

Modelo estadístico 2^k sobre la ocurrencia de accidentes: caso práctico

Información de los Autores

Nombre: Acevedo Sánchez Brenda, Hernández Hernández Claudia
Institución: Posgrado en Ingeniería de Sistemas, SEPI ESIME - Zac., Instituto Politécnico Nacional, México.
Email: bren.acv@gmail.com
URL ORCID: 0000-0002-0124-9057

Resumen—La seguridad industrial y la salud ocupacional son esenciales para la prevención de accidentes laborales. Este estudio analiza los factores que influyen en la ocurrencia de accidentes en una empresa de logística y comercialización, aplicando un modelo estadístico 2^k . Se utilizaron datos históricos de una empresa de 2014 a 2018, evaluando seis factores clave mediante un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados indican que la implementación de planes de acción derivados de accidentes previos, el número de observaciones de tarea realizadas y la interacción entre ambas variables fueron los principales determinantes en la reducción de accidentes. También se encontró que la atención a condiciones inseguras y la disminución de actos inseguros por persona contribuyeron significativamente. Se concluye que el modelo 2^k es una herramienta útil para identificar los factores más relevantes en la prevención de accidentes. Se recomienda reforzar estrategias para reducir actos inseguros, mejorar la observación de tareas y redirigir recursos a acciones de mayor impacto, minimizando esfuerzos en la difusión de accidentes y charlas de seguridad generales.

Palabras Clave — análisis de factores, diseño factorial, prevención de accidentes, gestión de la seguridad y seguridad industrial

Abstract- Industrial safety and occupational health are crucial for preventing workplace accidents. This study analyses factors influencing accident occurrence in a logistics and trading company using a 2^k statistical model. Historical data from 2014 to 2018 were assessed, evaluating six key factors through an analysis of variance (ANOVA). Results indicate that implementing action plans derived from previous accidents, the number of task observations performed, and their interaction were the main determinants in accident reduction. Additionally, addressing unsafe conditions and reducing unsafe acts per person significantly contributed to accident prevention. The study concludes that the 2^k model is a valuable tool for identifying the most relevant factors in accident prevention. It is recommended to strengthen strategies to reduce unsafe acts, enhance task observation, and redirect resources towards high-impact actions, minimizing efforts in accident dissemination and general safety talks.

I. INTRODUCCIÓN

La Seguridad Industrial y la Salud Ocupacional ha sido por muchos años objeto de estudio. Incorporar herramientas que ayuden a evaluar factores que contribuyan a disminuir la incidencia de accidentes y enfermedades con motivo del trabajo ha sido relevante y sigue siendo estudiado por la academia y la industria.

Seguridad industrial y salud ocupacional en México

En México existe un marco regulatorio de la seguridad industrial y la salud ocupacional que aplica para las organizaciones. En la Figura 1 se muestra una línea del tiempo de la seguridad industrial y salud ocupacional en México desde un enfoque legal hasta 2020.

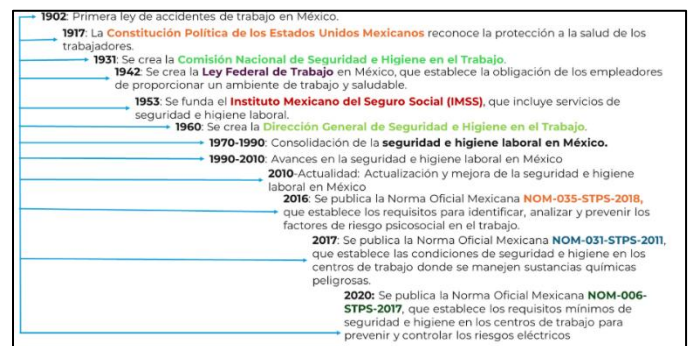


Figura 1.- Línea del tiempo del marco legal de la seguridad y salud ocupacional en México de 1902 hasta el 2020 (Elaboración propia, 2024).

