



Certificación ISO 9001:2008 ‡

VULNERABILIDAD DE LAS CARRETERAS POR EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS

Juan Fernando Mendoza Sánchez
Luis Felipe Romero González
Ana Cecilia Cuevas Colunga

**Publicación Técnica No. 364
Sanfandila, Qro, 2012**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Vulnerabilidad de las carreteras por el transporte
de materiales y residuos peligrosos**

Publicación Técnica No. 364
Sanfandila, Qro, 2012

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por el MC Juan Fernando Mendoza Sánchez y el IA Luis Felipe Romero González investigadores del Grupo de Impacto Ambiental, de dicha Coordinación y la MC Ana Cecilia Cuevas Colunga de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte.

Se agradece la información proporcionada por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y el apoyo del MC Jonatan Gonzalez Moreno, de la Unidad de Sistemas de Información Geográfica en la realización de los mapas a través de diferentes herramientas de SIG.

Índice

Resumen	v
Abstract	vii
Resumen Ejecutivo	ix
Introducción	1
Capítulo 1. Antecedentes	3
Capítulo 2. Análisis de la siniestralidad	15
Capítulo 3. Determinación del escenario crítico de accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos	47
Capítulo 4. Vulnerabilidad de las carreteras por accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos	75
Conclusiones	85
Bibliografía	89

Resumen

La presente investigación evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura por transporte carretero de materiales y residuos peligrosos, a través del análisis estadístico de la siniestralidad registrada en los años 2006-2009 en las carreteras federales, así como en la evaluación de la peligrosidad potencial de cada una de las sustancias involucradas en los accidentes carreteros mediante el uso del modelo ALOHA y con ello determinar el posible impacto y su área de riesgo mediante la determinación de los radios máximos en escenarios críticos simulados.

El mapeo de la siniestralidad y la peligrosidad, y su superposición en las carreteras, en los municipios, y las poblaciones, nos permitió identificar los municipios de mayor riesgo y la población vulnerable, en número de poblaciones y en número de habitantes.

El uso potencial de la información va encaminado al establecimiento de puntos de atención de emergencias ambientales, para una pronta respuesta y atención de las mismas, así como el establecimiento de nuevas políticas para regular el uso del suelo aledaño a las carreteras y en el transporte de materiales y residuos peligrosos, tales como las rutas y las cantidades transportadas.

Abstract

This research assesses the vulnerability of road transport infrastructure through the statistical analysis of accidents presented in the years 2006-2009 on federal highways, as well as evaluating the hazard potential of each of the substances involved in these road accidents by using the ALOHA model and therefore determine the potential impact of risk, establishing the maximum radius in critical scenarios simulated.

The mapping of the accident and hazardous, and their superposition on the roads in the municipalities, and populations, we allowed to identify the municipalities of greater risk and vulnerable populations, the number people and population.

The potential use of the information is towards the establishment of points of environmental attention to emergencies to a prompt response and attention, and the establishment of new policies to regulate land use bordering to roads and transportation of materials and waste dangerous, such as routes and the quantities transported.

Resumen ejecutivo

El transporte de materiales y residuos peligrosos es una actividad productiva que involucra una amplia gama de productos y de vehículos para su traslado. En México, esta actividad se realiza por cualquiera de los modos de transporte, tales como el marítimo, el ferroviario, aéreo y el carretero. Sin embargo, el modo más utilizado en el país es el carretero, a través del autotransporte federal, donde las unidades para el transporte de materiales peligrosos representan el 11.1% del total de unidades registradas para el año 2010 [SCT, 2010].

El transporte de materiales y residuos peligrosos incluye: explosivos, gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión, líquidos inflamables, sólidos inflamables, oxidantes y peróxidos orgánicos, tóxicos agudos (venenos) y agentes infecciosos, radiactivos, corrosivos y otros.

La demanda y uso de sustancias peligrosas se ha generalizado y está en constante crecimiento, no sólo en la industria, sino también en otros sectores, lo cual representa un gran número de riesgos sanitarios y ambientales importantes. Por lo anterior, el tránsito en las carreteras con vehículos que transportan materiales y residuos peligrosos se ha incrementando de manera importante, demandando rutas para su operación, un mayor número de unidades e incremento de sus capacidades para el traslado. Esto significa que diariamente están circulando unidades que representan un riesgo mayor durante su operación y pudieran tener repercusiones que vulneran la infraestructura del transporte, el medio ambiente y a la población que reside en zonas aledañas a la vías de comunicación terrestre.

