

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA INGENIERÍA DE RIESGOS SECTOR AGROINDUSTRIAL. UN ENFOQUE TRANSCOMPLEJO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA MATEMÁTICA BORROSA

EVALUATION METHODS IN RISK ENGINEERING AGROINDUSTRIAL SECTOR. A TRANSCOMPLEX APPROACH FROM THE PERSPECTIVE OF FUZZY MATHEMATICS

Luis Enrique Vergara Montero ¹

 <https://orcid.org/0000-0001-9061-7116>

RESUMEN

La revisión de los métodos de evaluación de la ingeniería de riesgos en empresas del sector agroindustrial, develan que detrás de todo proyecto, debe existir un planteamiento formal que permita identificar los riesgos, a fin de facilitar la toma de decisiones preventivas de los efectos causados por eventos no deseados o posibles catástrofes. Se estudiaron los siguientes elementos: ingeniería de riesgos y filosofía del diseño seguro, métodos de evaluación de riesgos, transcomplejidad y matemática borrosa. El estudio uso técnicas tanto cualitativas como cuantitativas, con base a la investigación documental y apoyo matemático. Se apoya en la consulta de tres (3) informantes claves, conformados por un experto en seguridad, un (1) especialista en ingeniería de riesgos y un gerente de ingeniera de riesgos. Se concluye que, en las empresas del sector agroindustrial, utilizan métodos de evaluación cualitativo y en algunos casos cuantitativos para identificar los riesgos, por lo que deberían considerar incorporar en sus proyectos, estrategias con énfasis en la transcomplejidad y en la matemática borrosa, que impliquen una posibilidad con énfasis en la administración transcompleja de los riesgos.

Palabras Clave: Evaluación, Ingeniería de Riesgos, Sector Agroindustrial, Transcomplejidad, Matemática Borrosa.

ABSTRACT

The review of risk engineering assessment methods in companies in the agroindustrial sector reveals that behind every project, there must be a formal approach that allows risks to be identified, in order to facilitate preventive decision-making of the effects caused by unwanted events or possible catastrophes. The following elements were studied: risk engineering and safe design philosophy, risk assessment methods, transcomplexity and fuzzy mathematics. The study used both qualitative and quantitative techniques, based on documentary research and mathematical support. It is supported by the consultation of three (3) key informants, made up of a security expert, one (1) risk engineering specialist and a risk engineering manager. It is concluded that, in the companies of the agro-industrial sector, they use qualitative and, in some cases, quantitative evaluation methods to identify risks, so they should consider incorporating in their projects, strategies with an emphasis on transcomplexity and fuzzy mathematics, which imply a possibility with an emphasis on cross-complex risk management.

Keywords: Evaluation, Risk Engineering, Agroindustrial Sector, Transcomplexity, Fuzzy Mathematics.

¹ Petróleos de Venezuela, S.A.
Postdoctorante Universidad Yacambú
Lara - Venezuela.
Correo: luisevergaram@gmail.com

INTRODUCCION

Las organizaciones líderes a nivel nacional e internacional, altamente diferenciada por sus prácticas preventivas y una consolidada cultura en materia de seguridad, han desarrollado esquemas y diseños para enfrentar los cambios que se gestan en el mundo, en donde se verifican día a día transiciones en la cultura organizacional, cuya administración cobra vertiginosamente mayor velocidad, dificultando la capacidad de respuesta en las organizaciones que no estén preparadas y en peores caso anulando cualquier intención de supervivencia en las que no asuman sus roles, desde una concepción y perspectiva sistémica del mundo globalizado.

Por lo anteriormente expuesto, desde la perspectiva de la ingeniería de riesgos y la filosofía del diseño seguro, considerando su principal esencia, concepción técnica, operacional, estratégica y estructural, es importante establecer una guía de orientación a las empresas del sector agroindustrial, pudiendo plantearse soluciones en torno a poder dar respuesta a la posible ocurrencia de eventos no deseados y sus consecuentes acciones de emergencia y mitigación.

Al respecto, con la finalidad académica de ofrecerle a las empresas del sector en referencia, una visión aplicativa, reducir sus márgenes de posibles pérdidas traducidas como valor agregado para con la productividad, esta investigación se plantea como objetivo revisar los métodos de evaluación en ingeniería de riesgos (MEIR), a fin de conocer su utilidad en el sector agroindustrial, como una concepción de equipo transdisciplinario, más allá de lo tradicional y cotidiano para enfrentar las amenazas tanto de la naturaleza, así como las implícitas en un mundo transcomplejo, pleno de nuevas tecnologías y tendencias, por lo que se considera en esta oportunidad la inclusión de la matemática borrosa como herramienta de diferenciación en la toma de decisiones, teniendo en cuenta su versatilidad y los nuevos esquemas de administración preventiva que se pueden plantear con la ayuda de la misma.

Considerando las crecientes amenazas implícitas en los procesos de cambios en los diferentes ámbitos de negocios, se plantea la necesidad, en que las empresas, adopten y desarrollen las mejores prácticas y experiencias en materia de ingeniería de riesgos y diseño seguro, impulsadas por las mejores prácticas de organizaciones con alto desempeño y consolidada cultura preventiva, por lo que el trabajo se realiza en tres importantes aspectos básicos para su desarrollo, enmarcados en la ingeniería de riesgos, el diseño seguro y los MEIR según su pertinencia como puntos de quiebre para entrar en el aspecto de cierre de la investigación referido a la transcomplejidad y a la perspectiva de la matemática borrosa como base para nuevas propuestas innovadora ante la problemática del control de riesgos incluyendo riesgos mayores o posibles catástrofes.

ESTUDIOS PREVIOS O ANTECEDENTES

La revisión del estado del arte, permitió acceder a una panorámica preliminar bajo la forma de visualización de los aspectos ontológicos, epistemológicos y metodológicos, cuan complemento inicial de la cosmovisión de apoyo a la reflexión y discernimiento en el estudio y contextualización de los aspectos inherentes a los métodos de evaluación de la ingeniería de riesgos en el sector agroindustrial y su enfoque transcomplejo desde la perspectiva de la matemática borrosa. Todo este proceso de investigación previo fortaleció la posición filosófica y metodológica de los aspectos antes mencionados. A continuación, se hace referencia a ellos.

La búsqueda de precedentes de investigación vinculados al tema permitió visualizar los aportes epistemológicos, ontológicos y metodológicos. Luego de una exhaustiva indagación documental, dada la escasa bibliografía vinculada al perfil de la temática, se citan los siguientes trabajos en el área de Seguridad e Higiene Ocupacional e Ingeniería de Riesgos:

Se consultó una Tesis Doctoral, de la Universidad de Carabobo en Venezuela, realizada por Pastrano (2016) para optar al

Grado de título de Doctor en Ciencias Sociales, mención estudios de la Salud y Sociedad, explica la subutilización de la Salud Ocupacional como una alternativa preventiva para preservar la salud de los actores laborales. Esta investigación tuvo como objetivo el generar una propuesta teórica de adiestramiento como alternativa preventiva de los recursos humanos, con referencia para empresas públicas y privadas del sector manufacturero carabobeño y énfasis en la gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional. La investigación doctoral en referencia permitió un análisis reflexivo de la realidad estudiada de acuerdo a los objetivos planteados y presentación de la propuesta que, fundamentada en principios y lineamientos de la salud ocupacional, por lo que se podrán diseñar programas de adiestramiento para aportar conocimientos en seguridad y Salud Ocupacional orientados a la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales.

Se indago en una Tesis Doctoral de la universidad Simón Bolívar, realizada por Cárdenas (2015), quien presentó un trabajo titulado Métodos de Prevención en el proceso de Gammagrafía Industrial: propuestas de reducción de riesgo, a fin de optar al título de Doctor en Ciencias, en donde el objetivo general, fue desarrollar métodos de reducción de riesgo en el proceso de gammagrafía industrial, que sean de mayor efectividad, y sean factibles desde un punto de vista de costo-beneficio, para la prevención de posibles afecciones a los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOES) y público en general.

El trabajo permitió el desarrollo de diversos métodos de prevención en el proceso de gammagrafía industrial, con el objeto de reducir el nivel de riesgo ocupacional. Las inferencias de los resultados presentados, generó diversas conclusiones entre las que destacan la reducción del nivel de riesgos, propuesta de plan de emergencias radiológicas, efectividad del sistema de rastreo móvil de fuentes radiactivas, cálculo de la dosis absorbida en órganos y tejidos, la propuesta de modelo de auditoría, al proceso de gammagrafía industrial, y la propuesta del comité de protección radiológica.

En un trabajo de categoría doctoral desarrollado en la Universidad Central de Venezuela por Narvaez (2012), titulado Modelo para el estudio de la Seguridad Alimentaria: caso Venezuela, quien presentó esta investigación para optar al título de Doctor en Estudios del Desarrollo, cuyo objetivo fue la elaboración de un modelo para el estudio de la seguridad alimentaria, con aplicación al caso Venezuela. El análisis se basa en las garantías que deberían existir para el suministro eficiente y el acceso oportuno a los alimentos, para así asegurar la satisfacción de las necesidades alimentarias y nutricionales de la población. Se concluye que, para el avance de políticas eficientes en cuanto a la seguridad alimentaria en cualquier territorio, es necesario estudiar el problema con un enfoque teórico, en este caso un modelo, que implique el uso de la matemática borrosa y líneas que giren en torno a un esquema de seguridad, que permita vislumbrar distintas realidades, cuya complejidad requiere la conformación de equipos de trabajo con la participación de expertos que representen a los sectores vinculados.

