

Propuesta de Modelo Dinámico de Riesgos Laborales y Ambientales

Fernando Torres

Escuela de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

/Universidad Católica del Norte

ftorres@ucn.cl

ABSTRACT

La evolución de los procesos, de las tecnologías y de los cambios culturales, nos hace reflexionar sobre las metodologías de análisis y evaluación de riesgos. El nivel de incertidumbre en estos nuevos escenarios complejos plantea el desafío de generar nuevas herramientas. En el presente trabajo, se propone el diseño de una herramienta de gestión de riesgos basada en un modelo dinámico de riesgos, por medio de una formulación matemática que comprenda las problemáticas que enfrentan las empresas en la actualidad, se crea considerando, el estado del arte, el establecimiento de los principios, las variables y factores que lo constituyen. El Modelo Dinámico de Riesgos integra matemáticamente los factores que influyen sobre las variables Probabilidad, Consecuencias y Control de riesgo para establecer el estado del riesgo en un sistema. El diseño de la herramienta de gestión de riesgo, se basa en la elaboración de un algoritmo, que define el riesgo, establece el ingreso de los datos, su procesamiento y los resultados del análisis. El modelo entrega una visión innovadora respecto de la interrelación de las variables operacionales, organizacionales, sociales y ambientales, a considerar en la toma de decisiones para la gestión de los riesgos.

Palabras clave

Gestión, Evaluación de riesgos, Modelación y sistemas socio-técnicos complejos.

INTRODUCCIÓN

La actual sociedad dinámica presenta un ambiente variable y competitivo. Las empresas tienden a centrarse en criterios financieros a corto plazo en lugar de criterios a largo plazo sobre la seguridad, en un medio ambiente dinámico, donde esta inmersa la sociedad moderna. Esto significa que una óptima gestión de riesgos en las industrias de procesos, para maximizar el beneficio de su actividad, implica el riesgo de cruzar el límite a la hora de tomar decisiones. (Rasmussen, 1997; Dojo & Park, 2003).

Las organizaciones están hoy bajo el estrés de una serie de factores dinámicos en su entorno, tales como cambios tecnológicos, la globalización y las condiciones del mercado. Los modernos sistemas socio- técnicos se caracterizan por la creciente complejidad y acoplamiento entre las diferentes dimensiones del riesgo, lo que implica como consecuencia que cada vez sea más difícil de controlar y gestionar. En base a estos argumentos, hay una necesidad de nuevos debates y la investigación sobre el desarrollo de nuevas herramientas que se añade a la caja de herramientas de gestión de

seguridad laboral y ambiental. Algunos ejemplos de áreas a explorar son los principales indicadores, Mapas de riesgos y comprender las operaciones normales (trabajo efectivamente realizado), las mejoras de los modelos de accidentes de trabajo y enfoques de la investigación de accidentes, enfocados tanto al ámbito laboral como ambiental (Levenson, 2011 (a) (b); Hovden *et al.*, 2010; He *et al.*, 2009; Mohaghegh *et al.*, 2009; Mohaghegh & Mosleh, 2009 a, b; Leveson, 2004; Rasmussen & Svedung, 2000).

Los procesos operacionales, la interacción con las personas y la organización, no solo tienen efectos e impactos en el sistema empresa- seguridad laboral, si no que también puede ser externalizado a otros niveles, como el medio ambiente donde accidentes y fallas operacionales impactan los diferentes aspectos ambientales que interactúan con la empresa por ejemplo: aire, agua, suelo, flora y fauna. Por lo cual el control de la seguridad es transversal a lo laboral y ambiental. (Shakirudeen and Haight, 2010).

En la mayoría de las industrias modernas, la seguridad laboral y ambiental es un objetivo declarado en el mismo nivel de prioridad que la producción eficiente y económica. Sin embargo, se sigue siendo testigo, en los sistemas de gran escala, de impactos negativos y pérdidas de vidas debido a accidentes graves. Muchos de estos casos no tienen una explicación simple o cabal, especialmente aquellos en que tienen una importante contribución los comportamientos humanos y la organización. (Harrison & Legendre, 2003; Suddle, 2008; Hovden *et al.*, 2010).

El manejo exitoso de la salud, seguridad industrial y el medio ambiente requiere de un enfoque sistemático. En esto se debe incluir la toma de decisiones como proceso, con una base sólida, objetiva, abierta y transparente, de modo que las partes interesadas puedan participar y ver como se alcanzan los objetivos de la gestión del riesgo.(Leveson, 2004; Leveson, 2011). La Gestión de la Seguridad, según su definición, es el proceso de gestión para alcanzar un estado de ausencia de riesgos inaceptables de daños. Esta gestión de la seguridad se implementa a través de la organización y el sistema productivo. El sistema de gestión de seguridad se ve reflejado por su visión documentada, por medio de Políticas, regulaciones, evaluaciones de riesgos y procedimientos establecidos para el control y gestión del sistema y sus riesgos. Este actúa como un sistema formal de control sobre las actividades y métodos de trabajo. La gestión de la seguridad tiene sus raíces en el ámbito de gestión de calidad y el "planificar-hacer-verificar-actuar" ciclo de derivados de la gestión de la calidad (Mohaghegh and Mosleh, 2009).

Cuando un análisis de riesgos se lleva a cabo, es importante darse cuenta de que la toma de decisiones acerca de aceptar los riesgos es un tema muy complejo, y no sólo se consideran las variables técnicas, sino también económicas, ambientales, relacionados con el confort del trabajador, políticos, psicológicos y sociales de aceptación los cuales juegan un papel importante (Suddle, 2008).

El control de los riesgos de accidentes, exige a los supervisores responsables de la operación que lleven un programa de prevención de riesgos contra accidentes, enfermedades profesionales e impactos ambientales, teniendo que implementar todas las medidas necesarias para prevenir y/o minimizar los accidentes laborales y ambientales. Estas actividades de gestión de riesgos carecen de metodologías estandarizadas para los

diferentes tipos de riesgos y por lo cual se hace deficiente su gestión. Con la selección apropiada de metodologías cualitativas, semi-cuantitativas y cuantitativas de evaluación de riesgos, sumando el riesgo social es posible establecer niveles de riesgos para realizar la gestión de ellos. (Carter *et al.*, 2003).

Ante la necesidad de generar modelos de análisis de riesgos, que comprendan la complejidad técnico-social y la dinámica de las empresas, se desarrolla un modelo matemático (Modelo Dinámico de Riesgos, MDR) que considera estas condiciones como base, para generar una propuesta de herramienta de gestión de riesgos enfocada en la toma de decisiones, desde la base teórica no incluyendo las etapas de calibración y validación del modelo.

METODOLOGIA

Se realizó una revisión del estado del arte sobre el modelamiento de riesgos, tanto en temáticas ambiental y laboral con el fin de establecer los lineamientos de la investigación. Se estableció el contexto del modelamiento de riesgos y sus alcances que se utilizó para definir los principios que determinaron los lineamientos y las condiciones de borde para elaborar el modelo.

Para la definición de los principios del Modelo dinámico de riesgos se confecciona una matriz, la cual esta definida por: Principio establecido, descripción del principio y fuente. De los principios establecidos se realiza un modelo esquemático conceptual donde se explican las relaciones e interacciones de los principios en el modelo.

Del modelo esquemático propuesto y con el análisis bibliográfico realizado, se establecieron cuales son las variables relevantes en un cambio del estado de riesgo y en su dinámica. Se esquematizaron por medio de un análisis casuístico espina de pescado, la relevancia de la interacción de las variables y sus factores en la variación del estado de riesgo.

Con las variables y factores definidos se formuló, la relación matemática que representa el estado del riesgo y su dinámica. La dinámica es representada por un cambio de estado, expresado como ecuación diferencial. Este cambio de estado es posteriormente integrado matemáticamente, por medio de la suma de las variaciones de los factores que componen las variables de incidencia del modelo de riesgos propuesto.

Definido el modelo matemático de riesgos dinámico, se establece su aplicabilidad a través de un modelo esquemático conceptual. Posteriormente, se analizan los alcances y estrategia de implementación. Esto se describe generando un algoritmo que represente el funcionamiento de la herramienta de gestión de riesgos basada en el MDR. (Khan & Abbasi, 1998; Khan & Abbasi, 1999 (a) (b); Khan & Abbasi, 2000).

Principios y variables que constituyen el modelo dinámico de riesgos.

A continuación se presentan los pasos para la definición de los principios y variables que conformaran la propuesta del modelo matemático de riesgos (MDR)

Definición general del MDR.

Se postula un modelo dinámico de riesgos con un enfoque y principios similares a los utilizados al estudiar la evolución de un Sistema termodinámico (Johansen, 1989; Deen, 1998). La característica “dinámica” se refiere a un cambio de estado en el tiempo (Solojentsev, 2005; Molak, 1997), de acuerdo a que:

1. El Estado de Riesgo cambie a través del tiempo sin que exista interacción del sistema con el entorno.
2. El Estado de Riesgo cambie a través del tiempo existiendo interacción del sistema con el entorno.
3. El Estado de Riesgo sea estacionario (sin interacción del sistema con el entorno)
4. El Estado de Riesgo sea de equilibrio (con interacción del sistema con el entorno).

Una vez definidas las fronteras y el estado en el cual se encuentra el sistema, es necesario determinar como el riesgo se distribuye o migra de un sistema a otro o como se comporta dentro del mismo (Solojentsev, 2005; Slattery, 1999, Cha, et al. 2000) . La transferencia se establecerá por el principio de fugacidad la cual se determina por un coeficiente de partición de la concentración del riesgo entre un sistema y otro (Slattery, 1999). La velocidad con lo cual esto ocurre será determinada por la propiedades específicas del riesgo, con lo cual se establecerán las ecuaciones cinéticas que modelan la velocidad de transferencia del riesgo(Giraldo & San Jurjo, 2003; Slattery, 1999; Browm, 2006; Tiemeyer, B. *et al.*, 2006; Jovero & Luyando, 2006).

Para la descripción de los sistemas, y definición de las variables que establecen sus estados de riesgo respectivos, se utilizará Teoría de Sistemas (ISO, 2001; ISO, 2000; Johansen, 1989).

