

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE RIESGO

Dentro del contexto del transporte de materiales peligrosos el riesgo se refiere a la probabilidad de ocurrencia de consecuencias indeseables ocasionadas por una posible liberación de material. Una liberación puede conducir a una variedad de resultados, por ejemplo: incendio o explosión (para el caso de un material inflamable), nube tóxica o inflamable en el caso de gases licuados a presión. Las consecuencias indeseables de estos incidentes incluyen a la muerte, lesiones, daños a la propiedad, pérdida del valor de las propiedades, daños al ambiente, etcétera.

En este capítulo se describe lo correspondiente al proceso análisis de riesgos y el proceso de administración de riesgos

#### 3.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RIESGO

El proceso del análisis de riesgo puede dividirse en una serie de componentes, la aplicación de estos componentes permiten el establecer una revisión cualitativa y cuantitativa de los riesgos que puede abarcar desde eventos frecuentes a eventos raros, y de baja consecuencia a eventos mayores. Los componentes o técnicas del proceso de análisis de riesgos ayudan a identificar los mayores contribuyentes al riesgo y por lo tanto se pueden hacer recomendaciones y ayudar en la tomas de decisiones en la aplicación de medidas para su disminución. El análisis de riesgos puede variar en profundidad desde un estudio elemental hasta uno de mayor detalle, de acuerdo al número de incidentes considerados, el grado de sofisticación de las frecuencias y probabilidades, así como de los modelos empleados para la determinación de consecuencias. La complejidad de los modelos para determinación de consecuencias pueden variar desde ecuaciones algebraicas simples a funciones extremadamente complejas. Asimismo el número de incidentes considerados puede variar de acuerdo a las clases de incidentes incidente menor (zona de afectación limitada), incidente mayor (zona de afectación media) o incidente catastrófico (zona de afectación extensa) (AIChE, 1989; Harwood et al., 1989; OPS, 1996).

En el análisis de los riesgo debido al transporte, el proceso inicia con la determinación del conjunto de los tipos de accidentes que pueden ocurrir, este conjunto puede estar integrado por una gran variedad de subconjuntos, por lo cual es necesario descartar del análisis aquellos eventos que son altamente improbables (ejemplo: colisión con un meteorito). Por lo general este proceso se realiza estableciendo una serie de restricciones, es decir una eliminación implícita o explícita de los eventos de acuerdo a su posibilidad. Para realizar este proceso se utilizan diferentes métodos, el más común involucra el empleo de estadísticas de tipo histórico. En la estimación de probabilidades utilizando estadísticas históricas siempre existe una eliminación implícita que incluyen a tipos de accidentes poco probables; sin embargo incluir eventos de muy baja probabilidad (especialmente aquellos que son tan improbables ya que nunca han ocurrido) tiene poco efecto en la estimación del riesgo, ya que debido a sus probabilidades aun teniendo una gran consecuencia el valor del riesgo por si mismo es muy pequeño. Otro método es establecer un límite que de manera explícita eliminan los eventos con probabilidades iguales o menores de algún evento catastrófico, como puede ser el caso de la colisión con un meteorito (aproximadamente  $2 \times 10^{-18}$  por año). Los accidentes restantes, después de este proceso de eliminación, pueden incluirse en subconjuntos que representen un agrupamiento lógico de resultados de accidentes. A continuación se describen los componentes del proceso de análisis de riesgo (AIChE, 1989; OPS, 1996).

##### 3.1.1 Definición de los objetivos del análisis

Los objetivos de un análisis de riesgo pueden ser diversos, en el caso del transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos puede enfocarse principalmente a: la estimación del riesgo a la población o personas y a la planeación de emergencias. El riesgo a la población puede expresarse de diferentes formas, entre las medidas más empleadas se encuentran: el riesgo social, riesgo individual y riesgo de evacuación. En la planeación de emergencias el análisis de riesgo se puede emplear para determinar las zonas de afectación, población en riesgo, recursos necesarios, etcétera. Para satisfacer los objetivos contemplados en el estudio

debe de contarse con información suficiente, este requerimiento es mayor con un incremento en el número de incidentes, de los resultados del incidente, de los casos particulares resultado del incidente y de la complejidad de los modelos para determinación de consecuencias (AIChE, 1989).

### 3.1.2 Descripción del sistema

Existen dos causas por las cuales las personas pueden exponerse a materiales y residuos peligrosos:

- ◆ Liberación de material o residuo peligroso debido a un accidente
- ◆ Incidente sin accidente; ejemplo transporte de materiales radiactivos

Asimismo, los grupos de población que pueden ser expuestos en el traslado de materiales y residuos peligrosos a lo largo de la trayectoria son:

- ◆ Personas ubicadas en áreas contiguas a la ruta de transporte
- ◆ Personas que comparten la ruta: personas en el interior de vehículos que transitan en el camino
- ◆ Personas en paraderos
- ◆ Ocupantes de la unidad que transporta los materiales o residuos peligrosos

La descripción del sistema incluye las particularidades que limitan el caso a analizar. En el caso del transporte de materiales y residuos peligrosos estas particularidades incluyen las relativas a la trayectoria, el vehículo y al material transportado; por ejemplo: inicio y destino de la ruta, clases de camino, longitud total de la ruta, topografía del terreno, características del vehículo, características del recipiente, condiciones en que se encuentra el material transportado, distribución de la población en las áreas adyacentes, condiciones meteorológicas, propiedades físicas y químicas del material transportado (Harwood et al., 1989; Harwood et al., 1990; Lupton y Bolsdon, 1999).