En el país, la seguridad y salud en las organizaciones es gestionada y vigilada por el gobierno a través de las secretarías del Trabajo y Previsión Social (STPS) y de Salud mediante la Dirección General de Seguridad y Salud en el Trabajo. Cada empresa, según su giro/actividades/infraestructura, deberá implementar las normas oficiales mexicanas que le aplican, por mencionar algunas: NOM-019-STPS-2011: Constitución y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. NOM-030-STPS-2009: Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo. NOM-035-STPS-2018: Factores de riesgo psicosocial en el trabajo. NOM-036-STPS-2018: Manejo manual de cargas y ergonomía. En cuanto a la implementación

de acciones preventivas y correctivas, metodologías y estrategias que sirvan para vigilar y la salud y seguridad de los trabajadores y trabajadores en las empresas, corresponde al ente denominado “patrón”.

Todas las organizaciones, independientemente de su giro y tamaño, gestionan las actividades que tienen por objeto prevenir y atender los accidentes y enfermedades que ocurren a las personas que laboran o tienen alguna relación con la empresa. No obstante, en México no todas basan dicho sistema de gestión en algún estándar o norma de referencia. Dichos documentos cuentan con las disposiciones o requerimientos que la organización tendría que cumplir para diseñar e implementar su sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST). En la actualidad, únicamente las empresas que cumplen con los requerimientos del alcance de la NOM-028-STPS-2012: Seguridad en los procesos y equipos que manejan sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, cuyo objetivo es prevenir accidentes graves, como explosiones, incendios, fugas o derrames de sustancias que puedan poner en riesgo la vida de los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente, están obligadas a diseñar e implementar un sistema de administración que cumpla con las disposiciones de esta norma oficial mexicana. Sin embargo, muchas basan sus sistemas de gestión en normas voluntarias como: ISO 45001, OHSAS 18001 y la NMX-SAST-45001-IMNC-2018, de las cuales, la ISO y la NMX son certificables.

Impacto de los sistemas de gestión en la seguridad y salud en el trabajo

Los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST) son elementos interrelacionados que funcionan para crear y mantener un entorno de trabajo sin accidentes ni enfermedades [1].

La eficacia de la implementación de sistemas de gestión SST ha sido evaluada en diversos estudios. Robson et al. [2] declaran que existe evidencia entre el comportamiento de las personas y la efectividad de la formación en seguridad y salud, la cual se requiría tanto en las normas oficiales mexicanas, como en los estándares para sistemas de gestión de la SST.

En cuanto a modelos estadísticos para determinar la efectividad de un sistema de gestión y la incidencia de accidentes laborales, la información es limitada, por ello el objetivo del presente trabajo es identificar los factores que tienen relevancia en la concurrencia de accidentes, para ello se analizaron los datos históricos de cuatro años del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional de una empresa del ramo de la comercialización y logística.

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

Para identificar aquellos factores que están involucrados en la ocurrencia de accidentes en la organización se analizaron los indicadores históricos del SG-SST de los años 2014 a 2018. El planteamiento del problema para el análisis fue el siguiente: conocer los factores independientes y sus interacciones que afectan a la variable respuesta "accidentes prevenidos". Dicho

análisis pretende determinar qué acciones son afectivas para la prevención de accidentes y cuáles no.

La organización, determinó la cantidad de accidentes que se pudieron prevenir a partir de la ecuación 1.

$$AP = MA - NA \quad (1)$$

Donde:

AP = Accidentes prevenidos

MA = Meta de accidentes, la cual es establecida por la dirección general según sus objetivos internos

NA = Número de accidentes materializados

El modelo estadístico para analizar los factores fue un modelo 2⁶ debido a que los datos reales tienen distintas combinaciones se eligió este modelo, las repeticiones para las cuales no se contaba con información se dejaron en blanco y se consideró solamente dos repeticiones por combinación. Los factores seleccionados corresponden a las actividades que la organización llevo a cabo de acuerdo con su SG-SST y se presentan en la Tabla 1 junto con los criterios de dos niveles que corresponden a este modelo estadístico.

Tabla 1.- Factores utilizados para el modelo

Factor	Criterio	Nivel -	Nivel +
A	actos inseguros detectados por persona	$A < 2$	$A \geq 2$
B	número de condiciones inseguras	$B < 50$	$B \geq 50$
C	número de observaciones de tarea	$C < 12$	$C \geq 12$
D	número de charlas de seguridad	$D < 48$	$D \geq 48$
E	avance de planes de acción por accidentes	$E < 1$	$E = 1$
F	avance de accidentes difundidos	$F < 0.9$	$F \geq 0.9$

La hipótesis estadística planteada para el estudio de análisis de varianza tiene un criterio de significancia de 0.05 y se muestra a continuación:

$$P < 0.05 \text{ entonces se rechaza } H_0$$

$$P > 0.05 \text{ entonces no se rechaza } H_0$$

Donde:

H₀: No hay efecto significativo de los factores en la prevención de accidentes

H₁: Al menos uno de los factores tiene un efecto significativo en la prevención de accidentes.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra la Tabla 2 el análisis de varianza sin interacciones de los factores.