Es así, que es posible identificar a primera instancia un sistema general, capaz de englobar todos aquellos subsistemas y partes constituyentes de cada subsistema. Se propone clasificar, desde un nivel macro a un nivel micro a través de una clave jerárquica, desde lo más genérico a lo más específico, buscando determinar los riesgos específicos de cada parte del sistema (Dym, 1980; Johansen, 1989; Dym, 1994). De esta manera se pretende tener una interpretación micro del riesgo para cada puesto de trabajo (nicho laboral) y una interpretación macro para el sistema global (organización). (Molak, V, 1997; Solojentsev, 2005; Specht, M. *et al.*, 2006)

El modelo posee un enfoque biológico, específicamente ecológico, que puede ser ocupado en un modelo sistémico de gerencia. Los modelos sistémicos de gerencia han empleado desde hace mucho tiempo los conceptos de la ecología para poder funcionar y organizar estructuralmente sus elementos. Este, como modelo sistémico no es la excepción. (Bartley, *et al.*, 2006; Münkemüller And Johst, 2006)

Las interacciones entre los elementos constituyentes se abordan con un enfoque ecológico precisamente por las ventajas que presenta la ecología, en el estudio de las relaciones entre poblaciones de organismos (entre poblaciones y dentro de estas), enfoque el cual, es de gran utilidad para realizar estudios conceptuales en sistemas operacionales que se quieren analizar y predecir. Es de esa revisión conceptual, que se desarrolla parte del modelo, relacionando los siguientes conceptos: nicho, factor estresante, ruta de exposición, frontera, y organismo receptor. (Carson and Cobelli, 2001; Münkemüller And Johst 2006; Tiemeyer, *et al.*, 2006.)

El orden de estos conceptos no es azaroso, pues parte importante de este modelo propuesto se basa en el correcto orden de la información. Por ejemplo, el nicho, el espacio físico ecológico en donde ocurren las relaciones entre los organismos se interpreta en nuestro caso como un “nicho laboral”. La principal cualidad de los nichos es que poseen características abióticas, en las cuales los organismos que las explotan se adaptan, de manera eficiente. Conociendo los requerimientos a los cuales se deben adaptar los organismos es posible determinar todos aquellos factores estresantes (energía, requerimientos, etc.) que interfieren en las características del nicho. (Münkemüller And Johst, 2006; Carson and Cobelli, 2001; Johansen, 1989; Bäte, *et al.*, 2006; Broker, 2006 (a) (b))

Los principios del MDR.

Se establecen una serie de principios generales de organización para el desarrollo de marcos causales de seguridad laboral y ambiental. Esto proporciona una clasificación de los principios propuestos, agrupados en dos categorías. Estos principios cubren los fundamentos del proceso de construcción del modelo y las características esenciales del modelo resultante. Para la definición de los principios se plantea un enfoque multidisciplinario. Los principios abordados son fundamentales para el desarrollo de las teorías de organización de análisis de seguridad y para proporcionar una orientación conceptual de los modelos teóricos que tratan de desarrollar marcos integrados de seguridad para industrias específicas y de las organizaciones. Las categorías de los principios del MDR son definidas por:

Principios del MDR, según las propiedades del Riesgo:

1. El riesgo se puede expresar como función matemática.
2. El riesgo es multidimensional.
3. El riesgo es multinivel.
4. El riesgo es transferible.

5. El riesgo es Dinámico.
6. El riesgo se puede identificar y clasificar por taxonomía.

Un desglose de la descripción del principio y de las referencias bibliográficas asociadas, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla I, Descripción y justificación bibliográfica de los principios que definen el riesgo, Fuente Elaboración Propia.

Principios	Descripción	Fuente
El riesgo puede ser expresado por una Función matemática	El riesgo se puede expresar matemáticamente como $R: f(x)$	Attwood et al, 2006 (a) (b) ; 2006. Carter <i>et al</i> , 2003 ; He <i>et al</i> , 2010. Mengolini & Debarberis, 2008 ; Seo, 2005. ; Arunraj & Maiti, 2009 ; Hu <i>et al</i> , 2007 ; Sari <i>et al</i> . 2009 ; Mojtahedi et al, 2010. Shakioye & Haight, 2010 ; Rosqvist & Touminem, 2004. Suddle, 2009 ; Mohaghegh <i>et al</i> , 2009. Mohaghegh & Mosleh, 2009 (a) (b); Li <i>et al</i> , 2010
El Riesgo Tiene Una naturaleza Multidimensional	Según el sistema en estudio y el riesgo a evaluar este presenta multidimensional según su caracterización y el objetivo del estudio. Ejemplo dimensión laboral, ambiental, organizacional, fisico-química, etc.	Kujath <i>et al.</i> , 2010; Sorensen, 2002. Mengolini & Debarberis, 2008; Arunraj & Maiti, 2009 ; Ale <i>et al</i> , 2008 ; Mojtahedi et al, 2010 ; Flin, 2007 ; Mohaghegh <i>et al</i> , 2009 ; Mohaghegh & Mosleh, 2009(a) (b); Rasmussen, 1997
El riesgo tiene una naturaleza Multinivel	Este se puede presentar organizando o estructurando distintos niveles. Desde la Unidad hasta diferentes tipos de agrupaciones, según el objetivo del estudio de riesgo. Ejemplo: trabajadores, supervisores, gerencia, empresa, rubro, sociedad.	Kujath <i>et al</i> , 2010 ; Attwood et al (b), 2006, Carter et al, 2003, Sorensen, 2002. Mengolini & Debarberis, 2008. Arunraj & Maiti, 2009 ; Ale <i>et al</i> , 2008; Mojtahedi <i>et al</i> , 2010 ; Flin, 2007 ; Mohaghegh <i>et al</i> , 2009. Mohaghegh & Mosleh, 2009(a) (b) ; Rasmussen, 1997.
El riesgo es transferible de un sistema a otro	El riesgo se puede transferir de un sistema a otro y esta trasferencia, por medio de un enfoque termodinámico, que puede ser explicada por la fugacidad entre sistema.	Abdolhamidzadeh et al, 2010; Ale et al, 2008; Kujath <i>et al</i> , 2010, Grabowski et al, 2009. , Mohaghegh & Mosleh, 2009(a) (b); Slattery, 1999.

Continuación Tabla I.

Principios	Descripción	Fuente
El sistema es dinámico.	El sistema es dinámico por el cambio de estados generados por las variables que definen el riesgo. El riesgo es dinámico respecto al tiempo. Y el riesgo es dinámico respecto a las decisiones del sistema social-tecnológico complejo.	Rasmussen, 1997; Slattery, 1999; Seo, 2005; Sari et al. 2009. Mojtahedi <i>et al</i> , 2010; Shakioye & Haight, 2010; Kang & Jae, 2005 ; Grabowski <i>et al.</i> , 2009 ; Mohaghegh <i>et al</i> , 2009 ; .Mohaghegh & Mosleh, 2009(a) (b); Kujath <i>et al</i> , 2010.
El riesgo se presenta de manera taxonómica en los sistemas	El riesgo se puede presentar de distintas formas , lo cual obedece a su clasificación y definición, esta puede ser por medio de distintas herramientas taxonómica que permite definir los tipos de riesgos existentes en el sistema de estudio.	Rasmussen, 1997. , Attwood et al, 2006, Carter et al, 2003. , He et al, 2010. Arunraj & Maiti, 2009. Lee, 2006. , Mojtahedi et al, 2010. , Kujath et al, 2010. Shakioye & Haight, 2010. Kang & Jae, 2005 ; Rosqvist & Touminem, 2004. Mohaghegh et al, 2009. Mohaghegh & Mosleh, 2009a.

Los primeros 6 principios establecen de cómo el riesgo se puede definir, esto nos entrega condiciones de gran importancia para poder establecer el comportamiento del riesgo y en base a que criterios diseñar el modelo matemático.

Principios del MDR, según las propiedades del sistema de riesgo.

7. El sistema de riesgo tiene un enfoque de procesos y holístico.
8. El sistema de riesgo esta regido por la ley de la causalidad. (Causa-efecto).
9. El sistema de riesgo se define como un sistema socio-tecnológico complejo.

Un desglose de la descripción del principio y de las referencias bibliográficas asociadas, se presenta en la siguiente tabla

Tabla II, Descripción y justificación bibliográfica de los principios que definen el sistema de riesgo. Fuente: Elaboración Propia.

Principios	Descripción	Fuente
El sistema tiene un enfoque Holístico y de Procesos	El sistema presenta recursividad "Sistema de Sistemas", los cuales están relacionados e interrelacionados. También se basa en el enfoque de procesos, en que el sistema presenta entradas, salidas y un proceso de transformación de la materia.	Kujath et al, 2010 ; Attwood <i>et al</i> , 2006 (a) (b) ; Carter <i>et al</i> , 2003 ; He <i>et al</i> , 2010 ; Sorensen, 2002. Mengolini & Debarberis, 2008 ; Seo, 2005 ; Arunraj & Maiti, 2009 ; Hu <i>et al</i> , 2007 ; Sari <i>et al</i> , 2009 ; Lee, 2006 ; Ale et al, 2008. Mojtahedi <i>et al</i> , 2010 ; Aven & Kristensen, 2005 ; Flin, 2007 ; Kang & Jae, 2005. , Grabowski <i>et al</i> , 2009 ; Rosqvist & Touminem, 2004. ; Suddle, 2009; Hsieh & Wang, 2010 ; Moriyama & Ohtani ; 2009
El sistema esta regido por la teoría de la Causalidad	En el sistema las interacciones que se presente y el riesgo propiamente tal se rige por la ley de causa-efecto.	Abdolhamidzadeh <i>et al</i> , 2010; Attwood <i>et al</i> , 2006 (a) (b); Elvik, 2006; Mengolini & Debarberis, 2008; Ale <i>et al</i> ., 2008; Bijleveld, 2005. Rosqvist & Touminem, 2004; Mohaghegh <i>et al</i> , 2009. Mohaghegh & Mosleh, 2009 (a) (b); Ersdal & Aven, 2008; Moriyama & Ohtani, 2009
El se define como Socio-Tecnológico complejo	Es un sistema en el cual se relacionan e interrelaciones equipos, materias primas, instalaciones, personas y organizaciones en distintas dimensiones y niveles, en un tiempo determinado.	Li <i>et al</i> , 2010; Hovden, 2010., Sorensen, 2002. Mengolini & Debarberis, 2008., Seo, 2005; Dejoy <i>et al</i> , 2010; Lee, 2006. Ale <i>et al</i> , 2008; Aven & Kristensen, 2005. Grabowski <i>et al</i> , 2009. , Suddle, 2009; Mohaghegh et al, 2009. , Mohaghegh & Mosleh, 2009 (a) (b); Rasmussen, 1997

Los principios del numero 7 al 9, describen y establecen la condiciones de cómo se define el sistema de riesgo y los lineamientos para poder realizar su análisis.

Modelo esquemático conceptual.

Como se plantea en el MDR a través de sus principios, el sistema es abierto al medio ambiente, donde sus interacciones generan cambios en ambos sentidos dentro de la empresa y en su entorno, abordando diferentes dimensiones definidas por: La Política, la economía, los procesos, el entorno (medio ambiente) y la seguridad. El alcance e influencia del análisis dependerá de a que nivel se realizara este, ya sea enfocado a los trabajadores, la empresa, la comunidad, el medio ambiente, una visión simplificada del MDR se presenta en la figura 1.

