se ilustra en la Figura 1 es el que se debe seguir, para lograr lo antes planteado.

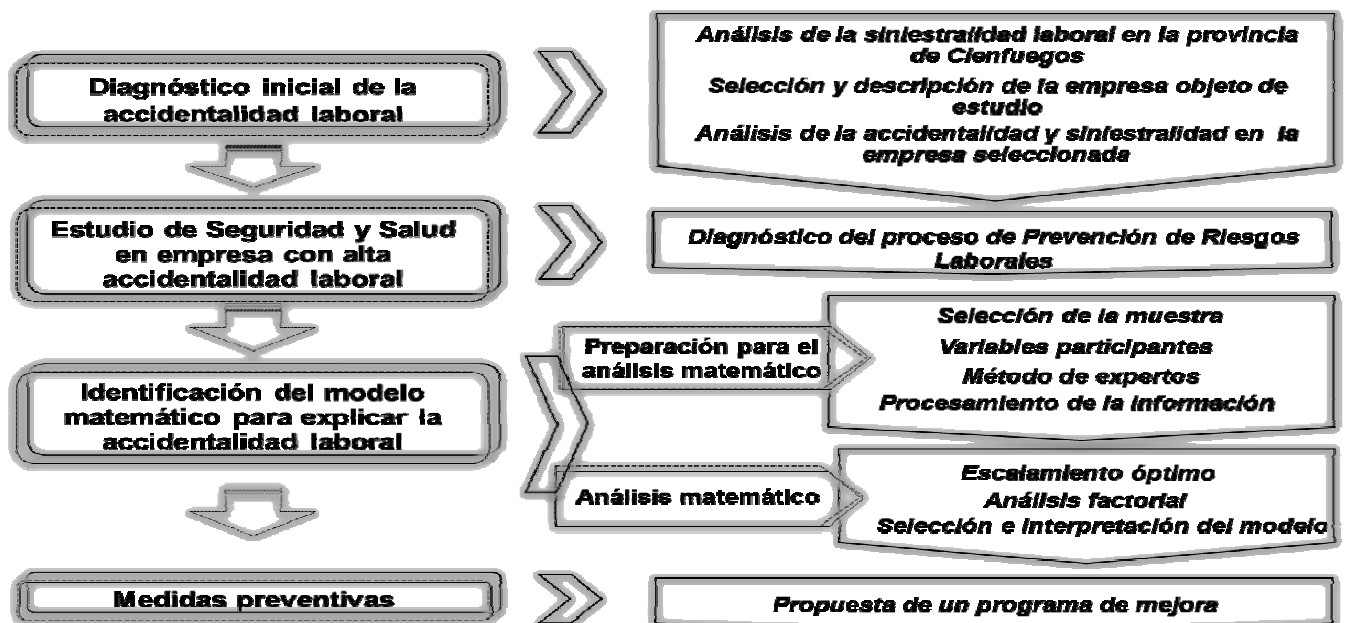


Figura 1. Secuencia de pasos del procedimiento para el análisis de la accidentalidad laboral basado en la utilización de un modelo matemático.

El análisis de la accidentalidad laboral se organiza metodológicamente en una secuencia de cuatro etapas básicas conformadas por 12 pasos, para establecer un modelo que explique la accidentalidad laboral. A partir del análisis de los resultados del mismo se proyectan acciones de mejora que permiten disminuir o controlar este indicador. Se tuvo en cuenta para la elaboración del procedimiento el criterio de Barrera (2010) [13]. A continuación se exponen los resultados de la implementación del procedimiento.

III. RESULTADOS

Etapas I: Diagnóstico inicial de la accidentalidad laboral.

Análisis de la siniestralidad laboral en la provincia de Cienfuegos.

Se caracteriza y analiza la accidentalidad laboral de la provincia de Cienfuegos, partir de la información de Dirección Provincial de Trabajo y Seguridad Social, la Dirección Municipal de Trabajo Cienfuegos, la Oficina Nacional de Inspección del Trabajo y la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE desde el 2006 hasta el 2012. En el período analizado la accidentalidad laboral en el territorio de Cienfuegos no ha mostrado continuamente una tendencia decreciente, sino que se observan crecimientos y disminuciones de manera sostenida. Esta tendencia pudiera ser una prueba de las deficiencias en la gestión preventiva de los factores de riesgos laborales.

Selección y descripción general de la empresa objeto de estudio.