Tabla 2.- Análisis de varianza sin interacciones para accidentes prevenidos por persona

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A	0.0279751	1	0.0279751	1.88	0.1860
C	0.0638961	1	0.0638961	4.30	0.0520
D	0.0440236	1	0.0440236	2.96	0.1015
E	0.268659	1	0.268659	18.08	0.0004
F	0.0264715	1	0.0264715	1.78	0.1978
Error total	0.282341	19	0.0148601		
Total (corr.)	0.79482	24			

Factores con significancia estadística para la prevención de accidentes: Avance de los planes de acción por accidentes.

En la Figura 2 se presenta el diagrama de Pareto estandarizado para los accidentes prevenidos por persona sin interacciones, mientras que en la Figura 3 se muestra el gráfico de efectos principales.

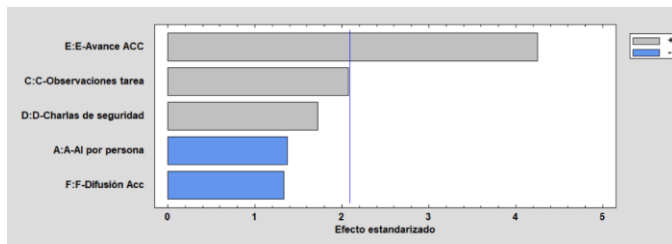


Figura 2.- Diagrama de Pareto Estandarizado para accidentes prevenidos por persona.

Factores con significancia estadística para la prevención de accidentes: Avance de los planes de acción por accidentes, en el nivel +.

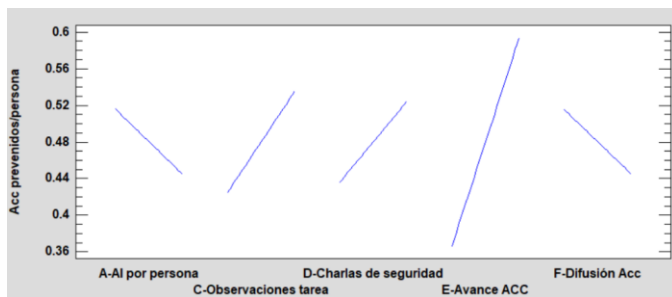


Figura 3.- Gráfica de Efectos Principales para accidentes prevenidos por persona.

Se espera que se prevenga el mayor número de accidentes, cuando se atiendan las acciones derivadas de accidentes que ocurran en el negocio.

El análisis también se realizó tomando en cuenta las posibles interacciones entre factores con máximo orden de efecto 2. En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis de varianza para este estos escenarios.

Tabla 3.- Análisis de varianza con interacciones para accidentes prevenidos por persona

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A	0.00650022	1	0.00650022	1.47	0.2921
B	0.00721006	1	0.00721006	1.63	0.2708
C	0.0469801	1	0.0469801	10.62	0.0311
D	0.00596579	1	0.00596579	1.35	0.3101
E	0.0765141	1	0.0765141	17.30	0.0142
F	0.0150062	1	0.0150062	3.39	0.1393
AB	0.0579911	1	0.0579911	13.11	0.0223
AC	0.0128732	1	0.0128732	2.91	0.1632
AD	0.00049261	1	0.00049261	0.11	0.7554
AE	0.0120981	1	0.0120981	2.74	0.1735
AF	0.0107148	1	0.0107148	2.42	0.1956
BC	0.0169444	1	0.0169444	3.83	0.1219
BD	0.00099012	1	0.00099012	0.22	0.6608
BE	0.0132003	1	0.0132003	2.98	0.1591
BF	0.00718862	1	0.00718862	1.63	0.2714
CD	0.00030625	1	0.00030625	0.07	0.8054
CE	0.0273348	1	0.0273348	6.18	0.0678
CF	0.00119025	1	0.00119025	0.27	0.6313
DE	0.00314712	1	0.00314712	0.71	0.4464
DF	0.00225625	1	0.00225625	0.51	0.5146
Error total	0.017693	4	0.00442325		
Total (corr.)	0.79482	24			

En la Figura 4 se presenta el diagrama de Pareto estandarizado para los accidentes prevenidos por persona con interacciones.

