

Teoría para la prevención y análisis de accidentes basada en trayectorias dinámicas

Theory for prevention and accident analysis based on dynamic trajectories

José Carlos Álvarez Merino¹

¹Ingeniero Mecánico, Magister y Doctor en Ingeniería de Producción por la Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasil, alvarezjcar@hotmail.com

Recibido: Mayo 20 de 2016 - Aceptado: Septiembre 28 de 2016
<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v10n1.a02>

Resumen—La seguridad y salud en el trabajo es un tema muy basado en normas las que son fruto de conocimientos tácitos que son incorporados en las mismas, tornándolos en articulados de esta forma. Así la norma OHSAS 18001, establece los requisitos mínimos de las mejores prácticas en gestión de la seguridad y salud en el trabajo, entre otros. Muchas veces estos conocimientos tácitos resultan de la observación de accidentes en algunos casos catastróficos, como el caso de la petroquímica de Bhopal en la India. Como consecuencia, de estos eventos indeseados, se establecen nuevas normativas y va actualizándose la normativa existente. Además de las normas es necesario teorizar acerca de los accidentes para prevenirlos y poder entender sus causas. Por lo que identificando esta necesidad, se ha desarrollado una teoría para la prevención de accidentes basada en trayectorias dinámicas extendidas. Son, también, presentados cuatro casos donde se verifica la validez de esta teoría.

Palabras claves: análisis de accidentes, prevención de accidentes, seguridad industrial, teoría de trayectorias.

Abstract—Safety and health at work is a topic based on standards that are the result of tacit knowledge incorporated in them, turning them into norms this way. So OHSAS 18001 [1] standard's, for example, establishes the minimum requirements for the best practices in managing safety and health at work, among others. Often, this tacit knowledge results from the observation of some catastrophic accidents such as the petrochemical Bhopal in India. As a result of these undesirable events, new regulations are established and will update existing regulations. In addition to the rules, it is necessary to theorize about accidents to prevent them and to understand their causes. By identifying this need, a theory for accident prevention based on extending dynamic trajectories has been developed. Four cases where the validity of the theory is verified, are also presented.

Key words: accident analysis, accident prevention, industrial security, theory paths.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los antecedentes, a la prevención y análisis de accidentes, tenemos los trabajos de Brody y Poirier [2], quienes proponen una teoría de prevención de accidentes en el trabajo a partir de costos indirectos.

Kjellén y Larsson [3] presentan un modelo para el análisis de accidentes en la industria. El mismo consiste en un análisis de la cadena de distorsiones, seguido de una determinación del nivel de los factores donde son resaltadas condiciones de los procesos de producción relacionadas a los accidentes. Una aplicación preliminar de este modelo fue realizada en cinco casos en la industria en Suecia.

Dwyr y Raftery [4] sostienen que “*los accidentes industriales son producidos por relaciones sociales en el trabajo. Esta interpretación sociológica de accidentes difiere de las hipótesis, en las cuales la mayoría de las modernas prácticas de seguridad reducen las causas a actos inseguros y condiciones no seguras. (Según estos autores) los accidentes son vistos como producidos en cada uno de los tres niveles de relaciones sociales del trabajo (reconocimiento, dirección y organización), y también no sociales al nivel de cada trabajador*”. El enfoque de estos actores tendría cierto nivel de concordancia con lo preconizado en los enfoques socio - técnicos que buscan equilibrar el subsistema social con el subsistema técnico.

Por su parte Weichbrodt [5] presenta el problema de la existencia de reglas de seguridad y su incumplimiento, siendo muchas veces el mismo un resultado de la inoperabilidad o mala reglamentación en seguridad en el trabajo. Seguidamente este autor resalta cuatro medidas que las organizaciones pueden emplear para enfrentar estos desafíos en relación a las reglas de seguridad:

- i) Gerenciar la restrictibilidad de la regla, seleccionando adecuadamente el grado de restricción se reducirán violaciones inevitables a la regla.