Tanto los factores externos (E) e internos (I) definirán las condiciones del sistema de riesgo, al cual llamaremos nicho laboral. El nicho laboral según los factores que lo influyen, genera una tipología de riesgos, donde la probabilidad y la magnitud de la consecuencia del riesgo, depende de cómo se presenten los factores E e I del sistema.

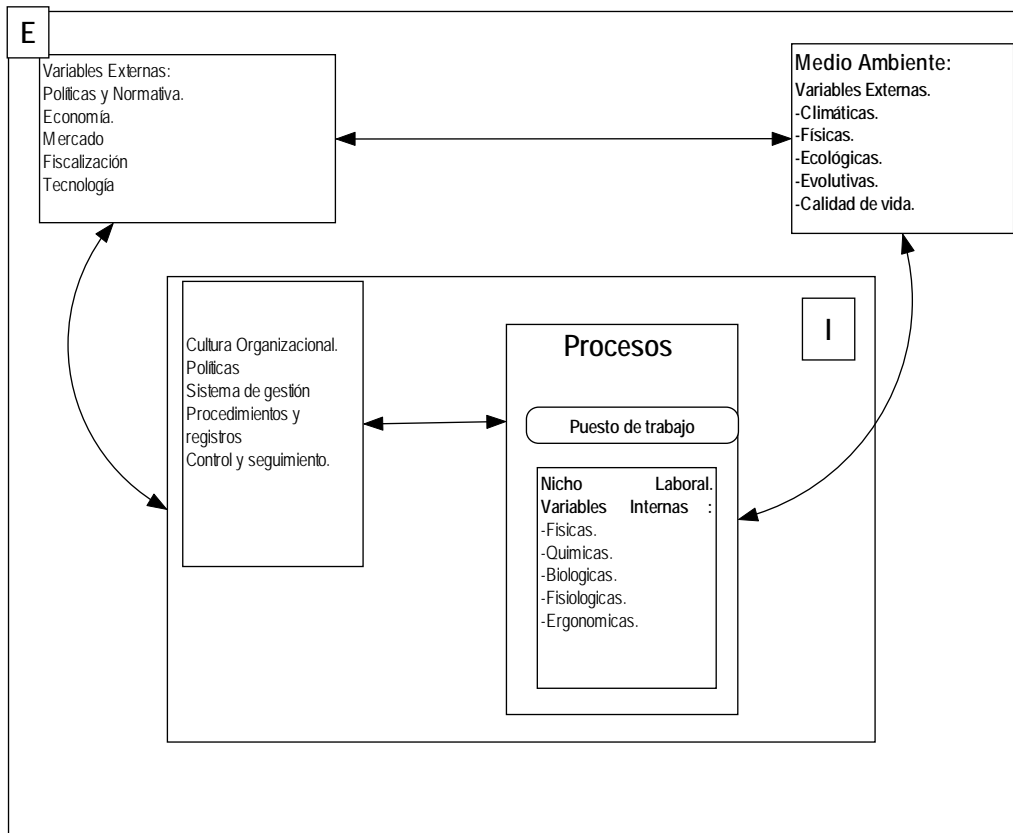


Figura 1, Esquema conceptual del Modelo Dinámico de Riesgos. Fuente: Elaboración propia.

Variables del MDR.

Según la bibliografía, el riesgo se define por la probabilidad de ocurrencia de un evento y la consecuencia de este, diferentes autores establecen que las acciones de prevención y de mitigación de riesgos disminuyen la magnitud del riesgo. (Attwood et al, 2006 (a) (b); Carter et al, 2003, He et al, 2010. Mengolini & Debarberis, 2008 ; Seo, 2005 ; Arunraj & Maiti, 2009 ; Hu et al, 2007. Sari et al. 2009 ; Mojtahedi et al, 2010 ; Shakioye & Haight, 2010 ; Rosqvist & Touminem, 2004 ; Suddle, 2009 ; Mohaghegh et al, 2009; Mohaghegh & Mosleh, 2009 (a) (b) ; Li et al, 2010).

En el esquema de la figura 2, se representa un diagrama causa-efecto, donde se establecen las variables que inciden en la magnitud del riesgo: Probabilidad, Consecuencia y Control del Riesgo, asociadas a estas variables se presentan a modo de ejemplo factores de influencia en cada variable.

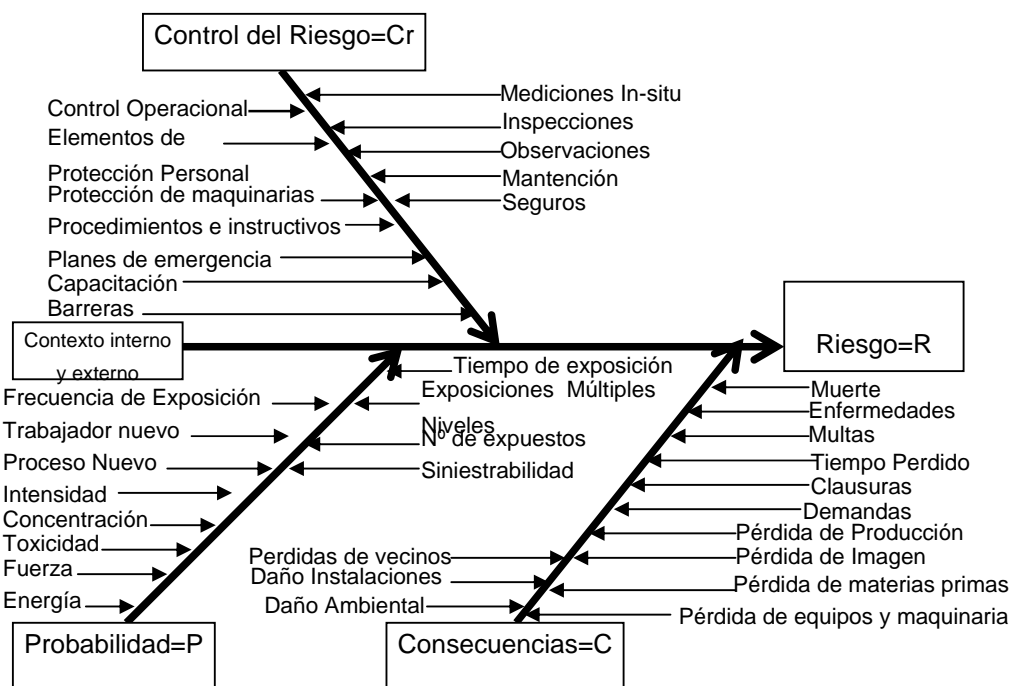


Figura 2, Diagrama causa- efecto del riesgo considerando los factores que inciden en el cambio de las variables. Fuente: Elaboración Propia.

Modelo dinámico de riesgos.

El modelo dinámico de riesgos se representa matemáticamente a través de sus principios, los cuales fueron definidos por las características del riesgo y su sistema. Allí se establece como las variables se ven influenciadas por los diferentes factores de incidencia en el sistema analizado, lo cual da como resultado la variación de la magnitud del riesgo.

El riesgo se expresa en función de la probabilidad (P) y la consecuencia (C) de un evento no deseado. Se interpreta que el riesgo puro sin control es directamente proporcional a P y C, como se expresa en la siguiente ecuación. (Carter *et al.*, 2003. Mohaghegh *et al*, 2009; Mohaghegh & Mosleh, 2009 (a) (b); Suddle, 2009).

$$R = P \times C \quad \text{ec. (1)}$$

Sin embargo el riesgo se puede tratar de controlar a través de medidas de prevención y minimización de riesgos, las cuales se representan por la variable (Cr), denominada control del riesgo. Por definición Cr busca disminuir la magnitud del riesgo R, para ello el autor plantea la función mas simple que es la de proporcionalidad inversa. Luego considerando las 3 variables se postula que:

$$R = R(P, C, Cr) = \frac{P \times C}{Cr} \quad \text{ec. (2)}$$

denominada función de riesgo donde:

R: Riesgo.

P: Probabilidad.

C: Consecuencia.

Cr: Control del Riesgo.

La dinámica en la evolución del riesgo se puede expresar en términos de un “cambio de estado del Riesgo”. Estos es, desde un estado inicial R_0 a un estado final R_1 . Según la ec. 1 esto significa que:

$$R_0 = \frac{P_0 \times C_0}{Cr_0} \quad \text{ec. (3)}$$

denominado estado de riesgo 0 y

$$R_1 = \frac{P_1 \times C_1}{Cr_1} \quad \text{ec. (4)}$$

denominado estado de riesgo 1.

El cambio en el riesgo se obtiene de:

$$\Delta R = R_1 - R_0 \quad \text{ec. (5)}$$

Para una óptima toma de decisiones en la gestión de riesgos, a partir de una situación actual diagnosticada, idealmente se requiere conocer la evolución del riesgo. Dicha evolución depende del comportamiento y evolución de las variables que determinan el riesgo. Estos son:

$$P_1 = P_0 + \Delta P \quad \text{ec. (6)}$$

$$C_1 = C_0 + \Delta C \quad \text{ec. (7)}$$

$$Cr_1 = Cr_0 + \Delta Cr \quad \text{ec. (8)}$$

con lo que la ec. 4 queda como:

$$R_1 = \frac{P_1 x C_1}{Cr_1} = \frac{(P_0 + \Delta P) \times (C_0 + \Delta C)}{(Cr_0 + \Delta Cr)} \quad \text{ec. (9)}$$

Con esto el problema se enfoca en conocer la dependencia o funciones que relacionan las variables P, C y Cr con aquellos factores incidentes en su cambio ΔP , ΔC y ΔCr . Matemáticamente, significa que si:

$$P = P(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad \text{ec. (10)}$$

$$C = C(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \quad \text{ec. (11)}$$

$$Cr = Cr(z_1, z_2, z_3, \dots, z_n) \quad \text{ec. (12)}$$

donde

X_i : Factores de incidencia i-esimo en la probabilidad

Y_i : factores de incidencia i-esimo en las consecuencias

Z_i : Factores de incidencia i-esimo en el control del riesgo.

entonces

$$\Delta P = \int_0^1 dP \quad \text{ec. (13)}$$

$$\Delta C = \int_0^1 dC \quad \text{ec. (14)}$$

$$\Delta Cr = \int_0^1 dCr \quad \text{ec. (15)}$$

La dependencia temporal intrínseca en la variación de los factores x_i , y_i y z_i al tiempo. Si estos permanecen constantes es esperable que P, C y Cr no cambien y el estado del riesgo se mantenga en el tiempo.

