

REVISTA Universidad EAFIT
Vol. 44. No. 150. 2008. pp. 64-76

Mapa de riesgo químico y por transporte de sustancias peligrosas en el Valle de Aburrá



Edier Aristizábal G.

Ingeniero Geólogo. MSc. Subdirección Ambiental,
Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Edier.aristizabal@metropol.gov.co

Julieta Gómez G.

Geóloga, Especialista en SIG. Subdirección Ambiental,
Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Julieta.gomez@metropol.gov.co

Gustavo Londoño G.

Ingeniero Químico. MSc. Subdirección Ambiental,
Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Gustavo.londono@metropol.gov.co

Recepción: 25 de enero de 2008 | Aceptación: 17 de mayo de 2008

Resumen

Las emergencias originadas por materiales peligrosos son frecuentes en el Valle de Aburrá. Sobre esta región se concentra el 60% de la población, el 90,4% de la industria y el 80% del PIB del departamento de Antioquia. Acorde con esto, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, autoridad ambiental urbana y entidad planificadora del desarrollo armónico de la región, elaboró el Mapa de Riesgo Químico y por Transporte de Sustancias Peligrosas, primer estudio de este tipo a nivel nacional. Esta herramienta está desarrollada de acuerdo con la metodología del rombo y un sistema de información geográfica que permite modelar y valorar los diferentes escenarios de amenaza y el modelamiento de las consecuencias sobre las personas, la

infraestructura y el ambiente. En el presente artículo se exponen los resultados y conclusiones alcanzados con dicha herramienta, la cual permite prevenir y atender de una manera eficaz y eficiente la ocurrencia de este tipo de emergencias, no obstante que se hace necesario continuar con su actualización.

Palabras Clave

Riesgo químico
Materiales peligrosos
SIG
Valle de Aburrá

Map of risks associated with chemicals and the transport of hazardous materials in the Aburrá Valley

Abstract

Emergencies related to dangerous materials are common in the Aburrá Valley. A total of 60% of department population, 90.4% of Antioquia's industry and 80% of the total Gross domestic product (GDP) are concentrated in this area. Taking into account this crescent problem, the Metropolitan Area of the Aburrá Valley, the urban environmental authority and the entity responsible for planning sustainable development in the region, designed the Map of Chemical Risk, a first-of-its-kind study in Colombia. This tool was developed based on the principles of the so called "diamond methodology" and a Geographical Information System (GIS) allowing to model and quantify the various threats scenarios and their potential impact over population, infrastructure and environment. Results and conclusions reached by means of this tool are reported in this paper. An effective and efficient prevention and response to this type of emergencies are possible through the use of such instrument. It is important, however, to keep an ongoing updating of data bases and the current map.

Key words

Chemical Risk
Hazardous Materials
GIS
Aburrá Valley

Introducción



a segunda mitad del siglo xx se caracterizó por un acelerado crecimiento industrial, estrechamente relacionado con el desarrollo y la aplicación de nuevas sustancias en áreas como la agricultura, la ingeniería e incluso la medicina. Las nuevas intervenciones trajeron consigo nuevos riesgos, para los cuales es necesario estar preparados. Desafortunadamente dichos avances no han corrido paralelamente a la prevención de esos riesgos, razón por la cual los accidentes originados por sustancias peligrosas han generado considerables afectaciones en términos de vidas humanas e infraestructura, especialmente en las últimas décadas. En la actualidad se utilizan más de 50 mil compuestos químicos para fines comerciales, y se prevé que la producción mundial de esas sustancias aumente en un 85% durante los próximos 20 años

(Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2007).

El Valle de Aburrá es uno de los principales centros industriales de Colombia, donde se agrupan 10 municipios en un área de 1.152 km²: Medellín, Itagüí y Bello, importantes centros industriales a nivel nacional, y Envigado, Sabaneta, Girardota, Copacabana, Caldas y Barbosa, municipios de menor población y desarrollo industrial.

En el Valle de Aburrá se asienta el 60% de la población del departamento, lo que corresponde a 3'312.165 de habitantes, 94% de los cuales viven en el área urbana (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE], 2005). Como polo industrial, la región metropolitana representa el 11% del PIB de Colombia, concentra alrededor del 90,4% de la industria antioqueña y el 80% del PIB departamental, incluyendo gran parte de la

industria química, textilera y farmacéutica del país (DANE, 2006; Osorio, 2004). Estas condiciones han favorecido el incremento de emergencias, debido al manejo y transporte de sustancias peligrosas.

En consecuencia, con el fin de proveer una adecuada prevención y planeación en la atención de tales acontecimientos, se hacen indispensables nuevas herramientas que permitan evaluar y modelar previamente las condiciones de riesgo en una industria o en una ruta por donde se transportan sustancias peligrosas.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como entidad planificadora y autoridad ambiental urbana, ha implementado una metodología para el análisis del riesgo asociado al transporte de sustancias peligrosas, soportado bajo Sistemas de Información Geográfica –SIG–, una herramienta para el análisis de escenarios, así como de distribución espacial sintetizada.