- ii) Participación en la creación y adaptación de la regla, mediante la implementación de mecanismos de consulta en caso de nuevas reglas o adaptación a las ya existentes.
- iii) Educación y entrenamiento sobre las reglas, un entrenamiento que debe ir más allá de los conocimientos codificados, buscando que incluya a los tácticos. *“Entrenamiento, entendido como más que una simple instrucción en como realizar tareas”*, puntualiza el autor [5].
- iv) Considerar alternativas a las reglas, ya sea mediante modificaciones en los equipos o procedimientos de trabajo tornándolos más seguros, y/o intervenciones en la cultura organizacional cambiando normas y valores priorizando la seguridad.

Hue *et al* [6] buscan una mejor comprensión de los factores que podrían influenciar la individual conformidad con las reglas y procedimientos de seguridad en el trabajo, llegando a formular un modelo con tres elementos: apoyo a la seguridad, mediadores cognitivo-motivacionales, y conformidad con la seguridad. Estos autores plantean hipótesis - donde establecen correlaciones entre la motivación de la seguridad, utilidad percibida, facilidad de uso percibida con la conformidad y con el procedimiento, así como el apoyo percibido a la seguridad desde la organización así como desde la supervisión - que luego son verificadas. Como ellos mismos lo señalan, su *“investigación es un intento preliminar para entender el rol de las percepciones cognitivas en la conformidad de la seguridad”*.

Rodriguez y Torre [7] realizaron una investigación de la evolución de trabajos en gestión de accidentes y su prevención para el periodo 2005-2008 en la data base Compendex, encontrando que los trabajos identificados *“están orientados mayormente a la prevención de accidentes y tienen una orientación operacional enfocada a procedimientos preventivos y normativos, identificación de riesgos y seguimiento de los mismos a través del diseño de indicadores de gestión. Los trabajos revisados tienen poca orientación hacia la planificación estratégica sostenible a largo plazo que requiere el desarrollo de programas de mejora continua del Sistema de seguridad y Salud Laboral y su integración con los Sistemas de Calidad y Gestión ambiental.”*

A pesar de la existencia de antecedentes como los ya mencionados, entre otros, se percibe la ausencia de una teoría que pueda subyacer sino a todos, pero sí a la mayoría de los accidentes y/o contribuir a su prevención. Una teoría, como la aquí propuesta que busca la interpretación y análisis de los accidentes a partir de su vinculación con parámetros físicos entre otros y que inclusive pueda ser modelada, para que conociéndola se pueda prevenir eventos de esta naturaleza. En este sentido es presentada la siguiente *“teoría de prevención y análisis de accidentes basada en trayectorias dinámicas”*. Teoría que busca vincular aspectos de las trayectorias y de la dinámica para el análisis de accidentes

así como para prevenir sus causas. En caso de Bhopal en 1984 la nube de gas metil isocianato se dispersó siguiendo una trayectoria según las corrientes de aire, p.e. Trayectoria que podía haber sido predecible, propiciando una posible y rápida evacuación.

La hipótesis subyacente es que siempre para que acontezca un accidente habrá una trayectoria a ser seguida, la que al ser conocida podría ser interceptada evitando o mitigando la ocurrencia del mismo.

II. TEORÍA PARA LA PREVENCIÓN Y ANÁLISIS DE ACCIDENTES BASADA EN TRAYECTORIAS DINÁMICAS

Las trayectorias de las partículas son de utilidad para el análisis de múltiples fenómenos mecánicos y físicos, e incluyendo una mayor complejidad son de utilidad para el diseño de elementos de máquinas, análisis de mecánica de fluidos y de desplazamiento de partículas contaminantes en la atmósfera, por ejemplo. A partir de las trayectorias de las partículas es posible inducir:

- El lugar donde caerá un móvil que es lanzado, siguiendo un movimiento parabólico, desde una determinada altura.

- El posicionamiento de un satélite en determinado tiempo, pues este sigue la ley de Kepler que determina su trayectoria.

Ya los grados de libertad de un sistema van a proporcionar nuevas formas y posibilidades de seguirse una determinada trayectoria.

Las fuerzas de inercia también van a predeterminar trayectorias, como por ejemplo una curva en una carretera. Así la cinemática estudia los movimientos independientemente de su causa, mientras que la dinámica establece las causas de los mismos.