Considerando que el control de riesgo debe ser una practica permanente y sistemática dentro de cada organización, se puede esperar que siempre sea posible encontrar 2 estados de riesgo cercanos entre sí de tal manera que una aproximación de 1er orden sea válida para cuantificar el cambio de las variables. Luego, para las tres variables:

$$dP = \left. \frac{\partial P}{\partial x_1} \right]_{x_j=cte; j \neq 1}^0 dx_1 + \left. \frac{\partial P}{\partial x_2} \right]_{x_j=cte; j \neq 2}^0 dx_2 + \left. \frac{\partial P}{\partial x_3} \right]_{x_j=cte; j \neq 3}^0 dx_3 + \dots$$

$$\Rightarrow \Delta P = \int_0^1 dP = \int_0^1 \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial P}{\partial x_i} \right]_{x_j=cte; j \neq i}^0 dx_i \quad \text{ec. (16)}$$

$$dC = \left. \frac{\partial C}{\partial y_1} \right]_{y_j=cte; j \neq 1}^0 dy_1 + \left. \frac{\partial C}{\partial y_2} \right]_{y_j=cte; j \neq 2}^0 dy_2 + \left. \frac{\partial C}{\partial y_3} \right]_{y_j=cte; j \neq 3}^0 dy_3 + \dots$$

$$\Rightarrow \Delta C = \int_0^1 dC = \int_0^1 \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial C}{\partial y_i} \right]_{y_j=cte; j \neq i}^0 dy_i \quad \text{ec. (17)}$$

$$dCr = \left. \frac{dCr}{dz_1} \right]_{z_j=cte; j \neq 1}^0 dz_1 + \left. \frac{dCr}{dz_2} \right]_{z_j=cte; j \neq 2}^0 dz_2 + \left. \frac{dCr}{dz_3} \right]_{z_j=cte; j \neq 3}^0 dz_3 + \dots$$

$$\Rightarrow \Delta Cr = \int_0^1 dCr = \int_0^1 \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial Cr}{\partial z_i} \right]_{z_j=cte; j \neq i}^0 dz_i \quad \text{ec. (18)}$$

Así, para cada tipo de riesgo, se requiere determinar las funciones matemáticas (Ec 10 a 12) para poder obtener las derivadas parciales respectivas.

Finalmente, habiendo determinado ΔP , ΔC y ΔCr en términos de las derivadas parciales con respecto a los factores de riesgo, reemplazando en la ec. (9) se obtiene la ec. 19 que:

$$R = \frac{\left(P_0 + \int_0^1 \sum_{i=1}^n \frac{\partial P}{\partial x_i} \right]_{x_j = cte; j \neq i}^0 dx_i \times \left(C_0 + \int_0^1 \sum_{i=1}^n \frac{\partial C}{\partial y_i} \right]_{y_j = cte; j \neq i}^0 dy_i}{\left(Cr_0 + \int_0^1 \sum_{i=1}^n \frac{\partial Cr}{\partial z_i} \right]_{z_j = cte; j \neq i}^0 dz_i}$$

De esta manera es posible cuantificar la evolución del riesgo a partir de un estado de referencia. Normalmente, para la toma de decisiones, dicho estado de referencia será el estado actual.

Herramienta de gestión de riesgos basada en un MDR.

La herramienta de gestión de riesgos, se basa en el modelo matemático desarrollado y los principios que lo fundamentan, para generar una interfase sistema-software MDR en la cual una vez definido el sistema se realiza una definición de este, para posteriormente establecer la identificación de peligros y riesgos presentes en el sistema. Una vez elaborado la lista de riesgos presentes en el sistema de estudio se selecciona un riesgo para ser analizado por la herramienta de gestión. Para la selección se pueden utilizar diferentes criterios como matrices cualitativas o métodos estadísticos multivariados.

Una vez seleccionado el riesgo a estudiar, se definen las variables P, C y Cr, a través de sus factores, esto ingresando datos provenientes de bases de históricas, lectura de datos en tiempo real y de levantamientos de cualitativos. Esto representa una integración de la información tanto cuantitativa como cualitativa de manera multidimensional como temporal. Los datos recolectados de diferentes fuentes son ingresados al software que contiene el modelo matemático MDR y nos indicara el estado del riesgo, con lo cual podremos analizar la evolución del estado del riesgo y poder tomar decisiones sobre el riesgo y el sistema que se esta analizando. Una representación grafica simplificada de la herramienta de gestión de riesgos utilizando el enfoque del MDR, se observa en la figura 3 y el desarrollo paso a paso del algoritmo de la herramienta de gestión de riesgos esta presente en las figuras 4 y 5.

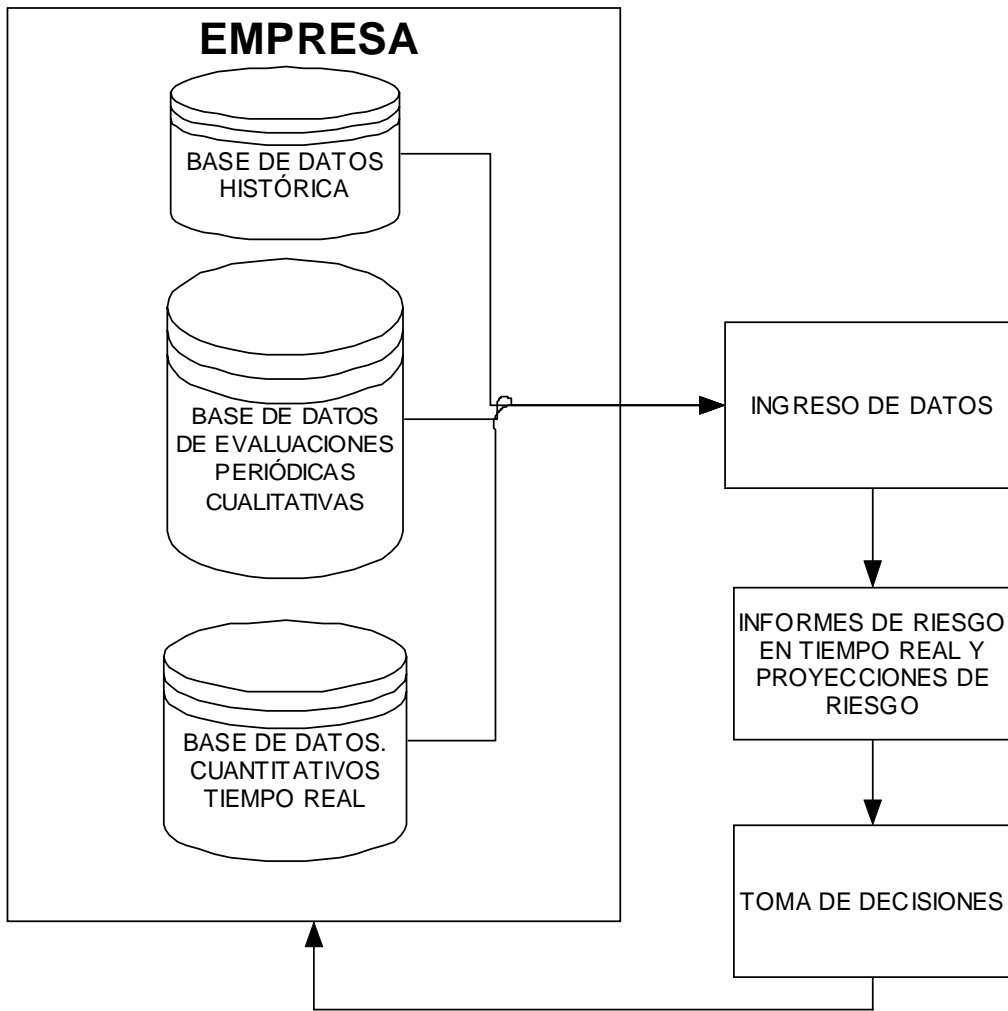


Figura 3, Esquema simplificado de la herramienta de gestión de riesgos basada en el MDR.

5.4.1 Algoritmo y estructura del software MDR.

Para el ingreso de datos en el programa MDR, primero hay que seguir una serie de pasos orientados a la definición del sistema, sus variables y factores, los cuales están detallados en la figura 4.