En este trabajo se presenta esa excelente herramienta, la primera de su tipo desarrollada hasta el momento en el país y que ha permitido prevenir y gestionar de forma adecuada el riesgo químico en la región.

1. Metodología

Para la evaluación del riesgo químico en el Valle de Aburrá se optó por las metodologías que manejan índices de riesgo, similares al Índice *Dow* o *Mond* (Center for Chemical Process Safety, 2002), utilizadas ampliamente en las industrias de proceso a nivel internacional, y combinada con el Método del Rombo. Tales metodologías de índice de riesgo proporcionan una técnica directa para estimar el riesgo global asociado a una empresa o actividad, al igual que permiten jerarquizar los factores que puedan afectar determinada actividad operativa (Figura 1).

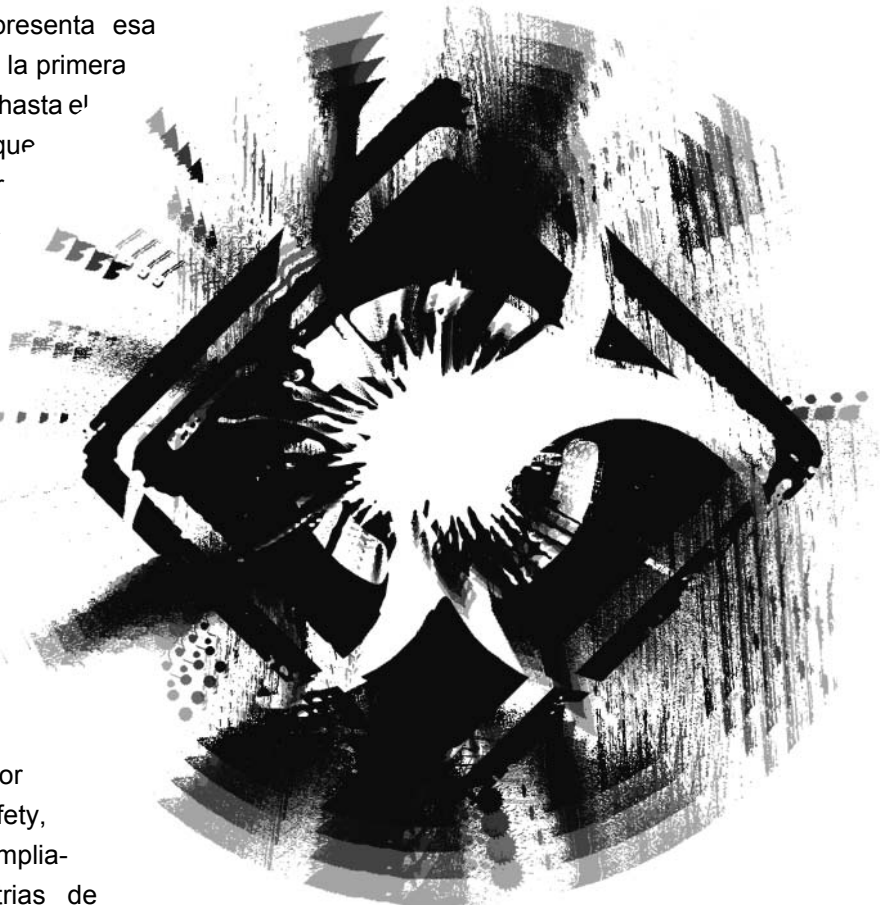
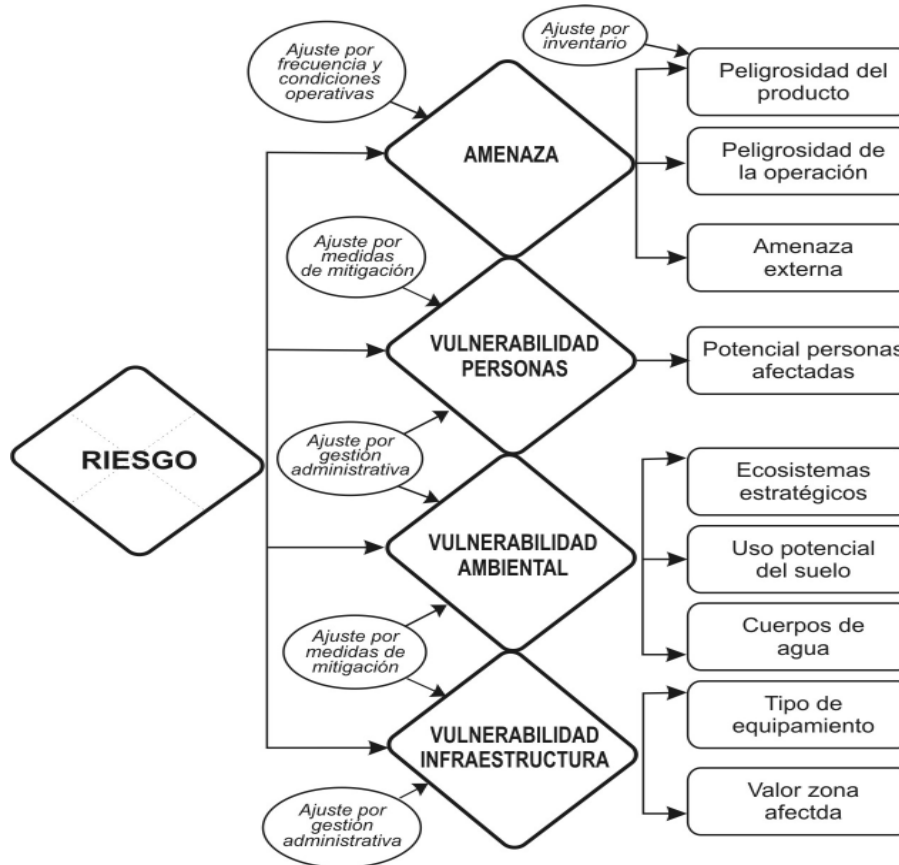