El diagnóstico de la siniestralidad de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos por carreteras federales se basó en las bases de datos de accidentes generadas por el Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA).

El presente proyecto abarca el estudio de cuatro años consecutivos de accidentes reportados de 2006 a 2009, para este periodo se identificaron un total de 1,199 colisiones que involucran vehículos con materiales y residuos peligrosos, que dejaron un saldo de 196 muertos y 838 lesionados, y daños materiales de 17.8 millones de dólares aproximadamente.

Se identificaron los estados con mayor número de accidentes de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos, y se observa una concentración importante en los estados de Veracruz, Puebla y San Luis Potosí con 186, 73 y 69 accidentes a lo largo de los cuatro años, respectivamente.

Las rutas con mayor siniestralidad corresponden a la MEX-180 Matamoros - Puerto Juárez y la MEX-057 México - Piedras Negras.

En el análisis de los accidentes se identificó que el 54.3% de los percances son unitarios (sólo involucra a un vehículo); mientras que, el 45.7% son múltiples y en los cuales el 19.5% el responsable es el vehículo con materiales peligrosos. Dentro de las causas identificadas en cada uno de los cuatro años están los factores atribuibles al conductor, tales como la velocidad excesiva que representa casi un 60% del total, seguida por la imprudencia o intención con el 15% y la invasión de carril con el 7%.

Los accidentes se agruparon en siete categorías: choque (por alcance, lateral, frontal y contra objeto fijo), salida del camino, volcadura, desprendimiento de remolque, incendio, atropellamiento y otros; siendo las primeras tres las de mayor frecuencia concentrando el 92% del total de colisiones.

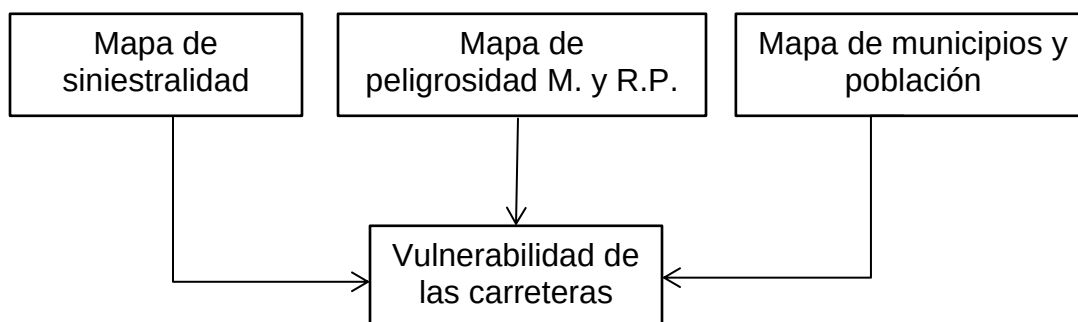
Al identificar el tipo de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos involucrados en accidentes durante los cuatro años, se observa una distribución prácticamente uniforme predominando los vehículos articulados seguidos por los doble articulados y el camión unitario.

Para evaluar el impacto ambiental potencial de un accidente carretero con transporte de materiales y sustancias peligrosas, es necesario conocer el efecto que las diferentes clases de materiales y sustancias tendrían en el medio ambiente, esto incluye su radio de afectación. Para el desarrollo de las diferentes modelaciones de las situaciones de riesgo que pueden presentarse por un accidente es necesario utilizar herramientas que modelen la dispersión atmosférica. El presente trabajo utiliza el software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), el cual tiene integrado un modelo gaussiano para predecir la dispersión de la sustancia objeto de estudio, éste modelo gaussiano describe el transporte y la mezcla de las sustancias en el aire. Esta es la aproximación computarizada más aceptada para calcular la concentración de contaminantes en un punto determinado.

Como resultado de las modelaciones para las diferentes sustancias se observaron radios de afectación de hasta 10 Km para algunas de ellas, mientras que para los derivados del petróleo se obtuvieron radios de hasta 2 Km para los vehículos doble articulados.