Cuando la ruta de transporte se divide en segmentos debe considerarse para cada caso:

- ◆ Modo de transporte
- ◆ Densidad o distribución de la población en las áreas contiguas a la trayectoria
- ◆ Volumen de tráfico
- ◆ Clase de camino

También debe considerarse al número de envíos, un envío consiste de uno o más materiales transportados en una unidad en un viaje sencillo. Una unidad (vehículo) puede transportar al material peligroso desde su origen a su destino final o emplearse más de un vehículo o más de un modo de transporte (camión, ferrocarril, etc.). Cuando se utilizan más de un modo de transporte es preferible separar cada modo para realizar la evaluación de riesgo correspondiente.

### 3.1.3 Identificación de peligros

Para la identificación de peligros se requiere: conocer las consecuencias específicas indeseables y la identificación del material, sistema, proceso o actividad que puedan provocar estas consecuencias. Las consecuencias indeseables pueden agruparse en tres categorías principales: impactos a personas, impactos al ambiente e impactos económicos. Estas categorías pueden subdividirse de acuerdo al tipo de resultado (ejemplo, exposición a material tóxico, exposición a calor o energía, sobrepresión, etc.). La identificación de los peligros pueden realizarse por medio de (AIChE, 1989; Theodore *et al.*, 1989):

*Determinación de las propiedades del material y de las condiciones en el recipiente:* a partir de las propiedades del material pueden determinarse las consecuencias de interés (explosión, incendio, etc.). Las condiciones en que se encuentra el material (por ejemplo: presión, temperatura) y su interacción con el ambiente pueden ayudar a establecer el peligro.

*Matrices de interacción.* cuando existe la posibilidad de mezclar dos o más sustancias, puede analizarse la interacción entre las mismas y con otros parámetros. Cuando se tiene solo una sustancia puede analizarse su interacción con otros parámetros como son: condiciones del material (temperatura, presión, carga estática), condiciones ambientales (lluvia, humedad, polvo), efectos a personas (exposición corta), etcétera.

*Técnicas de evaluación:* pueden emplearse técnicas como son: lista de revisión, ¿que pasa si?, árbol de fallas, árbol de eventos, etcétera, que permiten la identificación de eventos peligrosos y la secuencia en que puede presentarse un incidente.

### 3.1.4 Enumeración de incidentes

El objetivo de la enumeración de incidentes es identificar y tabular todos los incidentes posibles; sin embargo existe un número infinito de posibles maneras en que un material puede ser liberado, por ejemplo desde un orificio hasta la ruptura total; de esta manera cualquier lista elaborada puede ser considerada una selección (AIChE, 1989).

### 3.1.5 Selección de incidentes

Accidentes de diferentes tipos pueden ocasionar incidentes, asimismo de los anteriores es posible tener diferentes resultados (fuego, explosión, etcétera), y de acuerdo a ciertas características como son velocidad del viento y estabilidad atmosférica, obtenerse diferentes casos particulares de incidentes. El propósito de la selección de incidentes es limitar el número de casos particulares resultado de los incidentes, para que el estudio tenga un tamaño manejable y se analicen los casos más probables de ocurrir, sin pérdida u omisión de incidentes o casos resultado de incidentes que provoquen una falta de precisión, representatividad y verosimilitud. Un conjunto apropiado de incidentes es el número mínimo de incidentes necesarios para satisfacer los objetivos del estudio, representar adecuadamente la totalidad posible de incidentes enumerados y las clases de incidentes. La lista inicial contiene a todos los posibles incidentes identificados por los métodos de enumeración empleados. En un proceso de selección, esta lista se revisa para identificar los eventos de poca importancia. La lista revisada, nuevamente se revisa para eliminar aquellos incidentes similares o repetidos, de esta lista final se obtendrán los diferentes grupos de incidentes que pueden estudiarse; por ejemplo, puede realizarse una selección de los incidentes catastróficos y posteriormente seleccionar el peor caso posible o el peor caso creíble. Un subconjunto de incidentes representativo puede obtenerse de una selección en cada una de las clases de incidentes consideradas. Deberá hacerse una selección de los resultados de incidentes para cada incidente considerado, ya que cada uno de estos últimos puede tener más de uno de los primeros. Asimismo, para cada uno de los resultados de incidentes deberán establecerse sus casos particulares a estudiarse mediante la identificación de los parámetros (velocidad del viento, estabilidad, temperatura, humedad, etc.) a considerarse (AIChE, 1989).

