



Programa de la asignatura:

Evaluación del riesgo laboral

U2

Riesgos mayores en la industria



DCSBA



TECNOLOGÍA
AMBIENTAL



Unidad 2. Riesgos mayores en la industria



Accidente. Tomada de: www.freepik.com



Índice

Presentación de la Unidad	4
Propósitos de la unidad	6
Competencia específica.....	7
Actividades	7
2.1. Estudio de riesgo	8
2.1.1. Actividades altamente riesgosas	11
2.1.2. Niveles de riesgo y guías.....	14
2.1.3. Selección del tren de análisis	17
2.1.4. Técnicas de análisis	19
2.2. Programa para la prevención de accidentes	24
2.2.1. Balance y suficiencia	26
2.2.2. Índices Gretener Dow, Mond y Muhlbauer.....	27
2.2.3. Sistema de control distribuido.....	33
2.2.4. Sistema de paro de emergencia.....	34
2.3. Plan de Respuesta de Emergencias	35
2.3.1. Caracterización de escenarios	36
2.3.2. Plan interior	38
2.3.2. Plan exterior	39
Cierre de la Unidad.....	40
Para saber más	42
Fuentes de consulta	46



Presentación de la Unidad



Bienvenido(a) a la segunda unidad de la asignatura *Evaluación del riesgo laboral*, en la cual identificarás algunas actividades altamente riesgosas en la industria química en general (siendo una de las áreas operativas de mayor influencia para el ingeniero ambiental), para que puedas determinar las medidas de prevención, protección y control de los daños derivados de accidentes mayores.

El ingeniero en tecnología ambiental es quien tiene que dar la solución al problema de los riesgos mayores, es decir debe estar preparado para prevenir o controlar los riesgos que pueden hacer que la empresa desaparezca en segundos, por ejemplo, un incendio, una explosión, la fuga o emisión de sustancias tóxicas entre otros, que suelen traer daños al ambiente, pérdidas económicas cuantiosas, lesiones, muertes y la pérdida de confianza y prestigio.

De igual manera, conocerás el preámbulo relacionado con las herramientas necesarias para la prevención y mitigación de los riesgos mayores en la industria. En el primer tema, *Estudio de riesgo*, revisarás los conceptos de **riesgo mayor** asociado a las actividades altamente peligrosas, su determinación, los niveles y las guías necesarias para desarrollar el **Estudio de Riesgo Ambiental (ERA)**, tales como la identificación de peligros, el análisis de las causas, la estimación de la probabilidad y la simulación de las consecuencias, que determinarán el grado de riesgo y por lo tanto de su aceptabilidad, o en su caso, la recomendación de salvaguardas necesarias para su aceptabilidad.



Para todas y cada una de las partes del Estudio de Riesgo Ambiental, revisarás la utilización de diversas metodologías aprobadas y te prepararás para articularlas entre sí, formando trenes metodológicos que se adapten a la medida de cada tipo de riesgo y empresa. Lo anterior, lo dominarás poco a poco mediante diferentes actividades y ejemplos que encontrarás en este material. Al mismo tiempo establecerás un puente con las asignaturas de *Dibujo industrial* y *Simuladores ambientales*, ya que parte del ERA implica la determinación del evento de mayor magnitud, así como la revisión de las simulaciones para determinar los radios de afectación, y saber plasmarlos en un plano de riesgos.

En el segundo tema, tal cual el título lo indica, estudiarás cómo se planea y establece un **Programa para la Prevención de Accidentes (PPA)** que permita a una empresa estar preparada y balancear los riesgos contra las medidas para prevenir, proteger, combatir las causas y/o paliar o auxiliar a los afectados, con las posibles consecuencias de los accidentes mayores.

En el tercer y último tema, revisarás la estructura, contenido y funcionalidad de un **Plan de Respuesta a Emergencias (PRE)** que da indicaciones a todo el personal sobre qué hacer en caso de cada tipo de emergencia al interior y exterior de una empresa.

Con el conocimiento obtenido en esta unidad, contarás con las herramientas necesarias para identificar los riesgos mayores en la industria; es necesario elaborar un Estudio de Riesgo conociendo las componentes que lo integran y la información que deberá abarcar, siendo principalmente: el PPA y el PRE. De éstos aprenderás sus características principales y la aplicación.

Recuerda participar en el *Foro de dudas*, en él compartirás tus expectativas de la unidad y ayudarás resolver de manera colaborativa las dudas que surjan en el camino. Dirígete con respeto a todos tus compañeros(as) y docente en línea. Realiza críticas constructivas a las aportaciones de los compañeros(as) y no olvides participar activamente en las discusiones.



Propósitos de la unidad



Al término de esta unidad podrás:

1

Analizar las actividades riesgosas de una empresa para desarrollar el Estudio de Riesgo Ambiental (ERA), mediante la formación de trenes metodológicos.

2

Identificar la planeación de un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA), para balancear riesgos contra medidas.

3

Identificar la estructura, contenido y funcionalidad de un Plan de Respuesta a Emergencia (PRE).



Competencia específica



Analiza actividades altamente riesgosas en la industria para determinar las medidas de prevención, protección y control de los daños derivados de los accidentes mayores, mediante la aplicación de tópicos de metodologías para el estudio de riesgo.

Actividades



Las instrucciones de las actividades de aprendizaje, las podrás consultar en el espacio *Avisos importantes*. Toma en cuenta que para estas unidades se han generado actividades colaborativas, individuales, complementarias, autorreflexiones y la evidencia de aprendizaje.



2.1. Estudio de riesgo

La elaboración del estudio de riesgo es un requisito indispensable que los establecimientos industriales deberán entregar cuando realicen actividades altamente riesgosas. En esta subtema conocerás las características principales que conforman estas actividades y que te permitirán identificarlas; enseguida, es necesario especificar cuál es el nivel de estudio de riesgo que los responsables de las instalaciones deberán considerar mediante un diagrama proporcionado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), además conocerás cuáles son las características de operación en los establecimientos industriales que integran los niveles 0, 1, 2 y 3 para que los responsables tengan claro qué aspectos deberán considerar en su estudio de riesgo.

Finalmente, con el objetivo de que tengas un panorama general del vínculo de lo que aprendiste en la Unidad 1 y lo que ahora conocerás, mediante un tren metodológico identificarás los puntos clave de los pasos a seguir en la elaboración del estudio de riesgo, requisito imprescindible para la Evaluación del Riesgo Laboral.

Con el paso del tiempo, la tecnología ha tenido una entrada sumamente importante en la vida diaria y de la misma manera nosotros la hemos adoptado creando un gran lazo de dependencia. La tecnología ha hecho más prácticas nuestras actividades cotidianas, pero no nos hemos puesto a pensar en los procesos y productos químicos que están involucrados para permitir que la tecnología se siga desarrollando. Entre más “industrial” se vuelva nuestro mundo, la probabilidad de que ocurran grandes accidentes será mayor e inminentemente estos accidentes tendrán un notable impacto sobre personas, medio ambiente y equipo (Casal et al., 2002).

Es evidente que conforme pasa el tiempo, la actualización de la tecnología avanza a pasos agigantados, sin embargo, esto representa un riesgo mayor y más frecuente de accidentes graves. Ejemplo de ello se observó en 1984 con el registro de tres de los accidentes más graves de la historia: en Sao Paulo, la rotura de un conducto de gasolina (800 muertos); en la Ciudad de México la explosión del incendio de un parque de almacenamiento de GLP (450 muertos) y en Bhopal el escape de gas con formación de una nube tóxica (3.000 muertos). Después, en 1989, la explosión de una gran nube de gas probablemente la mayor de la historia procedente de un escape provocó la muerte de aproximadamente 1.000 personas en los Montes Urales, en Rusia. También es importante mencionar el grave episodio de contaminación registrado en 1986 en el río el Rhin en Alemania, originado por el incendio de la Industria Química Sandoz. (Casal, et al., 2009; Waldrop, 1993).



Por sucesos graves como los anteriores, se ha enfatizado la evaluación de riesgos en diferentes áreas de trabajo que comprenda la identificación de los peligros, la determinación de los alcances de los accidentes y la intensidad de los efectos adversos en diferentes radios de afectación (CNA-IMTA, s.f.). El riesgo ambiental se ha convertido en un tema de suma importancia debido a que en la actualidad ya se tiene el registro del daño ambiental que provocan los accidentes catastróficos.

Hasta este punto, es importante que tengas presente la definición de riesgo ambiental. Evans et al. (2003) hace alusión al riesgo ambiental de la siguiente manera:



Riesgo ambiental

"Un análisis de riesgo ambiental se enfoca en los contaminantes químicos y sus posibles impactos adversos sobre la salud humana y los ecosistemas, así como en la toma de decisiones para atender y manejar estos riesgos".

Sin embargo, una definición más integral que engloba varias de las especificidades de un riesgo ambiental, y que deberás tener presente para el desarrollo de esta unidad, es la siguiente (CNA-IMTA, s.f.):

Un riesgo ambiental se entenderá como la probabilidad de que ocurran accidentes mayores en los que intervienen los materiales peligrosos que se manejan en las llamadas



actividades altamente riesgosas, y que pueden trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas.