Con dicha información y utilizando técnicas de superposición de mapas, a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se pueden establecer las zonas de vulnerabilidad de una carretera al presentarse un accidente con cualquier material o sustancia peligrosa.

La vulnerabilidad de las carreteras se determinó mediante a la superposición de mapas que se muestra en el siguiente esquema.



El primer mapa “Mapa de siniestralidad” representa la siniestralidad en la red carretera federal del transporte de materiales y residuos peligrosos en los años 2006-2009, basados en los registros descritos en el capítulo 2.

El segundo mapa “Mapa de peligrosidad” representa la peligrosidad de las sustancias modeladas en el capítulo 3, que de acuerdo al tipo de vehículo y a las sustancias transportadas se obtiene el radio de afectación máximo para situaciones críticas de cada uno de los accidentes registrados en el capítulo 2.

El tercer mapa “Mapa de municipios y población” representa a los municipios y a la población inmersa en los radios de afectación y la propia red carretera geoposicionada. No se incluyen aspectos ambientales relevantes.

De esta manera la vulnerabilidad quedó determinada en función de la estadística de accidentes en carreteras federales en el transporte de materiales y residuos peligrosos, en el periodo 2006-2009. Dicha estadística nos permitió identificar las zonas de riesgo en relación a la frecuencia de accidentes ocurridos en la misma carretera o en el mismo municipio y en función de ello se determinaron las zonas vulnerables.

Por otro lado, se estableció el grado de peligrosidad de cada accidente en función del tipo de sustancia que transportaba, definiendo radios de afectación, con ello se identificó la población que se encuentra inmersa en esas zonas y que estuvieron en riesgo de padecer algún tipo de impacto negativo debido a esos accidentes, aunque no se tienen registros sobre población o ecosistemas dañados, o de infraestructura de transporte afectada.

Los resultados muestran que de las 192,244 localidades registradas por el INEGI en México, han estado expuestas alrededor de 4,565 en los 1,199 accidentes en el periodo de 2006-2009, lo cual representa el 2.4% de localidades vulnerables en el país.

Respecto a la población las 4,565 localidades están conformadas por 5'614,946 habitantes según datos del censo de población y vivienda del año 2010. Esta población vulnerable representa un 4.99% de la población total del país, estimada en el mismo censo en 112'336,538 habitantes.

Los riesgos son impredecibles, sin embargo, con la información que se tiene disponible es posible determinar planes de contingencias y el establecimiento de puntos de rápida respuesta por parte del personal de protección civil, para atender una emergencia ambiental en el transporte de materiales y residuos peligrosos y con ello limitar el riesgo a la población, a los ecosistemas y a la infraestructura carretera.

Otro aspecto relevante es la forma de alertar a la población a través de sistemas de comunicación, mediante los cuales se pueda informar acerca de los riesgos a los que están expuestos, las medidas adoptadas para evitarlos o minimizarlos, y las acciones que los pobladores deberán tomar en caso de una emergencia ambiental.

La responsabilidad civil de las empresas dedicadas a los transportes de materiales y residuos peligrosos podría ampliarse al evaluar los posibles riesgos en función de los escenarios críticos desarrollados en esta investigación, de tal manera que los seguros de daños contemplen correctamente los posibles impactos de un accidente carretero.

Se pudo identificar que a mayor cantidad de sustancia transportada, las zonas vulnerables se incrementan considerablemente hasta un radio de afectación de 10km, por lo que se recomienda revisar por cada sustancia, los límites máximos que se permiten actualmente para el transporte.

Un factor importante sería la regulación de los usos del suelo aledaños a las carreteras, sobre todo en aquellas vías que se permite el transporte de materiales y residuos peligrosos, con la finalidad de mantener alejadas a las poblaciones. Una discusión particular deberá darse sobre el transporte de dichos materiales a través de carreteras que atraviesan zonas altamente sensibles como las áreas naturales protegidas.

En el caso de accidentes, se debe evitar en lo posible la circulación sobre la vía afectada, por lo que deberán existir operativos de respuesta inmediata para desviar el tránsito a rutas alternas, para impedir congestionamientos, evitando que los vehículos con conductores y pasajeros permanezcan en la zona de riesgo totalmente varados.