### 3.1.6 Estimación de consecuencias

La estimación de consecuencias tiene como propósito el determinar el daño potencial provocado por un incidente. Un incidente puede tener diferentes resultados (incendio, BLEVE, etc.); asimismo cada resultado de un incidente deberá ser analizado utilizando los modelos para fuente y dispersión, los modelos de fuego y explosión, y los modelos de efectos. Además puede incluirse factores de mitigación como son el refugio y la evacuación las cuales pueden reducir la magnitud de las consecuencias o efectos de un incidente (AIChE, 1989).

### 3.1.7 Estimación de frecuencias y probabilidades

Existen diferentes metodologías para estimar las frecuencias y probabilidades de accidentes, incidentes y sus resultados. Frecuencias y probabilidades pueden obtenerse a partir de registros históricos y mediante modelos sobre la secuencia de falla como son el árbol de fallas y el árbol de eventos. En el caso del transporte de materiales y residuos peligrosos se busca estimar la tasa de accidentes, la probabilidad de un incidente y las probabilidades condicionales de cada resultado posible de un incidente, las anteriores estimaciones para cada uno de los segmentos que componen una ruta o trayectoria (Harwood *et al.*, 1989, Harwood *et al.*, 1990).

### 3.1.8 Estimación de riesgo

La manera de estimar y expresar el riesgo, dependerá de la información disponible y de los objetivos planteados al inicio del análisis. La estimación de riesgo se obtiene al combinar la información sobre frecuencia, probabilidades y consecuencias de los resultados de un incidente. El riesgo de todos los incidentes seleccionados en el análisis se estiman de manera individual, para posteriormente sumarse y obtener el riesgo total (AIChE, 1989).

Para la estimación del riesgo en el transporte de materiales peligrosos, las consecuencias y las probabilidades de los accidentes deben calcularse de manera separada y después multiplicarse. La probabilidad de ocurrencia de un accidente en el cual sucede una liberación de material se determina por:

- ◆ La frecuencia de todos los tipos de accidentes y
- ◆ La probabilidad condicional del evento particular dado que sucedió un accidente e incidente

La probabilidad condicional es la probabilidad de que dado un accidente pueda ser de un tipo particular. La frecuencia de los accidentes por modo de transporte y clase de camino se estima comúnmente a partir de datos históricos y la probabilidad condicional se obtiene tanto de datos históricos como de árboles de eventos. La probabilidad condicional no depende del tipo de tanque o recipiente, sino del tipo de vehículo y del modo de transporte (Saccomanno y Shortreed, 1992; Harwood *et al.*, 1990)

La evaluación del riesgo en el transporte difiere con respecto a la relativa a instalaciones fijas, esta diferencia radica que en las instalaciones, los eventos u operaciones sujetas al análisis pueden calcularse para una distribución de la población, direcciones de viento y frecuencias relativas, así como condiciones meteorológicas conocidas localmente; pero para el caso del transporte los datos sobre condiciones meteorológicas son de muy difícil obtención, asimismo la distribución de la población a lo largo de la ruta es cambiante. Para las instalaciones fijas normalmente los datos sobre dirección y velocidad del viento se obtienen a partir de estaciones meteorológicas, sin embargo este tipo de estaciones no se encuentran disponibles a lo largo de la ruta o segmento utilizado para el transporte por lo que las frecuencias y probabilidades para estos parámetros son desconocidos. Además, debido a que las condiciones topográficas a lo largo de una ruta de transporte son muy variables, esto incorpora una mayor incertidumbre con respecto a las instalaciones fijas donde las condiciones topográficas no son variables (Neuhauser *et al.*, 2000).

La estabilidad atmosférica es un término que se utiliza para describir el grado de turbulencia de la atmósfera y por lo tanto de dilución durante el transporte del material liberado en la dirección del viento, este parámetro es utilizado para la evaluación de las consecuencias de una liberación y al igual que los datos sobre rosa de los vientos y velocidad del viento asociada, puede obtenerse a partir de los registros de estaciones meteorológicas o inferirse. La recopilación de datos sobre estos parámetros de acuerdo a diversas estaciones meteorológicas y la extrapolación de los resultados a otros puntos circundantes es posible, sin embargo no existen aun métodos consistentes para realizar esta operación. Los datos obtenidos a nivel regional no son recomendables para su utilización, una opción conservadora es el elegir una estabilidad moderada así como de la velocidad del viento (Harwood *et al.*, 1990; Saccomanno *et al.*, 1992; Neuhauser *et al.*, 2000).