Figura 1. Metodología para la evaluación del riesgo químico y por transporte de sustancias peligrosas en el Valle de Aburrá



Con esta metodología fue posible evaluar el riesgo químico en instalaciones y rutas de transporte relacionadas con sustancias que cumplen con el criterio CRETIVB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Volátil y Biológicamente infeccioso). De este modo se avaló el riesgo asociado al peor caso (*Worst Case*) mediante la calificación de las amenazas y del impacto potencial a las personas, el ambiente y la infraestructura.

La aplicación del SIG se desarrolló utilizando las capacidades de edición y análisis ofrecidas por el software ArcGIS de ESRI. Las funcionalidades requeridas por el SIG fueron programadas con base en la plataforma tecnológica .NET de Microsoft.

2. Selección de Escenarios

Para comenzar, es importante definir el riesgo químico como aquel susceptible de ser producido

por una exposición no controlada a agentes químicos. A su vez, se considera agente químico cualquier sustancia que pueda afectar a una persona directa o indirectamente. Estas alteraciones pueden darse a través de tres vías: por inhalación (respiración), por ingestión (bucal) o a través de la piel (dérmica) (Universidad Politécnica de Valencia, 2007).

De acuerdo con dichas definiciones, para la caracterización de escenarios de accidentes probables por sustancias químicas y modelamiento de las consecuencias sobre las personas, la infraestructura y el ambiente, se realizaron las etapas que se reseñan a continuación.

2.1 Selección de las empresas

La primera etapa comprendió la revisión y captura de información sobre las empresas que de alguna forma involucran procesos y/o productos químicos.

Para ello se desplegó una búsqueda en las cámaras de comercio, Aseguradoras de Riesgos Profesionales (ARP) y oficinas de industria y comercio del Valle de Aburrá. Posteriormente, se envió un formato-encuesta a cada empresa que se consideró representativa. A partir de allí se hizo la selección adecuada.

2.2 Caracterización de la empresa

Se evaluaron en cada una de las organizaciones aquellas características operacionales, administrativas y de gestión que estaban relacionadas directamente con los recursos y procedimientos disponibles para prevención y control de posibles incidentes. Esta información fue el soporte que permitió evaluar de manera directa el nivel de riesgo. Dicha valoración se realizó de acuerdo con la información enviada por las empresas y la obtenida durante visitas de campo.

2.3 Identificación de eventos amenazantes

Con los datos disponibles se definió el escenario donde se puede implementar el evento de mayor afectación o peor caso. La selección de este dependió de las condiciones de operación, tales como temperatura y presión, volumen manejado,

condiciones del almacenamiento, etc. Los tipos de eventos que fueron identificados como probables por riesgo químico asociado son básicamente los siguientes:

- Pérdida de contención de productos peligrosos (Derrames, escapes, fugas)
- Incendio de productos inflamables
- Incendio tóxico
- Explosiones de recipientes presurizados
- Dispersión de nubes tóxicas de producto
- Dispersión de nubes inflamables de producto

2.4 Modelamiento de consecuencias

El modelamiento de consecuencias permitió determinar los corredores de afectación dados por el peor escenario, esto es, la distancia máxima límite donde es posible que una persona, el ambiente o una infraestructura puedan verse afectadas severamente (Tabla 1). Estos corredores, calculados como se mostrará más adelante, se basan en la determinación del nivel de efecto, por ejemplo, radiación térmica de un incendio, concentración de nube tóxica y/o inflamable o zona de influencia de un producto biológicamente infeccioso, corrosivo, volátil o radioactivo.