Se selecciona como objeto de estudio una empresa dedicada al mantenimiento de líneas eléctricas. El sector al cual pertenece la misma, a nivel nacional es el segundo con mayor cantidad de accidentes con un total de 214 ocurridos en el 2012, destacándose a su vez con el coeficiente de mortalidad más alto con 51,6 fallecidos por cada mil lesionados. En la provincia está en el sexto lugar de los organismos con mayor accidentalidad laboral y dentro de las empresas que pertenecen a este sector la escogida es la de mayor accidentalidad laboral.

Análisis de la siniestralidad laboral con empresas similares del país.

Se establece una comparación de la empresa objeto de estudio con sus similares del centro del país, basándose en el tipo de lesión, teniéndose en cuenta el período 2006-2012. Este análisis arrojó que en el caso de los accidentes leves y total de accidentes, la empresa de Cienfuegos presenta cifras alta accidentalidad.

Análisis de la siniestralidad y accidentalidad laboral en una empresa de generación eléctrica.

Se realiza el análisis de siniestralidad laboral en la empresa objeto de estudio durante el período 2006-2012. Este paso permite identificar los factores característicos a tener en cuenta para la clasificación de los accidentes laborales, facilitándose de esta manera el análisis estadístico descriptivo de estos hechos. Son tenidos en cuenta para este propósito factores tales como: el sexo, edad, antigüedad en el puesto, naturaleza de la lesión, mes, día de la semana, causa, forma en que se produjo, agente material, lugar y puesto de trabajo. Este análisis de siniestralidad laboral propicia el establecimiento de medidas y acciones de control, que permite disminuir la accidentalidad laboral.

Es el preámbulo de un análisis que permitirá a esta investigación la adopción de un modelo matemático que identifique las causas que más han incidido en la ocurrencia de estos accidentes.

Para el análisis de accidentalidad se utilizan diferentes índices. Se concluyó que: el índice de incidencia, índice de gravedad e índice de frecuencia tiene un comportamiento de disminución y luego aumenta por años, teniendo irregularidades. En el caso del coeficiente de mortalidad este se mantiene estable con un accidente mortal por año en el período que se evalúa.

Etapas II: Diagnóstico de Seguridad y Salud en empresa con alta accidentalidad.

Análisis del proceso de Prevención de Riesgos Laborales.

Para el diagnóstico del proceso de Gestión de Seguridad y Salud Laboral se utiliza el cuestionario de Bestratén (2000) [14]. El resultado de este paso conllevó a identificar los puntos débiles y fuertes del proceso estudiado. Se realiza un análisis gráfico de los puntos débiles denotándose la necesidad de trabajar con prioridad número uno el control estadístico de accidentalidad y el compromiso de la dirección así como en las funciones y responsabilidades, lo cual puede ser visto en la Figura 2.

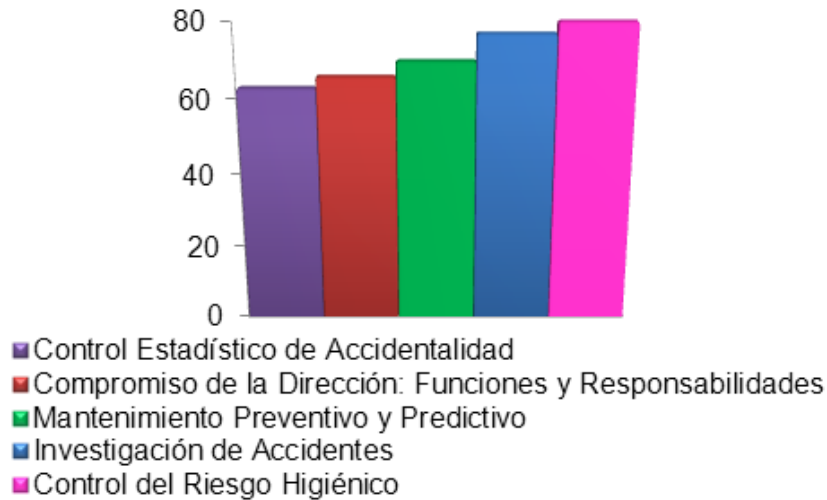


Figura 2. Representación gráfica de las debilidades obtenidas del diagnóstico de Prevención de Riesgos Laborales.

Específicamente en el caso del primer punto débil se identifica que no se realiza análisis alguno relacionado con la estadística descriptiva de accidentalidad que relacione las causas de la materialización de los distintos factores de riesgo laboral. Ni se aplica método alguno que permita el seguimiento y control de la evolución de la siniestralidad, decidiéndose en esta investigación efectuar un estudio que permita identificar las variables de mayor significación estadística relacionada con la ocurrencia de accidentes laborales.

Etapa III: Identificación del modelo matemático para explicar la accidentalidad laboral.