## 3.2 PROCESO DE ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS EN EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS

El riesgo es algo inherente a las actividades de transporte de materiales y residuos peligrosos, este puede ser controlado o reducido pero no eliminado. La administración de riesgos es un proceso que incluye a la identificación y análisis de riesgos; la identificación, análisis y selección de medidas alternativas de control de riesgo, y la subsecuente evaluación del desempeño. La administración de riesgos incluye a la recolección de datos, análisis y comunicación de información para su uso en la formulación de políticas, toma de decisiones y sobre el manejo de los riesgos. El proceso de administración de riesgos en el transporte de materiales peligrosos es una herramienta útil para mejorar la seguridad y la aplicación efectiva de recursos ya que es posible (OPS, 1996):

- ◆ Analizar los eventos precursoros y causas potenciales para accidentes e incidentes.
- ◆ Evaluar la probabilidad y severidad de potenciales accidentes e incidentes.
- ◆ Proveer de múltiples medios para examinar y comparar los riesgos posibles y las estrategias de prevención y mitigación
- ◆ Proporcionar medios estructurados, facilitar la comunicación para la identificación, jerarquización los riesgos y las medidas de reducción de estos.
- ◆ Establecer los objetivos y calificar el desempeño de las medidas para asegurar la mejoría de la seguridad.

La administración de riesgos puede aplicarse a las diferentes etapas del ciclo de vida, ya sean estas: diseño (de equipo, de rutas), construcción, operación, mantenimiento y retiro de la unidad

Cuando la administración de riesgos se establece como un programa, proporciona la infraestructura organizativa que soporta el proceso analítico y técnico de los elementos de la administración de riesgos. El contenido y complejidad de los elementos de un programa de administración de riesgos deberán ser consistentes con el grado de riesgo, las metas del programa, la cantidad y calidad de la información, y de las capacidades organizativas de la empresa. De esta manera existirán diferentes maneras de estructurar un programa de administración de riesgos; sin embargo, los programas deberán integrar componentes que desarrollen las funciones de (OPS, 1996):

*Administración:* Para la administración del programa de administración de riesgos es necesario la documentación de las políticas establecidas y que éstas sean comprendidas, implantadas y mantenidas. Las políticas y procedimientos estarán dirigidas a cumplir con requerimientos administrativos que incluyen: funciones y responsabilidades, calificación del personal y administración de cambios.

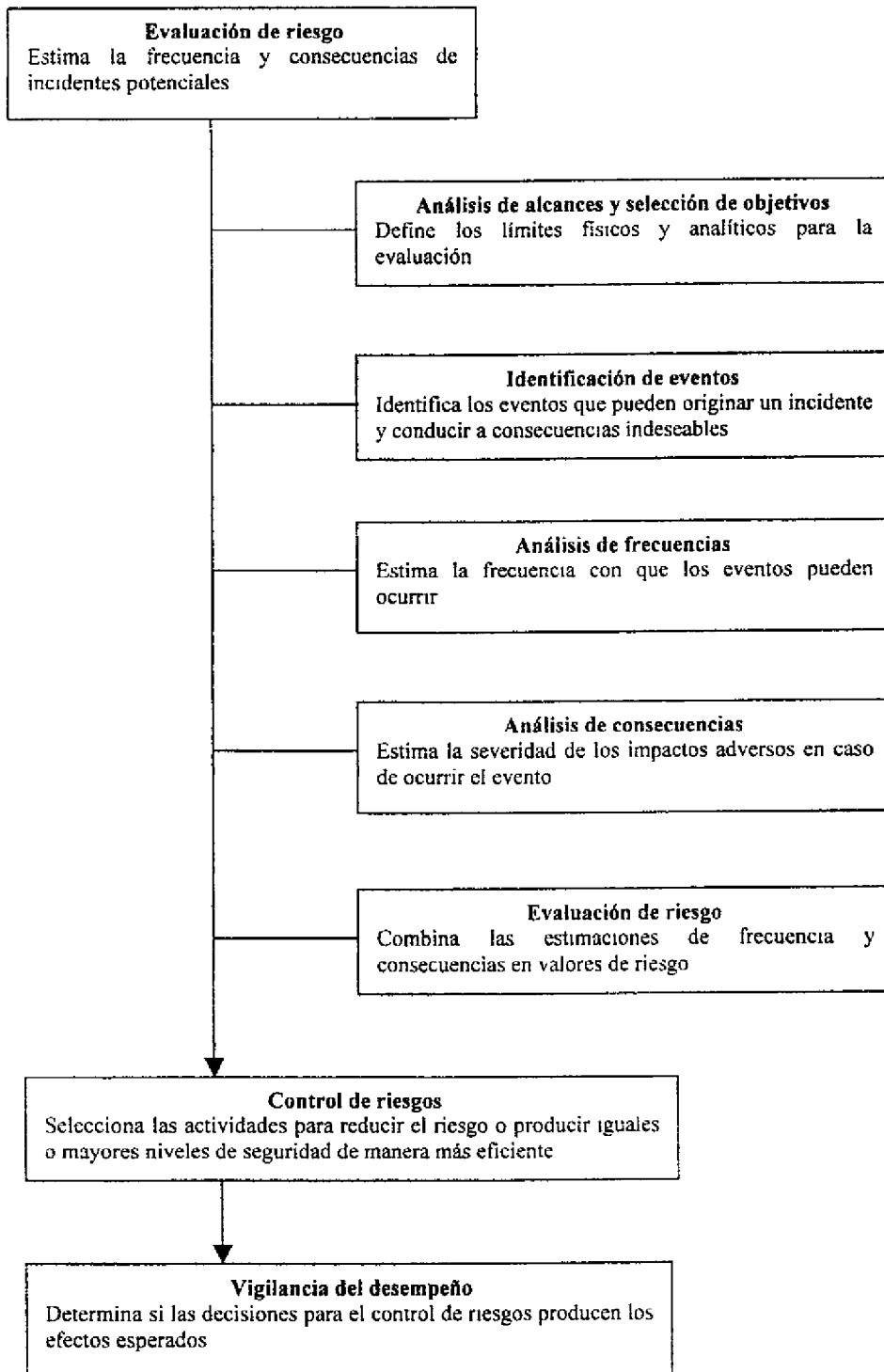
*Comunicación:* Una apropiada comunicación interna y externa permite una mejoría en la calidad de los análisis, la toma de decisiones, y la alimentación retroactiva del proceso. Los elementos de la comunicación interna deben promover los objetivos y la implantación del programa; así como de comunicación de información básica y de los resultados dentro de la organización. Los elementos de comunicación externa deberán enlazar a la organización con las autoridades, público, etcétera, de tal manera que los intereses, objetivos del programa y resultados sean comunicados y discutidos.