Tabla 1. Criterios de modelamiento

Evento	Criterio
Derrames de productos peligrosos	La extensión de su efecto está determinada por la movilidad del producto, para lo cual se considera una afectación lineal, donde se establece un punto de origen del derrame y su punto final de desplazamiento.
Incendio de productos inflamables	Los efectos de los incendios están relacionados directamente con la radiación térmica que generan. Se considera que para un nivel de radiación de 27 KW/m ² se presenta una probabilidad de fatalidad del 50% durante 30 segundos de exposición. Para determinar el daño a infraestructuras, el nivel es de 37,5 KW/m ² .
Explosiones de recipientes presurizados	La explosión de los recipientes está relacionada directamente con los niveles de sobrepresión generados por la explosión. Niveles superiores de 10,0 psi, aumentan la probabilidad de fatalidad hacia personas. Niveles superiores de 6,5 psi, determinan un daño total sobre infraestructuras y viviendas.
Dispersión de nubes tóxicas de producto	Modelos <i>Probit</i> de vulnerabilidad para emisiones tóxicas, que determinan la probabilidad de muerte de una persona para una concentración y un tiempo de exposición específico.

Evento	Criterio
Dispersión de nubes inflamables de producto	Teóricamente se establece que una nube de vapor puede incendiarse hasta un límite máximo desde el punto de fuga, dado por la distancia a la cual la concentración de la nube se ha diluido en el límite inferior de inflamabilidad del producto (L.I.I).
Incendio tóxico	Para estas condiciones, se consideró más peligrosa la emanación de los vapores tóxicos que las propias características de inflamabilidad del incendio. La afectación a estructuras del incendio tóxico está limitado por el nivel de 37,5 KW/m ² , comportándose este como si fuese un incendio de solo características de peligrosidad inflamables.

3. Evaluación del Riesgo

La evaluación del riesgo, a través de la Metodología del Rombo (Figura 1), comprende la estimación de los siguientes cinco ítems:

- Evaluación de la amenaza
- Análisis de vulnerabilidad a personas
- Análisis de vulnerabilidad ambiental
- Análisis de vulnerabilidad a infraestructuras

3.1 Evaluación de la amenaza

Evaluar la amenaza implica calcular la probabilidad de ocurrencia de un evento potencial y destructivo, asociado a un fenómeno de carácter tecnológico, que puede manifestarse en un sitio específico y/o en un tiempo determinado, con potencial de producir efectos adversos en personas, bienes, servicios o el ambiente. Para realizar esta valoración se califica los siguientes aspectos:

- Peligrosidad de los productos
- Peligrosidad de la operación
- Amenazas externas

Peligrosidad de los productos. Para determinar este aspecto, deben tenerse en cuenta dos tipos de peligros relacionados estrechamente con el tiempo: el agudo y el crónico.

El **peligro agudo** implica una afectación súbita, que demanda atención urgente y que es de corta duración. Ejemplos de ello son los incendios, explosiones o contactos tóxicos. Se evaluaron las tres propiedades básicas de peligrosidad: inflamabilidad, reactividad y toxicidad, de acuerdo con los criterios de la National Fire Protection Association (NFPA, por sus siglas en inglés).

El peligro agudo se basa, entonces, en la suma de la peligrosidad del producto, tal como se presenta en la siguiente ecuación:

$$P_{AGUDO} = P_{INFLAMABILIDAD} + P_{REACTIVIDAD} + P_{TOXICIDAD} + P_{OTROS} \quad (\text{Ecu. 1})$$

El **peligro crónico** significa afectación por un largo tiempo. Casos como contaminación, efectos cancerígenos y otras consecuencias para la salud a largo plazo son considerados peligros crónicos. La principal diferencia entre agudo y crónico es el factor tiempo en el impacto causado. La evaluación del peligro crónico, se realiza mediante la determinación de un puntaje basado en los criterios de toxicidad no humana, dados por las regulaciones ambientales americanas, como la Cercla (Ley del Congreso de los EE.UU. titulada Ley de Respuesta Ambiental Exhaustiva, Compensación y Responsabilidad Pública de 1980; CERCLA, por sus siglas en inglés). Esta "cantidad reportable" es inferida a partir de criterios definidos de acuerdo con los rangos de concentraciones permisibles sobre la vida acuática y mamífera.

El método sugiere, entonces, un puntaje según los índices de toxicidad de cada producto y los criterios definidos en *Pipeline Risk Management Manual* (Muhlbauer, 1992).