En el ámbito internacional, se cita el trabajo de Tesis Doctoral, realizado por Camacho (2017), en la universidad de Sevilla en España, titulado análisis de la integración de la prevención de riesgos laborales (PRL) en empresas del sector de la construcción en España, para optar al título de Doctor en construcciones arquitectónicas. El objetivo principal de la tesis doctoral fue conocer el estado actual de la integración de la prevención de riesgos laborales en las empresas de la construcción a nivel nacional, estableciendo que factores determinan que una empresa tenga un mayor grado de integración de la PRL dentro de su sistema de gestión empresarial. Es por ello que todo el análisis desarrollado para conseguir este objetivo se realiza sobre la gestión de la empresa.

En este trabajo se concluye que es necesario abordar estrategias que permitan implementar un mayor grado de integración de la PRL en las empresas, lo cual redundaría en una mayor seguridad de los trabajadores y disminución de

los índices de siniestralidad del sector de la construcción. Su información es clave para conseguir una efectiva integración de la prevención de riesgos laborales dentro de las empresas de la construcción, independiente del tamaño de las mismas.

Se cita una tesis doctoral de la Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle de Lima, Perú, presentada por Segovia (2018) titulada: La cultura preventiva, gestión de seguridad y la salud ocupacional de los docentes en las instituciones educativas de la RED 03, UGEL N° 05 de San Juan de Lurigancho 2017, para optar al título de Doctor en Ciencias de la Educación.

Al respecto la investigación tuvo como objetivo general determinar el grado de relación que existe entre la cultura preventiva, la gestión de seguridad y la salud ocupacional de los docentes de las instituciones educativas de la RED 03, UGEL N° 05 de San Juan de Lurigancho 2017. En consecuencia, el estudio se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, siendo el tipo de investigación básica, fundamental, con un diseño descriptivo correlacional transeccional. Se concluyó que: existe una relación directa y significativa entre cultura preventiva, gestión de seguridad y salud ocupacional de los docentes en las instituciones educativas, presentándose la necesidad de impartir información sobre las variables y sensibilización a la población laboral para promover la cultura preventiva a todo trabajador y las direcciones escolares deben considerar en su planes de gestión: políticas para la gestión de prevención de riesgos laborales, así lograr una cultura organizacional eficiente en las instituciones educativas de gestión pública.

VISLUMBRANDO LOS REFERENTES TEÓRICOS

Los nuevos paradigmas mundiales en materia de gerencia de riesgos, implican formalidades, prácticas y aspectos técnicos, que permiten poder administrar una creciente complejidad global con su consecuente incremento de riesgos manifiestos y encubiertos, en una transición y búsqueda de competitividad bajo una

concepción dinámica orientada hacia los escenarios futuros. (Vergara, 2015). Según RT en español (2013), toda la actividad preventiva implícita en ello, ha ido cobrando mayor vigencia, a raíz de los desastres de origen tecnológico, como fueron los siniestros ocurridos en Fukushima en el año 2011, y unos 25 años antes en Chernóbyl, y Bhopal en 1984, los cuales según la lista de la revista Time sobre los 10 peores desastres de la historia, están en primer y segundo lugar, Cruz (2010).

De acuerdo con estimaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2018), cada año alrededor de 317 millones de personas son víctimas de accidentes del trabajo en todo el mundo y 2,34 millones de personas mueren debido a accidentes o a enfermedades profesionales. La OIT (op.cit.), considera que la prevención es clave para mejorar la salud y seguridad en el trabajo y se ha planteado la importancia de lograr que las estrategias para evitar accidentes y enfermedades laborales sean reforzadas con un diálogo social que involucre a gobiernos y a organizaciones de empleadores y de trabajadores.

La OIT (op.cit.), explica que en la región de las Américas hay desafíos importantes relacionados con salud y seguridad. Las cifras disponibles indican que se registran 11,1 accidentes mortales por cada 100.000 trabajadores en la industria, 10,7 en la agricultura, y 6,9 en el sector de los servicios. Algunos de los sectores más importantes para las economías de la región, como minería, construcción, agricultura y pesca, figuran también entre aquellos en los cuales se produce la mayor incidencia de accidentes.

En el caso de Venezuela, se puede hacer referencia principalmente a tres eventos de gran magnitud en el historial de accidentes catastróficos en la industria eléctrica, petrolera y de tipo catástrofe natural, sobre este aspecto El Universal (citado por Entorno Inteligente, 2015), reseña que un 19 de diciembre de 1982, se produjo lo que el país bautizó como la Tragedia de Tocoa, en el estado Vargas. Los tanques 8 y 9 del Complejo Ricardo Zuloaga, (ahora llamado Josefa Joaquina Sánchez, esposa del prócer

varguense José María España), explotaron causando un siniestro de gran magnitud que destruyó todo a su paso. El saldo arrojado fue de 160 fallecidos, entre ellos 49 bomberos y 8 periodistas, 500 viviendas destruidas, cientos de vehículos calcinados y un recuerdo que marcó la vida de miles de personas.

Otro accidente de gran envergadura y de data más reciente, muy a pesar de la existencia de protocolos formales de seguridad de muy alto nivel, ocurrió en Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA) el 25 de agosto del año 2012, en donde tuvo lugar un accidente en el Centro de Refinación Paraguaya, debido a una explosión en la Refinería de Amuay, la cual fue causada según Esteban (2012), por la ignición de una nube de gas creada por un escape incontrolado de Olefinas, originando importantes pérdidas humanas y materiales. Finalmente se reseña la tragedia de Vargas en 1999, denominada también como el *desastre de Vargas*, es como se le conoce al conjunto de deslaves, corrimientos de tierras e inundaciones ocurridas en las costas caribeñas de Venezuela, ocurridos en el estado Vargas (La Guaira).

En consecuencias por los accidentes y desastres naturales acontecidos con anterioridad, visualizando diversos escenarios de aplicabilidad en el contexto de la Ley de Gestión Integral de Riesgos, Socio Naturales y Tecnológicos (2009), es importante comentar que la prevención implica revisar con detalle todos los conceptos que van a representar desde el punto de vista de diseño e ingeniería a los elementos coadyuvantes y estructurantes de un sistema de prevención como insumos estratégicos para la sinergia preventiva (Vergara, 2009).

En el caso de empresas de carácter agroindustrial, más allá del enfoque de seguridad básica o de corte tradicional prevaleciente en este tipo de organización, se busca orientar la prevención desde el diseño en ingeniería, leyes, normas y procedimientos técnicos, los cuales deben ser estar presentes en todas las etapas de un proyecto, desde la misma visualización, e incluso desde la perspectiva de la arquitectura organizacional, la cual según Franco (2011) es

definida como el diseño conceptual y la estructura operacional fundamental de un sistema, la misma en el campo de las organizaciones se constituye como modelo y descripción funcional de los requerimientos bases para los elementos de la constitución organizacional, sus dimensiones y relaciones, con especial interés en la forma en que se estructuran y trabajan internamente.

Tales aspectos operacionales, técnicos y administrativos, podrían aportar importantes elementos de juicios para la toma de decisiones, a fin de evaluar las causas raíces de los accidentes, sus implicaciones y establecer criterios de aceptabilidad para una objetiva administración y control de riesgos. Sin embargo, al introducirse en el tema, en la búsqueda de conceptos referenciales prácticos inherentes a métodos utilizados en el sector en referencia (agroindustrial), emerge una apreciación de Saari (2001), quien explica que las teorías existentes son de naturaleza conceptual y como tal su aplicación en la prevención y en el control de accidentes es limitada.

En correspondencia con lo antes expuesto, en la agroindustria tradicionalmente se han utilizado modelos referentes como, por ejemplo: modelo basado en la teoría del dominó; modelo del error humano; modelo del homeóstasis del riesgo; modelo de desviación de accidentes y modelo de seguridad basado en comportamientos, entre otros. Los mismos son bases fundamentales para la administración y organización de la seguridad, pero dada su esencia cualitativa, no constituyen una referencia especializada en función a la problemática en materia de ingeniería preventiva.

Sobre este aspecto Esteban (2018), profesional reconocido en el ámbito nacional e internacional, explica que las empresas agroindustriales, debido a su menor impacto, basan su seguridad en planes y programas básicos. Solo aquellas que, por su elevada cultura preventiva, dinámica operacional, niveles de riesgos y fuerte nivel de posicionamiento en los mercados, incorporan las

variables de prevención en sus diseños de ingeniería considerando los métodos de evaluación en sus diferentes modalidades.

Plantea que desde el punto de vista internacional estos asuntos han sido abordados por empresas de gran magnitud tales como las petroleras, químicas, metalmecánicas y reaseguradoras a través de modelos que trabajan aisladamente y para ser más específicos dirigido principalmente a la prevención de accidentes, unos pocos con énfasis en el método PROBIT, que en esencia es un modelo de vulnerabilidad estadístico que plantea una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo. Godayol (2013), infiere que las ecuaciones para el análisis PROBIT, no ha sido desarrollado para el riesgo medioambiental.