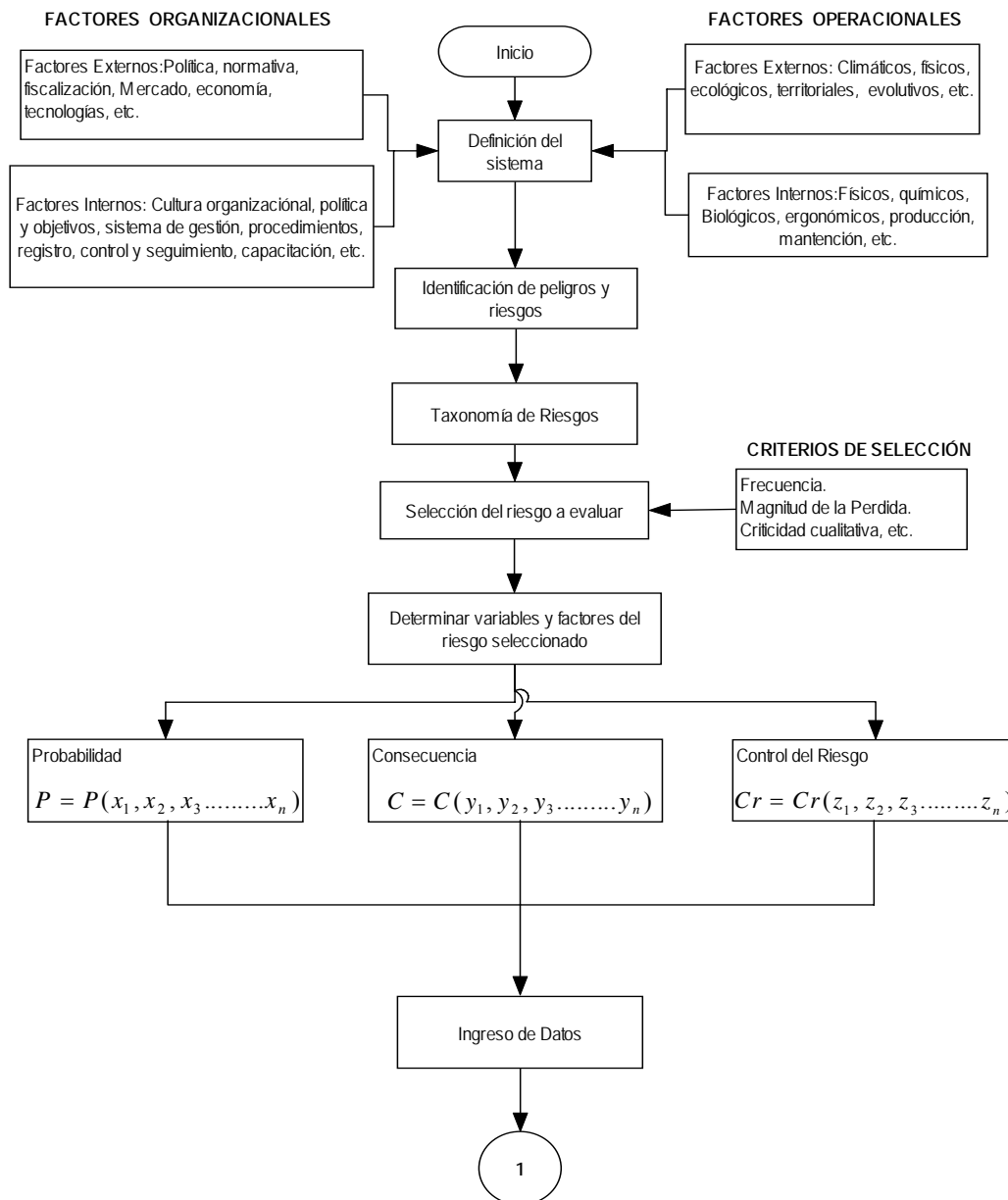


Figura 4, Algoritmo que establece la definición del sistema de estudio en la herramienta de gestión de riesgos laborales basado en un MDR. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizados los pasos para la selección del riesgo a estudiar en el sistema, el algoritmo que establece el estado del riesgo y productos del análisis tales como el estado del riesgo, proyecciones de riesgo y gráficos que relacionan los factores con las variables en un tiempo determinado se presenta en la siguiente figura.

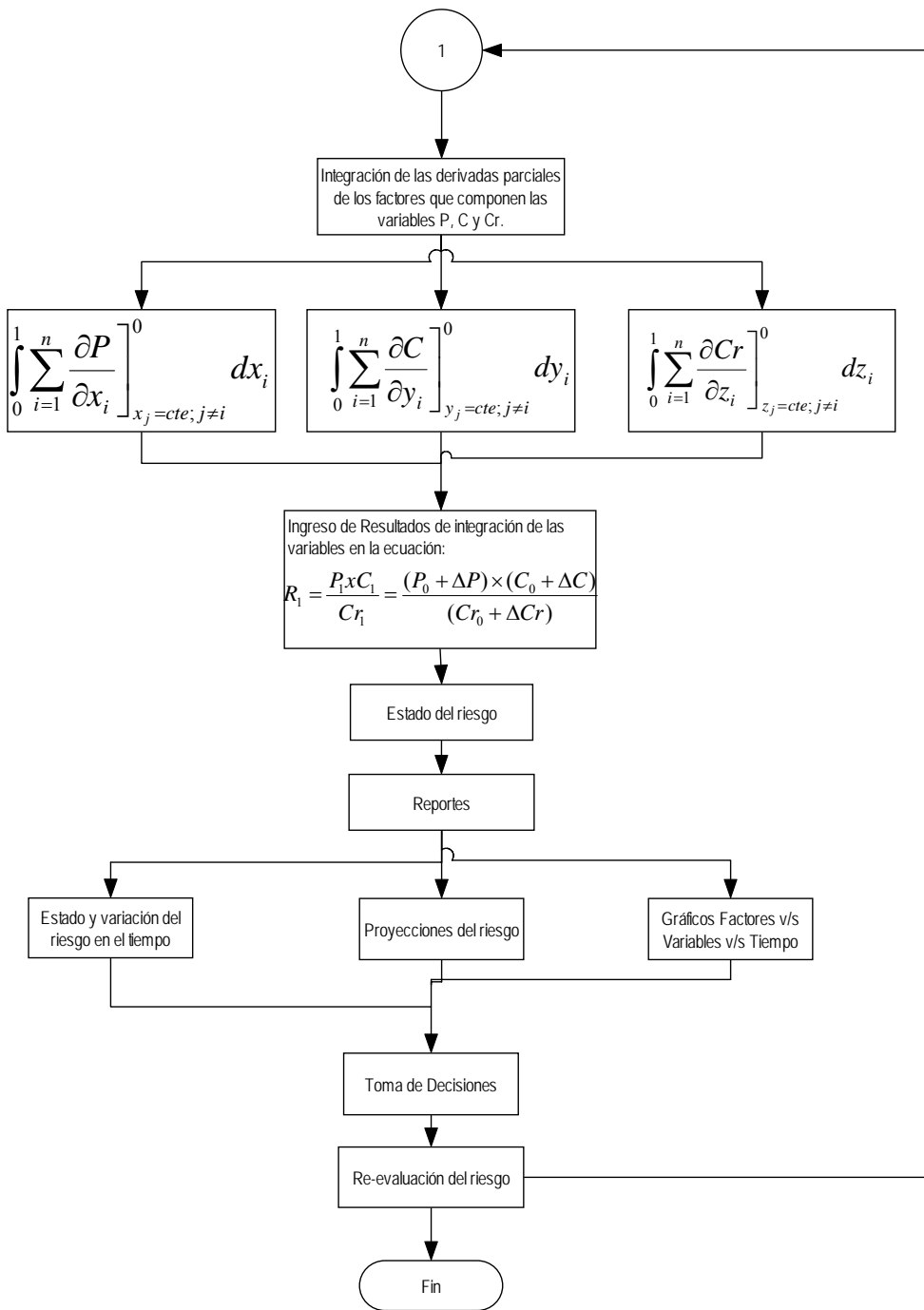


Figura 5. Algoritmo que establece el estado y análisis del riesgo del sistema en estudio. Fuente: Elaboración propia.

El riesgo tiene una relevancia de carácter esencial en mundo hoy en día. Las comunicaciones y el análisis de las consecuencias hace necesario poder dar mejores respuestas frente a diferentes accidentes de índole ambiental y laboral. En estos términos quienes realizan los análisis, estudios y la gestión de los riesgos deben sensibilizar de la manera más correcta y precisa sus metodologías, con el fin de minimizar las incertidumbres para la toma de decisiones. (Aven, 2011 (a) (b); Ramli *et al*, 2011; Aven, 2009 (a) (b), Aven, 2008).

En la actualidad en la gestión de riesgos se ha hecho necesario un cambio, no por la forma en que se realiza la gestión que tiene el enfoque clásico de Deming, P-H-V-A, sino por la manera de como se realizan los estudios de riesgos (Análisis de riesgos mas la evaluación de riesgos). En la actualidad no existe un estándar que establezca las metodologías para realizar estos estudios. Por ello dichos estudios que son la base de la planificación, tendrían grados de incertidumbre considerables, afectando al final a la gestión de riesgos. Es por ello que el año 2009 la ISO, publicó la serie de Normas ISO 31000, las cuales van enfocadas a estandarizar el proceso y establecer los lineamientos para realizar los estudios de riesgos. De esta norma nace la ISO 31010, la cual realiza un análisis de las diferentes metodologías de análisis y evaluación de riesgos entregando información relevante respecto a su complejidad, recursos y niveles de incertidumbre de las metodologías. (Aven, 2011 (a) (b); Ramli *et al*, 2011; Swuste *et al*, 2010 ; Aven, 2008 ; Rouhiainen & Gunnerhed, 2002 ; Svedung & Rasmussen, 2002)

La complejidad actual de las empresas, el contexto económico y social en el cual se desarrollan, sus procesos y su organización, hacen que sea un gran desafío realizar una gestión efectiva de los riesgos. Es por ello que enfoques unidimensionales no representan cabalmente la naturaleza de los riesgos, por que los actuales modelos de análisis se basan en una mirada multidimensional del riesgo y del sistema que lo delimita. La herramienta propuesta en el presente trabajo rescata esta problemática integrando las características propias de la organización en estudio e incorpora dimensiones y factores que aportan al entendimiento de la complejidad real en la cual se desarrollan los riesgos en la empresa actual. (Ramli *et al*, 2011; Chen *et al*., 2010; Chourdhy *et al*., 2007; Reiman & Oedwald, 2007; Sorensen, 2002).

En el presente trabajo, como principio se diferencia el riesgo del estado de riesgo que lo sostiene. Esto genera una visión en la cual se revelan las variables que influyen en la caracterización del riesgo como también se describe el comportamiento del riesgo considerando su naturaleza. Adicionalmente el riesgo se analiza también dinámicamente desde la perspectiva de la variación temporal de los elementos que componen el sistema. (Bassetto *et al*, 2011; Leveson, 2011 (a) (b); Torner, 2011; Marais *et al*, 2006; Leveson, 2004).

La literatura define la seguridad como un estado, en el cual se eliminan o controlan las variables y factores de incidencia en un accidente. Este enfoque se realiza controlando los peligros y no los riesgos, lo cual influye a la hora de tomar una decisión sobre como gestionar los riesgos. Esto significa que no solamente se debe valorar el riesgo desde la visión del peligro si no también desde la perspectiva de cómo esta siendo controlado, y dando una diferenciación con respecto a otros modelos de gestión de riesgos. (Leveson, 2011 (a) (b); Aven, 2009 (a) (b), Leveson, 2004).

El modelo adopta el control del riesgo como variable independiente a diferencia de otros modelos, que lo consideran dentro de la variable probabilidad o simplemente no la incluyen y ven el riesgo puro sin control. El considerar el control del riesgo permite evaluar no solamente con un enfoque más real el modelo sino que permite dimensionar el impacto de las medidas de control y su evolución en el tiempo. (Levenson , 2011 (a) (b); Strove et al, 2011; Aven, 2009 (a) (b); Reiman & Oedwald, 2007).

El presente modelo incorpora dos enfoques para la definición del MDR: uno corresponde a la definición del sistema de riesgos y los principios que lo definen; y el otro enfoque corresponde a considerar la naturaleza del riesgo. En primera instancia la definición del sistema de riesgos es fundamental para poder definir los elementos e interacciones del sistema, pero también es fundamental para construir la base del conocimiento del sistema que se esta analizando (Cordero *et al*, 2010; Flin, 2007; Mosleh & Chang, 2004). Por otra parte el modelo matemático si bien se basa en la expresión de la posibilidad de ocurrencia de un evento no deseado, en su ontogenia representa mayores alcances no solo definiendo el riesgo como una probabilidad de ocurrencia, si no que también como un modelo cuantitativo del estado del riesgo y la descripción de este. En esta última característica del modelo es fundamental la definición del sistema de riesgo, lo cual es un aporte importante para los conocimientos del sistema en si. (Aven, 2011 (a) (b); Levenson, 2011, Aven, 2009 (a) (b); Yang & Haimes, 2010; Aven, 2008 (a) (b); Diaz *et al*, 2007; Leveson, 2004).