*Documentación:* Dentro del programa deberá colectarse y conservarse la documentación de la información básica, los análisis realizados y los resultados obtenidos en cada uno de los elementos del programa.

*Evaluación del programa:* El programa deberá incluir una evaluación planeada y estructurada de las actividades y procedimientos con el propósito de incrementar la efectividad del programa. La evaluación permite un mejoramiento continuo de la calidad de los elementos del programa.

El proceso de administración de riesgos está integrado por los anteriores componentes, así como por los elementos del proceso, ambos se encuentran relacionados estrechamente. La administración de riesgo es un proceso continuo en el cual los resultados de cualquier parte del proceso puede ser actualizado y refinado al retroalimentar la información de las partes siguientes.

Los elementos del proceso de administración de riesgos son las actividades técnicas y analíticas necesarias para determinar los riesgos, identificar las opciones de control de los riesgos, distribuir recursos para controlar los riesgos de la forma más efectiva, y revisar su desempeño. Existen múltiples maneras de estructurar el proceso de administración de riesgos de acuerdo a los elementos del proceso a considerarse, sin embargo deberá contener los siguientes elementos: evaluación de riesgos, control de riesgos y vigilancia o valoración del desempeño (OPS, 1996).



**Figura 3.1** Proceso de administración de riesgos (OPS,1996).

### 3.2.1 Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos es un proceso para la identificación de peligros potenciales en el sistema analizado, comprender los riesgos específicos a ser manejados y realizar una jerarquización en términos de las características del riesgo; éstas pueden expresarse de manera cualitativa (por ejemplo: bajo, mediano y alto riesgo) o de manera cuantitativa (por ejemplo: pérdidas económicas, probabilidades). La evaluación de riesgos está dirigida a determinar (AIChE, 1989):

- ◆ Los riesgos que se presentan
- ◆ Los efectos adversos que pueden presentar estos riesgos
- ◆ La posibilidad de que se presenten estos eventos
- ◆ La severidad de las consecuencias en caso de suceder el evento
- ◆ La magnitud del riesgo

La evaluación de riesgos está constituida por una serie de pasos o etapas. Los elementos aceptados de manera general son (AIChE, 1989):

- ◆ Análisis de alcances y selección de objetivos
- ◆ Identificación de eventos
- ◆ Análisis de frecuencias
- ◆ Análisis de consecuencias
- ◆ Estimación o valoración del riesgo

#### 3.2.1.1 Análisis de alcances y selección de objetivos

Debido a que el análisis de riesgos es una herramienta que requiere de considerables recursos económicos y de tiempo, por ello es esencial el aplicar una selección y establecer prioridades. La definición del alcance o ámbito de competencia proporciona los fundamentos y límites del proceso de evaluación de riesgos. Dentro de la definición de los alcances debe incluirse (AIChE, 1989; Harwood *et al.*, 1990; OPS, 1996).

- ◆ Las fronteras físicas consideradas.
- ◆ La etapa del ciclo de vida a considerar: traslado de materiales y/o maniobras de carga y descarga.
- ◆ La amplitud o profundidad del análisis a realizar.

Los alcances deberán ser consistentes con los objetivos. El juicio y la experiencia de los responsables del proceso de evaluación de riesgos tiene gran importancia para delimitar los alcances, sin embargo esta tarea puede iniciar identificando.