Ingeniería de riesgos y filosofía del diseño seguro

En materia de prevención, los diseños, los controles y cualquier medida de protección no cobrarían vigencia, si carecen de bases tecnológicas. Según Guillén y Bordonos (2014), la ingeniería de riesgos, es una rama de la ingeniería especializada en el análisis, diseño e implementación de sistemas orientados a la minimización de los peligros en los procesos industriales. La disciplina tiene su sustento en bases científicas y tecnológicas, cuyo objetivo es evitar la ocurrencia de accidentes con afectación al personal e instalaciones. Plantea Zambrano (2008), que la aplicación integral de los estudios de ingeniería de control de riesgos permite identificar los peligros en fases tempranas y seleccionar tecnologías intrínsecamente seguras.

La Ingeniería de Prevención de Riesgos, es un concepto que es utilizado estratégicamente por empresas aseguradora como es el caso de Zurich (2014), quienes explican que, en la actualidad, las grandes y las medianas empresas se preocupan no sólo por resguardar la integridad física de sus empleados, sino también por cuidar que el lugar de trabajo cumpla con los requisitos necesarios para el óptimo desempeño laboral. Ramos y Santos (2012), explican que las leyes y

demás normativa técnica de referencia, los estándares de diseño y la experiencia acumulada son avales importantes para conseguir altos niveles de seguridad en el diseño e ingeniería de las grandes instalaciones industriales de almacenamiento y procesamiento de sustancias con características peligrosas, como pueden ser refinerías, petroquímicas, almacenamiento y regasificación. Es importante señalar que, no obstante, a pesar de cumplir con la normativa en toda su extensión, las instalaciones industriales llevan asociadas un cierto nivel de riesgos.

La existencia de dichos riesgos obliga a que en las empresas se adopten criterios tanto en el diseño de las instalaciones y equipos como en la adopción de medidas de seguridad, con objeto de, por un lado, reducir al máximo la probabilidad de ocurrencia de un incidente y, por otro, minimizar las consecuencias asociadas al mismo. Asimismo explican Ramos y Santos (op.cit.), que hay características específicas de cada proyecto, como pueden ser el espacio disponible para la implantación de las instalaciones o las condiciones ambientales particulares de la zona, que influyen en las condiciones de seguridad de las instalaciones y que hacen necesario utilizar herramientas adicionales para aumentar los niveles adecuados de seguridad, evitando en la medida de lo posible que se materialicen los riesgos asociados a cada actividad. De allí las bases preliminares para el proceso de diseño seguro.

Por tanto, los niveles de seguridad deben ser definidos y asumidos por la propiedad del proyecto desde el mismo momento del lanzamiento de la idea en función de las características del propio proyecto. Las instalaciones deben diseñarse de manera que se reduzca al mínimo el riesgo tanto en el interior como en el exterior de las mismas, para lo cual debe realizarse un análisis exhaustivo en todas las fases del proyecto de las posibles situaciones generadoras de riesgos. Este enfoque según la norma IR-S-01 de PDVSA (2013) “Filosofía del Diseño Seguro” establece como buena práctica de ingeniería el uso conjunto de las normas de diseño y seguridad, criterios de diseño por capas de prevención y estudios de riesgos, para obtener

instalaciones con el menor nivel de riesgo posible.

Sobre el particular, Torres (2015) Ingeniero Agroindustrial especialista en Seguridad Industrial e Ingeniería de Riesgos, partiendo del análisis de la norma PDVSA IR-S-01 (op.cit.), explica que bajo la premisa de un diseño seguro, existen sistemas activos y pasivos de protección, por lo que la seguridad de los procesos descansa en la provisión de capas múltiples de defensa, las cuales comienzan con el diseño del proceso e incluyen el sucesivo establecimiento de sistemas de control, alarmas, sistemas de protección automáticos, sistemas de seguridad y mitigación y planes de respuesta a emergencias y contingencias. Agrega la informante clave, que en las empresas agroindustriales no se verifican estudios de seguridad a profundidad cuantificando los riesgos, solo se identifican utilizando por lo general métodos cualitativos. Adicionalmente Torres (op.cit.), afirma que estas capas deben ser diseñadas de forma tal que la falla de una de estas pueda ser cubierta por la siguiente. Un diseño inherentemente seguro está dirigido a la primera capa, es decir, al diseño del proceso. La primera línea de defensa es diseñar un proceso en el cual no ocurran accidentes, o en caso de que ocurran sus efectos sean mínimos. En la medida de que esto se logre se disminuirá la necesidad de proveer capas de seguridad adicionales.

Métodos de evaluación de la ingeniería de riesgos en el sector agroindustrial

Sus bases establecen a partir de los estudios de seguridad. Se pueden clasificar en cualitativo y cuantitativos. Los estudios de seguridad, permiten evaluar las distintas medidas de control de riesgos establecidas en las distintas capas de protección. Según sea la etapa de vida de una instalación deben realizarse estudios de seguridad específicos. El desarrollo integral de los estudios de ingeniería de control de riesgos, permite diseñar, construir y operar instalaciones que garanticen un nivel de riesgos aceptable para operadores y terceros, asegurando la continuidad operacional mediante la minimización de

pérdidas debido a eventos no deseados, Zambrano (2008). Sobre este tipo de estudios Casal, Montiel, Planas, y Vílchez (2002), explican que el mismo debe responder a los siguientes apartados básicos:

1. Identificación del riesgo.
2. Análisis de consecuencias.
3. Zonas de riesgos (zona de intervención y zona de alerta), atendiendo a los umbrales establecidos por la directriz básica para los diferentes fenómenos peligrosos.
4. Relación de accidentes mayores (aquellos que pueden tener consecuencias fuera de la instalación afectada).

Métodos cualitativos para el análisis de riesgos:

Son métodos de análisis de riesgos utilizados en la toma de decisiones en proyectos de ingeniería de riesgos, en donde los responsables se apoyan en su juicio, experiencia e intuición para la toma de decisiones. García y Storch (2008), explican que se tratan de técnicas de análisis críticos que no recurren al análisis numérico. Su objetivo principal es identificar: a) Riesgos; b) Efectos: incidentes y accidentes cuando se materializan los riesgos; c) Causas: orígenes o fuente de los riesgos. Entre ellos se tienen:

1. Análisis histórico de riesgos: su objetivo es detectar directamente aquellos elementos de las instalaciones y operaciones, que han determinado accidentes en el pasado. García, y Storch (op.cit.).
2. Hazip: es una herramienta para identificar peligros y hacer una valoración inicial de los riesgos. Según Ramos y Santos (op.cit.), tiene como objetivo la identificación en una fase temprana de todos los peligros a los que se puede ver expuesto el proyecto, desde un punto de vista tanto interno como externo.
3. Estudios Hazop: se realizarán en las instalaciones con el objeto de identificar todas aquellas desviaciones respecto de las condiciones de diseño que puedan conducir u originar accidentes, o que puedan constituir graves problemas de operatividad, con especial atención a las desviaciones capaces

de provocar accidentes con graves consecuencias. Ramos y Santos (op.cit.).

4. Análisis preliminar de riesgos (APR): su objetivo es determinar directamente aquellos elementos de las instalaciones y operaciones, de los que se sospecha la posibilidad de originar riesgos y accidentes. García y Storch (op.cit.).
5. Análisis ¿Qué pasa si? (WhatIf..?): consiste en la detección y análisis cualitativo de las desviaciones, respecto a su comportamiento normal previsto, del proceso y sus variables dando lugar a sucesos indeseables. García y Storch (op.cit.).
6. Análisis mediante lista de comprobación (CheckList): implica comprobar el cumplimiento de reglamentos y normas, mediante listas de comprobación que incluya los aspectos técnicos y de seguridad contenidos en dichas regulaciones. García y Storch (op.cit.).
7. Análisis de los modos de fallas y sus efectos (AMFE): el análisis de los modos de Falla y Efectos (Failure modes and Effects analysis, FMEA) constituye una técnica para identificar los peligros asociados a los elementos de equipos (de procesos y control) de una planta en procesos. García y Storch (op.cit.).
8. Análisis Cualitativo mediante árboles de fallas (AAF): se realiza mediante el análisis cualitativo de los eventos o sucesos de fallas en sistemas complejos hasta llegar escalonadamente a sucesos básicos que pudieran considerarse causas iniciadoras. García y Storch(op.cit.).
9. Análisis Cualitativo mediante árboles de sucesos (AAS):se realiza mediante el análisis cualitativo de los eventos o sucesos de fallas en sistemas complejos. Partiendo de las causas iniciadoras se predicen por vía deductiva la relación causa y efecto. García y Storch(op.cit.).

Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos: Este tipo de método permite asignar valores de ocurrencia a los diferentes riesgos identificados previamente, en función de

calcular el nivel de riesgos implícitos en los procesos del proyecto. Los mismos pudieran implicar: el análisis de probabilidad; análisis de consecuencias, y el modelaje matemático o simulación computacional.