Ahora bien, la evaluación de este riesgo se lleva a cabo con un Estudio de Riesgo Ambiental (ERA), que consiste en un conjunto de estrategias, técnicas y métodos para determinar si una instalación se encuentra dentro de los límites aceptables para la sociedad en cuanto al peligro y riesgo determinado por la probabilidad y las consecuencias en caso de materializarse. En el transcurso de la evaluación, la propuesta de algunas recomendaciones puede lograr que los riesgos fuera de control lleguen a ser aceptables, pero es casi imposible que los eliminen. Cuando los riesgos se consideran aceptables, los escenarios máximos potenciales derivados de ellos serán la base tanto para calcular los radios de afectación, como las medidas de prevención que equilibren la balanza del riesgo.

Es posible y conveniente realizar un ERA a cualquier empresa, sin embargo, en algunos casos no solo es conveniente sino imprescindible o incluso obligatorio. Esto dependerá del tipo de peligrosidad y de la probabilidad de que ocurra un accidente que provoque daños, lesiones o contaminación al ambiente de tal magnitud que resulten inaceptables.

El gobierno de México ha entendido que la mejor manera de intervenir es mediante la gestión de riesgos a través de la clasificación de las empresas de mayor riesgo.

La identificación de estas empresas se realiza con base en aquellas que realicen actividades altamente riesgosas, mediante el manejo de sustancias peligrosas que han sido clasificadas en función de sus propiedades y de las cantidades mínimas que ocasionarían una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

En el siguiente subtema profundizarás en las actividades altamente riesgosas y conocerás cuáles son los listados de las sustancias peligrosas, cuyo manejo hacen que las empresas sean de riesgo mayor.



2.1.1. Actividades altamente riesgosas

Dentro de las actividades que involucran los procesos en la industria, existen aquellas que pueden ser denominadas actividades altamente riesgosas. Para que sean consideradas tal cual deberán hacer uso de sustancias con características muy específicas que se clasifican como peligrosas; además, deberá verificarse que las cantidades utilizadas rebasen un límite (cantidad de reporte) establecido para que la actividad se considere altamente riesgosa. En este subtema conocerás cuáles son las sustancias peligrosas y la cantidad de reporte que convierten una actividad en altamente riesgosa. Esto es de suma importancia ya que, si un establecimiento industrial realiza actividades altamente riesgosas, entonces deberá cumplir con la obligación de presentar su estudio de riesgo.

El Capítulo V de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece en su Artículo 146, la siguiente información referente a la consideración de actividades como altamente riesgosas:

Artículo 146. La Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Gobernación y del Trabajo y Previsión Social, conforme al Reglamento que para tal efecto se expida, establecerá la clasificación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas en virtud de las características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas para el equilibrio ecológico o el ambiente, de los materiales que se generen o manejen en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando además, los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento.

Las características de las sustancias mencionadas en el Artículo 146 (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o biológico-infeccioso), se conocen con el concepto CRETIB, que implica una o varias componentes del peligro de las sustancias ya sean materias primas, productos, subproductos o residuos.

En el Artículo 147 establece la obligación de presentar un estudio de riesgo a nivel de declaración o manifiesto y someter a la aprobación de la autoridad el programa para la prevención de accidentes.

Artículo 147. La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevarán a cabo con apego a lo dispuesto por esta Ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el artículo anterior. Quienes realicen actividades altamente riesgosas, en los términos del Reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un Estudio de Riesgo Ambiental, así como someter a la



aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, y del Trabajo y Previsión Social, los Programas para la Prevención de Accidentes (PPA) en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.

El reglamento que se menciona en la LGEEPA no ha sido publicado, sin embargo, en México se decretaron **dos listados de actividades altamente riesgosas** mediante un acuerdo entre la Secretaría de Gobernación y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. En este acuerdo se determina que las actividades altamente riesgosas serán aquellas que estén asociadas con el manejo de sustancias con propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, radioactivas, corrosivas o biológicas. Para estas sustancias, se determina la cantidad mínima denominada cantidad de reporte, que en caso de producirse una liberación sea por fuga o derrame de las mismas o bien una explosión, ocasionarían una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes (DOF, 1990 y 1992).

Los listados que permiten que se realice la clasificación de actividades altamente riesgosas son:

- **Primer listado** (sustancias tóxicas) 28 de marzo de 1990.
- **Segundo listado** (sustancias inflamables y explosivas) 04 de mayo de 1992.



Para que conozcas más sobre los listados emitidos por la Secretaría de Gobernación y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y la clasificación de las actividades altamente riesgosas, **revisa** la siguiente información en el apartado *Para saber más*.

- DOF 1990. Primer listado de actividades altamente riesgosas.
- DOF 1992. Segundo listado de actividades altamente riesgosas.

Una vez que, con base en los listados, se ha identificado que la empresa realiza actividades altamente riesgosas; partiendo de las sustancias peligrosas que maneje en función de sus propiedades, así como de las cantidades de reporte, son obligadas a realizar y presentar una Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA), así como un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA).



Una perspectiva similar ocurre en España, solo que los listados son impuestos por el gobierno de la Comunidad Económica Europea mediante la Directiva Seveso. Esto lo indica Casal, et al., (2009 p. 81) en su libro *Análisis de riesgo en instalaciones industriales*:

Las empresas clasificadas mediante este criterio administrativo, basado en el tipo de sustancia y la limitación de cantidades, tienen la obligación de presentar a las autoridades competentes (en general, a los servicios de industria y de protección civil que dependen de la administración autonómica) una información detallada sobre:

- Sus actividades industriales (información básica o IBA).
- Los posibles accidentes que pueden ocurrir y el alcance de sus consecuencias (estudio de seguridad o ES).
- Las medidas organizativas de respuesta a las situaciones de emergencia previstas (redactadas como plan de emergencia interior o PEI).

Debes tener claro que toda industria cuyo proceso utilice sustancias peligrosas consideradas en los listados, y que la cantidad utilizada en el proceso rebase la cantidad de reporte de los listados, entonces la actividad será considerada como altamente riesgosa. Como ejemplo de un establecimiento que realice actividades altamente riesgosas, podríamos considerar una planta de tratamiento de aguas residuales cuyo proceso final es la desinfección con cloro. Si esta planta cuenta con tanque de gas cloro, la capacidad del este deberá ser menor a 1 kg para no ser considerada una actividad altamente riesgosa (DOF, 1990), de lo contrario, si la capacidad es igual o mayor a la cantidad de reporte, entonces es considerada como actividad altamente riesgosa, y por ende deberá presentar su estudio de riesgo.

Los listados comprenden una amplia gama de sustancias peligrosas y establecen diferentes cantidades de reporte en sus distintos estados físicos en que se pueden encontrar. De esta manera, se abarca toda la industria, mayormente química para tener un mejor control y de alguna manera asegurar que cada una cuenta con su estudio de riesgo para aminorar los accidentes dentro del establecimiento.

Una vez que se determina si una actividad es altamente riesgosa, el siguiente paso es la elaboración del estudio de riesgo; para ello debe considerarse cierto nivel de estudio, de acuerdo a las características de operación de la industria. Esto lo verás en el siguiente subtema.