El modelo matemático en su ontogenia y de un punto de vista epistemológico, no solo establece el estado del riesgo, si no que también tiene la potencialidad de establecer el nivel de seguridad del sistema. Así, se hace necesario definir la incertidumbre del estado del riesgo y la seguridad del sistema. Para ello el modelo fundado en la base de sus principios de sistema y naturaleza del riesgo, puede definir los elementos de incertidumbre y conocimiento del sistema en estudio. (Aven, 2011 (a) (b); Leveson, 2011 (a) (b); Moller & Hanson, 2008; Leveson, 2004)

Por otra parte, la definición tanto de la probabilidad, consecuencias y control de riesgos se analizan y se ingresan al MDR. Por un lado se considera un sistema estocástico el cual esta gobernado por el azar, y por otro lado esta incluida la visión del evaluador que es subjetivo, lo cual refuerza el conocimiento del sistema en estudio. (Aven, 2011 (a) (b); Creedy, 2011; Groth *et al.*, 2010; Aven, 2009 (b); Mosleh & Chang, 2004).

Particularmente, estos enfoques ayudan a realizar una mejor gestión sobre el sistema ya que al definir el riesgo se establecen los elementos que interactúan en el y su influencia en el estado del riesgo. O en su defecto los elementos que controlan el riesgo y por ende entregan el nivel de seguridad del sistema. Así, se clarifica el control y eficacia de la gestión en el sistema intervenido. (Aven, 2011 (a) (b); Leveson, 2011, Aven, 2009 (a) (b); Aven, 2008 (a) (b); Leveson, 2004)

El estado del riesgo de un sistema es multidimensional, por ende las variables y factores están definidas por esa característica, En la actualidad las nuevas teorías de sistemas socio-técnicos complejos pueden afrontar este desafío de representar el riesgo con una visión integral. La aplicación del modelo se sustenta en tres tipos de fuentes de información para establecer el estado de riesgo del sistema las cuales son: Históricas (estadísticas de ocurrencia, frecuencias, gravedad, etc.), las cualitativas y las cuantitativas (Leka *et al*, 2011, Jeerawongsuntorn *et al*, 2011; Antonioni *et al*, 2009) Un aporte relevante del modelo es que las fuentes son independientes entre si, para que la aplicación funcione. La característica multidimensional del modelo propuesto permite que este pueda evaluar el riesgo desde distintos enfoques por ejemplo: Salud, Seguridad, Medio Ambiente, Calidad, etc. (Aven, 2011 (a) (b); Creedy, 2011; Leveson, 2011; Khanzode *et al*, 2011; Torner, 2011; Aven, 2009 (a) (b); Aven, 2008 (a) (b); Marais *et al*, 2006; Leveson, 2004).

Un accidente o riesgo no solo se explica por la cadena de eventos, si no por todos los factores subyacentes que inciden en el. Dentro de las dimensiones que se deben considerar para realizar un análisis de riesgos, están los procesos productivos, los procesos operacionales, los procesos organizacionales y sociales. Comprender los procesos de comunicación y acoplamiento de estas dimensiones que interactúan y coexisten en el sistema, es vital para poder entender la efectividad de las medidas de control y la planificación de estas. (Bassetto *et al*, 2011; Leka *et al*, 2011; Celik *et al*, 2010; Kujath *et al*; 2010; Reniers *et al*, 2009) Con lo anterior el modelo representa también una metodología para realizar la investigación de un accidentes y poder analizar las variables y factores que incidieron en el evento investigado. (Aven, 2011 (a) (b); Levenson, 2011 ; Kujath *et al*, 2010 ; Aven, 2009 (a) (b); Aven, 2008 (a) (b); Marais *et al*, 2006; Leveson, 2004; Le Bot, 2004)

La definición del riesgo y estado de riesgo del sistema a través de los principios del modelo propuesto, permite visualizar no solo las interrelaciones que se pueden generar una vez definido el sistema, sino que permite identificar y entender las variables y factores que inciden en el cambio de estado de riesgo y en la dinámica del sistema. Esto permite generar proyecciones y escenarios de riesgos en el tiempo considerando el cambio de las variables y factores, esto con el valor agregado de identificar los factores que inciden en la gestión eficaz y eficiente del riesgo. El conocimiento de la dinámica ayuda al control y seguimiento de las variables y factores de riesgos que inciden en el estado. Por ende también se puede medir dinámicamente el desempeño de las medidas de control o mitigación que interviene en el sistema, como también la influencia e impacto sobre los distintos factores. (Ferjencik, 2011; Groth *et al*, 2010; Cozzani *et al*, 2005)

Dentro de los principales aportes del modelo se encuentra la definición del estado de riesgo del sistema, ya que por medio de sus principios permite estructurar e identificar sus variables y factores que lo constituyen, obteniendo una representación gráfica de sus niveles, dimensiones y las interrelaciones entre sus componentes. Esto presenta una ventaja respecto a otros modelos ya que considera el sistema, desde la concepción del evento, su modelación cuantitativa y la descripción del riesgo, entregando una visión holística del riesgo que se diferencia de los modelos actuales. Adicionalmente es capaz de integrar las visiones cuantitativas y cualitativas del sistema. (Bassetto *et al*, 2011; Øien *et al*, 2011 (a) (b), Truco *et al*, 2008 ; Hoivik *et al*, 2009)

La definición del estado de riesgo, se soporta desde la conceptualización matemática del modelo en el cual se presenta la relación entre sus variables P, C y Cr. Esto permite caracterizar el estado de riesgo de cualquier empresa, ya que el modelo se adapta a cualquier organización desde su estructura sistémica. El estado de riesgo o nivel de riesgo es representado por la variación de los factores que constituyen las variables que lo definen, y bajo el mismo enfoque aporta a describir el nivel de seguridad del sistema. A objeto de establecer el nivel de confiabilidad del riesgo estimado sería necesario incluir la incertidumbre como variable dentro del modelo. (Øien *et al*, 2011 (a) (b); Groth *et al*, 2010; Moller & Hanson, 2008 Aven, 2009 (a) (b) ; Samson *et al*, 2009; Kalantarnia *et al*, 2009)

Aunque el modelo requiere una gran cantidad de información, y esto pudiera influir por los costos asociados al levantamiento de esta, no es restricción para la aplicación del modelo ya que en su estructura y conceptualización presenta flexibilidad en su aplicación. Esto es posible ya que el modelo no solo caracteriza el riesgo sino que también visualiza la estructura del riesgo en la empresa. El impacto que puede generar la falta de datos se refleja en el nivel de incertidumbre del riesgo estimado. (Khanzode *et al*, 2011 ; Yan & Haines, 2010; Groth *et al*, 2010; Roed *et al*, 2009; Cozzani *et al*, 2005)

El modelo tiene la capacidad de adaptarse tanto a los requerimientos particulares de cada organización, como también a sus niveles de complejidad. En este escenario se puede ir direccionando el sistema intervenido hacia la mejora continua, por medio del enfoque dinámico del modelo, ya que se puede ir iterando e interrelacionando las variables y factores que estructuran y componen el modelo hacia el nivel de seguridad que necesita el cliente. Este enfoque se logra sustentar con la generación de indicadores de riesgos lo cuales se pueden generar del análisis de los elementos del sistema y sus correlaciones temporales. Así, se puede controlar y seguir el estado del sistema en el tiempo, como también analizar las medidas de mejoras y su influencia en el estado del sistema de riesgo. (Khanzode *et al*, 2011 ; Skogdalen *et al*, 2011 ; Podofillini *et al*, 2010; Flin, 2007)

Un hecho diferenciador es que el modelo adopta la variable Cr como independiente y a diferencia de lo descrito en la literatura donde no se considera explícitamente (Aven, 2011 (a) (b); Aven, 2009, Aven, 2008; Haines, 2009). En la implementación del modelo esto tiene relevancia ya que no solo se puede ver como se comportan la variables, si no que también ver los factores que influyen en su evolución. (Aven, 2011 (a) (b); Cowing *et al*, 2010; Aven, 2009 (a) (b); Cozzani *et al*, 2005).

La herramienta basa su funcionamiento desde los principios del modelo matemático. Primero se usan sus principios estructurales para definir el sistema y los elementos que lo componen en conjunto con sus interrelaciones, seguido de identificar los factores que inciden sobre las variables y posteriormente caracterizar el riesgo del sistema a través de su fórmula matemática. Este formulismo matemático es coherente con una visión holística del riesgo, sin perder la posibilidad de poder interrelacionar los factores relevantes que influyen en el comportamiento del estado del riesgo. Así, permite establecer la evolución del sistema. (Meng & Weng, 2011; Keren *et al*, 2010; Hoivik *et al*, 2009)

La herramienta es capaz de manejar una gran cantidad de información y datos, lo cual permite ingresar información desde las distintas dimensiones en la cual se estructura el sistema. Esto gracias a que una vez definido el sistema a estudiar la estructura por sí sola permite sistematizar la información. Además, la información que ingresa al modelo es de carácter cuantitativa y cualitativa enriqueciendo y aumentando el conocimiento del sistema en estudio (Leka *et al*, 2011, Jeerawongsuntorn *et al*, 2011; Tauseef, 2011; Chen *et al*, 2010). Para ello hay que considerar una metodología de integración de medición donde se pueda tener un híbrido de lo cuantitativo y cualitativo. En el contexto de que el modelo maneja una gran cantidad de información y una gran cantidad de factores que inciden en el comportamiento de las variables: P, C y Cr, el modelo no realiza ningún filtro y los incorpora en su totalidad, sin embargo sería posible realizar una serie de análisis estadísticos multivariados para seleccionar los factores de incidencia críticos que son los que más influyen en el comportamiento del sistema de riesgo. (Creedy, 2011; Meng & Weng, 2011; Skogdalen *et al*, 2011; Fan & Sun, 2010; Groth *et al*, 2010; Flin, 2007; Cowing *et al*, 2004; Cozzani *et al*, 2005)

El algoritmo que describe el funcionamiento de la herramienta es simple, luego, es viable de elaborar según las capacidades de programación en software actuales y además aprovechar la serie de avances tecnológicos como los sensores remotos y las ventajas de conectividad inalámbricas de Internet, para coleccionar datos cuantitativos y cualitativos en terreno y estos sean administrados en tiempo real en terreno. (Creedy, 2011; Fan & Sun, 2010; Kongsvik *et al*, 2010; Khan & Abbasi, 2000; Khan & Abbasi, 1999 (a) (b); Khan & Abbasi, 1998)

La aplicación de esta herramienta entrega al tomador de decisiones no solo información y proyecciones de riesgos si no que una fotografía actual de la estructura del sistema que está analizando. Por lo tanto, tiene la posibilidad de optimizar la eficacia de las decisiones al poder conocer los elementos del sistema que interactúan y que son de relevancia en el estado del riesgo. Se obtiene así, una gama de alternativas para realizar la toma de decisiones adaptándose a los niveles de complejidad presentes en su empresa. Esto hace que la herramienta sea flexible en su aplicación e implementación. (Kongsvik *et al*, 2010; Wu *et al*, 2010)

CONCLUSION

Las empresas en la actualidad, están inmersas en una complejidad donde se acoplan las dificultades de la operación, la estructura organizacional, los cambios sociales y las influencias del medio donde compiten y desarrollan. Para estos escenarios se necesitan nuevas estrategias para controlar los riesgos y una de estas es captar esta complejidad por medio de modelos matemáticos.