En la empresa venezolana PDVSA, el mismo es realizado con el propósito de comparar los niveles de riesgos de la instalación o proyecto con los criterios de tolerancia de riesgo individual y social para de esta manera obtener elementos de juicio que soporten la toma de decisiones gerenciales las cuales permitan incrementar el nivel de seguridad de las instalaciones a través de medidas de reducción de riesgos óptimas y rentables (Torres, op.cit.). Son métodos de análisis crítico que incluyen estructuras y cálculos para establecer la probabilidad de sucesos complejos (siniestros), por medio de los valores individuales de las probabilidades de falla que corresponde a los elementos (equipos y humanos) implicados en los procesos. García y Storch (op.cit.). Entre los más utilizados se tienen:

1. Análisis Cuantitativo mediante árboles de fallas (AAF):se realiza mediante el análisis cuantitativo de los eventos o sucesos de fallas en sistemas complejos hasta llegar escalonadamente a sucesos básicos que pudieran considerarse causas iniciadoras. Partiendo de la referencia estructural cualitativa, mediante su cuantitativización se pretende aumentar la potencia del análisis. García y Storch(op.cit.).
2. Análisis Cuantitativo mediante árboles de sucesos (AAS):se realiza mediante el análisis cuantitativo de los eventos o sucesos de fallas en sistemas complejos. Partiendo de las causas iniciadoras se predicen por vía deductiva la relación causa y efecto. De la referencia estructural cualitativa, mediante su cuantitativización se pretende aumentar la potencia del análisis. García y Storch (op.cit.).
3. Análisis de Causas y Consecuencias: implica el análisis cuantitativo de los eventos o fallas en sistemas complejos, partiendo de sucesos capitales que pudiesen ser básicos, iniciadores, complejos, intermedios o

condicionantes. Parte de un marco estructural (árbol de causas / consecuencias) que en principio pudiera tener un tratamiento cualitativo, sin embargo, mediante su cuantitativización se puede aumentar la potencia del análisis. García y Storch (op.cit.).

4. El análisis SIL: es un estudio de riesgos aplicado a los sistemas de control de procesos, donde se analiza cuál es el nivel de seguridad o Índice SIL (safety integrityLevel), exigible a los sistemas instrumentados de seguridad (SIS) de las instalaciones. La obtención o cálculo del índice SIL permite evaluar cuál es el nivel de seguridad exigible a los distintos sistemas instrumentados de seguridad. Ramos y Santos (op.cit.)

De la complejidad y la transdisciplinariedad hacia el pensamiento transcomplejo

Los cambios cada vez más continuos que experimenta la humanidad, han sugerido la revisión y modificación de las posturas y paradigmas prevalecientes en determinados momentos de la historia. En tal sentido, la prevención y la ingeniería de riesgos, desde una perspectiva multidisciplinaria no escapan a ello, adoptando nuevas maneras de pensar desde el punto de vista técnico y toma de decisiones, al respecto la complejidad enfocada y orientada en la administración de riesgos, como paradigma se ha venido desarrollando para dar respuesta y coherencia desde el punto de vista de cosmovisión a sus situaciones, muy a pesar de que la palabra como tal en el argot del día a día se utiliza en muchos casos para expresar y caracterizar situaciones bastante difíciles de entender y comprender. Sobre el particular Paiva (2004), explica que la realidad que percibe el ser humano cada día, la comprensión de su propia existencia y conflictos internos, trae inmersa los aires de la complejidad, de lo global, lo contextual y lo multidimensional. La complejidad se encuentra presente en todos lados, y no hay necesidad de ser científico para notarlo.

Con énfasis en lo anteriormente expuesto, Fonseca (2018), explica como los profesionales en general deben aprender a desaprender para que puedan asumir un nuevo pensamiento con fundamento en la actual visión del mundo postmoderno, cimentada sobre las bases de la complejidad, transdisciplinariedad y transcomplejidad, para que las decisiones tomen otra dirección y sentido, dirigidas al trabajo desde el enfoque holístico para propiciar otras maneras de pensamiento necesario para la transformación de las personas. Al respecto Villegas y Schavino en su artículo “De la teoría a la praxis en el enfoque integrador Transcomplejo” (2010), afirman que los paradigmas investigativos están sustentados en un sistema filosófico e ideológico que representa una determinada concepción del hombre y del mundo.

De tal manera los fines de la investigación se encuentren fundamentados en la cosmovisión que la sociedad y el mundo académico posee y sostiene, con lo cual, cabe referir que se viene gestando paradigmáticamente un proceso de transformación epistémica que auspicia la complementariedad rizomática o imbricación entre los paradigmas, que han orientado de manera limitante y excluyente los procesos de investigación. Las autoras agregan (op.cit.), que este tipo de transformación debe ser promovido por una postura o enfoque investigativo, que rompa con el paradigma fragmentario, individualista, cognitivista y objetivista orientado a la uniformización del saber, sin que ello implique abogar por un paradigma en particular o asumir dogmática y determinísticamente lo complejo, la incertidumbre, la totalidad, el orden o el desorden en la construcción y/o reconstrucción del conocimiento.

En la postura que aquí se asume, los procesos investigativos no son realizables sin la complementariedad de las concepciones filosóficas que rodean a la teoría del conocimiento, en un intercambio transdisciplinario y sinérgico. De ellos deriva a su vez la necesidad de investigar a través de la aplicación de un enfoque investigativo, ubicado

a la luz de las actuales tendencias (complejidad y transdisciplinariedad). Asimismo, los planteamientos de Nicolescu (1996, citado por Villegas y Schavino, op.cit.), en el cuál se señala que el concepto de transdisciplina implica en términos epistemológicos pensar en la construcción de conocimientos en una perspectiva que se situé más allá y a través de las disciplinas. Su finalidad es la comprensión del mundo presente en el cuál uno de los imperativos es la unidad del conocimiento.

Definición de transcomplejidad

La confluencia de los postulados de las teorías de la complejidad y la transdisciplinariedad ha dado origen al enfoque integrador transcomplejo. La investigación transcompleja, según Villegas y Schavino (op.cit.), es una nueva cosmovisión paradigmática que propugna la adopción de una posición abierta, flexible, inacabada, integral, sistémica y multivariada, donde lo cuantitativo, lo cualitativo y lo dialéctico se complementan en una relación sinérgica que configura una matriz epistémica multidimensional. Es entonces, un proceso bioafectivo cognitivo, pero también sociocultural-institucional-político de producción de conocimientos como un producto complejo que se genera de la interacción del hombre con la realidad de la cual forma parte entre ellas la ingeniería de riesgos como parte del conjunto de prevención de riesgos laborales.

Según Balza (2013), traducir la complejidad implica el desarrollo de procesos intrapsíquicos, aproximativos que requieren la construcción de realidades subjetivas, por lo tanto, considerando esta reflexión es necesario una transformación del pensamiento en la elaboración de construcciones mentales de este tipo. Lo que implica que el orden examinado a través del pensamiento transcomplejo es hechura de la multiperspectividad del pensamiento y de la multidimensionalidad existencial como ser en devenir, como lo refiere Morín (1990), el ser humano es a la vez físico, psíquico, cultural, social, histórico y espiritual.

En efecto la perspectiva transcompleja del pensamiento referida por Balza (op.cit.), parte de una base filosófica emergente y de fundamentos epistemológicos, que bien pudiesen permitir al prevencionista construir cosmovisiones respecto al entorno e intorno en su conjunto, con múltiples premisas preventivas en materia de ingeniería de riesgos, que implique diversas interpretaciones acerca de las diferentes disciplinas del conocimiento organizacional y técnico. Este complejo proceso de la cognición humana, puede conducir al trabajador, a un reaprendizaje, un repensamiento situacional e internalización de los conceptos tradicionales de seguridad y sus conexos con énfasis en saberes y las mejores prácticas preventivas como modelaje y referencia de comportamiento.

El enfoque integrador transcomplejo (EIT)

El EIT, según Peña (2015), constituye una visión paradigmática que sin desechar u obviar los aportes de las diversas disciplinas de la ciencia, se propone abordar el conocimiento desde una postura diferente, amplia y sin límites. Es por ello que sus fines y propósitos residen en la exploración y reflexión de nuevas maneras de concebir, abordar y estudiar los amplios sistemas que constituyen la realidad en pos del conocimiento científico que permita intervenir para comprenderlo y modificar la realidad en función de la solución a los problemas de la Sociedad donde el ser humano juega un rol fundamental.

Según Nederr (2015), a partir de la reflexividad del EIT, se intenta dilucidar, comprender e interpretar desde una narrativa científica emergente, no solo lo que significa la noción de religue entre complejidad y transdisciplinariedad, si no también percibir la travesía o camino que se piensa, se imagina y se inventa en el desafío intelectual que plantean los procesos investigativos y de saber de esta era, de lo que imponen las realidades contemporáneas cuyas características comunes son los cambios y transformaciones continuas que manifiestan altos grados de incertidumbre y ambigüedad.

Principios epistemológicos del enfoque integrador transcomplejo

La transcomplejidad del mundo de la vida, traduce una cosmovisión del ser, que alerta acerca de que el ser humano no está hecho, no es del todo conocido; éste y su mundo estarán por hacerse o conocerse. Esto lo anuncia la ontogénesis de un paradigma integrador transcomplejo, el cual según Schavino y Villegas (2015), se transfigura en torno a cinco principios fundantes que lo definen: La Complementariedad Epistémica, Sinergetica Relacional, Reflexividad, Dialógica Discursiva e Integralidad.

Premisas metodológicas del enfoque integrador transcomplejo

Para Schavino y Villegas (op.cit.), deducir las premisas metodológicas del enfoque integrador transcomplejo implicó reflexionar sobre la posibilidad de un método para la investigación transcompleja. En tal sentido, explican (op.cit.), se intentó caracterizar una vía de aproximación para este enfoque investigativo. En este aspecto, una posición acorde al pensamiento complejo plantea que el método es la vía donde confluyen la praxis reflexiva del sujeto y las construcciones teórico-conceptuales para dar sentido a la realidad, comprenderla y transformarla.