Preparación para el análisis matemático.

Selección de la muestra.

Teniendo en cuenta que la UEB de mayor accidentalidad durante el período 2006-2012 es la del municipio de Cienfuegos y el puesto de trabajo de mayor incidencia es del liniero, se decide encuestar al total de los trabajadores, o sea, debido a que la población es pequeña y la información puede ser obtenida con esta cantidad asegurándose de esta manera la objetividad en los resultados de la investigación.

Variables participantes.

En este paso se selecciona aquellas variables que muestran relación con la variable dependiente "accidentes laborales", se trabaja con tres grandes grupos de variables, las mismas se muestran en la Figura 3.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD LABORAL CON ÉNFASIS EN MODELOS MATEMÁTICOS

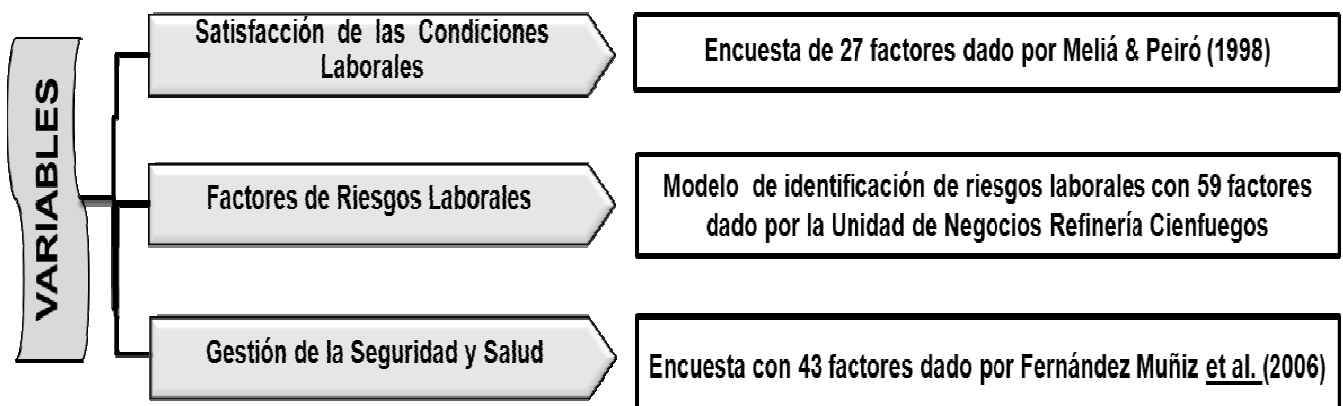


Figura 3. Variables que muestran relación con la variable dependiente accidentes laborales.

Método de expertos.

Se realiza el método de expertos para conocer las variables que pasan a formar parte del análisis factorial, 8 expertos dan su juicio individualmente, entre los cuales se encuentran los especialistas en Seguridad y Salud, trabajadores con vasta experiencia, así como profesores que investigan en la temática pertenecientes a la Universidad de Cienfuegos, con el objetivo de reducir las variables a utilizar en el análisis factorial. El juicio de los expertos es consistente para ambos casos y se utiliza el paquete estadístico SPSS versión 15.0. Concluyéndose que pueden eliminarse 15 y 19 factores relacionadas con la Satisfacción Laboral y la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo respectivamente. Quedándose finalmente 12 factores relacionados con la Satisfacción Laboral y 24 pertenecientes a la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, con las cuales se realiza el resto de los análisis correspondientes en la presente investigación.

Procesamiento de la información.

Posteriormente, se procede al procesamiento de las encuestas utilizando el paquete de programa estadístico SPSS versión 15.0.

Sub-Etapa II: Análisis matemático.

Escalamiento óptimo.

Se realiza el escalamiento óptimo por la necesidad de trabajar con variables cuantitativas que garanticen un mejor ajuste del modelo, por lo que se transforman las variables de tipo categórica a métrica, utilizando el programa estadístico SPSS versión 15.0. En ambos casos los resultados obtenidos (coeficiente Alpha de Cronbach y % de varianza total explicada) son aceptables (superior a 0,8).

Análisis factorial.

El análisis factorial se realiza con las 12 variables relacionadas con la Satisfacción Laboral y 24 pertenecientes a la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo derivadas del método de expertos, con el objetivo de encontrar una manera de resumir la información contenida en una serie de factores originales en una serie más pequeña de dimensiones compuestas con una mínima pérdida de información. Todas las variables que intervienen son métricas y forman un conjunto homogéneo apropiado para el análisis factorial. En la tabla 1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el análisis factorial relacionado con las variables asociadas a la Satisfacción Laboral y las variables asociadas a la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, concluyéndose que el procedimiento factorial que se realiza puede proporcionar conclusiones satisfactorias.