- ◆ Rutas de transporte establecidas y alternativas.
- ◆ Selección de los segmentos de la trayectoria ubicados en zonas de alta densidad poblacional. Cuando el estudio posee una mayor amplitud de objetivos pueden determinarse: áreas ambientalmente sensibles, áreas de recarga de acuíferos, zonas de importancia histórica, proximidad a ríos, características del suelo, etcétera.
- ◆ Los segmentos con mayor tránsito vehicular o que presentan mayores índices de accidentes.
- ◆ Las circunstancias especiales que determinen la utilidad estratégica de un segmento

El sistema a ser analizado está definido cuando se establece una descripción general del sistema que incluya a los límites (trayectorias, derechos de vía, etc.), sustancia transportada, condiciones ambientales y condiciones de operación. Una descripción más extensa del sistema y de los factores que afectan a la estimación del riesgo incluiría (Harwood *et al.*, 1990; Lupton y Bolsdon, 1999):

- ◆ Localización geográfica de los accidentes sobre una base regional, estatal o de otro tipo
- ◆ Estación o mes del año
- ◆ Día de la semana
- ◆ Hora del día

- ◆ Modalidad de transporte (autotransporte, ferroviario, etcétera) y recipiente (autotanque, RIG, tambor, etcétera)
- ◆ Estado físico del material
- ◆ Sustancia química
- ◆ Clase de riesgo del material (inflamable, explosivo, etc.)

### 3.2.1.2 Identificación de eventos

El peligro en el transporte de materiales depende de las características de éstos. Un incidente es el resultado de una secuencia de uno o más eventos que llevan a la pérdida en la integridad del recipiente y por consiguiente a la pérdida de contención del sólido, líquido o gas transportado. Cada una de estas secuencias de eventos puede tener una o más causas posibles (Abkowitz y Cheng, 1989):

Dentro de la evaluación de riesgos puede identificarse los eventos específicos o sus combinaciones que pueden conducir a la pérdida en la integridad del recipiente y a la liberación del producto transportado, y asimismo establecer las causas potenciales de estos eventos. La identificación de posibles incidentes se puede lograr mediante diferentes métodos variando en los niveles de detalle, dentro de estos se incluyen (Abkowitz y Cheng, 1989).

*Procedimiento basado en la experiencia:* se establecen los accidentes, incidentes y las causas de manera subjetiva.

*Procedimiento basado en registros:* en este los registros históricos u otros similares se analizan para identificar las posibles causas de accidentes e incidentes

*Procedimientos basados en análisis lógicos:* los modelos lógicos se construyen con objeto de identificar las causas potenciales y sistemáticamente encontrar cada secuencia de causas que contribuyan al incidente; también es posible iniciar (en orden inverso) a partir de un resultado, como puede ser una explosión, y analizar hasta llegar a la causa o causas que pueden dar inicio al incidente y su secuencia.

### 3.2.1.3 Análisis de frecuencias

Una vez establecidos los eventos que pueden conducir a un incidente y de los impactos consecuentes, es necesario estimar que tan posible es cada incidente. El objetivo del análisis de frecuencias es estimar la probabilidad de cada escenario debido a los incidentes. Las frecuencias de los eventos pueden estimarse de manera cualitativa o cuantitativa. En los procesos cualitativos a menudo se recurre a categorías relativas como son: frecuente, poco frecuente o raro, para representar la posibilidad de que suceda un evento. A menudo las categorías cualitativas se establecen a partir de intervalos cuantitativos de frecuencias. En los procesos cuantitativos se estima el número esperado de eventos por unidad de tiempo (o de demanda). Existen además procesos semicuantitativos, en los cuales se utiliza un índice numérico para estimar o representar la frecuencia relativa de los eventos lo que hace posible el comparar dos o más eventos (Abkowitz y Cheng, 1989; AIChE, 1989; Rowe, 1983).

La estimación de frecuencias pueden realizarse de diversas maneras de acuerdo a los niveles de detalle:

*Procedimiento basado en la experiencia:* la opinión de un experto se utiliza para estimar la frecuencia de un evento, apoyándose en la experiencia propia y en las observaciones de operadores, inspectores, etcétera.

*Procedimiento basado en registros:* la estimación de las frecuencias se basa en registros históricos de accidentes e incidentes, de los tipos de vehículos a analizarse o de vehículos similares.

*Procedimientos basados en modelos lógicos:* estos modelos lógicos se construyen a partir de combinaciones matemáticas de frecuencias de los eventos o series de eventos para estimar la frecuencia de un incidente. Los procedimientos basados en análisis lógicos se utilizan frecuentemente cuando los datos históricos son insuficientes para estimar directamente la frecuencia de eventos raros.



En el análisis se deben describir los procedimientos, herramientas y modelos por medio de los cuales la frecuencia se estimará. Las limitaciones e incertidumbres en el análisis deberán documentarse.