Desde esta perspectiva, el método como la labor pensante del sujeto no es separable del objeto, debe modificarse, coprogresar con la realidad empírica. El método desde la complejidad aprende con la estrategia para asumir decisiones aleatorias, pues lo fortuito no sólo aparece en el objeto complejo sino también en el sujeto. Los denominan Premisas Transmetodológicas: Complementariedad Metodológica, Trabajo en Equipo, Reflexión Acción, Diálogo Transcomplejo y Nuevo Lenguaje. En el cuadro 1 se observa las resultantes al dinamizar los Principios transepistemológicos con su correspondiente premisa transmetodológica.

Cuadro 1. Resultantes enfoque integrador transcomplejo.

PRINCIPIOS TRANSEPISTEMICOS	Complementariedad Epistémica	Sinergetica relacional	Reflexividad	Dialógica Recursiva	Integralidad
ENFOQUE INTEGRADOR TRANSCOMPLEJO (RESULTANTE)	Transdisciplinariedad / Multimétodos	Fuente de Energía / Interconexión para Transformar	Criterio Metodológico abierto / Racionalmente Fundamentado	Reflexivo / Cuestionamiento "supone la aparición de la conciencia"	Concepción Holística: Nuevo lenguaje que permita dar cuenta de los resultados y hallazgos.
PREMISAS TRANSMETODOLÓGICAS	Complementariedad Metodológica	Trabajo en Equipo	Reflexión Acción	Diálogo Transcomplejo	Nuevo Lenguaje

Fuente: El autor (2020).

Desde la perspectiva de la transcomplejidad y la matemática borrosa o difusa (fuzzylogic)

Desde el punto de vista de las organizaciones, Luhmann (1997) explica que los criterios clásicos (racionales) de decisiones se refieren a la relación entre medio y fin, definen desde esa perspectiva sus exigencias de optimización. La teoría de la organización se ha atendido predominantemente a esta idea, aun prevaleciente en muchas empresas y en el caso de este artículo las de carácter agroindustrial no son la excepción. Explica el referido autor (op.cit.), que la complejidad se ha definido referencialmente respecto a la dificultad para decidir, en donde toda racionalidad se convierte en racionalidad de conexión, actuando y redimensionando la perspectiva clásica, la complejidad se constituye para los sistemas organizacionales como una base dinámica para las relaciones entre decisiones, en donde las mismas funcionan una para con otras recíprocamente como premisas de influencia.

Contextualizando en el caso de los métodos de la ingeniería de riesgos desde esta perspectiva, como se revela en el punto de los MEIR, se basan entre otras cosas en algunas herramientas lineales, propias de esquemas tradicionales, de software que han venido a tratar de dar respuesta en escenarios de incertidumbre e imprecisión, lo cual sugiere la adopción de nuevos instrumentos y esquemas para tratar los riesgos desde una perspectiva que bien pudiesen categorizarse como imprecisos e inciertos.

Sobre los MEIR de tipo cualitativo, podemos decir, que prácticamente se basan en el en el principio de tercero excluido, en donde es preciso reconocer que una alternativa es falsa y otra verdadera y que no habría una tercera posibilidad. Según Torres (2015), este principio declara que todo tiene que “ser o no ser” ($p \vee \sim p$) $\equiv 1$.

La ley del tercero excluido denota una proposición segura, la cual tiene un valor lógico fijo 1 que permanece inalterado en el contexto de la Lógica Formal. Las proposiciones que son equivalentes a la proposición segura, son llamadas tautologías. Esto en los métodos cualitativos de evaluación de la Ingeniería de Riesgos, permiten identificar una situación de riesgos, desde la perspectiva de su existencia (“existe o no existe riesgo”) y su caracterización para visualizar la correspondiente estrategia de gestión de riesgos (Contexto estratégico). Mientras que, en la lógica estándar, la ley del tercer excluido de la lógica booleana no se cumple y pierde vigencia cuando las opciones son mayores o igual a tres (3), por lo que la referida ley no representará una tautológica u opción única, según explicación de Torres (2010).

Desde el punto de vista de la matemática borrosa (también conocida como lógica borrosa cuyo pionero o principal impulsor Zadeh (1965) en su artículo titulado “Fuzzy Sets”, desarrolla e introduce la teoría de los conjuntos borrosos, la misma ha sido base para varios modelos o esquemas para tratar la incertidumbre, la imprecisión y la subjetividad en problemas cotidianos y de carácter organizacionales. Ross (1999), plantea que la teoría de sistemas borrosos o difusos puede tener utilidad en la evaluación de sistemas convencionales, menos complejos. Por ejemplo, para algunos problemas donde las soluciones exactas no son siempre necesarias. Una aproximada, pero rápida solución puede ser útil en la fabricación preliminar, decisiones de diseño, o como una estimación inicial en una técnica numérica más precisa para salvar costos computacionales, o en la mirada de situaciones de entradas a un

problema son vagos, ambigua, o no conoce en absoluto.

En materia de Seguridad e Higiene Ocupacional, considerando la ingeniería de riesgo implícita en este contexto, se han encontrado escasos trabajos y los pocos son de corte internacional, sobre el particular, en un estudio realizado por Godoy y Suarez (2010), utilizaron la matemática borrosa para aplicar el análisis de riesgos para protección contra rayos (fenómenos naturales), en dicho estudio concluyen que las aplicaciones de las propiedades de la lógica difusa permiten realizar el análisis de riesgo de impacto de rayo a partir de los criterios y la experiencia de especialistas, creándose un sistema difuso que tiene en cuenta la subjetividad envuelta en el análisis y a su vez constituye una herramienta de sencilla utilización. Cabe señalar que los diseñadores tienen mayor interacción con el proceso al poder evaluar de forma lingüística las variables que se involucran.

En Argentina para el año 2004, Allevato (2004), realizó un trabajo orientado a desarrollar aplicaciones de matemática borrosa en las ciencias del ambiente especialmente cuando se parte de datos obtenidos con alto nivel de imprecisión. Al respecto, según Casal, Montiel, Planas y Vélchez (op.cit.), en la ingeniería de riesgos, específicamente en los estudios de riesgos cuantitativos se considera como mínimo una escala de riesgos, la cual comprende 3 niveles: Leve, Moderado y Alto, al igual que en la Norma PDVSA IR-P-02 (PDVSA, 2014), con énfasis en tales categorías, más allá del nivel alto está el umbral del Peligro.

Dentro de los niveles se podrían considerar sub niveles u otros valores, permitirían, determinar la mejor decisión inherente a la administración del riesgo (contexto táctico) es decir mayor detalle y relaciones que permitirían construir categorías más allá de la totalidad que plantean los números nítidos, está la concepción holística en el mundo difuso o borroso como base para nuevas visualizaciones (visión holística), lo cual caracterizaría a un sistema de riesgos con alta capacidad de auto respuesta (ajustes) y una heurística regeneradora para la

acción concomitante de seguridad y control basada en medios pasivos y activos de protección.

Con los conjuntos borrosos (fuzzy sets), tal como lo plantea Zadeh (op.cit.), se pueden definir subconjuntos, de tal forma que cualquier elemento pueda pertenecer o relacionarse en diferentes grados de pertenencia o membresía. Sin embargo, para tal planteamiento en pro del orden requerido, Allevato (op.cit.), presenta en forma muy clara un documento de proyecto para la Aplicación de la Lógica Borrosa en el Manejo de datos Ambientales, en donde plantea que la matemática Fuzzy en general involucra a las siguientes operaciones:

Borrosificación (Fuzzyfication): Traducir un número real a un número borroso.

Evaluación de reglas: Determinación de la fuerza de las reglas basadas en los valores de entrada y las reglas.

Desborrosificación (Defuzzyfication): Traducir un número borroso a un número real.

En el caso de los estudios de seguridad, recordando que el análisis SIL: es un estudio de riesgos aplicado a los sistemas de control de procesos, esto según la norma PDVSA IR-P-02 (op.cit.), “Nivel de integridad (SIL), de un sistema instrumentado de seguridad (SIS)”, que se utiliza, a fin de determinar el Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) de una o más Funciones Instrumentadas de Seguridad (SIF) requeridas para una instalación nueva o existente a modificar, considerando las Capas de Protección Independientes (IPL) existentes, con el fin de evaluar la necesidad de implantar un Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS) que cumpla con el nivel de Riesgo Tolerable establecido en esta norma técnica PDVSA.

Es importante mencionar que el Nivel de Integridad de Seguridad (SIL): es el nivel discreto (de 1 a 3) para especificar los requerimientos de probabilidad media de que un SIS desarrolle las SIF requeridas, bajo las condiciones establecidas dentro de un periodo de tiempo establecido. A continuación, se presenta un sencillo ejemplo práctico de la norma PDVSA IR-P-02 (op.cit.), en donde se

construyen los respectivos conjuntos con énfasis en la variable lingüística a desarrollar (borrosificación), predicados definidos (cuadro 1), valores de entradas (reglas o restricciones) y la desborrosificación según los gráficos 1, 2 y 3 (que se muestran más adelante en resultados, análisis e interpretación), en donde se visualizan las relaciones de pertenencia o membresía. Se grafica con apoyo de MATLAB, el cual es un software que plantea un entorno de desarrollo integrado (EDI) y apoyo en un sistema de cómputo numérico.

