

# Accidente: Fenómeno Estocástico

José V. Ferrer Bastidas<sup>1</sup> y Naudy Leal Wilhelm<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. josevicentefb@gmail.com.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. nleal@fing.luz.edu.ve

Recibido: 12-07-2016.

Aceptado: 04-10-2016.

## Resumen

La presente investigación tiene como propósito dilucidar si los accidentes pueden ser considerados como fenómenos estocásticos (aleatorios). El estudio consistió en la ubicación bibliográfica documental, que abarcó la revisión de teoría relacionada con probabilidad y accidentes en el contexto laboral. Una vez analizada la información se concluye que los accidentes son fenómenos estocásticos, lo que significa que la aplicación del teorema de Bayes constituye una herramienta útil para la determinación de las causas de accidentes y por consiguiente para la formulación de medidas de prevención eficaces que contribuyan a la reducción de los índices de accidentalidad de los centros de trabajo.

**Palabras clave:** Proceso estocástico, teorema de Bayes, riesgo y accidentes

# Accident: Stochastic Phenomenon

## Abstract

This research aims to determine whether accidents can be considered as phenomena stochastic (random). The study consisted of a literature review that included a review of probability theory and related accidents in the employment context. Having analyzed the information it is concluded that accidents are stochastic phenomena, which means that the application of Bayes' theorem is a useful tool for determining the causes of accidents and therefore to the formulation of effective preventive measures that contribute to reducing accident rates in the workplace.

**Key words:** Stochastic process, Bayes theorem, risk and accidents.

## Introducción.

El hombre en su día a día toma decisiones bajo escenarios de incertidumbre, por lo que basa dichas decisiones (muchas veces de forma intuitiva) en la probabilidad de que alguno de los escenarios se materialice.

En el ámbito académico, la mayoría de los ejemplos asociados a la probabilidad tienen que ver con juegos de azar, tales como, lanzamiento de dados, monedas, juegos de carta, entre otros; como característica común, estos eventos están asociados a un riesgo (de perder dinero), lo mismo ocurre al momento

de decidir tomar un automóvil, un avión o caminar, en todos los casos se está expuesto a la ocurrencia de un accidente, por lo que se usa de forma intuitiva la noción de probabilidad para valorar el riesgo (Evans y Rosenthal [1]).

De forma análoga sucede en el contexto laboral, es decir, todas las actividades de trabajo poseen un riesgo de ocurrencia de accidentes. En virtud de que las organizaciones son sistemas complejos, se pone en evidencia la necesidad de estudiar los accidentes haciendo uso de los elementos que presenta la teoría de la probabilidad para poder determinar las causas que los originan y tomar decisiones eficaces para su prevención.

En la actualidad, la prevención de accidentes resulta de vital importancia, debido a que los empleadores además de tener el compromiso moral de garantizar la integridad física y mental de los trabajadores, también tienen el deber de cumplir con lo establecido en la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), sin dejar de lado el hecho de que toda estrategia de prevención de accidentes persigue la continuidad de las operaciones, además de aumentar la disponibilidad de maquinaria y equipos, lo que favorece a la rentabilidad de las organizaciones.

Existen diversos métodos que ayudan a la prevención de accidentes en el ámbito laboral, tales como la aplicación de técnicas de análisis de riesgo, el uso de tecnología para la protección del trabajador que este expuesto a un peligro que no pueda ser eliminado y la investigación de accidentes, la cual se considera como una herramienta de prevención debido a que suministra información sobre el suceso ocurrido y permite la generación de una base de datos que facilita al profesional de seguridad la comprensión de lo que ocurre en el entorno laboral-lecciones aprendidas-, utilizando como base los principios de la estadística, específicamente lo que respecta a la recolección, organización y análisis de los datos para hacer estimaciones en el tiempo que le ayudarán en la toma de decisiones para la formulación de estrategias de prevención, inversiones en materia de seguridad y salud en el trabajo, entre otros aspectos.

El propósito de esta investigación es describir los accidentes como fenómenos estocásticos y así aplicar los teoremas asociados con la probabilidad condicional y la estadística bayesiana en la determinación de las causas que les dan origen, de manera que esta información pueda utilizarse para la prevención de los mismos.

## **Teoría de la Probabilidad.**

La teoría de la probabilidad se encarga del estudio de los fenómenos aleatorios, en este sentido, Martín y Ruiz [2] exponen que un fenómeno aleatorio es aquel en el que no es posible predecir con certeza los resultados de cada manifestación, aunque se produzca en condiciones idénticas, por lo que únicamente los resultados son conocidos después de su realización.