Por consiguiente, la peligrosidad del producto es la suma de los dos tipos de peligros enunciados.

$$\text{Peligrosidad del producto} = \text{Peligro crónico} + \text{Peligro agudo} \quad (\text{Ecu. 2})$$

Ajuste por inventario de producto. La peligrosidad del producto puede ser ajustada, teniendo en cuenta el inventario del producto peligroso disponible en cada empresa, mediante un factor que varía de acuerdo con el peligro agudo de este.

$$\text{Peligrosidad_Producto_Ajustado} = \frac{\text{Peligrosidad_Producto}}{f_{\text{INVENTARIO_PRODUCTO_PELIGROSO}}} \quad (\text{Ecu. 3})$$

Peligrosidad de la operación. La peligrosidad de la operación cuantifica las condiciones anormales operativas que la Planta pueda poseer, tales como:

- Se percibe una operación basada en equipos y elementos no apropiados
- Existe una organización industrial deficiente
- Equipos industriales viejos, pero no deteriorados
- Equipos en total buen estado y mantenimiento seguro

Amenazas externas. La cuantificación de los factores que pueden afectar desde el entorno hacia las instalaciones operativas se resumió en las amenazas externas de acuerdo con los estudios de microzonificación sísmica (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2002), y el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín (Amenaza por inundación, movimientos en masa, sismos, accidentalidad aérea, y por eventos tecnológicos).

$$P_{\text{AMEN_EXT}} = P_{\text{AMEN_INUNDACION}} + P_{\text{AMEN_MOVIM-MASA}} + P_{\text{AMEN_SISMICA}} + P_{\text{ACCID_AEREA}} + P_{\text{AMEN_TECNOL}} \quad (\text{Ecu. 4})$$

A diferencia de las compañías donde se produce o manipulan las sustancias peligrosas, la valoración de la ruta de transporte considera únicamente la peligrosidad del producto.

3.2 Análisis de vulnerabilidad a personas

El análisis de vulnerabilidad a personas está relacionado con la cuantificación del grado de exposición que tiene un grupo de personas dentro de un área que haya sido delimitada como una zona cuya probabilidad esperada de fatalidad es mayor del 50%, para eventos de radiación térmica y dispersión de nubes tóxicas. Los demás eventos (explosiones, llamaradas, etc.) fueron considerados con base en los parámetros de cálculo establecidos en la Tabla 1.

El cálculo de la afectación se soporta en la intersección de las áreas de afectación potencial generadas por el modelamiento de consecuencias y las manzanas afectadas. De esta intersección resulta un área; esta se multiplica por el factor densidad poblacional y así se obtiene el número de personas expuestas, de acuerdo con los criterios definidos por United Nations Environment Program Industry and Environment (1992).

El número de personas se calcula internamente, a través de la aplicación, utilizando el siguiente modelo de ecuación:

$$N_{PERSONAS} = \sum_{i=1}^n A_i * \rho_{POBLACIONAL_i} \quad (\text{Ecu. 5})$$

Donde:

$N_{PERSONAS}$: Número de personas expuestas.

$A_{(i)}$: Área interceptada según afectación a población

n: Número de áreas interceptadas que están dentro del límite probable de fatalidad del 50%

$\rho_{Poblacional}$: Densidad poblacional (# personas / área)

3.3 Análisis de vulnerabilidad ambiental

El análisis de vulnerabilidad ambiental se realizó desde el punto de vista de la afectación a la funcionalidad estratégica de los ecosistemas presentes en una zona, al uso del suelo del área que puede verse impactada y a la afectación que se pueda causar a los cuerpos de agua. Para definir la afectación ambiental, la metodología separa la evaluación, de acuerdo con el tipo de eventos definidos. En el caso de los eventos cuyas afectaciones son circulares, se interceptó este círculo con el área afectada, donde se evalúa el tipo de ecosistema estratégico y el uso del suelo. Un accidente que genera derrames se determinó como un corredor lineal y se estudió teniendo en cuenta su intersección con los cuerpos de aguas presentes en el recorrido.

Afectación a ecosistemas estratégicos. Tomando como base los estudios realizados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2002), se identificaron los ecosistemas estratégicos urbanos a través de una calificación que permite jerarquizar los sistemas de acuerdo con su importancia estratégica.

Al igual que la cuantificación realizada para evaluar el número de personas, la aplicación en SIG intercepta el área de un ecosistema estratégico con el corredor de daño introducido. Cada área genera un puntaje que se promedia con base en

la ecuación 6:

$$P_{ECOSIST_ESTRATEG} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * P_{AJUSTE_i}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{Ecu. 6})$$

Donde:

$P_{ECOSIST_ESTRATEG}$: Puntos obtenidos por afectación a ecosistemas estratégicos

$A_{(i)}$: Área interceptada para cada sistema estratégico

Puntaje_i: Puntaje de cada sistema

n: Número de áreas encontradas en la intersección

Uso potencial del suelo. La magnitud del daño ambiental generado por la ocurrencia de un incidente puede variar dependiendo de la localización del daño. Es de esperarse que localidades donde el grado de intervención humana sea alto, las pérdidas ambientales esperadas sean mínimas comparadas con las áreas en que el ecosistema no ha sido intervenido. Los usos del suelo fueron agrupados en ocho clases (bosques de protección, pastos y rastrojos, expansión, agropecuario, minería, uso comercial, vivienda y espacio público, servicios y uso industrial).