Primera variable lingüística: Nivel de Integridad de Seguridad (SIL)

Universo: $X = [0, 10, 20 \dots 98, 99]$

$V(L) = [0 \ 1]$

$P: X \ L \rightarrow$ predicados definidos

Cuadro 2.
Frecuencia de ocurrencia del evento peligroso.

Tipo de evento	Rango cualitativo	Frecuencia (veces/año)	Conjunto
Muy baja frecuencia de ocurrencia, tales como fallas múltiples de instrumentos, errores humanos múltiples o falla de equipos.	Bajo	$0\% \leq F < 25\%$	A
Baja frecuencia de ocurrencia, incluye la combinación de fallas de instrumentos con fallas humanas.	Moderado	$25\% \leq F < 50\%$	B
Probabilidad mediana alta como fallas de válvulas o de instrumentación.	Alto	$50\% \leq F \leq 100\%$	C

Fuente: PDVSA (2014)

Funciones de pertenencia correspondientes:

$$\mu_A(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \Leftrightarrow (x \leq 1 \wedge x \leq 25); \\ \frac{1}{2}(x - 1) \Leftrightarrow 1 \leq x \leq 5; \\ 1 \Leftrightarrow 5 \leq x \leq 25; \\ \frac{1}{2}(25 - x) \Leftrightarrow 5 \leq x \leq 25. \end{array} \right.$$

$$\mu_B(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \Leftrightarrow (x \leq 25 \wedge x \geq 50); \\ \frac{(x - 25)}{2} \Leftrightarrow 25 \leq x \leq 40; \\ 1 \Leftrightarrow 40 \leq x \leq 45; \\ \frac{(50 - x)}{2} \Leftrightarrow 45 \leq x \leq 50. \end{array} \right.$$

$$\mu_C(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \Leftrightarrow (x \leq 50 \wedge x \geq 100); \\ \frac{(x - 50)}{2} \Leftrightarrow 50 \leq x \leq 90; \\ 1 \Leftrightarrow 100 \leq x \leq 95; \\ \frac{(100 - x)}{2} \Leftrightarrow 95 \leq x \leq 100. \end{array} \right.$$

METODOLOGIA

En el estudio se utilizaron tanto técnicas cualitativas como cuantitativas, dadas sus características para su desarrollo y explicación, con énfasis en la investigación documental y con apoyo lógico-matemático en su parte final. Es de carácter exploratorio, sobre un tema que ha sido estudiado antes sin mucha profundidad, con lo cual se pretende construir una visión transcompleja e innovadora de la ingeniería de riesgos en el sector agroindustrial, partiendo de la experiencia de segmentos de la prevención, en donde convergen empresas de procesos caracterizados como muy dinámicos, riesgosos y peligrosos. (empresas de minerías, hidrocarburos, químicas, metalmecánicas pesadas, fundiciones, entre otras). La investigación documental realizada, se complementa con la experiencia, opinión y contrastación de informantes clave (entrevista individual), conformados por especialistas entre los cuales se tiene un (1) exdirector de seguridad industrial e higiene ocupacional (exdirector ejecutivo en el área y miembro de comité de

investigación de accidentes mayores en la industria petrolera), un (1) ingeniero de riesgos (ingeniero de riesgos de alta experticia en proyectos nacionales e internacionales en la industria de hidrocarburos) y un (1) gerente de ingeniería de riesgos en el área agroindustrial.

Se aborda el tema desde el punto de vista de la matemática borrosa apoyándose en un ejemplo en uno de los modelos de análisis de riesgo como tal. Desde este punto de referencia, sobre el pensamiento transcomplejo y la Ingeniería, explica Mujica (2018) que dentro del conjunto de actividades realizadas por los ingenieros, el diseño es un aspecto fundamental (en el caso de este artículo: diseño seguro), ya que es el origen de todos los aportes que se realizan, por lo que la observación es por una metodología apropiada, que respete las normas, se adecue a las necesidades de la producción y de las organizaciones, sea respetuosa con el medio ambiente y tome en cuenta el factor humano, es un aspecto sobresaliente y de especial interés por todos aquellos que proponen proyectos de ingeniería. Agrega el autor, que al conocer la importancia del diseño como punto de partida para la ingeniería y su rol fundamental en los procesos y ámbitos donde se encuentra involucrada, torna preciso desarrollar también como debe ser el proceso de trabajo relacionado con los aspectos que la misma contempla. A su vez plantea que la Investigación Transcompleja, como corriente actualizada de trabajo, ayuda a que emerjan, se relacionen, se fusionen, se interrelacionen y complementen los métodos y las formas de realizar trabajos en Ingeniería, por lo que nuevos aportes, impensados años atrás, seguramente originarán nuevas e interesantes tendencias que vendrán a plantear soluciones prácticas a problemas cada vez más complicados y de mayores dimensiones.

RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

En la agroindustria en el caso venezolano, desde el punto de vista de los proyectos de ingeniería, los estudios y los métodos que los sustentan tienen sus etapas y fases de aplicación,

según la experiencia del autor de la presente investigación, en empresas nacionales y transnacionales del sector agroindustrial, metalmeccánica pesada y petróleo; en Venezuela, se utilizan generalmente métodos cualitativos y cuantitativos, a pesar de que algunos autores internacionales, plantean métodos semi cuantitativo y semi cualitativo.

Es importante destacar, que existen empresas agroindustriales tales como centrales azucareros y etanolero, cuya dinámica de riesgos y procesos peligrosos implícitos en ello, requieren una atención de ingeniería más allá y mucho más profunda de lo que implica la administración de la seguridad y los procesos de identificación previstos en los métodos cualitativos, por lo que pudieran utilizar métodos cualitativos directamente (no a través de terceros) y de tipo cuantitativo, según la fase correspondiente del proyecto de ingeniería en donde se evidencia la necesidad de medir consecuencias y demás efectos.

En función de este análisis, Chang (2015), especialista en ingeniería de riesgos a nivel nacional e internacional, explica que los métodos cuantitativos son determinantes y modelan situaciones particulares y colectivas (caso riesgo individual y riesgo social), determinando con mayor objetividad los niveles de impacto. Afirma que los métodos cualitativos son útiles para identificar y tener un marco de referencia previa e incluso para el chequeo como en el caso de las revisiones de seguridad al final de cada etapa y fase del respectivo proyecto, sin embargo comenta que los métodos cuantitativos son imprecisos en escenarios con mucha incertidumbre, por lo cual requieren el apoyo de software especializado para lograr una mejor aproximación preventiva y en los últimos años han recurrido de manera muy reiterada a los modelos matemáticos.

Respecto a la perspectiva de la matemática borrosa, se presenta el análisis SIL aplicado a los sistemas de control de procesos, el cual utiliza un esquema de posibilidad utilizando borrosidad. En consecuencia para el análisis se utilizó la variable lingüística: Nivel SIL, donde según el planteamiento de relaciones borrosas, el

esquema seguridad visualiza preliminarmente nueve (9) relaciones de pertenencia en el marco de la variable lingüística seleccionada en vez de las tres (3) que resultarían si simplemente se le da un tratamiento nítido basado en la normativa técnica. Esto implica una mayor posibilidad de estudios de nuevas categorías de riesgos y un mayor planteamiento táctico con énfasis en una concepción holística de una nueva versión del estudio de seguridad, en donde pudiesen estudiarse escenarios y eventos encubierto dentro de las mismas escalas rígidas.

Visualización de las relaciones de pertenencia o membresía.

Gráficas correspondientes:

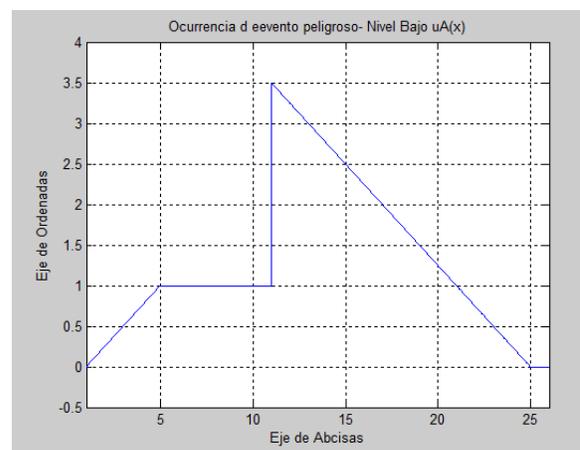


Gráfico 1: Ocurrencia de eventos peligrosos. Nivel Bajo. Fuente: El autor (2020)

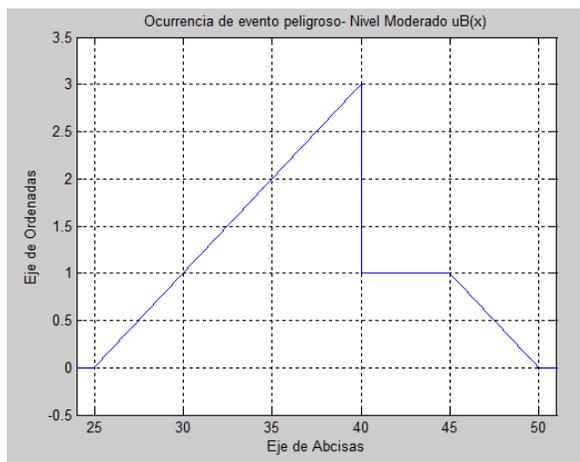


Gráfico 2: Ocurrencia de eventos peligrosos. Nivel Moderado. Fuente: El autor (2020)