Según Suárez [3] es mediante la probabilidad que el individuo intenta realizar mediciones sobre el nivel de incertidumbre asociado a los fenómenos aleatorios. En un sentido más amplio, la teoría de la probabilidad tiene como propósito proporcionar un modelo matemático adecuado, aplicable a la descripción e interpretación de los fenómenos aleatorios.

Según Evans y Rosenthal[1] la comprensión de la teoría de la probabilidad posibilita el valorar correctamente las probabilidades en las situaciones cotidianas, lo que favorece a la toma de decisiones. En palabras formales, un modelo de probabilidad consiste en un conjunto no vacío llamado espacio muestral  $S$ , un conjunto de sucesos que son subconjuntos de  $S$ , y una medida de la probabilidad  $P$  que asigna un valor de probabilidad comprendido entre 0 y 1 a cada suceso y cumple que  $P(\emptyset) = 0$  y  $P(S) = 1$  y  $P$  es aditiva.

## Modelo Estocástico.

Los modelos estocásticos son aplicables a cualquier sistema que comprenda variabilidad al azar con el transcurso del tiempo. En geofísica se han usado para la predicción de la magnitud y localización de los terremotos. En geografía, para estudiar la ubicación de las zapaterías de una ciudad en crecimiento y en la industria se han usado para predecir accidentes (Coleman [4]). El modelo estocástico es utilizado como base del estudio de los procesos estocásticos.

## Procesos Estocásticos.

La palabra estocástico es sinónimo de aleatorio. Según Ferrer [5], un proceso estocástico es un sistema que se desarrolla en el tiempo mientras que pasa por fluctuaciones al azar. Los procesos estocásticos proporcionan modelos de comportamiento ideales puesto que incluyen un poco de aleatoriedad del mundo real, proporcionando así una imagen mucho mejor de este mundo que la que posiblemente se lograría con modelos en los que se desprecia ese comportamiento aleatorio.

En este orden de ideas, Çinlar [6] argumenta que los procesos estocásticos constituyen una herramienta estadística que surge ante la necesidad de modelar el comportamiento de experimentos aleatorios que varían en el tiempo o que depende de alguna otra variable determinista que se modificará durante el tiempo.

## Teorema de Bayes.

Es un teorema propuesto por Thomas Bayes, el cual a primera vista no es más que una aplicación de las probabilidades condicionales, sin embargo, es clave en el desarrollo de la inferencia estadística, en la que se emplea la interpretación subjetiva de la probabilidad (Canavos [7]). El teorema viene dado por la expresión presentada en la ecuación 1.

$$P(B_j | A) = \frac{P(B_j)P(A | B_j)}{\sum_{i=1}^n P(B_i)P(A | B_i)} \quad (\text{ecuación 1})$$

El teorema de Bayes es de enorme relevancia debido a que vincula la probabilidad de A dado B con la probabilidad de B dado A. Lo anterior significa que sabiendo la probabilidad de que ocurra un accidente dado que estaba lloviendo, se podría saber, la probabilidad de que estaba lloviendo cuando ocurrió un accidente. Según lo expuesto anteriormente, queda en evidencia la importancia del teorema, pues tal como afirma Suarez [3], resulta de interés cuantificar la probabilidad de una causa específica (evento A) habiendo ocurrido un determinado efecto (evento B).

## Estadística Bayesiana.

El análisis Bayesiano se basa en la interpretación subjetiva de la probabilidad, y está centrado en su totalidad en el teorema de Bayes. El análisis Bayesiano puede ser explicado según lo establecido por Ferrer [5] a través de la siguiente aseveración:

Un investigador conduce un experimento en el que se sabe que el resultado de interés estará afectado por cualquiera de las  $n$  alternativas  $B_1, B_2, \dots, B_n$  que predomine. A pesar de que no está seguro cual de todas las alternativas predominaran, posee cierta información con base en la cual está dispuesto a formular un juicio subjetivo para las probabilidades de ocurrencia de las  $n$  alternativas. De esta forma, asigna probabilidades  $P(B_1), P(B_2) \dots P(B_n)$  para las  $n$  alternativas antes de obtener cualquier evidencia experimental.

Dado que estas probabilidades reflejan el juicio o grado de creencia del investigador con respecto a la ocurrencia de  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , antes de que estas se presenten se conocen como probabilidad a priori. Con ello el investigador obtendrá una evidencia experimental a partir de un conjunto de datos que se denota por  $A$ , y se observa bajo una alternativa específica  $B_j$ . En este momento se pueden calcular las

probabilidades condicionales  $P(A | B_j)$ . Estas permitirán la determinación de la probabilidad  $B_j$  dada la evidencia experimental  $A$ , mediante el empleo del teorema de Bayes.