Los resultados obtenidos ofrecen a las autoridades correspondientes tener elementos de discusión para mejorar la normativa en relación al transporte de materiales y residuos peligrosos, acerca del análisis de los diferentes materiales que actualmente circulan por las carreteras en relación al impacto a la salud y al medio ambiente que pueden provocar, y por otro lado en relación a las estrategias

relacionadas con la respuesta inmediata para mitigar y contener los daños al medio ambiente derivados de los accidentes carreteros.

Introducción

Los riesgos que implica el transporte de materiales y residuos peligrosos han sido la principal motivación para la realización del presente trabajo, ya que las incidencias que se han presentado y que pudieran presentarse implican riesgos importantes para la salud humana, para el medio ambiente y para la infraestructura del transporte.

Sin embargo, es necesario transportar materiales y residuos peligrosos en nuestro país, como fuente de materia prima en los diferentes procesos industriales, para el consumo humano, o como residuos que se transportan para ser dispuestos o reutilizados, por ello es necesario realizar investigación encaminada a aminorar los impactos posibles asociados a la siniestralidad carretera en el transporte de este tipo de materiales.

El término de vulnerabilidad pudiera resultar ambicioso ya que implica muchos elementos que no han sido abordados en el presente trabajo, particularmente por la disponibilidad de información, aunque los resultados son bastante buenos y nos permiten tener un panorama de los riesgos y los posibles impactos que se han manifestado a través de las estadísticas de siniestralidad en carreteras federales, particularmente a las poblaciones.

Para abordar el tema se evaluó el estado del arte en el tema del transporte materiales y residuos peligrosos en México, el cual se documentó en el capítulo 1 de antecedentes, donde se habla de las sustancias autorizadas a ser transportadas por carretera en el país, y su clasificación. Se muestran estadísticas de emergencia ambientales reportadas a la PROFEPA en el transporte carretero de materiales y residuos peligrosos. Finalmente se presentan a manera de ejemplos algunos accidentes que se han presentado en las carreteras, para destacar los impactos que han generado, en daños al medio ambiente, población afectada, infraestructura dañada, demoras en el tránsito, congestionamientos, pérdidas materiales, etc.

Para ahondar más en el tema de la siniestralidad el capítulo 2 muestra los resultados del análisis de los accidentes en el transporte de materiales y residuos peligrosos en el periodo 2006-2009, mostrando el número de accidentes totales, y posteriormente su segregación por estado, por ruta, por carretera, por tramo carretero hasta segmentos de 500 metros, y particularmente en las carreteras que conectan la frontera norte o sur del país, o a puertos marítimos; se analizaron las causas registradas que los generaron, asociadas a la conducción, al vehículo, a la

infraestructura, etc.; se identificaron los materiales involucrados en los accidentes, y los tipos de accidentes, tales como: choques, salidas del camino, etc.

La evaluación de la peligrosidad de las sustancias involucradas en los accidentes carreteros analizados se muestra en el capítulo 3, donde los escenarios críticos obtenidos fueron a través del modelo ALOHA, caracterizando las sustancias transportadas en México por medio de autotankers. La modelación se basó considerando escenarios críticos ubicándolos en el estado de Querétaro, si se requiere un análisis más fino es posible realizarlo siguiendo los pasos mostrados en este capítulo.

El capítulo 4 describe la metodología utilizada en esta investigación para determinar la vulnerabilidad de las carreteras por el transporte de materiales y residuos peligrosos, donde se determinó a través de la superposición de mapas, desarrollados mediante sistemas de información geográfica. De esta manera se elaboraron tres, el primero referido a la siniestralidad, ubicando los puntos donde se presentaron accidentes en el transporte de estos materiales, con los registros del periodo 2006-2009, y su análisis por estado, carreteras o tramos; el segundo referido al mapa de peligrosidad donde se representó el resultado de las modelaciones hechas para cada accidente en función del tipo de sustancia peligrosa transportada en cada accidente, obteniendo así las áreas de riesgo; y el tercero relacionado con la vulnerabilidad se superpusieron los municipios y las poblaciones, para identificar las municipalidades de mayor riesgo en función de las estadísticas y la población inmersa en las zonas de riesgo modeladas para cada accidente registrado. Al final del capítulo se realiza una discusión sobre los resultados.