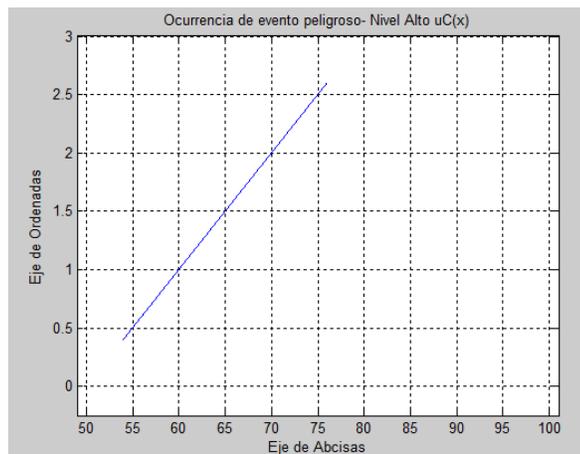


Gráfico 3. Ocurrencia de eventos peligrosos. Nivel Alto. Fuente: El autor (2020)

CONCLUSIONES

Según el análisis realizado y dadas las crecientes amenazas implícitas en los procesos de cambios en los diferentes ámbitos de negocios, es necesario que las empresas agroindustriales, adopten y desarrollen las mejores prácticas y experiencias en materia de ingeniería de riesgos y diseño seguro impulsadas por empresas de alto desempeño y consolidada cultura preventiva sin embargo debe plantearse como actividad preliminar una revisión del diseño conceptual de la estructura operacional y funcional de la arquitectura organizacional, a fin de visualizar algunos aspectos de carácter organizacionales, operacionales, técnicos y administrativos, que podrían estar afectando la toma de decisiones y su incidencia en los criterios de aceptabilidad para una objetiva administración y control de riesgos.

Es importante que la gerencia de seguridad industrial o responsable de la disciplina de una determinada empresa agroindustrial, muestre una actitud participativa a nivel de todos los proyectos e interactuar con otras gerencias vinculadas y constituir equipos multidisciplinario, con marcado énfasis en el área de ingeniería de riesgos, dado los controles internos preventivos presentes en los proyectos,

con participación e involucramiento en las reuniones operacionales, a fin de promover la coordinación de los estudios de seguridad y las revisiones técnicas de los proyectos en sus diferentes etapas (visualización, conceptualización, ingeniería básica e ingeniería de detalle en sus diferentes fases), esto permitiría desarrollar proyectos seguros, para dar respuesta a cualquier circunstancia, evento no deseado o falla operacional.

Implica aplicar directamente e internamente métodos de identificación preliminar de peligros (métodos cualitativos), aumentando su potencial validez al aplicar estudios de tipo cuantitativos, para conocer posibles efectos y consecuencias, así como medidas de mitigación en casos de emergencias, por lo que como estrategia preventiva, debe considerarse la opción que tienen estos últimos métodos de recurrir a los modelos matemáticos en función de desarrollar un modelo de ingeniería de riesgos apoyado en la matemática borrosa, a fin de tener un esquema de referencia para la gestión y administración de riesgos en componentes críticos y situaciones a veces no previstas en escenario de mayor nivel de complejidad caracterizados por gran incertidumbre y en muchos casos dinámicas inestables.

Respecto a las nuevas categorías de riesgos comentadas en el análisis, en una plataforma configurada por los principios y premisas del Enfoque Integrador Transcomplejo (Gráfico 4), se propenderá a las mejoras cualitativas con énfasis en los siguientes posibles resultantes:

1. Participación transdisciplinaria en la elaboración de planes y programas de prevención, investigación de siniestros y eventos no deseados (accidentes) con uso de multimétodos.
2. Visión dinámica de la administración de riesgos, basada en la conformación de equipos de alto desempeños (transdisciplinarios), con marcado énfasis en la transformación de los procesos preventivos y como estrategia de apoyo sistémico la apertura y desarrollo de procesos heurístico como proceso emergente de apoyo al sistema para su auto-regeneración.

3. Desarrollo de Normas y Procedimientos de Prevención con base a criterios metodológicos abiertos y racionalmente fundamentados, en donde el “cambio”, en un elemento de primer orden para la revisión, ajustes preventivos (normas, procedimientos y manejo del cambio) y orientación.
4. Con el control administrativo y concomitante, se revisan y cuestionan la gestión y administración preventiva como base para la conciencia y visión humanística del proceso en referencia.
5. Generación de una concepción holística, propia para la rendición de cuenta de la gestión de riesgos, así como el tratamiento y explicación de nuevos hallazgos y resultados.

de nuevas estrategias de prevención como premisas para el desarrollo del pensamiento transcomplejo en materia preventiva en las organizaciones agroindustriales.

Hoy en un mundo donde las estrategias de prevención se han constituido en un fundamento para el desarrollo integral de una empresa, en donde emerge un concepto de seguridad capaz de interactuar con los nuevos enfoques de la gerencia tecnológica, para construir en conjunto una concepción preventiva más dinámica y participativa de carácter multidisciplinaria, característica en organizaciones comprometidas con la prevención y calidad de procesos.

Académicamente esta investigación, podría ser un trabajo que aporte un marco de referencia

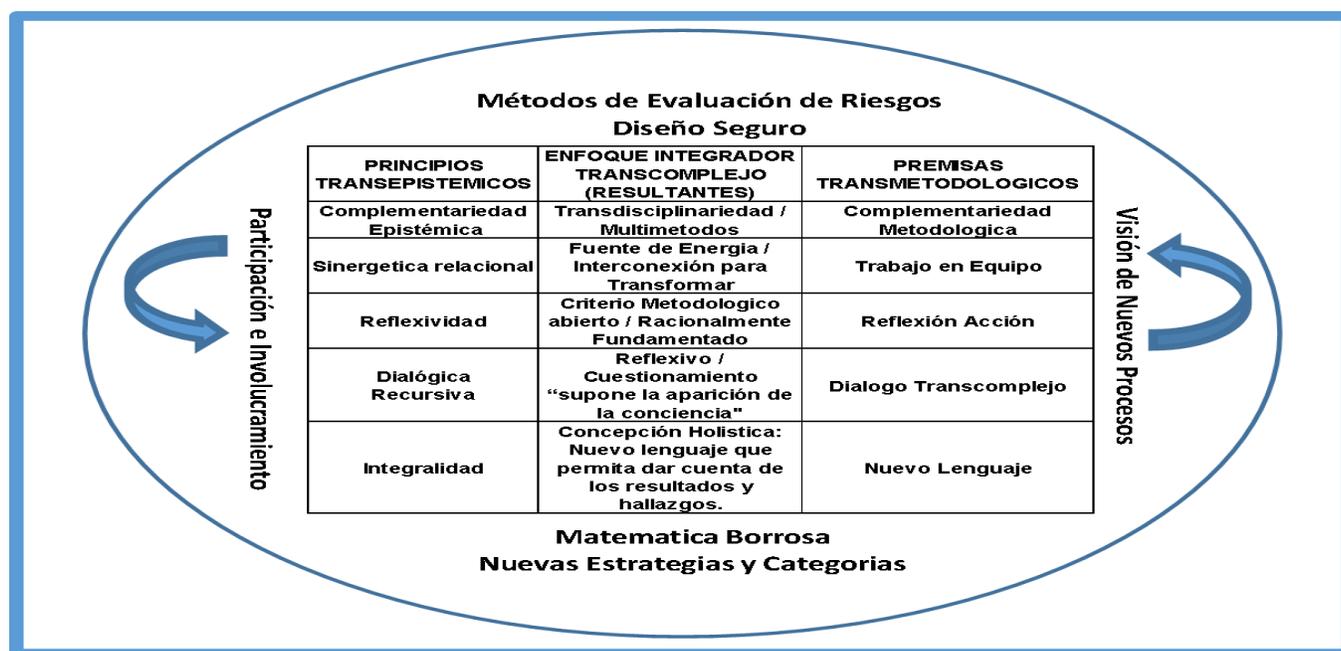


Gráfico 4. Concepción Transcompleja de los Métodos de Ingeniería de Riesgos. Fuente: El autor (2020)

APORTES EN EL ÁREA DE CONOCIMIENTO

Respecto al conocimiento universal de carácter transcomplejo, se pretende aportar elementos para una nueva concepción de la ingeniería de riesgos como componente sistémico, participativo y de vanguardia competitiva, basada en una visión integrada del análisis de riesgos (con apoyo de la matemática borrosa o difusa), orientado al desarrollo

base desde el punto de vista teórico, que permita abordar los asuntos en materia de Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional de un modo coherente, bajo una nueva concepción transcompleja de la Ingeniería de Riesgos y un enfoque dinámico del diseño seguro desde el contexto de la Transcomplejidad.

Desde el punto de vista empresarial y organizacional, se ha generado la necesidad de

incorporar la función de seguridad, con una propuesta como herramienta gerencial, que permita evaluarla desde una perspectiva transcompleja de mayor certidumbre dentro de un contexto global, con implicaciones en lo regional, nacional e internacional, considerando como premisa fundamental, la importancia de preservar la integridad física de los trabajadores, instalaciones y el conexo a ello.