En la siguiente figura. No 1 es vista como una mujer descendiendo a los rieles del tren eléctrico en Lima, para rescatar a un perro. En este caso ella, por salvar al animal, se colocó en la trayectoria del tren. Entonces ahí ha surgido una controversia sobre la importancia del rescate del perro y el riesgo evidente al quedar sobre los rieles. Inclusive existe una prohibición expresa de no descender.



Fig. No 1. Mujer desciende a la línea del tren para salvar a un perro

Fuente: El Comercio, 17-06-2015

La hipótesis subyacente en este trabajo es:

Que aplicando un análisis de trayectorias se puede:

- Identificar las causas de los accidentes, a posteriori.
- Analizar trayectorias en accidentes.
- Prever situaciones de riesgo evitando, consecuentemente accidentes.



Fig. No 2. El Titanic se encontró con la trayectoria de un iceberg.

Fuente: Flasher.com, 2015

Entonces se vinculan dos temáticas, para interpretar y analizar accidentes: la de las trayectorias dinámicas, y las normas técnicas de seguridad existentes.

La hipótesis principal es que existe una trayectoria seguida que conllevará a que se produzcan accidentes. O una variación en la trayectoria. Por tanto, se tiene un tiempo para poder actuar sobre ella y también se puede prever y asegurar ese camino. Que es lo que se hace al colocar barreras a posibles trayectorias de deslizamientos en cerros por ejemplo, u otro tipo de barreras, cuando las reacciones químicas quedan fuera de control.

III. METODOLOGÍA

La metodología consiste en, luego de haber desarrollado la propuesta de la teoría integrada de prevención y análisis de accidentes mediante las trayectorias dinámicas, llevar a cabo el estudio de cuatro casos aplicando la teoría aquí propuesta, buscando su verificación.

Estos cuatro casos corresponden a: un accidente con una olla con aceite, un accidente causado por la hélice posterior de un helicóptero, deslizamiento de una pieza mecánica con bordes cortantes, y derrame de mercurio en Choropampa.

IV. RESULTADOS

A. *Accidente con una olla de aceite*

En una escuela, en Lima, organizaron una actividad con la intención de recaudar fondos. En esta actividad, las madres prepararon diversas comidas y dulces que vendían directamente a los alumnos y a sus padres.

Una estudiante estaba corriendo alrededor del área donde se cocinaba y ofrecía los alimentos. Como el aceite se había derramado al piso, la niña deslizó y al pretender apoyarse, jaló del borde de una cacerola con aceite caliente, que le cayó encima, causándole quemaduras y muchos perjuicios.

En este caso la velocidad con la que se movía la niña seguía una trayectoria decidida y por ella, que aunque peligrosa resultaba controlable. Sin embargo, dicha trayectoria fue alterada de alguna forma pues con el aceite derramado cambió el coeficiente de rozamiento, entonces al correr la niña, ella cayó. Intuitivamente ella procuró un apoyo en el borde de la cacerola jalando de esta que le cayó encima. La trayectoria de la caída de la cacerola y del contenido incidió sobre la niña causándole daños irreparables.

En este caso el aceite que se fue derramando en el piso cambio el coeficiente de rozamiento de la trayectoria donde los niños jugaban. La niña intentó sujetarse en la olla hirviendo para no caer y esta le cayó encima.

Se tiene en este caso una trayectoria alterada en sus características de coeficiente de rozamiento por el aceite derramado y una trayectoria que permitió la caída de la cacerola que debía haber estado mejor sujeta. Debería también haberse dispuesto un área de protección y/o una cierta distancia de donde se preparaban los alimentos.

B. *Accidente causado por hélice posterior de helicóptero*

Una joven se acercó por la parte posterior, ni bien acababa de aterrizar un helicóptero que transportaba al entonces Primer Ministro del Perú, a fin de poder entregarle una carta con un pedido para su hermano. Lamentablemente la hélice posterior la impactó en la cabeza causándole la muerte.



Fig. No 3. Accidente fatal causado por la hélice posterior de un helicóptero

Fuente: Diario correo, 9-08-2015.

En este caso la trayectoria de giro de la hélice posterior fue penetrada por la joven, con lo cual aconteció el accidente.

Se debió:

- Haber establecido un área de seguridad alrededor del helicóptero, en particular cerca de las trayectorias de las partes en movimiento.