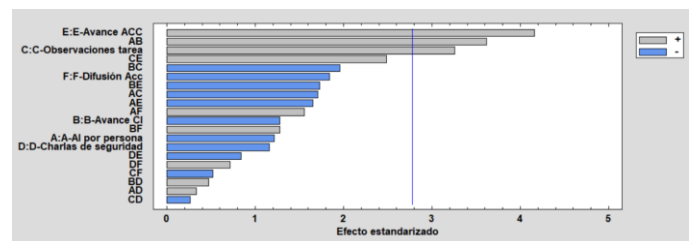


Figura 4.- Diagrama de Pareto Estandarizado para accidentes prevenidos por persona con interacciones.

Se elaboró un tercer ejercicio, donde se excluyeron interacciones cuyos valores P fueran los más altos (AD, BD, CD,

CF, DE, DF y EF), los resultados obtenidos se observan en la Tabla 4, Figura 5 y Figura 6.

Tabla 4.- Análisis de varianza de interacciones con exclusión de efecto para accidentes prevenidos por persona

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A	0.0263668	1	0.0263668	7.17	0.0232
B	0.0265788	1	0.0265788	7.23	0.0227
C	0.0983407	1	0.0983407	26.75	0.0004
D	0.0009565	1	0.0009565	0.26	0.6210
E	0.120853	1	0.120853	32.88	0.0002
F	0.0163034	1	0.0163034	4.44	0.0615
AB	0.0821679	1	0.0821679	22.35	0.0008
AC	0.0289973	1	0.0289973	7.89	0.0185
AE	0.00836408	1	0.00836408	2.28	0.1624
AF	0.00303342	1	0.00303342	0.83	0.3850
BC	0.0246118	1	0.0246118	6.70	0.0271
BE	0.00967626	1	0.00967626	2.63	0.1358
BF	0.00382988	1	0.00382988	1.04	0.3314
CE	0.0852229	1	0.0852229	23.18	0.0007
Error total	0.0367599	10	0.00367599		
Total (corr.)	0.79482	24			

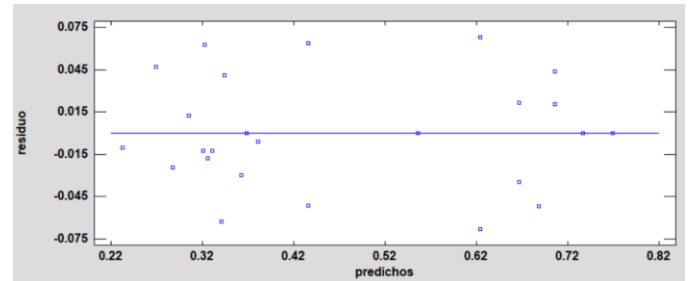


Figura 7.- Gráfico de residuos para accidentes por persona.

De acuerdo con la información obtenida en el tercer análisis, se puede determinar que los factores que influyeron en la prevención de accidentes en el periodo del año 2014 al 2018 en esta empresa fueron los siguientes:

- Atender todas las acciones preventivas y correctivas derivadas de accidentes en el negocio (factor E)
- Realizar todas las acciones de tarea asignadas por año (factor C)
- La interacción de las actividades anteriores (CE)
- La interacción entre más de 2 actos inseguros por persona en el año y la atención a condiciones inseguras (AB).
- Por sí sola la atención a condiciones inseguras (factor B)
- Por sí sola un valor bajo de actos inseguros por persona al año (factor A)
- La interacción entre la atención a condiciones inseguras y realizar todas las observaciones de tarea asignadas en el año (BC)

Los resultados si bien son consistentes con la atención a las causas que generan accidentes en los centros de trabajo: métodos y procedimientos de trabajo incorrectos, condiciones inseguras y actos inseguros [3]. Se observa que la interacción AB no influye en la prevención de accidentes (aumentar el número de actos inseguros en el centro de trabajo).