REFERENCIAS

- Allevato, H. (2004). *Manejo de datos ambientales aplicando lógica borrosa*. Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. 17-19 noviembre 2004. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=25682&indexSearch=ID>
- Balza, A. (2013). *Pensar la Investigación Postdoctoral desde una perspectiva Transcompleja*. Editorial Red de Investigadores de la Transcomplejidad. Venezuela: REDIT.
- Bordones, R., y Guillen, C. (2014). *Ingeniería de Riesgos*. Comité de Química e Ingeniería. Venamcham. Octubre 2014. http://www.venamcham.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1897:comite-dequimicaeingenieriaoctubre2014&catid=8:comite-al-dia
- Camacho, J. (2017). *Análisis de la Integración de la Prevención de Riesgos Laborales en Empresas del sector de la Construcción en España*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/74518>
- Cárdenas, E. (2015). *Métodos de prevención en el proceso de gammagrafía industrial: propuestas de reducción de riesgo*. Tesis Doctoral Publicada. Universidad Simón Bolívar. Decanato de Estudios de Postgrados. Caracas. Venezuela.
- Casal, J., Montiel, E., Planas, E., y Vílchez, J. (2002). *Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales*. Barcelona, España: Ediciones UPC.
- Chang, M. (2015). *Especialista en materia de seguridad, salud y ambiente*. Entrevista personal. [Realizada: 2015, junio, 23] Barquisimeto. Venezuela.
- Cruz, G. (2010). Los 10 peores desastres ambientales de la historia. *Revista Time*. http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,1986457_1986501_1986443,00.html
- Entorno Inteligente. (2015). *Reseña Diario El Universal: Tocoa conmemora 33 años de su tragedia*. <https://archivo.entornointeligente.com/articulo/7575422/Tocoa-conmemora-33-anos-de-su-tragedia-18122015/>
- Esteban, A. (2012). *Entrevista en Venevisión Accidente Centro de Refinación Paraguaná*. Agosto 27. Caracas. Venezuela.
- Esteban, A. (2018). *Experto en materia de seguridad, salud y ambiente*. Entrevista personal (s/p). Febrero 23. Caracas. Venezuela.
- Fonseca, E. (2018). Complejidad, Transdisciplinariedad y Transcomplejidad. *Revista Científica*. Ensayo Arbitrado (3)9. Agosto - Octubre 2018. 337-347. https://www.researchgate.net/publication/329020755_Complejidad_Transdisciplinariedad_y_Transcomplejidad/
- Franco, R. (2011) Modelo de control estratégico de arquitectura organizacional. *Revista Lumina* (12), 8-119. Enero-diciembre 2011. Universidad de Manizales. Colombia. http://www.umanizales.edu.co/publicaciones/campos/economicas/lumina/recursos/12/edicion_completa.pdf
- García, T., y Storch, J. (2008). *Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Energéticas*. Instituto Superior de la Energía. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España.
- Godayol, J. (2013). *Desarrollo de una Metodología de Análisis de Riesgos Ambientales para su aplicación al Análisis Cuantitativo de Riesgos*. Proyecto final Master Ingeniería. Química de Procesos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería

- Industrial de Barcelona.
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19771/Proyecto+final+Master+Eng.+Qu%EDmica+de+Procesos+Jordi+Godayol+Febrero+2013.pdf;jsessionid=60D4BBEC69FD2A756133BA5AA6D89BB1?sequence=](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19771/Proyecto+final+Master+Eng.+Qu%EDmica+de+Procesos+Jordi+Godayol+Febrero+2013.pdf;jsessionid=60D4BBEC69FD2A756133BA5AA6D89BB1?sequence=9)
- Godoy, Y., y Suarez, O. (2010). *Aplicación de la Lógica Difusa al Análisis de Riesgo por Rayo*. <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/12>
- Ley de Gestión Integral de Riesgos, Socio Naturales y Tecnológicos. (2009). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, Número 39.095. Fecha 09, enero, 2009.
- Luhmann, K. (1997). *Organización y Decisión. Autopoiesis, Acción y Entendimiento Comunicativo*. México: Editorial Anthropos.
- Morín, E. (1990). *Introducción al Pensamiento Complejo*. España: Gedisa Editorial.
- Mujica, A. (2018). Ciencias Duras y Transcomplejidad: Investigación en Ingeniería. El Diseño. Una nueva Visión para Innovar. *Revista Diálogos Transcomplejos*. (3)3. Fondo Editorial UBA, Maracay, Venezuela.
- Narváez, M. (2012). *Modelo para el estudio de la Seguridad Alimentaria: Caso Venezuela*. [Tesis Doctoral]. Universidad Central de Venezuela. Centro de Estudios del Desarrollo. Venezuela.
- Nederr, I. (2015). *El Enfoque y la Reflexividad Transcompleja. Una Narratividad Científica Emergente*. Postdoctorado en Investigación Transcompleja. San Joaquin de Turmero, Venezuela: UBA-REDIT.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2018). Informe sobre Salud y seguridad en trabajo en América Latina y el Caribe. <http://ilo.org/americas/temas/salud-y-seguridad-en-trabajo/lang-es/index.htm>
- Paiva, A. (2004). El pensamiento de la complejidad. *Revista ciencias de la educación*. Año 4, (1)23, Valencia, enero - junio 2004. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/revista/a4n23/23-14.pdf>
- Pastrano, M. (2016). *La Gestión de la Salud Ocupacional como Disciplina para el Adiestramiento en la Alternativa Preventiva de los Recursos Humanos. Referencia Sector Manufacturero Carabobeño*. Tesis Doctoral. Universidad de Carabobo. Área de Estudios de Postgrados. Valencia. Venezuela.
- PDVSA. (2013). Norma IR-S-01. *Filosofía del Diseño Seguro*. Caracas, Venezuela. www.pdvsa.com.
- PDVSA. (2014). Norma IR-P-02. *Nivel de integridad (SIL) de un sistema instrumentado de seguridad (SIS)*. Caracas, Venezuela. www.pdvsa.com
- Peña, T. (2015). *El Enfoque Integrador Transcomplejo*. Postdoctorado en Investigación Transcompleja. San Joaquin de Turmero, Venezuela: UBA-REDIT.
- Ramos, A., y Santos, J. (2012). Safety Engineering: Diseño seguro desde el concepto a la operación. *Revista Ingeniería Química*. (512) diciembre 2012. http://www.inerco.com/Publicaciones/Articulos/Articulo_04.pdf.
- Ross, T. (1999). *Fuzzy Logic with Engineering Application*. Englan: John Wiley&SonsLtd.
- RT en español. (18 de abril 2013). Las mayores catástrofes industriales de la historia moderna. *RT*. http://actualidad.rt.com/actualidad/view/92151-catas_trofes_grandeshistoria
- Saari, J. (2001). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Organización Internacional del Trabajo. Ginebra, Ediciones OIT. Capítulo 56, 2-22.
- Schavino, N., y Villegas, C. (2015). *Enfoque Integrador Transcomplejo*. Desde su origen a la actualidad. Universidad Bicentenario de Aragua. Maracay, Venezuela.
- Segovia, R. (2018). *La cultura preventiva, gestión de seguridad y la salud ocupacional de los docentes en las instituciones educativas de la RED 03, UGEL N° 05 de San Juan de Lurigancho – 2017*. [Tesis Doctoral Publicada]. Universidad Nacional Enrique Guzman y Valle. Escuela de Postgrados. Lima, Peru. <http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/2030/TD%20CE%201863%20S1%2>

- [0-%20Segovia%20Quin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)
- Torres, A. (2015). *Especialista en materia de seguridad, salud y ambiente*. Entrevista personal. [Realizada: 2015, mayo, 23]. Barquisimeto, Venezuela.
- Torres, E. (2010). *Modelo de trans-racionalidad en el contexto de la meta-técnica y desde la perspectiva del pensamiento complejo*. Revista de Cultura de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado de Venezuela, julio de 2010. http://www.bib.usb.ve/ArchivoMayz/archivos/pdf/principia_separata5_torres.pdf
- Torres, E. (2015). *Lógica Formal Postmoderna*. Material con fines didácticos. Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Productividad. UNEXPO, Barquisimeto.
- Vergara, L. (2009). *Modelo Teórico de Gerencia Participativa de la Prevención desde la Dimensión del Sistema Integrado de Gestión de Riesgos SIR PDVSA*. Tesis Doctoral. Universidad Yacambú. Barquisimeto.
- Vergara, L. (2015). *La integración de los procesos de prevención de riesgos laborales en empresas agroindustriales. su enfoque y evaluación desde la perspectiva sistémica de la auditoria*. Trabajo de grado Publicado. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. Venezuela.
- Villegas, C., y Schavino, N. (2010). *De la teoría a la praxis en el Enfoque Integrador Transcomplejo*. http://www.adeepra.org.ar/congresos/Congreso%20IBEROAMERICANO/EIC/R0721_Schavino.pdf
- Zadeh, L. (1965). *Fuzzy Sets*. http://myrtille.ujf-grenoble.fr/pagesperso/bahram/biblio/Zadeh_FuzzySetTheory_1965.pdf
- Zambrano, N. (2008, octubre). *Importancia de los estudios de riesgos en el desarrollo de proyectos asociados a la industria petrolera y petroquímica*. Primeras. Jornadas de Ingeniería de Control de Riesgos de Petróleos de Venezuela. PDVSA. 2008. Maturín, Venezuela.