Las probabilidades condicionales  $P(B_j | A)$ ,  $j=1,2,3,\dots,n$  se conoce como probabilidades a posteriori porque se determina una vez obtenida la evidencia experimental. Por lo tanto, las probabilidades  $P(B_j | A)$  reflejan el grado de creencia corregido con respecto a las alternativas  $B_1, B_2, \dots, B_n$  después de obtener los datos experimentales.

## Accidentes.

La Norma COVENIN 2260 [8] define accidente como el suceso imprevisto no deseado que interrumpe el desarrollo normal de una actividad o proceso y que tiene consecuencias en las personas, en los equipos, instalaciones y/o el ambiente. Estos son precedidos por un acto inseguro, una condición insegura o una combinación de ambos.

En un sentido más amplio, la LOPCYMAT [9], define accidente de trabajo como el suceso que produzca en el trabajador una lesión funcional o corporal, permanente o temporal, inmediata o posterior, o incluso la muerte, resultante de una acción que pueda ser determinada o sobrevenida en el curso del trabajo, por el hecho o con ocasión del trabajo.

En la medida en la que se tenga mayor información de cómo ocurrió el accidente, las causas de los mismos podrán ser determinadas con mayor precisión; es por esta razón que resulta de especial interés mencionar y describir brevemente los factores clave del accidente, los cuales se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1. Factores Clave del Accidente.**

Factor clave	Definición
<b>Agente</b>	Objeto, sustancia o parte de la instalación que ocasionó el accidente
<b>Parte del Agente</b>	Sección o elemento del agente con vinculación cerrada en el accidente
<b>Acto Inseguro</b>	Violación, omisión o incumplimiento de una norma o práctica establecida como segura
<b>Condición Insegura</b>	Circunstancia relacionada con el ambiente de trabajo que permitió que ocurriera el accidente.
<b>Factor Personal de Inseguridad</b>	Explica el por qué ocurren actos inseguros. Está relacionado con la predisposición del individuo a la ocurrencia de accidentes, refiriéndose a la capacidad física y/o mental del individuo, entre otros aspectos.
<b>Tipo de Accidente</b>	Forma en la que el lesionado se puso en contacto con el objeto, sustancia o parte de la instalación que ocasionó el accidente.
<b>Tipo de Lesión</b>	Se refiere al daño ocasionado al trabajador accidentado, se clasifican en fracturas, heridas y quemaduras.

Fuente: González [10]

Tal como se mencionó en párrafos anteriores, en la medida en la que se tenga mayor información sobre los accidentes, será más fácil determinar las causas de los mismos, lo que permitirá la asignación de probabilidades a priori, además del establecimiento de medidas de prevención máseficaces y por ende la reducción de los índices de accidentalidad de los centros de trabajo.

## Los Accidentes Como Fenómenos Estocásticos.

Un proceso estocástico es aquel en el que se representan todos y cada uno de los pasos necesarios para realizar una actividad, además de las formas o maneras en que cada uno de los pasos puede ser llevado a efecto y sus respectivas probabilidades, en este sentido, y debido a que un accidente o un acto inseguro involucran probabilidades de ocurrencia se puede determinar que los mismos forman parte de un proceso estocástico (Ferrer [5]).

Existen diversos métodos de análisis de riesgo que pueden utilizarse en la asignación de las probabilidades de ocurrencia de accidentes, a continuación se describen brevemente dos de ellos:

- **Análisis de Trabajo Seguro (ATS):** consiste en evaluar los peligros asociados a la secuencia de pasos necesaria para llevar a cabo una actividad. En primer lugar debe descomponerse la actividad en pasos y para cada paso se determinan los peligros, magnitud y medidas de prevención (Rojas [11]). En cuanto a la aplicación de la estadística bayesiana en el caso de accidentes, una vez fragmentada la actividad en pasos puede asignarse probabilidades a priori para la ocurrencia de accidentes en cada paso.
- **Análisis del Árbol de Fallas:** El portal protección civil [12] argumenta que esta técnica consiste en la selección de un evento no deseado, una vez identificado el evento, se analiza la secuencia de los sucesos que pudieran llevar a que se materialice el evento. Al igual que en la técnica anterior, una vez identificada la secuencia de sucesos, se podrá asignar las probabilidades a priori para la ocurrencia de accidentes en cada suceso.

Además de las técnicas descritas anteriormente también pueden utilizarse otras con el mismo fin de determinar las probabilidades a priori, tales como Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP), Análisis de los Modo y Efectos de las Fallas, ¿Qué pasa si?, entre otras. La asignación de estas probabilidades dependerá de la información que posee el profesional de seguridad, el conocimiento en las técnicas de análisis de riesgo, los procedimientos y cualquier otra documentación de la que se disponga.