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos en el análisis factorial.

Factores característicos	Resultados
Coefficiente de adecuación (KMO)	Rango de aceptación (superior a 0,50)
Test de esfericidad de Bartlett	Test no es una matriz identidad
Matriz de correlación anti-imagen	Valores muy bajos
Medida de suficiencia de muestreo (MSA)	Valores altos en su diagonal

Se utiliza el método de los componentes principales que es apropiado cuando el interés fundamental se centra en la predicción o reducción del número de factores necesarios para justificar la porción máxima de la varianza representada en la serie de variables original. Luego de realizar el procesamiento se observan las comunalidades, y se concluye que todas las variables se encuentran por encima de 0,5, por tanto pasan a formar parte del estudio. La matriz de pesos factoriales rotadas muestra que todos los factores saturan en algún componente (según VARIMAX), obteniéndose tres componentes con las variables asociadas a la Satisfacción Laboral y cinco a la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, lo dicho anteriormente se muestra en las Tabla 2.

Tabla 2. Componentes de las variables a utilizar en el modelo matemático

Componentes asociados a la Satisfacción Laboral	
Compromiso de la Dirección	Aspectos relacionados con: formación, supervisión, servicios médicos, forma en que la empresa cumple con las disposiciones y leyes de seguridad.
Condiciones Laborales	Aspectos relacionados con la iluminación, ventilación y temperatura del local de trabajo.
Supervisión	Aspectos relacionados con la proximidad y frecuencia con que es supervisado así como la forma en que juzgan su trabajo.
Componentes asociados a la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo	
Cumplimiento de la Legislación	Aspectos relacionados con la formación de los trabajadores, manuales de instrucciones o procedimientos de trabajo, sistemas para evaluar los riesgos, divulgación e implantación de los de los planes de prevención, eficacia del plan de emergencia, además de la notificación, investigación, análisis y registro de accidentes e incidentes.
Planificación de la Prevención	Aspectos relacionados con el sistema de información, planes de prevención, identificación de acciones correctoras y comprobación de objetivos asignados.
Formación en Prevención	Aspectos relacionados con las necesidades formativas, normas de actuación o procedimientos de trabajo, planes de emergencia e inspecciones sistemáticas del funcionamiento del sistema.
Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales	Aspectos relacionados con la información que se le brinda al trabajador, sistemas para identificar riesgos y revisión de planes de prevención.
Política	Aspectos relacionados con la preocupación de la dirección y los principios a seguir por todos los miembros de la organización.

Véase que el compromiso de la dirección es identificado como componente principal y es una de las debilidades detectadas con el diagnóstico de Prevención de Riesgos Laborales realizado en la etapa II (paso 4) de este trabajo, corroborándose de esta forma que este es un aspecto a ser estudiado. En el caso de la formación y la supervisión son aspectos que no fueron identificados como debilidades en el diagnóstico de Prevención de Riesgos Laborales pero en el análisis de siniestralidad laboral se dan indicios de que deben incrementarse acciones en estos aspectos, fundamentalmente relacionados con la conducta realizada por los trabajadores y la necesidad de realizar supervisión en los meses, días y horarios donde ocurren la mayor cantidad de accidentes. Existe una reiteración en lo identificado en el modelo de diagnóstico específicamente en los componentes relacionados con el cumplimiento de la legislación, la preocupación de la dirección y la formación en prevención. El análisis de siniestralidad refiere que la principal causa del accidente es de tipo conducta, con la cual tienen relación aspectos relacionados con la formación e información, al igual que en el análisis factorial relacionado con la Satisfacción Laboral donde estos aparecen como aspectos a ser analizados. Corroborándose de tal forma que se pueden tener en cuenta en la explicación de la accidentalidad laboral. Concluyéndose

que este análisis de componentes principales coincide con lo analizado en la caracterización y diagnóstico del proceso de Prevención de Riesgos Laborales en la presente investigación.

Selección e interpretación del modelo.

Los modelos que se utilizan habitualmente en el análisis de este tipo de variables son los denominados modelos de regresión para datos de recuento, siendo su naturaleza discreta. En los estudios sobre accidentalidad laboral, no es adecuado utilizar el Modelo de Regresión Lineal, pues el tratamiento de las variables es problemático por diversas razones, entre ellas: el incumplimiento de los supuestos distributivos de normalidad y homocedasticidad, las predicciones fuera del rango de los posibles valores de un recuento, así como la ausencia de linealidad; por estos motivos suele proporcionar estimaciones sesgadas, ineficientes e inconsistentes con lo cual coinciden los autores de la presente investigación [15; 16].