Afectación a cuerpos de agua. Los derrames de sustancias peligrosas son sucesos que determinan afectaciones lineales. Dichos eventos intervienen directamente sobre los cuerpos de agua, de una forma más crítica que cualquier otro tipo de incidente. Teniendo en cuenta lo anterior, en la presente metodología se consideró una evaluación del impacto ambiental de forma diferente para estos tipos de afectaciones lineales. El grado máximo de afectación se estableció para aquellos corredores en los cuales se pueden perjudicar los nacimientos de agua, diferentes a los cuerpos de agua principal que poseen un mayor grado de intervención.

Una vez analizados los diferentes ítems, la evaluación de los impactos ambientales se resume en afectaciones de tipo circular o radial y afectaciones lineales, como se muestra en las ecuaciones 7 y 8:

Afectación circular:

$$P_{IMPACTO_AMBIENTAL} = X_{ECOSIST_ESTRATEG} * P_{ECOSIST_ESTRAT} + X_{USO_SUELO} * P_{USO_SUELO} \quad (\text{Ecu. 7})$$

Con:

$$X_{ECOSIST_ESTRATEG} = 0.4$$

$$X_{USO_SUELO} = 0.6$$

Afectación lineal:

$$P_{IMPACTO_AMBIENTAL} = P_{AFECTACION_CUERPODEAGUA} \quad (\text{Ecu. 8})$$

3.4 Análisis de vulnerabilidad a infraestructuras

Las consecuencias para este tópico se pueden medir desde el punto de vista del tipo de equipamiento presente en el área de afectación y del costo de reposición de la misma.

Tipo de equipamiento. Se consideró el siguiente orden de importancia para los diferentes tipos de edificaciones:

- Seguridad y primeros auxilios
- Salud
- Servicios / Transporte
- Institucional / Educación
- Cultural
- Religiosos
- Recreacional

Valor de la zona afectada. El perjuicio causado por los acontecimientos amenazantes sobre edificaciones y estructuras se resume en daños originados por los efectos de radiación y ondas de presión sobre estos. La variable medible para esta categoría, en consecuencia, son los metros cuadrados (m²) de área construida que fuera destruida, por lo cual se calificó de acuerdo con el costo de evaluación en la zona afectada. El valor se calcula internamente a través de la aplicación, utilizando el modelo de la ecuación 9:

$$\text{Costo}_{AVALUO} = \sum_{i=1}^n A_i * \tau_i \quad (\text{Ecu. 9})$$

Donde:

COSTO_{AVALUO} : Avalúo de la infraestructura

$A_{(i)}$: Área interceptada según daño a infraestructuras

n: Número de áreas interceptadas que están dentro del límite de daño a estructuras

τ : Valor metro cuadrado de la zona afectada (valor monetario / área)

$$P_{IMPACTO_INFRAESTRUCTURA} = X_{AFECTACION_EQUIPAMIENTO} * P_{AFECTACION_EQUIPAMIENTO} + X_{COSTO_AVALUO} * P_{COSTO_AVALUO} \quad (\text{Ecu. 10})$$

Con:

$$X_{AFECTACION_EQUIPAMIENTO} = 0.4$$

$$X_{COSTO_AVALUO} = 0.6$$

3.5 Ajustes permitidos a los niveles de riesgo

Aunque en el momento no se tenga una estadística de reporte de incidentes por manejo de productos peligrosos, la aplicación de la presente propuesta metodológica permitirá en un futuro cercano utilizar las bases de datos asociadas, así como el análisis estadístico relacionado con la recurrencia de los diferentes tipos de eventos. Lo anterior posibilitará, de alguna manera, ajustar las condiciones reales de peligrosidad de la operación con sustancias químicas. Igualmente, la metodología hace posible evaluar los indicadores de gestión, tanto de instituciones como de empresas, lo que permitirá identificar e incentivar aquellas firmas que realicen esfuerzos por disminuir su impacto o eliminen las condiciones de peligrosidad de la operación.

Ajuste por histórico de ocurrencias de un evento. Corresponde a la multiplicación del puntaje de la amenaza por un factor que depende de la probabilidad de ocurrencia del evento

amenazante, “peor escenario” seleccionado o del histórico de sucesos generados en la operación o transporte.

Ajustes por condiciones preventivas de operación. Los ajustes operacionales se dividieron según los dos tipos de sistemas considerados: planta y transporte. Se consideran ajustes por condiciones preventivas de operación, las acciones encaminadas a advertir el desarrollo de eventos no deseados. Para las plantas, los ajustes operacionales se refieren a las medidas operativas previstas directamente sobre la operación para que esta sea más segura y, por consiguiente, se disminuya la percepción de los niveles de riesgo. En cuanto al transporte, el ajuste operacional se efectúa a través del cumplimiento del Decreto 1.609 de 2002, con el cual se reglamenta el transporte de mercancías peligrosas.

Ajuste por medidas de mitigación. Son las determinaciones adoptadas por las empresas, tendientes a disminuir los efectos de los accidentes no deseados. Estos ajustes solo afectan los valores de vulnerabilidad.