Por último, se presentan las conclusiones del trabajo, que destacan el uso potencial de la información, las posibles mejoras que se pueden dar a la realización de investigaciones sobre éste tema y finalmente sobre las líneas de acción futuras para continuar con trabajos de investigación relacionados con el transporte de materiales y residuos peligrosos.

1 Antecedentes

El transporte de materiales y residuos peligrosos es una actividad productiva que involucra una amplia gama de productos y de vehículos para su traslado.

En México, esta actividad se realiza por cualquiera de los modos de transporte, tales como el marítimo, el ferroviario, aéreo y el carretero. Sin embargo, el modo más utilizado en el país es el carretero, a través del autotransporte federal, donde las unidades para el transporte de materiales peligrosos representan el 11.1% del total de unidades registradas para el año 2010 [SCT, 2010]. El transporte de materiales y residuos peligrosos también se lleva a cabo por vía ferroviaria, pero no se cuenta con información disponible del porcentaje que éste representa en el transporte especializado de mercancías.

El transporte de materiales y residuos peligrosos incluye: explosivos, gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión, líquidos inflamables, sólidos inflamables, oxidantes y peróxidos orgánicos, tóxicos agudos (venenos) y agentes infecciosos, radiactivos, corrosivos y otros.

La operación del transporte de materiales y residuos peligrosos genera impactos importantes a la población, al medio ambiente y a la infraestructura del transporte, principalmente debido a la siniestralidad de las unidades que movilizan estos materiales, por sus características, que son corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas, y que representan un riesgo no solo para el medio ambiente sino también para la infraestructura y la población que se encuentran en el área de impacto.

La demanda y uso de sustancias peligrosas se ha generalizado y está en constante crecimiento, no sólo en la industria, sino también en otros sectores, lo cual representa un gran número de riesgos sanitarios y ambientales importantes. Actualmente existen más de cien mil sustancias químicas que se encuentran en el comercio mundial, donde aproximadamente ocho mil reúnen alguna de las características de peligrosidad. [SEMARNAT-INE 1997]

Por lo anterior, el tránsito en las carreteras con vehículos que transportan materiales y sustancias peligrosas se ha incrementando de manera importante, demandando rutas para su operación, un mayor número de unidades e incremento de sus capacidades de los vehículos para el traslado. Esto significa que diariamente están circulando unidades que representan un riesgo mayor durante su operación y pudieran tener repercusiones que vulneren la infraestructura del transporte.

1.1 Materiales y residuos peligrosos

Para definir que son los materiales y residuos peligrosos nos basamos en la legislación vigente en la materia. En México existen tres documentos que establecen claramente que son y que comprenden, el primero es la Ley General de Salud, el segundo es la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y el Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

La Ley General de Salud se refiere a sustancias peligrosas como aquel elemento o compuesto, o la mezcla química de ambos, que tiene características de corrosividad, reactividad, inflamabilidad, explosividad, toxicidad, biológico-infecciosas, carcinogenicidad, teratogenicidad o mutagenicidad. Una sustancia toxica es aquel elemento o compuesto, o la mezcla de química de ambos que, cuando por cualquier vía de ingreso, ya sea inhalación, ingestión o contacto con la piel o mucosas, causan efectos adversos al organismo, de manera inmediata o mediata, temporal o permanentemente, como lesiones funcionales, alteraciones genéticas, teratogénicas, mutagénicas, carcinogénicas o la muerte”. [LGS, 1984]

Por otro lado la LGEEPA define a una sustancia peligrosa como aquellos elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, representen un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas”. [LGEEPA, 1996]

Por último, el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (RTMP) cuenta con tres definiciones para caracterizar a los materiales y residuos peligros, las cuales se citan a continuación:

Material peligroso: Aquella sustancia peligrosa, sus remanentes, sus envases, embalajes y demás componentes que conformen la carga que será transportada por las unidades. [RTMP, 2006]

Residuos peligrosos: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológico-infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente. [RTMP, 2006]

Sustancia peligrosa: Todo aquel elemento, compuesto, material o mezcla de ellos que independientemente de su estado físico, represente un riesgo para la salud, el ambiente, la seguridad de los usuarios y la propiedad de terceros; también se considera bajo esta definición los agentes biológicos causantes de enfermedades. [RTMP, 2006]

1.1.1 Clasificación de las sustancias peligrosas

Por sus características las sustancias peligrosas se pueden clasificar de acuerdo al RTMP en 9 clases. La tabla 1.1 muestra la clasificación de las sustancias en México.