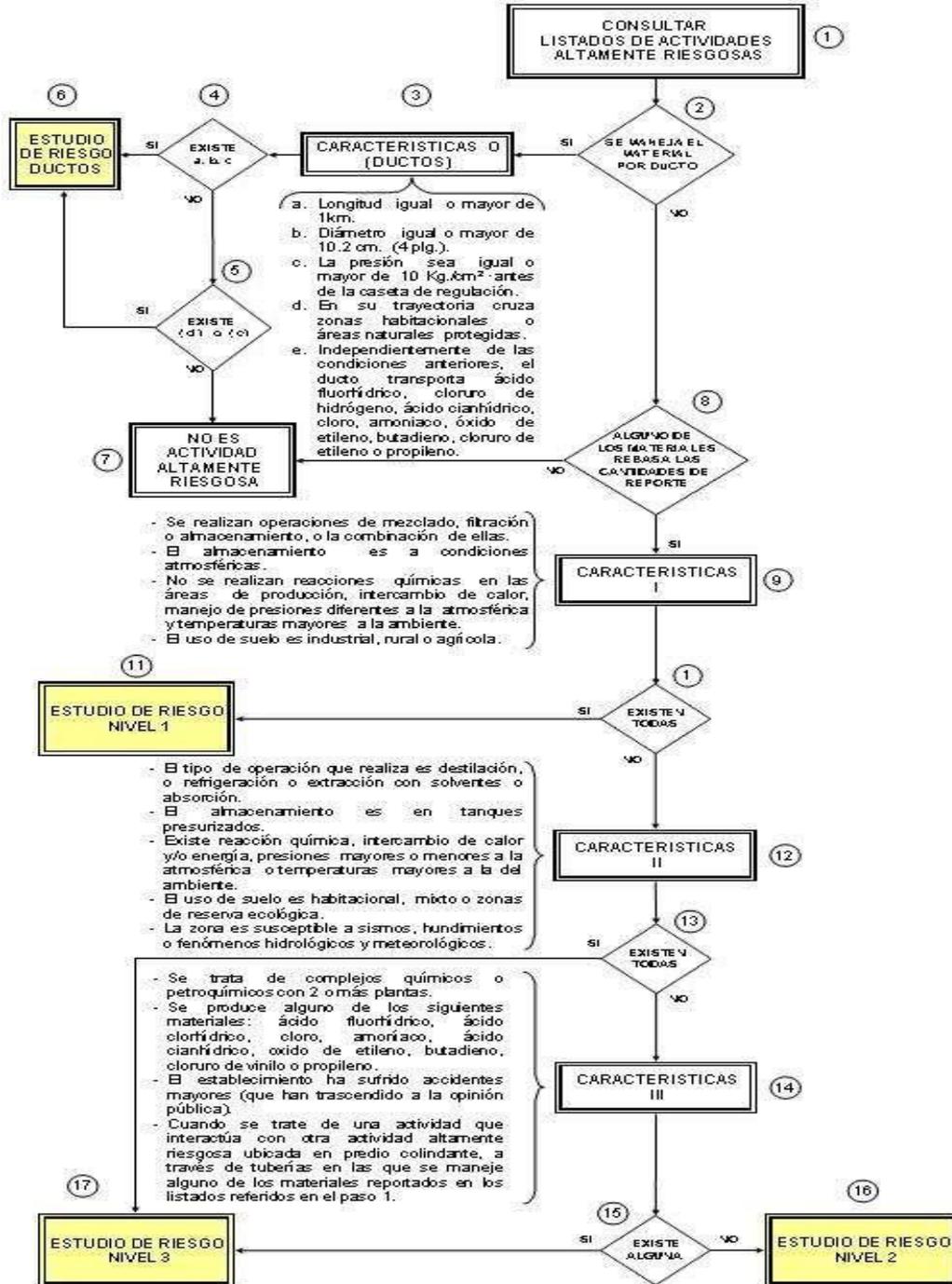
2.1.2. Niveles de riesgo y guías

Toda empresa que realice actividades altamente riesgosas deberá presentar su estudio de riesgo. La SEMARNAT (2012a) establece cuatro niveles diferentes de información para la presentación de los estudios de riesgo ambiental que dependerá de las condiciones de operación del establecimiento industrial.

En el siguiente diagrama observarás los niveles de estudio de riesgo que son requeridos por la autoridad. Los círculos con numeración indican el orden necesario para su aplicación.



Diagrama para determinar el nivel del estudio de riesgo.



Fuente: SEMARNAT (2012^a).



A continuación, se proporciona una descripción general de la clasificación de los **estudios de riesgo por niveles** a partir de la información que proporciona el diagrama:

Nivel 0

El nivel cero se designa específicamente al transporte de sustancias altamente riesgosas por medio de ductos. Este considera las características físicas de los ductos, así como los sitios de su trayectoria.

Nivel 1

El nivel 1 fue asignado a los riesgos de proceso más simples. Se trata del almacenamiento a temperatura y presión ambiente, así como al mezclado de sustancias sin que se produzca una reacción química. Durante la elaboración del estudio se solicita como requisito la utilización de un método para la identificación de peligros y la evaluación del riesgo.

Nivel 2

El estudio de riesgo nivel 2 considera aquellas actividades que si bien los materiales rebasan las cantidades de reporte, no incluyen las características del nivel 1 ni del nivel 3.

Nivel 3

El nivel 3 aplica para dos grupos de diferentes características porque las actividades podrían cumplir las características de un grupo o del otro. El primer grupo hace las siguientes consideraciones: el almacenamiento se lleva a cabo a presión o temperatura superior a la atmosférica; el proceso incluye una reacción química con intercambio de calor; el proceso se lleva a cabo en zona habitacional, reserva ecológica o zona sísmica o susceptible de hundimientos; el proceso se lleva a cabo en sitios donde se presentan fenómenos hidrológicos o meteorológicos. Bajo algunas de estas circunstancias, la ERA deberá elaborarse con mayor detalle utilizando dos o más métodos articulados.

El segundo grupo implica sustancias altamente riesgosas y se lleva a cabo en un complejo petroquímico con intervención de dos o más plantas, o si se utilizan algunos materiales sumamente reactivos, tóxicos y/o explosivos como ácido fluorhídrico, ácido cianhídrico, ácido clorhídrico, cloro óxido de etileno, amoníaco, butadieno, cloruro de vinilo o propileno. Para lo anterior, se deberán considerar cuando menos tres métodos de análisis.



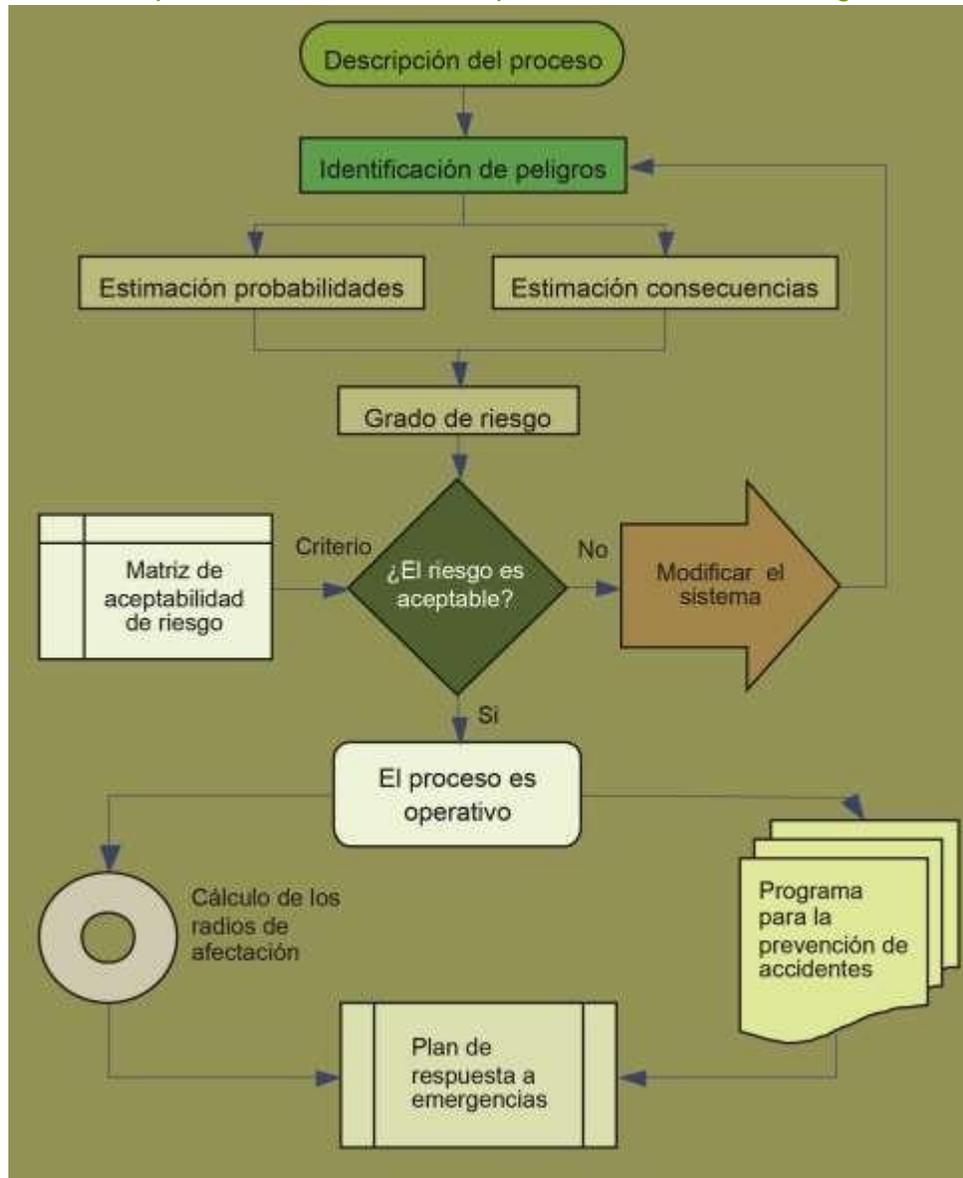
Una vez que se haya identificado el nivel de estudio de riesgo, de acuerdo a las condiciones de operación bajo las cuales se trabaja, los responsables deberán presentar su estudio de acuerdo a las características que la guía establece. Cabe mencionar que un punto importante en la elaboración del estudio de riesgo es que la guía no deberá considerarse como un cuestionario y cada punto que la integra deberá desarrollarse con la profundidad técnica suficiente, capaz de sustentar la evaluación integral de la instalación (SEMARNAT, 2012).

2.1.3. Selección del tren de análisis

Una manera de elaborar un panorama que te ayude a focalizar los diferentes pasos a seguir en la evaluación del riesgo se puede hacer mediante un **tren de análisis**. Este tren resume lo estudiado en la Unidad 1, y se complementa con los conocimientos que en esta unidad aprenderás. Si observas el diagrama del **tren de análisis** que a continuación se presenta, identificarás que sus primeros componentes son los temas vistos en la unidad 1 y corresponden a la descripción del proceso, identificación de peligros, estimación de probabilidades y consecuencias, y con ello se obtiene un grado de riesgo.



Propuesta de tren de análisis para la evaluación del riesgo.



El siguiente paso es determinar si el grado de riesgo se considera aceptable o no. Para esto, existen diferentes metodologías que pueden ser utilizadas y que en los siguientes subtemas conocerás. Finalmente, y en seguimiento con el tren de análisis, se puede llevar a cabo el cálculo de los radios de afectación posible, y por otra parte dos documentos que son esenciales en la evaluación del riesgo: el Programa para la Prevención de Accidentes y el Plan de Respuesta a Emergencias. En ellos, se proporcionan las medidas que deben ser implementadas para aminorar los riesgos, y la respuesta reactiva ante el mismo.