Si en una empresa, manufacturera p.e, no se hubiera señalado adecuadamente las áreas de peligro y tampoco se hubiera entrenado al personal en ese sentido, entonces habría culpabilidad si aconteciese un accidente. En este caso era necesario no solo señalar sino – debido a que no habría tiempo para un entrenamiento – poner vigilancia para evitar el acceso a estas áreas peligrosas. Habría, por otro lado, responsabilidad en el encargado de la seguridad del helicóptero.

En este caso la trayectoria circular de la hélice posterior del helicóptero colisionó con la cabeza de la joven mujer que buscaba desesperadamente entregar su carta al Primer Ministro.

C. Deslizamiento de pieza mecánica con bordes cortantes

En un taller de mecánica de una hidroeléctrica, a uno de los practicantes de un Instituto Superior Tecnológico se le encargó trasladar una pieza denominada “aguja” del inyector de una turbina Pelton. Esta pieza que es de forma cónica tiene un acabado muy fino lo que torna a sus bordes cortantes.

Al momento de trasladar la pieza el operario tropezó y al percibir que la pieza iría a caer dañándose con la caída, intenta contenerla con sus propias manos. El filo cortante de la “aguja”, al seguir su trayectoria de caída, interrumpida por la acción del operario, corta los dedos que inútilmente intentaban evitar su caída.

En este caso fue la mano del operario que se interpuso en la trayectoria de caída de la pieza mecánica, y al carecer de guantes sufre un accidente en los dedos de la mano.

Sin duda, que él debía de haber dejado caer la pieza, la misma que aun si se hubiera deteriorado podría fácilmente haber sido recuperada mediante soldadura y subsiguiente mecanizado.

Por otro lado, los guantes podrían haber amortiguado la trayectoria del elemento mecánico. Aquí hasta se podría reflexionar sobre un enfoque centrado en la productividad y descuido por la salud y seguridad de los trabajadores. Un buen diseño socio-técnico balanceando los aspectos humanos y tecnológicos también podría haber evitado el accidente.

En este caso la trayectoria de la caída del elemento mecánico pretendió ser detenida por el operario, cuando debía haberlo dejado caer. Con todo, los guantes podrían haber amortiguado y evitado el daño en los dedos de las manos. Además de esto en este caso en el subconsciente del trabajador la calidad de la pieza estaba por encima de su integridad y seguridad.

D. Derrame de mercurio en Choropampa

Choropampa es una comunidad situada en Cajamarca en la sierra en el nordeste del Perú. En junio del 2000 un camión accidentalmente derramó 151 kg de mercurio líquido, que estaban mal asegurados en tanques, a lo largo de 27 km de carretera al pasar por la comunidad de Choropampa.

La empresa minera ofreció US\$30,00 por cada kg recuperado, lo que incentivó que muchos niños fuesen a recolectar el mercurio en tazas y otros recipientes diversos. En una familia, p.e, los niños luego de separar el mercurio lavaron las tazas y tomaron café en ellas. Como consecuencia aún sufrirían de dolores de cabeza. Según Arana [8] el mercurio, llevado a las casas, por el calor reinante en esta comunidad fácilmente se vaporizó y luego fue absorbido por el organismo de los pobladores.

En general el derrame del mercurio provocó enfermedades en esta comunidad. Luego de un tiempo de luchas legales, ellos habrían conseguido algunas indemnizaciones por parte de la empresa causante del accidente.



Fig. No 4 Mujer camina pensativa en el lugar del derrame de mercurio en Choropampa

Fuente: El Comercio, 28-05-2011

En este caso el mal cerrado de los tanques sumado al movimiento del camión que los transportaba provocó el derrame siguiendo una trayectoria que recorrió 27 km.

Los tanques deberían haber seguido normas para el cierre. Además de esto, por el movimiento del camión debería haberse procurado un cierre seguro, lo que no se hizo.

En lugar de encargar a los niños juntar el mercurio, la empresa debió realizar una recolección segura del mercurio, lo que habría sido facilitado por el seguimiento de la trayectoria del camión.