Tabla 1.1. Clasificación de las sustancias peligrosas.

Clase	Denominación
1	Explosivos
2	Gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión
3	Líquidos inflamables
4	Sólidos inflamables
5	Oxidantes y peróxidos orgánicos
6	Tóxicos agudos (venenos) y agentes infecciosos
7	Radiactivos
8	Corrosivos
9	Varios

Fuente: Elaboración propia con datos del RTMP, 2006.

A continuación se describen cada una de ellas de acuerdo al RTMP vigente.

1.1.1.1 Clase 1

La clase 1, comprende las siguientes:

Sustancias explosivas. Son sustancias o mezclas de sustancias sólidas o líquidas que de manera espontánea o por reacción química, pueden desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que causen daños en los alrededores.

Sustancias pirotécnicas. Son sustancias o mezcla de sustancias destinadas a producir un efecto calorífico, luminoso, sonoro, gaseoso o fumígeno o una combinación de los mismos, como consecuencia de reacciones químicas exotérmicas autosostenidas no detonantes.

Objetos explosivos. Son objetos que contienen una o varias sustancias.

1.1.1.2 Clase 2

Las características principales de la clase 2 es que son sustancias que a 50°C tienen una presión mayor a 300kPa, son completamente gaseosas a 20°C a una presión normal de 101.3 kPa.

Para las condiciones de transporte esta clase se cataloga de acuerdo a su estado físico como: gas comprimido, gas licuado, gas licuado refrigerado y gas en solución.

1.1.1.3 Clase 3

Son mezclas o líquidos que contienen sustancias sólidas en solución o suspensión, que despiden vapores inflamables a una temperatura no superior a 60.5°C en los ensayos en copa cerrada o no superiores a 65.6°C en copa abierta.

1.1.1.4 Clase 4

Son sustancias que presentan riesgo de combustión espontánea, así como aquellos que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.

1.1.1.5 Clase 5

Son sustancias que se definen y dividen tomando en consideración su riesgo, tales como: ser susceptibles a una descomposición explosiva, arde rápidamente, ser sensibles a los impactos o a la fricción, reaccionar peligrosamente al entrar en contacto con otras sustancias o causar daños a la vista.

1.1.1.6 Clase 6

Son sustancias que se definieron y dividieron de acuerdo a su riesgo en tóxicos agudos y agentes infecciosos.

1.1.1.7 Clase 7

Para efectos de transporte, son todos los materiales cuya actividad específica es superior a 70kBq/kg (2nCi/g).

1.1.1.8 Clase 8

Son sustancias líquidas o sólidas que por su acción química causan lesiones graves a los tejidos vivos con los que entra en contacto o que si se produce un escape pueden causar daños e incluso destrucción de otras mercancías o de las unidades en las que son transportadas.

1.1.1.9 Clase 9

Son aquellas sustancias que durante el transporte presentan un riesgo distinto de los correspondientes a las demás clases y que también requieren de un manejo especial para su transporte, por presentar un riesgo potencial para la salud, el ambiente, la seguridad a los usuarios y a la propiedad de terceros.

1.2 Emergencias Ambientales

Los accidentes de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos se traducen en riesgos, generados no solo al medio ambiente sino también a la infraestructura carretera y a las personas por el derrame, fuga o explosión de las sustancias que transportan, lo que deriva en una emergencia ambiental que tiene que ser evaluada, atendida y registrada.

Una emergencia ambiental es un evento súbito que puede provocar un daño o alteración a la salud pública o al medio ambiente, debido a la liberación accidental de alguna sustancia peligrosa al aire, la tierra, o el agua. Estas emergencias pueden suceder por accidentes de transporte, por explosiones, derrames o incendio, o como resultado de un desastre natural o la acción del ser humano. [PROFEPA, 2011]

En el periodo que comprende de año 2006 al 2009 fueron reportadas al Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA) de la Procuraduría Federal para la Protección al Ambiente (PROFEPA) un total de 492 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos en el transporte carretero (estas emergencias comprenden carreteras federales y estatales).