## Aplicación del Teorema de Bayes en un caso de accidente laboral.

Los accidentes no son planificados, nadie quiere que sucedan, de allí la definición de imprevistos y no deseados, esto quiere decir que ocurren por desviaciones de los procesos, dichas desviaciones pueden darse por el factor humano (actos inseguros), el ambiente de trabajo (condiciones inseguras) o la combinación de ambas cosas.

Al tener una comprensión global del trabajo que se realiza, es decir, las actividades, herramientas, instalación, sustancias de trabajo, entre otros elementos, sería posible asignar las probabilidades a priori para la ocurrencia de accidentes. En caso de que el evento no deseado ocurriera, dichas probabilidades podrían corregirse, de manera tal que se aplicaría el teorema de Bayes en el caso de un accidente laboral.

Una vez que se tenga una base de datos que contenga el registro de las probabilidades a priori y a posteriori, el beneficio que se obtendría sería el conocimiento de las causas representativas para la ocurrencia de accidente, de manera que las actividades de prevención se centrarían en las de mayor relevancia, por lo que la asignación de recursos (limitados y escasos) sería la que genere mayores beneficios, es decir, reducción de accidentes, continuidad de las operaciones, favorecimiento de la rentabilidad de la organización, fortalecimiento de la cultura de seguridad de la empresa y por ende identificación del personal con la institución, entre otros beneficios.

Lo expuesto anteriormente se sustenta además en una de las verdades o teorías fundamentales que explican el origen de los accidentes, específicamente la de los pocos críticos vitales, la cual argumenta que el 80% de los efectos (en este casos accidentes) son generados por un 20% de causas (Rojas [11]). Resulta de interés identificar las causas correspondientes a este grupo, ya que estas serían las críticas vitales a las cuales deben dirigirse todos los esfuerzos para eliminarlas, o controlarlas, en caso de que su eliminación no sea posible.

## Conclusiones

Uno de los puntos más importantes que permite la aplicación de un proceso estocástico es el análisis de datos estadísticos, debido a que permite predecir posibles resultados basándose en factores probabilísticos. Una vez realizada la revisión teórica es posible aseverar que los accidentes se comportan como fenómenos estocásticos, puesto que tienen probabilidad de ocurrencia en cualquier tiempo y de manera aleatoria.

La aplicación del teorema de Bayes en el campo de la seguridad industrial resulta de vital importancia para la toma de decisiones en cuanto a la formulación de actividades de prevención de accidentes así como la asignación de recursos para tal fin, debido a que dicho teorema es útil para determinar las causas de accidentes basándose en información estadística y probabilística, por lo que las acciones a tomar serán más eficaces.

Un aspecto a tomar en cuenta es que la asignación de probabilidades a priori dependerá de factores como la experiencia de quien asigna dichas probabilidades, la calidad de la información que se tengan para asignarla, entre otros, sin embargo una vez materializado el evento, las mismas podrán ser corregidas.

## Referencias Bibliográficas.

1. Evans Michael J. y Rosenthal Jeffrey S. (2005). "Probabilidad y Estadística. La ciencia de la Incertidumbre". Editorial Reverté. Primera Edición. España.
2. Martín Francisco y Ruiz Luis (2005). "Fundamentos de Probabilidad". Editorial Thomson. Segunda Edición. España.
3. Suárez Julio (2002). "Introducción a la Teoría de la Probabilidad". Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Primera Edición. Colombia.
4. Coleman Rodney (1976). "Procesos estocásticos". Editorial Limusa. Primera Edición. México.
5. Ferrer José, V (2003). Curso de Higiene y Seguridad Industrial en instalaciones petroleras y petroquímicas. Curso para Ingenieros.
6. Çinlar, Erhan. (1995). "Introducción a los procesos estocásticos". Editorial Prieince-Hall. Primera Edición. USA.
7. Canavos, George (1988). "Probabilidad y estadística". Editorial Mc Graw Hill. Primera Edición. México.
8. Norma Venezolana COVENIN 2260 (2004). "Programa de Higiene y Seguridad Ocupacional. Aspectos Generales".
9. Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38236, Caracas, Venezuela, 26 de julio de 2005.
10. González Nelson (2008). Seguridad e Higiene Industrial. Principios Gerenciales. Segunda Edición. Ingeniería Integral Consultores & Asesores. Venezuela.
11. Rojas Carmen (2001). Seguridad Integral. Aplicaciones. Universidad del Zulia. Venezuela
12. Protección Civil (2015). Técnicas de Análisis de Riesgo. [www.proteccioncivil.com](http://www.proteccioncivil.com). Visitada en agosto de 2015.