El objetivo de esta propuesta de tren de análisis es que hagas un repaso rápido de los diferentes componentes que integran la evaluación del riesgo para que tengas claro de donde se parte, con el conocimiento claro del proceso a estudiar, y hasta dónde se debe llegar con el Plan de Respuesta a Emergencias. Este tren de análisis puede variar de acuerdo a casos muy específicos, al nivel de análisis que se realice y a las metodologías necesarias.

Hasta este punto, el conocimiento que has adquirido consiste en hacer un esbozo de la metodología general a seguir para la evaluación del riesgo. A continuación, te adentrarás en la parte teórica relacionada con las diferentes técnicas utilizadas para el análisis del riesgo.

En la evaluación de riesgos existen métodos integrales que cubren varios de las componentes que conforman la propuesta del tren de análisis. Un ejemplo de ellos es el **método HAZOP**, este método, mediante el uso de una matriz o tabla, identifica los peligros y con la inclusión de las columnas de probabilidad y consecuencia, es posible calcular el grado de riesgo, aunque en una forma estimada y determinística.

2.1.4. Técnicas de análisis

Las técnicas de análisis son las herramientas que permiten evaluar cualitativa o cuantitativamente el riesgo.

Entre las principales técnicas para aplicación en la industria se encuentran dos grupos: técnicas para identificar peligros y técnicas para valorar peligros.

Las técnicas de análisis tienen características distintas, por lo que la elección de una u otra se debe efectuar a partir del conocimiento de sus ventajas y desventajas. Una estimación inadecuada produce resultados inconvenientes o incluso puede truncar el estudio del riesgo.

Algunos métodos para la identificación de peligros pueden ser comparativos y generalizados (auditorías) donde se comparan los reglamentos de la industria con las normas nacionales o internacionales. Por otro lado, dentro de los métodos para valorar peligros, que son métodos cuantitativos y que asignan valores, se encuentran los árboles de fallos o de sucesos y finalmente, los criterios de aceptabilidad. Ejemplos de estos métodos se muestran a continuación (Casal, et al., 2002, p.42):



1. Cualitativos

1.1. Comparativos

- **Auditoría de seguridad**, comparando lo existente contra las normas nacionales o los códigos internacionales tales como *American National Standards Institute (ANSI)*, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *American Petroleum Institute (API)*, *National Fire Protection Association (NFPA)*, *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, *Nace International The Corrosion Society (NACE)*.
- **Lista de verificación**, algunas de ellas propuestas por los mismos organismos que emiten normas.
- **Análisis histórico** (Casal, et al., 2002, p.50), utilizando accidentes similares buscados por Internet y/o bases de datos tales como:
 - MHIDAS con más de 7.000 accidentes de todo el mundo, comercializado en formato CD ROM.
 - FACTS con los 15.000 accidentes más graves de los últimos 60 años, disponible en disquetes.
 - SONATA con un número inferior de accidentes, es menos detallado que el MHIDAS, pero más que el FACTS en aspectos descriptivos.
 - MARS con accidentes ocurridos en países de la comunidad europea y con información muy detallada procedente de las empresas implicadas.
- **Análisis preliminar de riesgos** (*Preliminar Hazard Analysis, PHA*).

1.2. Generalizados

- ¿Qué pasa si? (*What if?*), Análisis de peligro y operabilidad (*HAZard and OPerability Analysis, HAZOP*), Análisis de modos de fallo y efectos (*Failure Modes and Effect Analysis, FMEA*).

2. Cuantitativos

2.1. Árboles

- Árbol de fallos
- Árbol de sucesos

3. Criterios de aceptabilidad

3.1. Matriz de aceptabilidad

3.2. Nivel de aceptabilidad



Si quieres conocer más sobre las técnicas de análisis para identificar los peligros, **consulta** la carpeta de *Material de estudio* donde encontrarás los manuales de:

- Árbol de fallos
- Árbol de sucesos
- Aceptabilidad
- *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)*

De los métodos anteriores, el más reconocido en la industria química es el HAZOP ya que *per se* presenta variantes metodológicas en la práctica y puede combinarse con otras metodologías para convertirlo en un método de evaluación de riesgo y posteriormente obtener el Programa para la Prevención de Accidentes, e incluso el Plan de Respuesta a Emergencias. Por ello, en este subtema ahondaremos un poco más en él.

El análisis HAZOP pretende, mediante un protocolo relativamente sencillo, estimular la creatividad de un equipo de expertos con diferente formación para encontrar los posibles problemas operativos. Los miembros de los equipos de trabajo son, por una parte, los técnicos que serán los especialistas en las áreas de conocimiento implicadas (refinerías, plantas químicas, centrales eléctricas, centrales nucleares), y por otra parte los analistas de riesgo que dan soporte lógico (dirigir, moderar y documentar) al estudio y que deben ser especialistas en aplicar la metodología HAZOP. La metodología se realiza en los siguientes pasos generales (Casal, et al., 2002, p. 54):

1. En primer lugar, se define el objetivo y alcance del estudio de los límites físicos de la instalación o proceso que se quiera estudiar, así como conocer toda la información disponible.
2. Enseguida se seleccionan los elementos críticos que deben estudiarse (depósitos, reactores, separadores) mediante un diagrama de proceso que especificará nodos de estudio correspondientes a cada línea de fluido de cada elemento seleccionado.
3. Después, se aplican palabras guía (no, más, menos, otro, parte de, etc.) a cada una de las condiciones de operación del proceso, las sustancias y las variables que intervienen (flujo, presión, temperatura, nivel, tiempos). Las palabras guía se observan en la siguiente tabla:



Resumen de palabras guía y variables de proceso utilizadas en los análisis HAZOP.

Palabra guía	Significado	Palabra guía	Significado
NO	Negación de la intención del diseño	Temperatura Presión Nivel Reacción Composición Caudal Velocidad Tiempo Viscosidad Mezcla Voltaje Adición Separación PH	"No" + "Caudal" = Falta de caudal
MENOS	Disminución cuantitativa		"Menos" + "Nivel" = Bajo nivel
MÁS	Aumento cuantitativo		"Más" + "Presión" = Presión excesiva
OTRO	Sustitución parcial o total		"Otra" + "Composición" = Presencia de impurezas
INVERSA	Función opuesta a la intención de diseño		"Inverso" + "Caudal" = Flujo inverso

Fuente: Casal, et al., (2002).

El objetivo principal del método consiste en abarcar todas aquellas desviaciones significativas que podrían presentarse modificando las condiciones normales de operación y permitan identificar sus posibles causas y consecuencias, y, por lo tanto, del riesgo potencial y de los problemas derivados de un funcionamiento incorrecto; en paralelo, se buscan las medidas correctoras (Casal, et al., 2002).

En el siguiente cuadro observa un ejemplo orientativo de Tabla HAZOP.



Empresa: Departamento: Nodo:				Hoja ____ de ____ Fecha: _____ Secretario: _____ Participantes:	
Palabra guía	Variable	Desviación	Posibles Causas	Posibles Consecuencias	Medidas correctoras
Más	Presión	Ruptura de tubería	Taponamiento en la salida	Derrame de la sustancia	Válvula de relevo. Cambio de la bomba de pistones a una centrífuga

Para el manejo y llenado de la tabla, los títulos de las columnas permanecen en ese mismo orden y la información base con la que se trabaja es la palabra guía y la variable. El objetivo principal es abarcar todas las palabras guía y todas las variables posibles que pudieran estar afectando en cada uno de los procesos que integran el sistema en estudio de manera que se identifiquen todos los posibles problemas operativos que se podrían presentar.

El método HAZOP es de fácil aplicación, y requiere que se cuente con panorama muy claro y amplio de todas las implicaciones de los procesos en estudio, para no perder de vista ningún aspecto que en un futuro pueda materializarse en un accidente.

Hasta este punto, se concluye con la información del subtema 2.1 Estudio de riesgo. En este, se abarcaron cuatro vertientes importantes en la elaboración del estudio de riesgo. En primer lugar, identificaste las características principales que hacen que una actividad sea altamente riesgosa; enseguida, partiendo de un escenario donde se cuenten con este tipo de actividades y dependiendo de las características de operación que se encuentren en el área de trabajo, se especifica el nivel de estudio de riesgo que deberá ser considerado en su elaboración. Después, retomar los conocimientos de la primera unidad y ligarla con la información que de esta unidad estás asimilando, conociste una propuesta de tren metodológico que comprende los temas clave necesarios para la evaluación del riesgo; finalmente, de forma general, conociste algunas de las técnicas de análisis necesarias para la evaluación cualitativa o cuantitativa del riesgo.

En el siguiente tema, conocerás uno de los apartados que integran el estudio de riesgo, y que conforman unos de los productos principales necesarios para evitar que la presencia del riesgo pueda materializarse en un accidente. Para ello, se elabora un Programa para la Prevención de Accidentes.