El modelo y herramienta propuesta presenta una visión y operación, diferente a los modelos utilizados actualmente para la gestión del riesgo, incorporando la variable Cr la cual ayuda a determinar un real estado del riesgo en la empresa estudiada y paralelamente el nivel de seguridad de esta.

El modelo es capaz de integrar y representar el sistema desde un punto vista cuantitativo y cualitativo, lo cual permite generar una relación matemática entre eventos y consecuencias, modelar el riesgo de forma cuantitativa y la describirlo.

El modelo por su constitución sistémica y holística puede establecer los riesgos de diferentes objetivos de estudio como: El medio ambiente, la seguridad, la salud ocupacional y la calidad.

Es necesario incluir en el modelo la variable incertidumbre para poder tener el grado de confiabilidad del modelo. Esto para que sea también considerado en la toma de decisiones.

La herramienta de gestión presenta una flexibilidad para su operación, en la cual puede incorporar mediciones cuantitativas y cualitativas.

En la herramienta es necesario considerar filtros estadísticos para seleccionar los factores de mayor incidencia en el comportamiento del sistema de riesgo, ante un eventual gran número de factores y esto aporte a una entropía de información.

La herramienta de gestión de riesgos basada en un MDR, tiene la capacidad de adaptarse a una serie de hardware periféricos para tomar datos e información de índole cuantitativa y cualitativa. Con la ventaja de poder realizar actualizaciones continuas y sistemáticas de información mejorando la eficacia de la herramienta y la gestión de riesgos.

En consecuencia:

A partir de las consideraciones teóricas dinámicas del estado de un sistema se logro elaborar una formulación matemática para representar el estado de riesgo del mismo.

El concepto de riesgo basado en las variables probabilidad, consecuencia y control del riesgo permite que sea aplicable en la dimensión medio ambiental y laboral.

REFERENCIAS

1. Abdolhamidzadeh, B. Abbasi, T. Rashtchian, D. Abbasi, S. 2010. Domino effect in process- industry accidents- An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the process industries*. doi:10.1016/j.jlp.2010.06.013. 1-19.
2. Ale, B. Baksteen, H. Bellamy, L. Bloemhof, A. Goossens, L. Hale, A. Mud, M. Oh, J. Papazoglou, I. Post, J. Whiston, J. 2008. Quantifying occupational risk: The development of an occupational risk model. *Safety science*. 46. 2. 176-185.

3. Ale, B.J.M. L.J, Bellamy. R.M, Cooke. Goossens, L.H.J. Hale, A.R. Roelen, A.L.C. Smith, E. 2006. Towards a causal model for air transport safety-an ongoing research project. *Safety Science*. 44. 657-673.
4. Antonioni, G. Spadoni, G. Cozzani, V. 2009. Application of domino effete quantitative risk assessment to an extended industrial area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 22. 614-624.
5. Arunraj, N. Maiti, J. 2009. A methodology for overall consequence modeling in chemical industry. *Journal of hazardous materials*. 169. 1-3. 556-574.
6. Attwood, D. Faisal, K. Veitch. 2006. Can we predict occupational accident frequency?. *Process safety and environmental protection*. 84. 3. 208-221.
7. Attwood, D. Faisal, K. Veitch. 2006. Occupational accident- Models- Where have we been and where are we going?. *Journal of Loss Prevention in the process industries*. 19. 644-682.
8. Aven, T. 2008. *Risk Analysis: Assessing Uncertainties beyond Expected Values and Probabilities*. John Wiley & Sons Ltda. Chichester. England.
9. Aven, T. 2009. Perspectives on risk in a decision- making context- Review and discussion. *Safety Science*. 47. 798-806.
10. Aven, T. 2011. On how to define, understand and describe risk. *Reliability engineering & System safety*. 95. 623-631.
11. Aven, T. 2011. On the new ISO guide on risk management terminology. *Reliability engineering & System safety*. 96. 719-726.
12. Aven, T. Korte, J. 2003. On the use of risk and decision analysis to support decision- making. *Reliability engineering & System safety*. 79. 3. 289-299.
13. Aven, T. Kristensen, V. 2005. Perspectives on risk: Review and discussion of the basis for establishing a unified and holistic approach. *Reliability engineering & System safety*. 90. 1. 1-14.
14. Barker, K. Haimes, Y. 2009. Assessing uncertainty in extreme events: Applications to risk-based decision making in interdependent infrastructure sectors. *Reliability Engineering and System Safety*. 94. 819-829.
15. Bartley, D., Melba, G., Subasinghe, R. 2006. A risk analysis framework for aquatic animal health management in marine stock enhancement programmes. *Fisheries Research*. 80. 28-36.
16. Bassetto, S. Siadat, A. Tollenaere, M. 2011. The management of process control deployment using interactions in risks analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 24. 458-465.
17. Bäte, O. P, Von Plato & Thallinger G. 2006. Stochastic Modelling-Boon or bane for Insurance Industry Capital Regulation?. *The Genova Papers*. 31.57-82.
18. Bijleveld, F. 2005. The covariance between the Lumber of accidents and the number of victims in multivariate analysis of related outcomes. *Accident analysis & Prevention*. 37. 4. 591-600.
19. Broker, P. 2006. Air Traffic Management accident risk. Part 1: The limits of

- realistic modelling. *Safety Science* 44. 419-450. (a)
20. Broker, P. 2006. Air Traffic Management accident risk. Part 2: Repairing the deficiencies of ESARR4. *Safety Science*. 44. 629-655. (b)
 21. Brown, I. 2006. Modelling future landscape change on coastal floodplains using a rule-based GIS. *Environmental Modelling & Software*. 21. 1479-1490.
 22. Carson, E. and C. Cobelli (Eds.), 2001. *Modelling Methodology for Physiology and Medicine*, Academic Press, San Diego, CA.
 23. Carter, D. Hirst, L. Maddison, T. Porter, S. 2003. Appropriate risk assessment methods for major accident establishments. *Process safety and environmental protection*. 81. 1. 12-18.
 24. Celik, M. Lavasani, S. Wang, J. 2010. A risk-based modeling approach to enhance shipping accident investigation. *Safety Science*. 48. 18-27.
 25. Chen, Z. Zhao, L. Lee, K. 2010. Environmental risk assessment of offshore produced water discharges using hybrid fuzzy-stochastic approach. *Environmental Modelling & Software*. 25. 782-792.
 26. Chourdhy, R. Fang, D. Mohamed, S. 2007. The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. *Safety Science*. 45. 993-1012.
 27. Cordero, C. Muñoz, J. Wiña, P. 2009. Measurement of machinery safety level in the European market: A real case based on market surveillance data. *Safety Science*. 47. 1351-1358.
 28. Cowing, M., Paté-Cornell, E., Glynn. 2004. Dynamic modeling of the tradeoff between productivity and safety in critical engineering systems. *Reliability engineering & System safety*. 86. 269-284.
 29. Cozzani, V. Gubinelli, G. Antonioni, G. Spadoni, G. Zanelli, S. 2005. The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *Journal of Hazardous Materials A* 17. 14-30.
 30. Creedy, G. 2011. Quantitative risk assessment: How realistic are those frequency assumptions?. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 24. 203-207.
 31. Deen, W. 1998, *Analysis of Transport Phenomena*, Oxford University Press, London.
 32. Dejoy, D. Della, L. Vandenberg, R. Wilson, M. 2010. Making work safer: Testing a model of social exchange and safety management. *Journal of Safety Research*. 41. 2. 163-171.
 33. Díaz-Cabrera, D. Hernández-Fernaud, E. Isla-Díaz, R. 2007. An evaluation of a new instrument to measure organisational safety cultural values and practices. *Accident Analysis and Prevention*. 39. 1202-1211.
 34. Dojo, Y, Park, K.-S. 2003. Dynamic management of human error to reduce total risk. *Journal of loss prevention in the process industries*. 16. 313-321.
 35. Dym, C. 1994. *Engineering Design: A Synthesis of Views*, Cambridge University Press, New York.

36. Dym, C., and E. S. Ivey. 1980. Principles of Mathematical Modeling, 1st Edition, Academic Press, New York.
37. Elvik, R. 2006. Laws of accident causation. Accident Analysis & Prevention. 38. 742-747.
38. Ersdal, G. Aven, T. 2008. Risk Informed Decision-Making and its ethical basis. Reliability engineering & System safety. 93. 2. 197-205.
39. Fan, H., Sun, X. 2010. A multi-state reliability evaluation model for P2P networks. Reliability engineering & System safety. 95. 402-411.
40. Ferjencik, M. 2011. An integrated approach to the analysis of incident causes. Safety Science. 49. 886-905.
41. Giraldo, A., SanJurjo, J. 2003. Teoría de la forma y sistemas dinámicos II. Proyecto BFM 2003-00825. Departamento de matemática aplicada, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
42. Groth, K. Wang, C. Mosleh, A. 2010. Hybrid causal methodology and software platform for probabilistic risk assessment and safety monitoring of socio-technical systems. Reliability Engineering and System Safety. 95. 1276-1285
43. Haimes, Y. 2009. Risk modeling, assessment, and management. John Wiley & Sons Ltda. New Jersey. USA.
44. Harrison, D. Legendre, Denis. 2003. Technological innovations, organizational change and workplace accident prevention. Safety Science. 41. 319-338.
45. He, X. Chen, W. Nie, B. Zhang, M. 2010. Classification technique for danger classes of coal and gas outburst in deep coal mines. Safety science. 48. 2. 173-178.
46. Hoivik, D. Tharaldsen, J. Baste, V. Moen, B. 2009. What is most important for safety climate: The company belonging or the local working environment?- A study from the Norwegian offshore industry. Safety Science. 47. 1324-1331.
47. Hovden, J. Albrechtsen, E. Herrera, I. 2010. Is there a need for new theories, models and approaches to occupational accident prevention?. Safety Science. 48. 950-956.
48. Hsieh, T. Wang, T. 2010 . A mining-based approach on discovering courses pattern for constructing suitable learning path. Expert systems with applications. 37. 6. 4156-4167.
49. ISO, 2000. "Norma Internacional ISO 9001:2000(Traducción certificada). Sistemas de Gestión de Calidad-Requisitos". Impreso en Suiza. 34 pp.
50. ISO, 2001. Orientación acerca del enfoque basado en los procesos para los sistemas de gestión de calidad, Documento: ISO/TC176/SC 2/N 544R. Traducción aprobada el 2001-05-31. 12 pp.
51. Jeerawongsuntorn, C. Sainyamsatit, N. Srinopahkun, T. 2011. Integration of safety instrumented system with automated HAZOP analysis: An application for continuous biodiesel production. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 24. 412-419.