#### 3.2.1.4 Análisis de consecuencias

El objetivo del análisis de consecuencias es cuantificar el impacto negativo de un evento. Las consecuencias generalmente se miden en términos del número de muertes esperadas, aunque también es posible expresarlas en función del número de lesionados, número de personas evacuadas o de daños a la propiedad. Normalmente se consideran tres tipos de efectos: radiación térmica, ondas de sobrepresión por explosión y exposición a sustancias tóxicas (AIChE, 1989).

Una variedad de modelos se utilizan en el análisis de consecuencias; los modelos de fuente se utilizan para predecir la tasa de descarga, la evaporación instantánea de una sustancia, la cantidad de aerosol formado y la cantidad de sustancia evaporada. Los modelos de nube de vapor se utilizan para medir la dispersión en la dirección del viento, tomando en consideración las condiciones meteorológicas y la densidad del vapor. Los modelos de impacto permiten predecir las zonas de afectación debidas a fuego y explosión. Los modelos para gas tóxico se usan para predecir la respuesta humana debida a la exposición a un gas tóxico. Otros modelos se utilizan para predecir los efectos en humanos expuestos a radiación térmica y ondas de sobrepresión (AIChE, 1989, Theodore *et al.*, 1989).

Las consecuencias de los eventos pueden estimarse de una manera cuantitativa o cualitativa, o en ambas. Los procedimientos cualitativos a menudo utilizan categorías relativas como son: severo, moderado o insignificante, dependiendo de la severidad del incidente; a menudo las categorías cualitativas se establecen a partir de una consecuencia esperada (por ejemplo: 1 ó 5 lesionados). Los procedimientos cuantitativos estiman el nivel esperado de severidad en términos del número de muertos, heridos, etcétera. Los procedimientos semicuantitativos a menudo usan un índice numérico para expresar las consecuencias relativas de un evento (AIChE, 1989; Theodore *et al.*, 1989).

El análisis de consecuencias debe contemplar como mínimo:

- ◆ La cantidad de sustancia liberada.
- ◆ Los procesos físicos y mecanismos de dispersión por los cuales una sustancia puede alcanzar y afectar a las personas próximas al lugar de la fuga, o dañar al ambiente.
- ◆ La cantidad de sustancia, radiación o sobrepresión que pueda alcanzar a las personas, o a propiedades.
- ◆ Los efectos esperados de la sustancia liberada.

En el análisis se deben describir los procedimientos, herramientas y modelos por medio de los cuales las consecuencias de un incidente se estimarán. Las limitaciones e incertidumbres en el análisis deberán documentarse.

#### 3.2.1.5 Estimación o valoración del riesgo

Una vez que los diferentes escenarios han sido identificados, y que la frecuencia de los eventos y sus consecuencias han sido determinadas, el riesgo puede evaluarse. El riesgo puede estimarse de manera cualitativa, cuantitativa o en ambas formas, dependiendo del proceso usado para el análisis de frecuencias y de consecuencias. En esta etapa de la evaluación de riesgos se puede obtener un perfil de riesgos, esto es un gráfico de la frecuencia contra el número acumulado de muertes o lesionados. La ventaja de presentar en esta forma los resultados es que incluye la distribución de la población alrededor del segmento considerado y las condiciones meteorológicas locales (AIChE, 1989).

#### 3.2.2 Control de riesgos

El control de riesgos es un procedimiento estructurado mediante el cual se identifica, evalúa y seleccionan las opciones para el control; y tiene como propósito la reducción del riesgo o producir niveles

iguales o mayores de seguridad de manera más eficiente. Los elementos para el control de riesgos pueden incluir a los siguientes (OPS, 1996):

*Identificación de alternativas para el control de riesgos:* define los contribuidores mayores del riesgo y las opciones para un eficiente control. Las opciones de control mejoran el nivel de protección del público, el ambiente y la propiedad, al hacer cambios o modificaciones durante las diferentes etapas del ciclo de vida. Las opciones de control de riesgos incluyen a: los contribuidores sustantivos del riesgo, las situaciones en las cuales las reducciones pueden ser efectivas en cuestión de costos, y las situaciones en las cuales las prácticas comunes o los mecanismos de control de riesgos pueden ser más costosos que efectivos (AIChE, 1995, OPS, 1996).

*Identificación de opciones de control de riesgos:* define las opciones específicas para el diseño y operación que reduzcan el riesgo o incrementen la efectividad. Las opciones de control de riesgos incluyen:

- ◆ Modificar o reemplazar las prácticas o procedimientos empleadas en las diferentes etapas del ciclo de vida (diseño o selección de equipo, métodos de prueba, métodos de construcción y prácticas) de tal manera que se reduzcan las probabilidades de incidentes.
- ◆ Modificar o reemplazar las prácticas anteriores de tal manera que las consecuencias asociadas a los incidentes puedan reducirse.
- ◆ Modificar o reemplazar las prácticas por otras de mayor efectividad en cuanto a costos y con iguales o mayores niveles de seguridad.
- ◆ Mantener las prácticas usuales y continuar con los niveles de riesgo existentes.