El modelo de recuento por excelencia es el Modelo de Regresión de Poisson, aunque el supuesto fundamental para la aplicación correcta del mismo es el de la «equidispersión» (igualdad de media y varianza) habitualmente la varianza es superior a la media, fenómeno denominado «sobredispersión» [14; 17].

La búsqueda de mayor flexibilidad ha propiciado la utilización de otros modelos -algunos de los cuales también están basados en la distribución de Poisson- que han recogido mejor la sobredispersión otras características, dando lugar, así, a los modelos de Poisson mixtos o compuestos. Uno de estos modelos es el Modelo Binomial Negativo que es un Modelo Generalizado del Modelo de Poisson, que según Tomás, J. M., Rodrigo, M. F., & Oliver, A. (2005) plantea en su investigación por la condición del supuesto de equidispersión, es recomendable tener en cuenta considerando las peculiaridades del estudio en el ámbito de la accidentalidad laboral. De manera general esta técnica es similar al Modelo de Regresión de Poisson, excepto que el generalizado permite que la varianza condicional de Y sea mayor que la media ($\delta > \mu$), o sea que exista sobredispersión [12].

Ante este tipo de variable de respuesta otra alternativa analítica aunque menos utilizada que las anteriores consiste en aplicar el Modelo de Regresión Logística [16; 18]. Las ventajas de este tipo de regresión es que no necesita supuestos como el de normalidad multivariable y el de homocedasticidad (igualdad de las varianzas), que son difíciles de comprobar y una ventaja es su similitud con la regresión múltiple pues permite el uso de variables independientes continuas y categóricas [18]. Este tipo de regresión al igual que otras técnicas estadísticas multivariadas posibilita evaluar la influencia de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente o de respuesta, y controlar el efecto del resto. La Regresión Logística es un método efectivo para expresar la probabilidad de que ocurra el hecho en cuestión en función de ciertas variables independientes, que se presumen relevantes o influyentes, en este caso sería la ocurrencia o no del accidente.

Para la elección del modelo que mejor explique la accidentalidad laboral, se utilizan la Regresión Logística, Regresión Poisson y Regresión Binomial Negativa, por las razones presentadas con anterioridad.

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos para la variable accidentes, donde se concluye la no existencia de sobredispersión, pues la varianza es inferior a la media ($0,072 \leq 0,08$), por tanto no es necesario hacer transformaciones.

Existe otro modelo más tolerante en lo que respecta a la falta de equidispersión, como el modelo de Regresión de la Binomial Negativa (MRBN). Es un modelo ampliamente utilizado en situaciones donde no exista la equidispersión [16; 17; 19].

En el caso de la Regresión Logística, al igual que otras técnicas estadísticas multivariadas, da la posibilidad de evaluar la influencia de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente y controlar el efecto del resto. Se tendrá una variable dependiente, que en este caso es dicotómica (accidente o no accidente), y un grupo de variables independientes que pueden ser de cualquier naturaleza, cualitativas o cuantitativas, para el actual estudio a las mismas se les realiza un escalamiento óptimo.

Se procede al procesamiento de los datos para los tres modelos seleccionados, utilizando el *Statgraphics Centurion XV*. En el mismo se ajusta cada modelo teniendo en cuenta la máxima verosimilitud, que permite estimar los parámetros de un modelo probabilístico, de manera que sean los más probables a partir de los datos obtenidos.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD LABORAL CON ÉNFASIS EN MODELOS MATEMÁTICOS

En el caso del modelo de Regresión Logístico, véase que de los nueve (9) componentes, explican la accidentalidad cinco (5), uno (1) de satisfacción laboral y cuatro (4) de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

Según los resultados obtenidos en el caso de Regresión de Poisson, de los nueve componentes explican la accidentalidad laboral tres, para los cuales deben establecerse acciones de prevención dirigidas a los componentes enunciados con anterioridad. Este modelo desde el punto de vista práctico se adecua a la realidad debido a que la formación es la causa fundamental relacionada con la conducta, identificada a partir del análisis de siniestralidad implicando la necesidad de realizar acciones en este campo.

En el caso de la Regresión Binomial Negativa, al no existir sobredispersión en los datos los resultados coinciden con el modelo de Regresión Poisson.

Al comparar la significación estadística de los efectos de acuerdo al modelo de Regresión Logística (MRL), modelo de Regresión Poisson (MRP) y al modelo de Regresión Binomial Negativo (MRBN) se obtienen resultados iguales en el caso de los dos últimos debido a que no hay sobredispersión en los datos. A continuación se muestran en la tabla 3 los componentes así como el modelo final de cada regresión utilizada.