52. Johansen, O. 1989, *Introducción a la Teoría General de Sistemas*, Limusa, México.
53. Jovero, E. Luyando, J. 2006. La dinámica compleja no lineal en modelos keynesianos. *Analisis Economicos*. 48 (XXI). Tercer Cuatrimestre del 2006.
54. Kalantarnia, M. Khan, F. Hawboldt, K. 2009. Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 22. 600-606.
55. Kang, K. Jae, M. 2005. A quantitative assessment of LCOs for operations using system dynamics. *Reliability engineering & System safety*. 87. 2. 211-222.
56. Keren, N. Millis, T. Freeman, S. Shelly, M. 2009. Can level safety climate predict level of orientation toward safety in a decision making task? *Safety Science*. 47. 1312-1323.
57. Khan, F. Abbasi, S. 1998. Rapid quantitative risk assessment of a petrochemical industry using a new software Packaged MAXCRED. *Journal cleaner production*. 6. 9-22.
58. Khan, F. Abbasi, S. 1999. HAZIG: a new software package for assessing the risks of accidental release of toxic chemicals. *Journal of loss prevention in the process industries*. 12. 167-181. (a)
59. Khan, F. Abbasi, S. 1999. MAXCRED – a new software package for rapid assessment in chemical process industries. *Environmental Modelling & Software*. 14. 11-15. (b).
60. Khan, F. Abbasi, S. 2000. TORAP – a new tool for conducting rapid risk-assessments in petroleum refineries and petrochemical industries. *Applied Energy*. 65. 187-210.
61. Khanzode, V. Maiti, J. Ray, P. 2011. A methodology for evaluation and monitoring of recurring hazards in underground coal mining. *Safety Science*. 49. 1172-1179.
62. Kongsvik, T. Almklov, P. Fenstad, J. 2010. Organisational safety indicators: Some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach. *Safety Science*. 48. 1402-1411.
63. Kujath, M. Amyotte, P. Khan, F. 2010. A conceptual offshore oil and gas process accident model. *Journal of loss prevention in the process industries*. 23. 2. 323- 330.
64. Le Bot, P. 2004. Human reliability data, human error and accident models-illustration through the Three Mile Island accident analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. 83. 153-167.
65. Lee, W. 2006. Risk assessment modeling in aviation safety Management. *Journal of air transport Management*. 12. 5. 267-273.
66. Leka, S. Jain, A. Widerszal-Bazyl, M. Zolnierczyk-Zreda, D. Zwiersloot, G. 2011. Developing a standard for psychosocial risk management: PAS 2010. *Safety Science*. 49. 1047-1057.

67. Levenson, N. 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Safety science*. 42. 4. 237-270.
68. Levenson, N. 2011. Applying systems thinking to analyze and learn from events. *Safety Science*. 49. 55-64. (a)
69. Leveson, N. 2011. *Engineering a Safer World. Systems Thinking Applied to Safety*. Aeronautics and Astronautic and Engineering Systems Division. Massachusetts Institute of Technology. 463 pp. (b)
70. Li, P., Chen, G., Dai, L. Zhang, L. 2010. Fuzzy logic-based approach for identifying the risk importance of human error. *Safety science*. 48. 7. 902-913.
71. Marais, K. Saleh, J. Levenson, N. 2006. Archetypes for organizational safety. *Safety Science*. 44. 565-582.
72. Meng, Q. Weng, J. 2011. A Genetic algorithm approach to assessing work zone casualty risk. *Safety Science*. 49. 1283-1288.
73. Mengolini, A. Debarberis, L. 2007. Effectiveness evaluation methodology for safety processes to enhance organizational culture in hazardous installations. *Journal of Hazardous Materials*. 155. 1-2. 243- 252.
74. Mohaghegh, Z. Kazemi R. Mosleh, A. 2009. Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment (PRA) of complex sócio-technical systems: a hybrid technique formalization. *Reliability engineering & System safety*. 94. 5. 1000-1018.
75. Mohaghegh, Z. Mosleh, A. 2009.2 Measurement techniques for organizational safety causal models: Characterization and suggestions for enhancements. *Safety science*. 47. 10. 1398-1409.
76. Mohaghegh, Z., Mosleh, A. 2009.1 Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment of complex socio-technical systems: Principles and theoretical foundations. *Safety science*. 47. 8. 1139-1158.
77. Mojtahedi, S.M. Mousavi, S. M. Makui, A. 2010. Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute Group decesion making tchnique. *Safety science*. 48. 4. 499-507.
78. Molak, V.1997. *Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management*. Primera edición, Lewis Publishers. Cincinnati, Ohio, Estados Unidos de América.
79. Moller, N. Hansson, S. 2008. Principles of engineering safety: Risk and uncertainty reduction. *Reliability Engineering and System Safety*. 93. 776-783.
80. Moriyama, T. Ohtani, H. 2009. Risk assessment tools incorporating human error probabilities in the Japanese small-sized establishment. *Safety science*. 47. 10. 1379-1397.
81. Mosleh, A. Chang, Y. 2004. Model-based human reliability analysis: prospects and requirements. *Reliability Engineering and System Safety*. 83. 241-253.
82. Münkemüller, T. Johst, K. 2006. Compensatory versus over-compensatory density regulation: Implications for metapopulation persistence in dynamics landscapes. *Ecological Modelling*. 197.

83. Øien, K. Utne, I. Herrera, I. 2011. Building safety indicators: Parte 1- Theoretical foundation. *Safety Science*. 49. 148-161.
84. Øien, K. Utne, Timmnsviks, R. Massaiu, S. 2011. Building safety indicators: Parte 2- Application, practices and results. *Safety Science*. 49. 162-171.
85. Podofillini, L., Zio, E., Mercurio, D., Dang, V. 2010. Dynamic safety assessment: Scenario identification via possibilistic clustering approach. *Reliability engineering & System safety*. 95. 534-549.
86. Ramli, A. Watada, J. Pedrycz, W. 2011. Possibilistic regression analysis of influential factors for occupational health and safety management systems. *Safety Science*. 49. 1110-1117.
87. Rasmussen, J. 1997. Risk management a dynamic society: A modeling problem. *Safety Science*. 27.(2). 183-213.
88. Rasmussen, J., Svedung, I. 2000. Proactive risk management in a dynamic Society. First edition. Räddningsverket Swedish rescue services agency. Karlstad. Sweden. 160 pp.
89. Reiman, T. Oedwald, P. 2007. Assessment of complex sociotechnical systems- Theoretical issues concerning the use of organizational culture and organizational core task concepts. *Safety Science*. 45. 745-768.
90. Reniers, G. Ale, B. Dullaert, W. Soudan, K. 2009. Designing continuous safety improvement within chemical industrial areas. *Safety Science*. 47. 578-590.
91. Roed, W., Mosleh, A., Vinnem, J., Aven, T. 2009. On the use of the hybrid causal logic method in offshore risk analysis. *Reliability engineering & System safety*. 94. 445-455.
92. Rosqvist, T. Touminem, R. 2004. Qualification of formal safety assessment: an Exploratory study. *Safety science*. 42. 2. 99-120.
93. Rouhiainen, V. Gunnerhed, M. 2002. Development of international risk analysis standards. *Safety science*. 40. 1-2. 57-67.
94. Sari, M. Selcuk, A. karpuz, C. Sebnem, H. Duzgun, B. 2009. Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey. *Safety science*. 47. 1. 78-87.
95. Shakioye, S. Haight, J. 2010. Modeling using dynamic variables- An approach for desing of loss prevention programs. *Safety science*. 48. 1. 46-53.
96. Skogdalen, J. Utne, I. Vinnem, J. 2011. Developing safety indicators for preventing offshore oil and gas deepwater drilling blowouts. *Safety Science*. 49. 1187-1199.
97. Slattery, J. 1999. *Advanced Transport Phenomena*, Cambridge University Press, Cambridge.
98. Sorensen, J. 2002. Safety culture: a survey of the state-of-the art. *Reliability engineering & System safety*. 76. 2. 189-204.
99. Specht, M. Chevreau, R. Demis-Rémis, C. 2006. Dedicating management to Cultural Processes: Towaard a Human Risk Management System. *Journal of*

Risk Research. 9 (5). 525-542.

100. Stroeve, S. Sharpanskykh, A. Kirwan, B. 2011. Agent-based organizational modeling for analysis of safety culture at an air navigation service provider. *Reliability engineering & System safety*. 96. 515-533.
101. Suddle, S. 2009. The weighed risk analysis. *Safety science*. 47. 5. 668-679.
102. Svedung, I. Rasmussen, J. 2002. Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents. *Safety Science*. 40. 397-417.
103. Swuste, P. Van Gulijk C. Zwaard, W. 2010. Safety metaphors and theories, a review of the occupational safety literature of the US, UK and The Netherlands, till the first part of the 20 century. *Safety Science*. 48. 1000-1018.
104. Tauseef, S. Abbasi, T. Abbasi, S. 2011. Development of a new chemical process-industry accident database to assist in past accident analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 24. 426-431.
105. Tiemeyer, B. Lennarz, B & Vegelin, K. 2006. Hydrological modelling of a rewetted peatland on the basis of a limited dataset for water management. *Journal of Hydrology*. 325. 376-389.
106. Torner, M. 2011. The “social-physiology” of safety. An integrative approach to understanding organizational psychological mechanism behind safety performance. *Safety Science*. 49. 1262-1269.
107. Trucco, P. Cagno, E. Ruggeri, F. Grande, O. 2008. A Bayesian Belief Network modeling of organizational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*. 93. 823-834.
108. Wu, T. Lin, C. Shiao S. 2010. Predicting safety culture: The roles of employer, operations manager and safety professional. *Journal of Safety Research*. 41. 423-431.
109. Yan, Z. Haimes, Y. 2010. Cross-classified hierarchical Bayesian models for risk-based analysis of complex systems under sparse data. *Reliability Engineering and System Safety*. 95. 764-776.