- Un 50% del ajuste se aplica a la vulnerabilidad a personas, ya que la mayoría de los criterios

sugeridos están encaminados a preservar la vida humana.

- Un 20% a la vulnerabilidad ambiental, ya que solo la presencia de elementos extintores, puede eliminar el daño ambiental.
- Un 30% del peso de los ajustes a la vulnerabilidad a infraestructuras, donde más del 50% de los criterios escogidos buscan preservar la integridad de las infraestructuras, en caso de la ocurrencia de un evento no deseado.

Ajuste por índices de gestión administrativos.

La gestión se mide a través de un coeficiente de seguridad (S). Este es un factor que pretende reducir los valores de riesgo, mediante la consideración de las medidas administrativas que se han tomado para minimizar las consecuencias de un evento no deseado.

Una vez obtenidas la sumatorias por las salvaguardas existentes, condiciones preventivas operativas, mitigación o gestión administrativa, las ecuaciones siguientes permiten ajustar los nuevos puntajes por niveles de impacto:

$$P_{AMENAZA} = \frac{P_{AMENAZA} * k}{1 + f_{AJUSTE \text{ POR CONDICIONES_PREVENTIVAS OPERATIVAS}}} \quad (\text{Ecu. 11})$$

$$P_{IMPACTO_PERSONAS} = \frac{P_{IMPACTO_PERSONAS}}{1 + 0.5 * f_{AJUSTE_CONTROLES-MITIGACION} + 0.35 * f_{AJUSTE_GESTION-ADMINISTRATIVA}} \quad (\text{Ecu. 12})$$

$$P_{IMPACTO_AMBIENTAL} = \frac{P_{IMPACTO_AMBIENTAL}}{1 + 0.2 * f_{AJUSTE_CONTROLES-MITIGACION} + 0.30 * f_{AJUSTE_GESTION-ADMINISTRATIVA}} \quad (\text{Ecu. 13})$$

$$P_{IMPACTO_INFRAEST} = \frac{P_{IMPACTO_INFRAEST}}{1 + 0.3 * f_{AJUSTE_CONTROLES-MITIGACION} + 0.35 * f_{AJUSTE_GESTION-ADMINISTRATIVA}} \quad (\text{Ecu. 14})$$

En las ecuaciones anteriores se puede observar que se asignó un factor diferente a cada ajuste, debido a que la mayor parte de las gestiones, ya sean preventivas o de control de la emergencia, están encaminadas a proteger la vida de las personas y la infraestructura de la empresa.

3.6 Valoración por metodología del rombo

Una vez que se obtienen los cuatro valores del rombo, se procede a calificar estos puntajes dentro de la metodología. En la Figura 2 se establece qué puntajes menores de 30 puntos determinan un color verde; entre 30 y 70 puntos se asigna un color amarillo; y el valor rojo lo dan los puntajes por encima de 70.

Figura 2. Código de colores según puntaje

Puntaje	Intervalo (Puntos)	Color
Amenaza	< 30	V
	30 – 70	A
Impacto	> 70	R

V: verde A: amarillo R: rojo

La metodología indica que de acuerdo con la combinación de los cuatro colores dentro del rombo, se determine el nivel de riesgo. Un nivel de riesgo **Bajo** está simbolizado por el color verde; ocurre por la combinación de uno o dos colores amarillos y el resto verde. El riesgo **Medio** está representado por el color amarillo; resulta de la mezcla de al menos uno o dos colores rojos, o tres o cuatro amarillos. El riesgo **Alto** se evidencia con la presencia de tres o cuatro colores rojos. La Figura 3 establece un resumen de la combinación de colores dentro del rombo.

Figura 3. Combinación de colores – metodología rombo

R	R	R	V/A	⇒	R
R	R	R	R	⇒	R
R	V/A	V/A	V/A	⇒	A
R	R	V/A	V/A	⇒	A
A	A	A	V/A	⇒	A
A	A	A	A	⇒	A
A	V	V	V	⇒	V
A	A	V	V	⇒	V
V	V	V	V	⇒	V

V: verde A: amarillo R: rojo

4. Análisis de Resultados

El 5% del total de las empresas del Valle de Aburrá manejan productos calificados con un alto nivel de peligrosidad. El municipio de Itagüí posee la mayor cantidad de organizaciones calificadas con nivel alto de peligrosidad, en lo relativo a productos químicos.

Dentro de los productos químicos analizados se observó que el Cloro y el Hidrosulfito de Sodio presentan un mayor índice de peligrosidad. El 73% de las firmas del sector productor de químicos muestran un nivel de peligrosidad medio. En las del sector cosméticos se observan en mayor proporción productos calificados de baja peligrosidad. En ese contexto, el 3% de las empresas se percibieron en condiciones operativas malas y el 13% calificadas como regulares.