Tabla 3. Modelos matemáticos ajustados de las regresiones utilizadas

	Modelo Final Ajustado
MRL	$\text{Accidentes Laborales} = \frac{\exp(\eta)}{1 + \exp(\eta)}$ donde $\eta = -9,82066 - 3,60431 * SL1 - 2,56811 * GSS1 - 7,12273 * GSS3 - 3,02833 * GSS4 - 5,35337 * GSS5$
MRP	$\text{Accidentes Laborales} = \exp(-5,71197 + 1,65921 * GSS2 - 4,06726 * GSS3 - 3,89328 * GSS4)$
MRBN	$\text{Accidentes Laborales} = \exp(-5,71197 + 1,65921 * GSS2 - 4,06726 * GSS3 - 3,89328 * GSS4)$

Donde:

SL1: Compromiso de la Dirección

GSS1: Cumplimiento de la Legislación

GSS2: Planificación de la Prevención

GSS3: Formación en Prevención

GSS4: Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales

GSS5: Política

En la tabla 4 se presentan los valores del porcentaje de desviación explicado y del porcentaje ajustado, obtenidos para los tres modelos.

Tabla 4. Porcentaje de desviación explicado y ajustado para los modelos estudiados.

	MRL	MRP	MRBN
Porcentaje de desviación explicado	68,2197	45.896	45.896
Porcentaje ajustado	25.6721	6.90887	6.90887

De la tabla anterior se concluye que el modelo de Regresión de Poisson y el modelo de Regresión Binomial Negativo tienen igual porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado, además se muestra que el modelo final ajustado es el mismo. Esto se debe a que ambos tipos de regresión son aconsejables cuando la variable dependiente es de tipo recuento, pero el modelo Binomial Negativo es bueno cuando existe sobredispersión o equidispersión en los datos, y el de Poisson debe cumplir como supuesto fundamental la equidispersión.

El modelo finalmente seleccionado para describir la relación entre accidentes laborales y las variables independientes (Compromiso de la dirección, Cumplimiento de la legislación, Formación en

prevención, actualización de la gestión de riesgos laborales y Política de prevención) es el de Regresión Logística. Este presenta con un mayor porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado. Téngase en cuenta que estas variables son las que inciden en la accidentalidad laboral ya que fueron identificadas en el diagnóstico del proceso de prevención de riesgos laborales y el análisis de siniestralidad como debilidades, lo que valida desde el punto práctico los resultados obtenidos en el mismo.

Etapa IV: Medidas preventivas en función de los resultados obtenidos.

Propuestas de medidas preventivas

Derivado del análisis realizado se proponen un conjunto de acciones que deben ser tenidas en cuenta por la dirección de la empresa objeto de estudio. Las mismas están relacionadas con:

- Reelaboración de la política preventiva y el establecimiento de objetivos y compromisos dentro de esta, la realización de auditorías internas en el proceso de prevención de riesgos laborales.
- Implementación de procedimientos de trabajo que visualicen el cumplimiento de las legislaciones y medidas preventivas dispuestas por los especialistas competentes en el área preventiva de la empresa.
- La realización de estudios de actitud ante la prevención que posibiliten la elaboración de perfiles formativos que refuercen la preparación de los trabajadores que ocupan el puesto de trabajo estudiado en esta investigación.
- Aplicación de las medidas preventivas propuestas para la disminución de la accidentalidad laboral en la empresa objeto de estudio y constituye un punto de partida para que la organización encamine su labor en función de lograr efectividad en la gestión de la salud y seguridad del trabajador, así como disminuir costos en esta área.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados más relevantes sometidos a discusión en este apartado giran sobre dos ejes. El primero, los aspectos significativos que han sido tratados por diversos teóricos del tema y que emergen de los resultados empíricos de la investigación. El segundo, las consideraciones metodológicas sobre los modelos matemáticos y su uso en los estudios de accidentalidad laboral, cuyos aportes se visualizan en los resultados obtenidos y mostrados en este artículo. Con relación a los aspectos significativos, cabe resaltar que las variables con mayor significación estadística en la ocurrencia de accidentes laborales obtenidas en el modelo matemático escogido coinciden con los aspectos identificados como puntos débiles en el diagnóstico del proceso de prevención de riesgos laborales y con el análisis de siniestralidad realizado en la empresa. Esto corrobora el resultado obtenido en el modelo matemático debiendo incluirse en la elaboración de la política preventiva de la empresa aspectos preventivos relativos al Mantenimiento, cuestión que es identificada como una de las debilidades del proceso preventivo. Se logra una congruencia y una validación entre lo identificado con herramientas propias de la Gestión de Riesgos Laborales y el uso de modelos lineales generalizados en los estudios de accidentalidad laboral, cuestión ampliamente utilizada en la actualidad. En los diversos instrumentos utilizados para obtener la información los actores en cada caso no coincidieron debido a que para el diagnóstico del proceso de prevención participaron especialistas en seguridad y salud de la empresa. En la aplicación de las encuestas que luego fueron utilizadas para el uso del análisis matemático, contribuyeron trabajadores con experiencia en el puesto de trabajo estudiado.