La progresión del incidente puede utilizarse para guiar y estructurar la identificación de las opciones de control de riesgos. Acciones de prevención, mitigación y respuesta pueden definirse en varios puntos de la progresión del incidente. Dentro de las posibles acciones de prevención se pueden contemplar (AIChE, 1995; OPS, 1996):

- ◆ Mejoras en el diseño de los recipientes.
- ◆ Cambios en las prácticas de mantenimiento, incluyendo la naturaleza y frecuencia de mantenimiento e inspección.
- ◆ Mejoras en la calificación del personal de operación, mantenimiento e inspección.

Dentro de las acciones de mitigación y respuesta a incidentes pueden incluirse:

- ◆ Mayor calificación o entrenamiento para la atención de incidentes, ya sea en la respuesta inicial como en las siguientes etapas.
- ◆ Mejora de los planes para respuesta a emergencias y en los equipos disponibles.

*Evaluación y comparación de opciones para el control de riesgos:* tiene como objetivo el seleccionar el mejor conjunto de prácticas que produzcan igual nivel de seguridad o lo mejoren. El procedimiento de evaluación incluye un examen de: los riesgos existentes antes de la aplicación de las opciones de control propuestas, la estimación de los riesgos existentes después de la implantación de las opciones de control de riesgos, y los costos o ahorros debidos a la implantación de las opciones de control. En el procedimiento de comparación se deben considerar los beneficios de la reducción del riesgo, los costos de implantación y otros factores asociados a cada opción de control de riesgos. Una vez evaluadas y comparadas las opciones de control de riesgo se realizará una selección y se establecen las medidas a tomarse para su realización (implantación) (AIChE, 1995; OPS, 1996).

### 3.2.3 Vigilancia del desempeño

La identificación de los riesgos y la selección de las opciones de control, deben completarse con la vigilancia y medición de la efectividad tanto de las medidas específicas de control, como del programa completo de administración de riesgos, para así identificar y mejorar estas oportunidades. El procedimiento de

vigilancia del desempeño define medidas de desempeño, las maneras y frecuencia con la cual los datos deben ser recolectados, y la evaluación del desempeño de acuerdo a resultados esperados (OPS, 1996)

El proceso de vigilancia o seguimiento del desempeño se define como un mecanismo que se empleará para la recolección de información sobre una base predeterminada, observar las condiciones en que se realizan las operaciones de transporte y comparar el desempeño observado con las medidas de desempeño seleccionadas. De esta manera se deberán identificar las variaciones o tendencias estadísticas en los comportamientos del sistema (rutas de transporte, transporte de materiales), identificando las fallas en el desempeño al comparar el desempeño actual con el esperado (OPS, 1996).

En la vigilancia del desempeño se deben establecer las medidas apropiadas para su evaluación; las medidas deben cumplir con criterios como:

- ◆ Documentar las condiciones iniciales.
- ◆ Poder utilizarse para auditoria, vigilancia y documentación del desempeño.
- ◆ Uniformidad de los datos.
- ◆ Costo de la adquisición de datos.
- ◆ Confianza en las medidas.
- ◆ Poder interpretarse de manera consistente.
- ◆ Poder utilizarse para evaluaciones cuantitativas.

En lo referente a medidas relacionadas con la estimación del riesgo que de manera directa proporcionan información sobre la seguridad, se tienen:

- ◆ Frecuencia y severidad de los incidentes.
- ◆ Extensión del daño ambiental debido al incidente.
- ◆ Probabilidad/número de muertes o lesionados debido a un incidente.
- ◆ Pérdida económica por incidente

La vigilancia en el desempeño permite y debe propiciar una alimentación retroactiva para identificar:

- ◆ Mejoras que corresponden a las decisiones de control de riesgos tomadas.
- ◆ Medidas que ofrecieron los mejores resultados.
- ◆ Cuales fueron las medidas de control que ofrecieron los efectos esperados.
- ◆ Como puede mejorarse el proceso de administración de riesgos.

En la vigilancia del desempeño y para la retroalimentación del proceso de administración de riesgos se deben establecer los criterios para el ajuste de las decisiones en el control de riesgos, de tal manera que se alcancen los niveles programados o requeridos (AIChE, 1989; OPS, 1996).

El programa de administración de riesgos cuando se aplica a la solución de diferentes problemas, por ejemplo en la reducción en la frecuencia de incidentes con materiales peligrosos por medio de la selección, usos de rutas de transporte más adecuadas y programación del traslado, podrá preguntarse lo siguiente (U.S. DOT, 2000)

- ◆ Se utiliza la ruta de menor riesgo.
- ◆ La programación del transporte (horarios, tiempos de traslado, longitud del recorrido) es el apropiado.
- ◆ Las rutas de transporte son revisadas regularmente.
- ◆ Las instalaciones empleadas para el descanso y estacionamiento de unidades están establecidas e indicadas.
- ◆ Los puntos conflictivos en la ruta de transporte están determinadas cruces, altura de puentes, puentes, áreas ambientalmente sensibles, tipos de camino, túneles, etcétera.