**TABLA I
ACCIDENTES Y TRAYECTORIAS**

Accidente:	Objeto	Trayectoria
Olla de acetite hirviendo.	Zapatos de la niña.	Aceite que va cayendo cambia el coeficiente de rozamiento de zapatos que resbalan.
	Olla con aceite hirviendo cayendo al ser jalada.	Niña al apoyarse en la olla induce una trayectoria de caída para la olla de aceite hirviendo.
Hélice posterior de un helicóptero.	Hélice en movimiento.	Mujer invade trayectoria de la hélice.
Deslizamiento de pieza mecánica con bordes cortantes.	Pieza que comienza a caer.	Manos del trabajador se interponen a la trayectoria de caída de la pieza mecánica.
Derrame de mercurio en Choropampa.	Mercurio que comienza a caer.	Recorrido del camión durante el derrame.
	Tanques conteniendo mercurio.	Mercurio saliendo de los tanques por mal cerrado.

Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIÓN

La contribución de la investigación, como puede verse a través de los estudios de caso, consiste no solo en la facilidad de la aplicabilidad de la teoría de las trayectorias sino que de momento con la misma puede hacerse un análisis que podrá complementarse con las normas específicas con las que nunca colisionará.

Que facilita un análisis rápido tanto *a priori* como *a posteriori* de la ocurrencia de un accidente. Brindando por ende elementos básicos para la toma de decisiones en

ausencia de normatividad y/o desconocimiento de las mismas.

Se puede concluir que la teoría de las trayectorias aplicada a la seguridad y salud ocupacional resulta apropiada tanto para el análisis de accidentes, cuanto para su prevención, así como para la elaboración de manuales para la seguridad industrial. Y que la misma complementa con las normas, reforzando su entendimiento y aceptación, pues proporciona una base teórica fácil de explicar.

Que en los cuatro casos presentados resulta oportuna la aplicación de la teoría de las trayectorias para la seguridad y salud en el trabajo, siendo además verificada la validez de la misma.

Que la teoría presentada está totalmente concordante con las normas técnicas como las normas OHSAS 18001 [1], p.e

AGRADECIMIENTOS

A los trabajadores de Electrolux S.A con quienes compartimos amistad y labor, conocimiento y lecciones aprendidas de seguridad en el servicio técnico y en el desarrollo de nuevos productos.

REFERENCIAS

- [1] OHSAS Sistema de gestión de la seguridad y salud ocupacional. Especificación, Norma OHSAS 18001, 2007.
- [2] Y. Brody, and A. Létourneau, "An indirect cost theory of work accident" in Journal of Occupational Accidents, 13, 1990
- [3] U. Kjellén, and T. Larsson, "Investigating accidents and reducing risks - a dynamic approach" in Journal of Occupational Accidents, 3, 1981
- [4] T. Dwyer, and Raftery, A.E. "Industrial accidents are produced by social relations of work: A sociological theory of industrial accidents" in Applied Ergonomics, vol. 22, Iss. 3, 1991
- [5] J. Weichbrodt, "Safety rules as instruments for organizational control, coordination and knowledge: implications for rules management" in Safety Science, 80, 2015.
- [6] X. Hu, M.A. Griffin, and M. Bertuleit, "Modelling antecedents of safety compliance: Incorporating theory from the technological acceptance model" safety Science 87, 2016.
- [7] M. Rodríguez, y F. Torre, "Caracterización de la evolución en investigación sobre aspectos de gestión de prevención y análisis de accidentes laborales", Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V, vol. 25, No 1, 2010
- [8] M. Arana, "El caso de derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta" Revista Peruana de Salud Experimental y Salud Pública, vol.26, No 1, 2009
- [9] Noticia [Online]. Disponible: <http://elcomercio.pe/ciencias/planeta/11-anos-derrame-mercurio-sintomas-persisten-choropampa-noticia-761410>

BIOGRAFÍA



José Carlos Álvarez Merino, nacido en Lima - Perú, es Ingeniero Mecánico, Magister y Doctor en Ingeniería de Producción por la Universidad Federal do Rio de Janeiro - Brasil. Sus intereses de investigación son: gestión del

conocimiento, transferencia de tecnología, innovación tecnológica, desarrollo de productos, y usos de la energía térmica para refrigeración. Actualmente desarrolla actividad docente en los posgrados de las siguientes universidades: UNI, UNMSM, UNPRG, y en la UPC dicta la disciplina de Termodinámica Aplicada para la especialidad de Ingeniería Industrial.