A la luz de los resultados obtenidos puede visualizarse una reacción en cadena o efecto de fichas de dominó (como lo plantea la literatura relativa al tema) en las causas (variables) que con mayor significación estadística actualmente están provocando los accidentes laborales en el objeto de estudio práctico estudiado. Se plantea lo anterior, debido a que el compromiso de la dirección con la seguridad y salud ocupacional conlleva al establecimiento de una política preventiva y ésta a la actualización constante de la evaluación de riesgos laborales y a la proyección de planes de formación preventiva. Estas dos últimas, a su vez, conllevan al cumplimiento de la legislación. Los resultados obtenidos en la investigación presentada en este artículo, son cuestiones claramente

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD LABORAL CON ÉNFASIS EN MODELOS MATEMÁTICOS

reguladas por el órgano rector del tema en el país y relacionadas con los conceptos actuales relativos a la responsabilidad social de las empresas (RSE).

Otro aspecto que corrobora lo planteado en la bibliografía relacionada a la gestión preventiva, es lo relativo a que la ocurrencia de accidentes laborales se debe no solo a causas técnicas, sino a fallas en la gestión preventiva y en la propia gestión organizacional. En la empresa estudiada en la etapa de análisis de accidentalidad laboral, la principal causa de ocurrencia está relacionada con la conducta del factor humano y una variable a controlar según lo obtenido en el modelo matemático es la relativa a la formación preventiva. Por lo que se afirma, como resultado de esta investigación, que los accidentes en la empresa estudiada son explicados por factores organizacionales y de gestión de la prevención.

Otro resultado al cual se arriba, es el relativo a que desde el punto de vista estadístico matemático, se obtienen resultados similares en términos de significación estadística. Esto es debido a que son las mismas variables las que tienen un efecto estadísticamente significativo en la explicación de los accidentes al ajustar un modelo u otro. Aunque los porcentajes de varianza explicados parecen relativamente pequeños, la importancia práctica que supone cualquier pequeño cambio en términos de ocurrencia de accidentes permite ubicarse en una situación de efecto estadístico pequeño pero, efecto social grande. Hay que considerar que los porcentajes de predicción de accidentes en este tipo de trabajos son tradicionalmente muy bajos, especialmente si se consideran accidentes al nivel individual, no al nivel colectivo.

En cuanto a las cuestiones metodológicas se logra un aporte al proponer pasos y herramientas que permiten realizar estudios de seguridad y salud con un enfoque a proceso y una integración de la estadística matemática a la solución de problemas relativos a la accidentalidad laboral. Estos aportes propician de manera objetiva incidir en las causas raíces que ocasionan estos hechos indeseables, por lo que con una mirada preventiva se controlan los factores que han incidido, los cuales no solo se limitan a cuestiones técnicas, si no relativas al área administrativa y de gestión empresarial. Esto corrobora los resultados empíricos obtenidos en esta investigación.

V. CONCLUSIONES

1. El procedimiento diseñado e implementado en esta investigación, realiza un aporte práctico a supuestos teóricos y trabajos de campo que la anteceden. La misma permite comprobar la hipótesis que al integrar los métodos de la estadística multivariada y las técnicas propias de gestión de la seguridad y salud ocupacional, se logran identificar de manera objetiva, variables que han incidido en la ocurrencia de accidentes laborales. Todo lo cual contribuye a la elaboración de planes de mejora para el control de este indicador en las organizaciones que presentan cifras significativas de estos hechos súbitos.
2. El análisis de diferentes modelos matemáticos para explicar la accidentalidad laboral permite identificar que el de Regresión Logística brinda resultados con un menor margen de error. Se seleccionaron las variables con influencia significativa en la accidentalidad laboral: compromiso de la dirección, cumplimiento de la legislación, formación en prevención, actualización de la gestión de riesgos laborales y política preventiva. 📄