2.2. Programa para la prevención de accidentes

Una vez que se ha realizado la Evaluación del riesgo en el área de trabajo, y que se han identificado los focos rojos donde será necesario poner especial atención, será necesario especificar de forma explícita de qué manera la empresa está preparada para enfrentarse a los accidentes que en cualquier momento se pueden presentar. Para ello, el establecimiento industrial deberá elaborar un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA), donde se puntualicen las áreas de riesgo y de qué manera será atendido.

En el presente tema conocerás las especificaciones que en la elaboración del PPA deben ser consideradas. Una de ellas consiste en la descripción del entorno de trabajo, donde algunos lugares realizan actividades que implican un alto riesgo; para ello, existen índices que identifican las áreas donde el riesgo es mayor. Conocerás la información relacionada a éstos en el presente tema, asimismo, identificarás algunas opciones tangibles que pueden ser utilizadas como medidas de prevención de accidentes, entre estas: dispositivos automatizados y programas de cómputo que controlan el manejo de procesos industriales.

“En México, originalmente, las actividades consideradas como altamente riesgosas se encuentran reguladas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en sus Artículos 146 al 149” (DOF, 1998). La forma tangible en que en realidad estas actividades son controladas y monitoreadas, es mediante la obligatoriedad de la aplicación de dos instrumentos jurídicos, el Estudio de Riesgo Ambiental (ERA) y el Programa para la Prevención de Accidentes (PPA) (SEMARNAT, 2012b).

“El PPA es un documento a través del cual una persona física o moral que realiza actividades consideradas como altamente riesgosas describe las medidas y acciones de prevención contra los riesgos analizados en el ERA” (De Lucio, 2009). La SEMARNAT (2010) ofrece en su página de Internet el documento *Guías para la elaboración del PPA*, donde indica todos los puntos que deben integrarlo y que deben ser desarrollados con la profundidad técnica suficiente, capaz de sustentar la evaluación integral de la instalación. A continuación, se presentan los apartados que conforman esta guía.

- I. Datos generales del establecimiento o instalación, del representante legal de la empresa y del responsable de la elaboración del programa para la prevención de accidentes.
- II. Descripción del entorno del establecimiento o instalación donde se desarrollarán las actividades altamente riesgosas.
- III. Materiales peligrosos manejados y zonas potenciales de afectación.



- IV. Identificación de medidas preventivas para controlar, mitigar o eliminar las consecuencias y reducir su probabilidad.
- V. Programa de actividades a realizar derivadas del Estudio de Riesgo Ambiental presentado por el establecimiento o instalación.
- VI. Plan de Respuesta a Emergencias.
- VII. Directorio de la estructura funcional para la respuesta a emergencias.
- VIII. Plan para revertir los efectos de las liberaciones potenciales de los materiales peligrosos, en las personas y en el ambiente (cuerpos de agua, flora, fauna, suelo).
- IX. Cumplimiento de la normatividad en materia de seguridad, prevención y atención de emergencias emitidas por las dependencias del Gobierno Federal que conforman la comisión, en términos del Artículo 147 de la LGEEPA.
- X. Plan de respuesta a emergencias químicas nivel externo.
- XI. Comunicación de riesgos.

En la elaboración del Programa para la Prevención de Accidentes (PPA) será necesario, al igual que en el caso del Estudio de Riesgo Ambiental, seguir una guía. En el PPA se deben describir todas las actividades, procedimientos y sistemas con que cuenta la empresa para (como su nombre lo indica) prevenir los accidentes mayores.

Las actividades a considerar en el PPA son varias: la comunicación de riesgos mediante señalización, sistemas de detección y alarma, los procedimientos y licencias para trabajo en caliente, los sistemas automáticos de relevo de presión (válvulas de seguridad), los extintores, el sistema de hidrantes y las brigadas de combate de incendios, evacuación de personal, rescate y primeros auxilios.

En el PPA es importante que exista un balance entre los riesgos evaluados y las medidas propuestas. Para un planteamiento adecuado de estas medidas, existen algunos índices cuyos métodos evalúan el riesgo bajo circunstancias específicas tal como incendios y explosiones. Asimismo, una medida de prevención se puede ver reflejada en dispositivos o instrumentos que ayudan a controlar un proceso de manera que evitan que ocurra un accidente. Lo anterior, lo estudiarás en los siguientes subtemas.



2.2.1. Balance y suficiencia

Para que un Programa para la Prevención de Accidentes sea validado, es necesario que pase por un procedimiento de balance, es decir poner sobre la mesa con qué medidas de prevención se cuenta y cuáles son los riesgos a los que se está expuesto, para esto existen diversos métodos para balancear los riesgos contra los medios y para prevenir y/o controlar la emergencia.

Una de las formas que se tiene para balancear los riesgos contra las medidas de prevención, protección y control de emergencias es que estas medidas deberán cubrir como mínimo lo indicado por la legislación no solo ambiental sino de protección civil y de seguridad e higiene industrial.



Un ejemplo de lo que debe incluir un Programa para la Prevención de Accidentes se muestra en la *Guía para la elaboración del programa para la prevención de accidentes (PPA)*, Tramite SEMARNAT 07_013 Aprobación del Programa para la prevención de Accidentes de la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas el cual puedes **revisar** en la siguiente liga en donde encontrarás todo lo que se debe tomar en cuenta en cuestión del contexto y diagnóstico de los riesgos lo que ayuda a conocer qué tan suficiente y balanceado es un PPA.

<http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-013/Gu%eda%20del%20programa%20para%20la%20prevenci%fn%20de%20accidentes.pdf>

Otra forma con la que se puede cotejar la prevención y los riesgos posibles es mediante algunos índices los cuales revisarás en el siguiente subtema.



1.2.2. Índices Gretener Dow, Mond y Muhlbauer

Como parte del PPA, un punto importante es la descripción del entorno del establecimiento o instalación donde se desarrollarán las actividades altamente riesgosas, y con ello la identificación de las medidas preventivas para mitigar las consecuencias y reducir su probabilidad.

Existen entornos o áreas de trabajo con características muy particulares donde los accidentes pueden llegar a ser de mayor gravedad, tal es el caso de los incendios, explosiones y toxicidad. En esta situación, se cuenta con índices de riesgo que son métodos directos y simples para estimar y jerarquizar los riesgos asociados a un proceso. Aun cuando realmente no han sido concebidos para identificar peligros, ayudan a seleccionar áreas donde los riesgos son mayores. Utilizan algunas características de los materiales utilizados (toxicidad, reactividad, volatilidad, etc.), así como la ubicación y disposición de las unidades de la planta (Méndez, 2007).

Los índices de riesgo son arreglos matemáticos que toman datos de la realidad y los transforman con base en la experiencia y al ingenio de especialistas; asimismo, sin que estos índices tengan una base totalmente científica, obtienen validez cada vez que ocurre un accidente y la dimensión del pronóstico se aproxima a la del evento. Por esta falta de rigor científico, se les llama semi-cuantitativos. Cada índice tiene una mayor adaptación a un tipo de actividad o peligro, ejemplos de ellos son:

- Índice Dow: incendio y explosión (complejos).
- Índice Mond: incendio, explosión y toxicidad.
- Índice Gretener: comercios y fábricas pequeñas.
- Índice Mulhbauer: ductos.

El índice Dow, de incendio y explosión, es una herramienta para la evaluación objetiva paso a paso de la posibilidad real de un incendio, explosión y reactividad de equipos de proceso y su contenido en la industria química. Su propósito es servir como guía para seleccionar el método de protección contra incendios adecuado y ofrecer información clave para ayudar a evaluar el riesgo general de incendio y explosión. El propósito más amplio de este sistema es disponer de un método que permita ordenar las unidades de proceso individuales según su riesgo, centrándose en los equipos importantes y proporcionar datos a los ingenieros de las pérdidas potenciales en cada área de proceso, para ayudarles a identificar maneras de disminuir, de una manera eficaz y rentable la severidad y las pérdidas resultantes de incidentes potenciales.

El índice de Mond fue desarrollado a partir del índice de Dow. La diferencia radica en que el índice de Mond considera la toxicidad de las sustancias presentes y este parámetro es



introducido como un factor independiente considerando los efectos de las sustancias tóxicas por contacto cutáneo o por inhalación. En general, el índice de Mond es más detallado y tiene en cuenta mayor número de parámetros de riesgo siendo necesario un mayor número de cálculos. Este método se selecciona cuando en la instalación a estudiar la presencia de productos tóxicos sea importante.

El índice Gretnener fue diseñado para riesgos pequeños y medianos. Es una metodología que permite evaluar de forma cuantitativa el riesgo y el peligro potencial del incendio. Una desventaja es que no es útil para valorar las industrias de gran riesgo como las petroquímicas.

El índice de Muhlbauer permite evaluar los niveles de riesgo relativo en todo el recorrido de una tubería. Como primera parte del método se requiere segmentar la tubería aplicando ciertos criterios entre los cuales se encuentran los cambios en la geometría de la tubería, cambios en las condiciones geográficas, cruces en cuerpos de agua, población circundante, etc. Para cada uno de los segmentos establecidos se califican cuatro factores de riesgo que pueden generar una falla, siendo estos: daños por terceros, corrosión, diseño y operaciones incorrectas.

Una vez evaluado cada segmento en los cuatros factores, se puede determinar la probabilidad de ocurrencia relativa de una falla o rotura de la tubería en cada uno de estos. Enseguida, para cada segmento se evalúa el factor de impacto de la fuga empleando la técnica de árbol de consecuencias y después el puntaje de riesgo relativo, permitiendo así identificar cuáles de los segmentos de la tubería son los más riesgosos y requieren mayor atención en la implementación de medidas de reducción de los riesgos.