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis realizado se concluye que la empresa debe revisar aquellos factores que realmente ayudan a la prevención de los accidentes para que pueda focalizar esfuerzos y recursos en aquellos que si ayudan a evitar eventos indeseados. Por lo tanto, se propone:

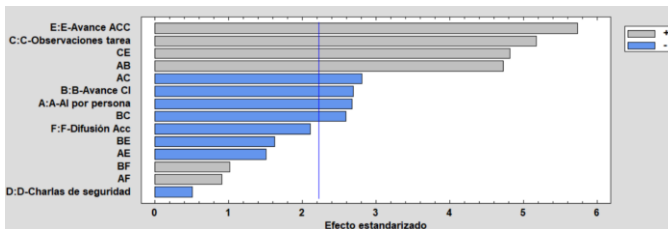


Figura 5.- Diagrama de Pareto Estandarizado para accidentes prevenidos por persona con interacciones de máximo orden de efecto 2 y exclusiones.

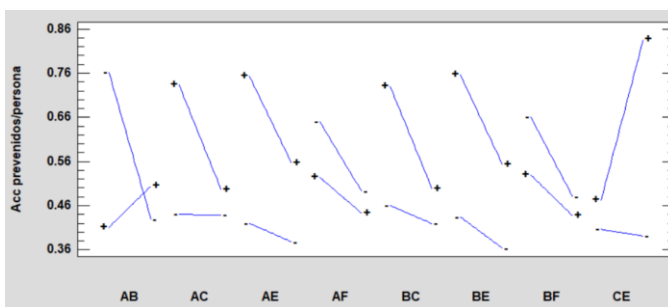


Figura 6.- Gráfico de interacción con máximo orden de efecto 2 y exclusiones para accidentes por persona.

Para validar el modelo, se comprobó la normalidad de los errores a partir de las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov cuyos valores P resultaron en 0.4722 y 0.7112

- Implementar estrategias para disminuir los actos inseguros y las condiciones inseguras en el centro de trabajo. Fortalecer las observaciones de tarea.
- Disminuir esfuerzos en la difusión de accidentes y charlas de seguridad, comentar con el personal sólo aquellas que apliquen según su contexto. No se recomienda eliminar la actividad ya que en términos de sistemas organizacionales y en cultura de seguridad, estas acciones son relevantes.
- Continuar con los planes derivados del análisis de causas de accidentes que ocurren en el negocio para prevenir que aquel evento que ya se materializó, se vuelva a presentar o uno de naturaleza similar.

Por otra parte, se ha confirmado que el modelo de factores 2 a la k puede ser útil para identificar aquellos componentes y sus interacciones que pueden ser efectivos para la prevención de accidentes. Dicho estudio es importante debido a que las organizaciones destinan recursos y esfuerzos para cumplir con las actividades que se diseñan e implementan en un SG-SST cuyo fin último es cuidar la salud e integridad de las personas que laboran en la misma.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al apoyo brindado por la empresa, a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación y a sus asesores y profesores de la Sección de Posgrado del Programa de Sistemas de Ingeniería de la ESIME Zacatenco.

DECLARACIÓN ÉTICA

Las autoras de este trabajo declaran que no existen conflictos de interés financieros, personales, comerciales o institucionales que puedan haber influido en los resultados o interpretación de este estudio.

REFERENCIAS

- [1] Organización Internacional del Trabajo. Sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo - Un enfoque sistémico para gestionar la seguridad y salud en el trabajo. Portal web. <https://www.ilo.org/es/temas/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/sistemas-de-gestion-de-la-seguridad-y-la-salud-en-el-trabajo>
- [2] Robson LS, Stephenson CM, Schulte PA, Amick BCIII, Irvin EL, Eggerth DE, Chan S, Bielecky AR, Wang AM, Heidotting TL, Peters RH, Clarke JA, Cullen K, Rotunda CJ y Grubb PL. A systematic review of the effectiveness of occupational health and safety training. Scand J Work Environ Health. Vol 38(3): 193-208, 2012. <https://dx.doi.org/10.5271/sjweh.3259>
- [3]
- [4] Instituto Mexicano de Seguro Social. Previsión de accidentes en el trabajo. Portal web. <https://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/prevencion-accidentestrabajo>