VI. REFERENCIAS

1. ASHBY, S.; DIACON, S. , «Motives for occupational risk management in large UK companies» *Safety Science*, 1996, 22, 1-3, 229-243, 0925-7535.
2. BERAMENDI, C. , «Impacto económico de los accidentes de trabajo y sus factores asociados en un hospital de cuarto nivel de Essalud año 2000», [en línea], 2004, [consulta: Disponible en: <<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/1817>>
3. FORASTIERI, V., «El tiempo perdido por accidentes laborales supone el 4% del PIB mundial», *Revista Seguridad y Medio Ambiente* [en línea], 2009, vol. 115, 6 -15 [consulta: ISSN 1888-

5438. Disponible en:

<<http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n115/entrevista.html>>

4. SAARI, J. , «La prevención de accidentes hoy en día» *Magazine: revista de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo*, 2002, no.4, 3-5, ISSN 1608-4152.
5. JORGE, M.; EDUARDO, I. , «Ergonomía participativa para la prevención de accidentes industriales», [en línea], 2013, [consulta: Disponible en: <<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2117>>
6. CONTE, J.; RUBIO, E., GARCÍA, A.; CANO, F. , «Accidents model based on risk–injury affinity groups» *Safety Science*, 2011, vol. 49 no. 2, 306-314, ISSN 0925-7535.
7. MEDINA, J., CEVALLOS, L., SOJOS, R., & LOZADA, J., «Identificación de Factores de Siniestrabilidad Laboral de una empresa dedicada a la producción de equipos eléctricos» 2010,
8. IVERSON, R. D.; ERWIN, P. J., «Predicting occupational injury: The role of affectivity» *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 1997, vol. 70, no. 2, pp. 113-128, ISSN 2044-8325.
9. CHENG, C., LIN, C., LEU, S., «Use of association rules to explore cause–effect relationships in occupational accidents in the Taiwan construction industry» *Safety Science*, 2010, vol. 48, no. 4, 436-444, ISSN 0925-7535.
10. NENONEN, N. , «Analysing factors related to slipping, stumbling, and falling accidents at work: Application of data mining methods to Finnish occupational accidents and diseases statistics database» *Applied ergonomics*, 2013, vol. 44, no. 2, 215-224, ISSN 0003-6870.
11. SUÁREZ SÁNCHEZ, A., RIESGO FERNÁNDEZ, P., SÁNCHEZ LASHERAS, F., DE COS JUEZ, F. J., GARCÍA NIETO, P. J. , «Prediction of work-related accidents according to working conditions using support vector machines» *Applied Mathematics and Computation*, 2011, vol. 218, no. 7, 3539-3552, ISSN 0096-3003.
12. TOMÁS, J. M., RODRIGO, M. F., OLIVER, A. , «Modelos lineales y no lineales en la explicación de la siniestralidad laboral» *Psicothema*, 2005, vol. 17, no. 1, 154-163, ISSN 0214 - 9915.
13. BARRERA, A., «Procedimiento para la identificación de factores de mayor incidencia en la accidentalidad laboral en empresas de la provincia de Cienfuegos», [Tesis de Maestría], Cienfuegos, Cuba, Universidad de Cienfuegos, Departamento de Ingeniería Industrial, 2010.
14. BESTRATÉN BELLOVÍ, M., & GIL FISA, A, «Análisis preliminar de la gestión preventiva: cuestionarios de evaluación» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo, España*, 2009,
15. AZADEH, A., SABERI, M., ROUZBAHMAN, M., SABERI, Z. , «An intelligent algorithm for performance evaluation of job stress and HSE factors in petrochemical plants with noise and uncertainty» *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, vol. 26, no. 1, 140-152, ISSN 0950-4230.
16. GARDNER, W., MULVEY, E., SHAW, E. , «Regression analysis of counts and rates: Poisson, Overdispersed Poisson and Negative Binomial Models. » *Psychological Bulletin*, 1995, vol. 118, no. 3, 392 - 404, ISSN 1939-1455.
17. HAIR, J., [et al.], *Análisis Multivariante*, 5, Madrid, Prentice Hall International, 1999, ISBN: 84-8322-035-0.
18. DONG-CHUL, SEO., TORABI, MOHAMMAD R., BLAIR,EARL H., & ELLIS, NANCY T. , «A cross-validation of safety climate scale using confirmatory factor analytic approach» *Journal of Safety Research*, 2004, vol. 35, no. 4, 427-445, ISSN 0022-4375.
19. LLORENS, N., «Evaluación en el modelo de respuesta de recuento», [tesis de doctorado], Palma de Mallorca, Universitat de les Illes Balears, Departamento de Psicología, 2005.