Una de las grandes ventajas que proporcionan los índices es que cuando los resultados no son satisfactorios, existe la posibilidad de llevar a cabo modificaciones en papel, y volver a calcular con un doble objetivo; el primero es ver el impacto que tiene una medida de prevención en el resultado total, y el segundo es la justificación de la inversión ya que conociendo el costo y el beneficio (en el resultado), podremos establecer la medida más adecuada a la prevención requerida.

Para que tengas más claro el cálculo de los índices, enseguida observarás mayor detalle de información del índice de Dow para después aplicarlo en un ejemplo.

Índice de Dow

El índice de Dow se estima mediante la siguiente fórmula: Índice Dow = (Factor de Material) x (Factor de Riesgo)



El factor de material es un número comprendido entre 1 y 40 asignado a un compuesto de acuerdo a su potencial intrínseco para liberar energía en un incendio o en una explosión. Estos parámetros incluyen: calor de reacción (combustión), índices de reactividad química, índices de peligrosidad para la salud, inflamabilidad, punto de destello (flash), y temperatura de ebullición.

El índice Dow se calcula para todas las unidades pertinentes a partir de factores que reflejan las características de los materiales utilizados y de las condiciones del proceso: el factor de material y el factor de riesgo. El factor de riesgo de la unidad es un número entre 1 y 8 calculado como el producto de dos factores de riesgo:

- Riesgos generales del proceso (considera la presencia de reacciones exotérmicas o la realización de carga y descarga).
- Riesgos especiales del proceso (ej. La operación del intervalo de inflamabilidad o a presiones distintas de la atmosférica)

La siguiente tabla ilustra algunos valores de factores de materiales (FM) para compuestos típicos:



Factores de materiales (FM) para compuestos típicos.

Compuesto	FM	Compuesto	FM
Acetaldehído	24	Etileno	24
Ácido Acético	14	Etilenglicol	4
Acetona	16	Formaldehído	24
Acetileno	40	Gasolina	16
Amoniaco	4	Glicerina	4
Benceno	21	Hidrógeno	21
n-Buteno	21	Isopropanol	16
Cloro	1	Metano	21
Cloroformo	1	Metanol	16
Ciclohexano	16	Monóxido de Carbono	16
Dimetilamina	21	Piridina	24
Etano	21	Propano	21
Etanol	16	Tolueno	16
Etanolamina	4	Xileno	16

Fuente: Dow, (1987).

Estos factores son asignados como penalidades, de acuerdo a los criterios señalados en la guía Dow (1987). Algunos de ellos son resumidos en la siguiente tabla:



CÁLCULO DEL FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD	PENALIZACIÓN
Riesgos Generales de Proceso:	
• Valor Base	1,00
• Reacciones químicas exotérmicas	0,30 – 1,25
• Procesos endotérmicos	0,20 – 0,40
• Manejo y conducción de productos	0,25 – 1,05
• Unidades encerradas o cubiertas	0,25 – 0,90
• Drenajes y control de derrames	0,25 – 0,50
Riesgos especiales del proceso:	
• Valor base	1,0
• Materiales tóxicos	0,20 – 0,80
• Operación cerca del límite de inflamabilidad:	
Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables	0,50
Presión	0,30
• Baja temperatura	ver guía Dow
0,20 – 0,30	
• Cantidad de productos inflamables: Sólidos, líquidos, gases y productos reactivos en proceso, o en almacenamiento.	ver guía Dow
• Corrosión y erosión	0,10 – 0,75
• Fugas, juntas y cierres	0,10 – 1,50

Fuente: Dow, (1987).

El índice de Dow es un valor entre 1 y 320 que permite estimar el área de exposición y el máximo daño probable a la propiedad debido al incendio o explosión. El área de exposición es un círculo ideal, en cuyo interior se manifestarían los efectos destructivos derivados de una explosión o un incendio de la unidad de proceso evaluada. El radio de este círculo se calcula como:

$$\text{Radio (m)} = 0.256 \times \text{Índice de Dow}$$

Para mayor información, se recomienda consultar directamente en la literatura publicada por Dow Chemicals (1987), donde se actualiza los diferentes valores en forma periódica. Este método puede ser de mucha ayuda en la estimación de las consecuencias derivadas de la explosión o incendio de una instalación química.

Ejemplo: Índice de Dow

Considera el almacenamiento de 25,000 toneladas de etileno líquido en un estanque refrigerado a presión atmosférica.

- Factor de material para el etileno = 24
- Riesgos generales = 1.5



Valor de base (1.0)

No se tiene reacciones químicas exotérmica o endotérmicas

No hay manejo o conducción de productos

Unidad cubierta (penalización 0.25)

Se considera que no hay problemas de acceso

Se tiene control de derrames (penalización 0.25)

- Riesgos Especiales del Proceso = 4.0

Valor base (1.0)

Materiales tóxicos (0.2)

No trabaja a vacío

Operación cerca del límite de inflamabilidad (0.5)

No procede penalizar por explosión de polvo.

Para presión atmosférica (por tratarse de un gas inflamable licuado), se recomienda una penalización de 0.2

No cabe penalizar por baja temperatura, ya que se supone un estanque con materiales apropiados.

Cantidad de materiales inflamables. La guía Dow recomienda una penalización de 2 para este caso.

Se considera una corrosión mínima de (0.1).

El resto de los ítems no se consideran relevantes en este ejemplo.

Factor de Riesgo de la unidad = $1.5 \times 4.0 = 6$

Índice de Dow = $24 \times 6.0 = 144$

Radio del área de exposición = $144 \times 0.256 = 37$ metros



Si quieres conocer más sobre algunos de estos índices (Gretener Dow, Mond y Muhlbauer), **lee** los manuales de índices que se encuentran en la carpeta *Material de estudio*.



2.2.3. Sistema de control distribuido

Las medidas de prevención pueden ser materializadas en dispositivos, especialmente en los procesos industriales, mismos que son cada vez más controlados por dispositivos computarizados. Desde los más simples como los controles lógicos programables (PLC por sus siglas en inglés), hasta los sistemas de control distribuido (SCD). El SCD es un sistema de control aplicado a procesos industriales complejos en las grandes industrias petroquímicas, papeleras, metalúrgicas, centrales de generación, plantas de tratamiento de aguas, incineradoras o la industria farmacéutica. Los primeros DCS datan de 1975 y controlaban procesos de hasta 5000 señales. Las capacidades actuales de un SCD pueden llegar hasta las 250,000 señales (Russell y Cohn, 2012).

Su funcionamiento se realiza mediante sensores que obtienen información en forma remota de los parámetros o variables del proceso. Con esos datos y los valores de referencia hacen que cuando el proceso se sale de control suenan alarmas tanto en alto como en bajo nivel, y existen actuadores que mueven válvulas y controles para mantener dentro de la normalidad al proceso. A este tipo de sistema se le denomina seguridad de proceso, y aunque sus objetivos son mantener el proceso dentro de las condiciones normales de operación, esta condición implica una forma de estar también dentro de la seguridad como prevención de riesgos.

En la medida en que los procesos, en general, y en especial los procesos químicos se han automatizado, se han detectado problemas cuando esos controles o sensores fallan. Esto es muy delicado, en especial cuando se trata de sustancias peligrosas, por esto es que con la incorporación de conceptos de los códigos IEC, se introdujo un nuevo desafío a los proyectos ingenieriles: la determinación de los niveles SIL (*Safety Integrity Level*) o nivel de integridad en seguridad. Por lo general, se realiza un HAZOP pero enfocado a la confiabilidad de los detectores y actuadores, por lo que en ese caso recibe el nombre de HAZOP SIL.



2.2.4. Sistema de paro de emergencia

En los procesos continuos de grandes complejos industriales, así como en aquellos en los que una operación sigue o se alimenta de otra o que el producto de una se utiliza como refrigerante o calefacción de otro, se hace necesario establecer medidas específicas complejas para llevar a cabo el paro de actividades. De manera que es tal la complejidad y precisión en tiempo y forma, que a estas operaciones se les ejecuta por medio de un programa de cómputo llamado ESD (*Emergency Shut Down*).

ESD son los sistemas de instrumentación para seguridad más comunes que consisten en plataformas encargadas de la prevención de accidentes que, ante una situación de riesgo, llevarán a la planta a estado seguro (parada parcial o total). Estos sistemas son los que se usan con mayor frecuencia debido a que se trata de una implementación sencilla y se pueden adaptar a las instalaciones ya existentes en la planta (Electro Industria, 2013).

El programa asociado a válvulas de grandes inventarios, conforman verdaderas salvedades en caso de emergencia. Con estos sistemas solo es necesario oprimir un botón de emergencia o dar clic sobre un botón virtual en la pantalla de la computadora para que los sistemas se cierren en la forma estudiada y secuenciada previamente sin causar mayores problemas.