Con respecto a los niveles de vulnerabilidad, el 17% de las plantas presentan un alto nivel de vulnerabilidad humana. Para los eventos de derrame, los cuerpos de agua más críticos, en

este caso de tipo terciario, corresponden sólo a un 15%.

Las empresas que determinan un alto nivel de vulnerabilidad son las transportadoras, debido a la ubicación de las rutas cerca de cuerpos de agua o la no posibilidad de disponer de barreras en caso de pérdida de contención del producto. Acerca de la vulnerabilidad a infraestructura solo el 2,4% de las firmas pueden generar afectación directa sobre

algún tipo de equipamiento. Ello se explica por la ubicación de las empresas en zonas comerciales.

En relación con los ajustes realizados, al menos un 45% de las organizaciones cumplen más de tres de los considerados. La tendencia general es que los valores de amenaza media o alta sean corregidos a niveles de amenaza baja, producto de los ajustes.



Agradecimientos

Los autores quieren expresar sus más sinceros agradecimientos al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, por el apoyo brindado para el desarrollo de la presente investigación y al consorcio *TecnoRiesgos*, contratistas ejecutores, por su excelente labor. Este trabajo solo presenta parte de los resultados obtenidos.

Conclusiones

El riesgo del manejo de productos químicos en las compañías puede ser intervenido o reducido mediante la realización de acciones administrativas o de gestión empresarial. Este manejo de seguridad industrial al interior y exterior de las empresas se mide, según la metodología elaborada, por los denominados índices de gestión. Es importante resaltar que no se evidencian programas de gerencia de riesgos e integración de criterios de seguridad, ni la inclusión o consideración de criterios de seguridad industrial en el diseño de equipos o procesos operativos. Es muy posible que las empresas no hayan enviado toda la información al respecto, sin embargo, a futuro, el proceso permitirá realizar gestión y motivar a que las empresas envíen voluntariamente la información.

Aunque es posible limitar el efecto de la mayoría de los accidentes industriales dentro del perímetro de las propias instalaciones, pueden existir situaciones en las que el impacto supera estos límites, afectando zonas aledañas. Una buena organización de respuesta a la emergencia, soportada en herramientas adecuadas, y una comunidad informada permite mitigar los posibles daños sobre las personas y bienes materiales. El mapa de riesgos químicos y por transporte de sustancias peligrosas, elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es una adecuada herramienta que permite prevenir y atender de una manera eficaz y eficiente la ocurrencia de este tipo de emergencias; sin embargo, es necesario continuar con la actualización permanente del mapa y, en el futuro, modelarlo con los eventos más probables, para lo cual se requiere una base de datos de accidentes generados en cada empresa, labor que ya inició dicha entidad.

Bibliografía

American Institute Of Chemical Engineers. (2000). *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. New York: Glossary, 725 p.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2002). *Microzonificación sísmica de los municipios del Valle de Aburrá y definición de zonas de riesgo por movimientos en masa e inundaciones en el Valle de Aburrá*. Medellín: Informe interno.

Center for Chemical Process Safety. (2002). *Hazard evaluation procedures*. New York: American Institute of Chemical Engineers.

Colombia, Proexport. (2007). *Panorama Económico Medellín - Antioquia*. [on line] <http://www.proexport.com.co/vbecontent/NewsDetail.asp?ID=7658&IDCompany=20>. (27 10 2007). (Consulta octubre de 2007).

Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE]. (2006). *Informes de Coyuntura Económica Regional (ICER)*. Segundo semestre. <http://www.dane.gov.co/>. (Consulta octubre de 2007).

_____. (2005). *Censo General de la República de Colombia*. <http://www.dane.gov.co/>.

Muhlbauer W. K. (1992). *Pipeline risk management manual*. Texas: Gulf Publishing Company.

National Fire Protection Association [NFPA]. (1996). *NFPA 704. Standard system for the identification of the hazard of materials for emergency response*. NY: NFPA Edition.

Osorio G., Ana Rocío. (2004). "Balance de los programas de fortalecimiento empresarial en Antioquia: Hacia una Política Territorial", *Revista Universidad EAFIT*, 134(40). Medellín, pp. 25-37.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Programa Internacional de Seguridad Química [PNUMA – IPCS]. (1999). *Evaluación de Riesgos Químicos*. Módulo de capacitación N° 3. www.ambiente.gov.ar/archivos/web/salud_ambiente/File/Evaluacin%20PNUMA%20IPCS%201999.pdf. (Consulta octubre de 2007).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2007). *Informe sobre un medio ambiente para el desarrollo. Nuestro futuro común*. New York: GEO-4.

United Nations Environment Program Industry and Environment [UNEP]. (1992). *Hazard identification and evaluation in a local community*. NY. United Nations Publications.

Universidad Politécnica de Valencia [UPV]. (2007). *Servicio Integrado de Prevención y Salud Laboral*. [on line] http://www.spri.upv.es/D7_2_b.htm (Consulta octubre de 2007).