Las funciones que realiza un sistema computarizado de paro de emergencia son:

- Paro de los sistemas y equipos de la parte
- Aislar los inventarios de hidrocarburos
- Aislar los equipos eléctricos
- Prevenir la escalada de los acontecimientos
- Detenga el flujo de hidrocarburos
- Despresurice / purga
- Control de la ventilación de emergencia
- Ventilación de humos por medio de exutorios
- Cierre de las puertas estancas y puertas cortafuego
- Envío de ascensores a planta baja

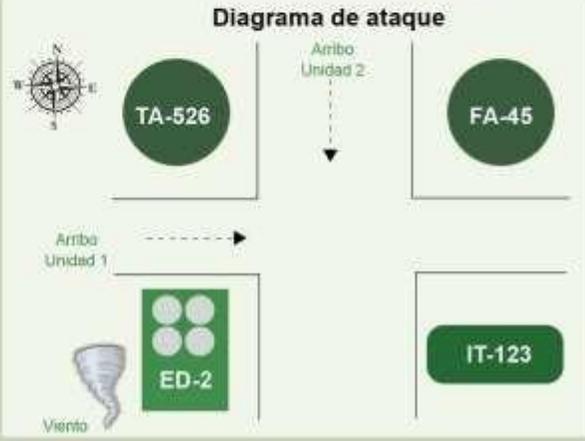


2.3. Plan de Respuesta de Emergencias

El Plan de Respuesta de Emergencias (PRE) es uno de los apartados que conforman el PPA (que estudiaste en la sección 2.2). En el PRE se deberán relacionar todos los procedimientos establecidos para la atención de emergencias al interior y al exterior de la instalación. Asimismo, se debe relacionar los equipos y servicios con que cuenta la instalación para la atención de emergencias señalando en un plano su localización, así como las rutas de evacuación tanto al interior como al exterior de la instalación (SEMARNAT,2010). Un ejemplo de las características de las unidades de atención de emergencia y el diagrama de ataque, es el siguiente:

Características de las unidades de atención de emergencia y diagrama de ataque

En esta sección se especifica el equipo que atenderá la emergencia, al igual que su descripción, a su vez, se representará gráficamente como lo muestra el ejemplo.

<p>Vehículo contra incendio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origen de la unidad • No. de unidades • Unidad para agua: Motobomba equipado, 1,250 gpm, cap. 1,250 gal • Unidad para agua-espuma: Motobomba equipado, 1,500 gpm, cap. 1,500 gal • Unidad sistema: Unidad equipada con tanque y dos bombas de 100 gpm 	<p>Equipos automotores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origen de la unidad • No. de unidades • Tipo • Camioneta pick-up • Camión 3 toneladas • Camión mayor 3 toneladas 	<p>Recursos humanos y atención hospitalaria</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origen de la unidad • No. de unidades • Tipo • Bomberos contra incendio • Personal de brigada, rescate, camillas, paramédico, dispositivos 	<p>Equipo de detección de gases y mezclas explosivas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origen de la unidad • No. de unidades • Tipo • Explosímetros • Detectores de gases tóxicos 
<p>Material, equipo y accesorios contra incendio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origen de la unidad • No. de unidades • Tipo • Extintores PQ5, CO2, ABC • Trajes de bombero, equipo de acercamiento al fuego, ambulancias 	<p>Equipo de comunicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Origen de la unidad • No. de unidades • Tipo • Radio móvil, altavoces, trunking 	<p style="text-align: center;">Diagrama de ataque</p> 	

Fuente: SEMARNAT, (2010).



El Plan de Respuesta de Emergencias (PRE) es un documento en el que se describe la posible emergencia y se dan las indicaciones claras y precisas de las acciones a tomar en cada caso. El PRE se conforma de dos niveles: a) Nivel interior (con recursos propios) Plan-In, y b) Nivel exterior (solicitando ayuda) Plan-Ext; esto lo verás en los subtemas posteriores.

Toda industria que deba hacer entrega de un PRE ante la autoridad es porque previamente realizó y presentó su ERA y el PPA. Lo anterior es un seguimiento que puede ser identificado partiendo de las instrucciones en la página de la SEMARNAT, donde se indica:

- El Estudio de Riesgo lo deberán presentar aquellos establecimientos industriales que realicen actividades altamente riesgosas.
- El Programa para la Prevención de Accidentes lo deberán presentar aquellos establecimientos industriales que igualmente realicen actividades altamente riesgosas y que hayan formulado y presentado o pretendan presentar ante la Secretaría su Estudio de Riesgo.
- Finalmente, el PRE es uno de los documentos que forma parte de los requisitos en la realización del PPA.

2.3.1. Caracterización de escenarios

La caracterización de escenarios tiene como finalidad registrar las condiciones bajo las cuales podrían acontecer los peligros identificados (sustancias, temperatura, presión, volumen, velocidad, etc.), simular los radios de afectación, determinar cuáles serían los dispositivos para controlar los accidentes y establecer los procedimientos para prevenirlos (PPA), así como identificar los riesgos asociados en el entorno. Lo anterior, resulta de utilidad para la elaboración del PRE y su buena comunicación para tener identificado, entre otras cosas, las salidas de emergencia o las salidas correctas del área de contaminación.

Respecto al cálculo de los radios de afectación de las sustancias utilizadas en los procesos, puede ser realizado mediante simuladores computacionales. La SEMARNAT (2006) proporciona, en su página de Internet, un *software* libre para realizar este cálculo. Este simulador está cargado específicamente con los datos de todas las sustancias incluidas en el primer y segundo listado de actividades altamente riesgosas, publicados en el Diario Oficial de la Federación con fecha 28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992, respectivamente. Los eventos que se pueden simular son:



- Incendio de charco
- Dardo de fuego
- BLEVE
- Nube inflamable
- Nube explosiva
- Nube tóxica
- Nube puff

Estos eventos pueden ser considerados para situaciones que ocurren en la industria, como:

- a. Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: líquidos o gases en depósitos y conducciones.
- b. Evaporación de líquidos derramados.
- c. Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles.
- d. Incendios de charco "*Pool fire*".
- e. Dardos de fuego "*Jet fire*".
- f. Deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o "UVCE".
- g. Estallido de depósitos o "BLEVE".
- h. Explosiones físicas y/o químicas.
- i. Vertido accidental al medio ambiente de sustancias contaminantes, procedentes de fugas o derrames incontrolados.

El programa utiliza el sistema métrico decimal en todos los datos y dimensiones que solicita y especialmente en la modalidad mks, por lo que deberás familiarizarte con las equivalencias de temperatura en grados Kelvin °K, energía calorífica en kilo Joules/kg, y presión en kilo Pascales. Adicionalmente, deberás tener presente que las simulaciones se llevan a cabo para dos valores, ya sea de concentración tóxica o energía calorífica o energía de presión por explosiones. Los dos valores son considerados como zona de riesgo y zona de amortiguamiento. La pantalla de entrada del simulador es la que se presenta a continuación:



Recuerda que solo es posible utilizarlo en sustancias indicadas en los listados 1 y 2 de actividades altamente riesgosas y deberás llenar todos los espacios que se encuentren activos (en blanco). También, recuerda que deberás utilizar las unidades que te solicitan, si tus datos se encuentran en otro sistema de medición o en otra escala, transforma las unidades mediante las equivalencias correspondientes.

2.3.2. Plan interior

Para cada situación de emergencia debe existir un plan de actuación, una organización y unos medios de lucha. Cuando se produce una situación de emergencia, lo primero que se hace es salvaguardar la seguridad de los trabajadores y la población afectada. Si se quiere evitar o reducir el daño, se debería disponer de una Plan de Emergencia Interior (PEI). Si hay empresas implicadas, debería establecerse un Plan de Emergencia Exterior (PEE) (Muñiz, 2005).

El Plan de Emergencia Interior es la sección del PRE que se refiere a las instrucciones y acciones de ejecución inmediata en una empresa para prever accidentes de cualquier tipo y mitigar sus efectos en el interior de las instalaciones (Muñiz, 2005). En España, el PEI es obligatorio y especifica la estructura organizativa, los procedimientos de respuesta y los medios disponibles para afrontar las situaciones de accidente identificadas en el ERA (Casal, et al., 2009). Algunas de las acciones que pueden ser consideradas en el control de las emergencias son:

- Comando unificado
- Brigada de rescate y primeros auxilios
- Brigada de control de incendios y fugas



- Brigada de evacuación en emergencia
- Brigada de reacondicionamiento

2.3.2. Plan exterior

El plan exterior es la parte del PRE que se refiere a la serie de instrucciones de ejecución inmediata y aplicación local, regional o nacional que deben realizarse para inhibir o mitigar las consecuencias hacia el exterior de una instalación o centro de trabajo. Estas instrucciones están predeterminadas y concertadas por los centros de trabajo con las autoridades externas y organizaciones privadas correspondientes.

El plan exterior implica todos aquellos medios y recursos que puedan utilizarse una vez que la capacidad de desarrollo y seguridad internos no han sido suficientes o están en riesgo de colapsar. Algunos puntos importantes que se deben tener presentes son los siguientes:

- Un conocimiento de las empresas vecinas y acuerdos llamados Plan de Ayuda Mutua Industrial (PAMI).
- Una visión de los grupos de bomberos locales y regionales sobre la forma en la que tendrían que ingresar, situarse y desplazarse durante la emergencia, teniendo en mente los objetivos a lograr.
- Tener en mente los servicios de traslado de lesionados, así como de hospitalización.
- Contar con un inventario de hospitales generales y de especialidad.
- Preparar uno o más comandos unificados a fin de que puedan, mediante radios de comunicación, estar informados y tomar las decisiones pertinentes.



Cierre de la Unidad

En esta unidad te adentraste en el panorama general de lo que implica un estudio de riesgo. Para esto, se partió de la premisa de que toda industria que en sus procesos haga uso de sustancias consideradas como peligrosas, respecto de sus propiedades, será considerada como de actividad altamente riesgosa. En México existen dos listados de estas sustancias y toda industria que dé cabida a estos listados deberá cumplir con la realización, entrega y aprobación de su Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA).

El detalle con que la industria debe de entregar su ERA, dependerá del tipo de operaciones que realice y de las condiciones bajo las cuales estas se lleven a cabo. Estas características las determina la SEMARNAT y las clasifica mediante tres niveles de estudio de riesgo. Los responsables deberán identificar el nivel al que correspondan para identificar el formato y requisitos con que debe cumplir su estudio de riesgo.

En este momento, ya lograste complementar tus conocimientos de la unidad 1 respecto a la evaluación del grado de riesgo identificando ahora los siguientes pasos a seguir mediante el tren metodológico.

Este tren metodológico presenta la continuación de los documentos requeridos por la autoridad, como el Programa para la Prevención de Accidentes (PPA), así como un Plan de Respuesta a Emergencias (PRE). Asimismo, conociste algunas técnicas para identificar los peligros que se generan de las sustancias en actividades riesgosas; esta es una de las etapas fundamentales en el análisis de riesgo ya que todos aquellos peligros que no sean debidamente identificados no serán considerados como objeto de estudio posterior y por lo tanto no se tomará medidas para reducir sus riesgos asociados.

Las medidas para reducir riesgos son planteadas en los Programas para Prevención de Accidentes (PPA), donde deben ser identificadas para mitigar las consecuencias y reducir su probabilidad. El PPA, también incluye otros aspectos importantes como los datos generales de la instalación y responsables de la misma, así como su descripción y los materiales peligrosos con las zonas de afectación. En este mismo subtema, conociste algunos índices de riesgo que son utilizados para condiciones o situaciones de trabajo muy específicas como incendios, explosiones y tuberías. Estos índices ayudan a seleccionar áreas donde los riesgos son mayores, utilizando algunas de las características de los materiales empleados, así como la ubicación y disposición de las unidades en la planta.

Otro componente del PPA, que se mostró como subtema aparte por su importancia, fue el Plan de Respuesta de Emergencias (PRE). Este documento se utiliza para identificar los equipos y servicios con que cuenta la instalación para la atención de emergencias; lo



anterior, debe ser señalado en un plano especificando las rutas de evacuación. Asimismo, identificaste que el PRE puede ser interior o exterior dependiendo del posible radio de afectación del accidente identificado en el interior de la instalación o hacia el exterior de la misma.

El ingeniero ambiental es una pieza clave desde la base del estudio de riesgo, ya que éste debe tener un panorama muy claro de todo el proceso de la industria. Desde el conocimiento en el manejo de las sustancias empleadas en las diferentes actividades, el alcance que estas pueden llegar a tener como una posible fuente de peligro, la evaluación del riesgo ambiental al que están expuestos todos los implicados y finalmente, la propuesta de las medidas necesarias para prevenir los accidentes y el plan de respuesta a emergencias, que en última instancia puede rescatar pérdidas importantes en la instalación. Por esto, el ingeniero ambiental debe tener la sensibilización ante el riesgo inherente de los procesos industriales en los que puede estar inmerso.



Para saber más



En esta sección se enlistan algunos portales estadounidenses de instituciones y asociaciones dedicadas, en términos generales, a la normalización, inspección y control de calidad de las empresas en ese país. Esta información te será de utilidad para que tengas conocimiento de los procedimientos implementados en ese país, a fin de lograr que las empresas cuenten con mecanismos de operación regulados. Enseguida de cada vínculo, encontrarás alguna información al respecto.



ANSI, *American National Standards Institute*.

[<http://www.ansi.org/>]

El Instituto Nacional de Normalización Estadounidense es una organización privada sin fines lucrativos que administra y coordina la normalización voluntaria y las actividades relacionadas a la evaluación de conformidad en los Estados Unidos.

**ASTM, American Society for Testing and Materials.**

[<http://www.astm.org/>]

Es el organismo de normalización en los Estado Unidos Americanos y se encuentra entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO. Mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

**API, American Petroleum Institute** [<http://www.api.org/>]

El Instituto Americano del Petróleo es la principal asociación comercial de los E.U. representando cerca de 400 corporaciones implicadas en la producción, refinamiento, distribución, entre otros aspectos de la industria del petróleo y del gas natural. Entre sus principales funciones incluyen la investigación de efectos económicos, toxicológicos y ambientales. El API representa a la industria petrolera ante los legisladores políticos responsables de las políticas referidas al cambio climático, comercio, y seguridad nacional.

**ASME, American Society of Mechanical Engineers**

[<http://www.asme.org/>]

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos es una asociación de profesionales que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos.



DOF (1990). Primer listado de actividades altamente riesgosas - Manejo de sustancias tóxicas. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1990. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/materialesactividades/Documents/pri merlaar.pdf>



DOF (1992). Segundo listado de actividades altamente riesgosas - Manejo de sustancias inflamables y explosivas. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1992. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/materialesactividades/Documents/seg undolaar.pdf>



NACE, *Nace International The Corrosion Society* [<http://www.nace.org/standards/>]
Es la organización profesional mundial para el control y la prevención de la corrosión industrial, para los procesos químicos y sistemas de agua, así como la protección del transporte y la infraestructura.



NFPA, *National Fire Protection Association*

[\[http://www.nfpa.org/\]](http://www.nfpa.org/)

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego es una organización encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos, para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección tanto por bomberos como por personal encargado de la seguridad.



Fuentes de consulta



1. Casal, J., Montiel, H., Planas, E. y Vilchez, J. (2009). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.*, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
2. CNA-IMTA (s.f.). *Unidad didáctica para la aplicación de la NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.* Recuperado el 18 de abril del 2016, de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Unidad4NOM-052-ECOL-1993.pdf>
3. De Lucio, E., (2009). *Metodología para la planeación del análisis de riesgos en plantas de procesos.* (Tesis de maestría inédita). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. Recuperado el 18 de abril del 2016: <http://www.sepi.esimez.ipn.mx/msistemas/archivos/De%20Lucio%20Rodriguez%20Erika%20Virginia.pdf>
4. Directiva 82/501/CEE. DIRECTIVA de 24 de junio de 1982, 82/501/CEE, *Riesgos de accidentes en determinadas actividades industriales.* Diario Oficial de las Comunidades Europeas n° L 230 de 5.8.82, 228-244. Directiva “Seveso-I”.
5. DOF (1998). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.* Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988.
6. Dow (1987). *Dow Chemical Company – AIChE. Dow’s Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide.* New York: AIChE.
7. Electro Industria (2013). Soluciones para Sistemas de Instrumentación para Seguridad (SIS) del tipo ESD (*Emergency Shutdown*). Artículo de la Revista *Electro Industria*. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=786&tip=7>
8. Evans, J., Fernández, A., Gavilán, A., Ize, I., Martínez, M.A., Ramírez, P. y Zuk, M. (2003). *Introducción al análisis de riesgos ambientales.* México: Instituto Nacional



- de Ecología (INE-SEMARNAT). Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/400_old.pdf
9. Liñan, A., Rodríguez, C., Barbarín, J. M., y Huerta, O. (2002). Análisis de riesgo ambiental y su aplicación al almacenamiento y manejo de cloro industrial. *Ciencia UANL*, 5 (2), 218-224. Recuperado el 18 de abril del 2016, de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/23129/Capitulo6.pdf>
 10. Méndez, C. (2007). *Introducción al Análisis de Riesgos en la Industria de Procesos*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría.
 11. Martínez, J. G. (2002). *Introducción al análisis de riesgos*. Ciudad de México, México: Limusa.
 12. Muñiz, R. (2005). *Manual básico: Prevención de riesgos laborales*. España: Thomson Paraninfo.
 13. Russell, J. y Cohn, R. (2012). *Distributed Control System*. Estados Unidos: Tbilisi State University.
 14. SEMARNAT (2006). *Software simulador para la evaluación de consecuencias*. Disponible en: <http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-008/instala-simulador.zip>
 15. SEMARNAT (2010). *Guía para la elaboración del Programa para la Prevención de Accidentes*. Recuperado el 18 de abril del 2016, de: <http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-013/Gu%eda%20del%20programa%20para%20la%20prevenci%3n%20de%20accidentes.pdf>
 16. SEMARNAT (2012a). *Guía para la elaboración del estudio de riesgo ambiental (instalaciones en operación)*. Recuperado el 18 de abril del 2016, de: http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/guia_estudio_riesgo.pdf
 17. SEMARNAT (2012b). *Breve reseña de los Programas para la Prevención de Accidentes (PPAs)*. Recuperado el 18 de abril del 2016, de: <http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-013/ppas.pdf>
 18. Waldrop, T. (1993). Empresas bajo fuego: Como recuperar la imagen tras un eco-desastre. *Tomorrow*, 3(3), 60-64. Recuperado el 18 de abril del 2016, de: http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/1993/3_Waldrop.pdf