Este centro clasifica cuatro tipos de emergencias las cuales son: derrame, fuga, incendio y explosión. La tabla siguiente muestra la cantidad de emergencias ocurridas en el periodo mencionado para cada una de las anteriores categorías, en esta tabla se observa que la mayor cantidad de emergencias fueron derrames con el 92% del total de las emergencias (ver tabla 1.2).

Tabla 1.2 Emergencias ambientales en transporte carretero reportadas a la COATEA

Tipo de emergencia	2006		2007		2008		2009		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Derrame	95	93.14	108	91.53	122	91.73	131	94.24	456	92.68
Fuga	3	2.94	4	3.39	5	3.76	3	2.16	15	3.05
Incendio	1	0.98	4	3.39	5	3.76	2	1.44	12	2.44
Explosión	3	2.94	2	1.69	1	0.75	3	2.16	9	1.83
Total	102	100	118	100	133	100	139	100	492	100

Fuente: PROFEPA. Informe IMT 31-10-2011

La distribución de las 492 emergencias a lo largo del territorio nacional muestra primeramente que ningún estado de la república estuvo exento de presentar por lo menos una emergencia ambiental durante el periodo 2006-2009, por ejemplo el estado de Tlaxcala, también se observa que las entidades con mayor número de emergencias ambientales son Oaxaca y Tamaulipas (ver tabla 1.3)

Tabla 1.3 Distribución de emergencias ambientales reportadas a la COATEA

Entidad	Cantidad	Entidad	Cantidad	Entidad	Cantidad	Entidad	Cantidad
Oaxaca	68	México	19	Guerrero	11	Quintana Roo	6
Tamaulipas	63	San Luis Potosí	19	Hidalgo	11	Aguascalientes	5
Guanajuato	29	Querétaro	16	Tabasco	10	Baja California	4
Sonora	26	Veracruz	15	Colima	9	Sinaloa	3
Puebla	25	Michoacán	13	Baja California Sur	8	Campeche	2
Jalisco	23	Zacatecas	13	Nayarit	8	Durango	2
Nuevo León	22	Chihuahua	12	Yucatán	8	Morelos	2
Chiapas	21	Distrito Federal	12	Coahuila	6	Tlaxcala	1

Fuente: PROFEPA. Informe IMT 31-10-2011

1.3 Ejemplos de emergencias ambientales en carreteras derivadas del transporte de materiales y residuos peligrosos

Es importante ejemplificar con casos de emergencias ambientales en donde se involucró el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, para conocer la magnitud del percance, el daño a la infraestructura, el impacto ambiental ocasionado e incluso las pérdidas económicas estimadas en el evento.

1.3.1 Accidentes con ácido sulfúrico

El día 21 de mayo de 2010 alrededor 13 mil litros de ácido sulfúrico fueron derramados sobre el tramo carretero Hermosillo-Guaymas en el estado de Sonora, el vehículo accidentado fue un doblemente articulado, la fuga de éste material fue de sólo uno de los tanques. Uno de los carriles de esta carretera tuvo que ser cerrado por varias horas para evitar intoxicaciones en el lugar por los vapores emanados del producto derramado. La figura 1.1 muestra imágenes del accidente.

Otro accidente con una gran cantidad de ácido sulfúrico derramado fue el que se presentó el día 15 de enero de 2011, en el kilómetro 28 de la carretera Arco Norte perteneciente al estado de Hidalgo, un camión articulado fue golpeado en la parte trasera por otro vehículo lo que provocó el rompimiento del tanque, el conductor no se percató de lo acontecido sino hasta llegar a la caseta de cobro en la intersección con la autopista México-Pachuca. Dada la gravedad de este accidente se vieron movilizadas las fuerzas del Ejército Mexicano y de la Policía Preventiva para atender dicha emergencia. La figura 1.2 muestra imágenes del derrame.



Figura 1.1 Accidente de un vehículo que transportaba ácido sulfúrico

Fuente: http://policiacodesonora.blogspot.mx/2010_05_21_archive.html



Figura 1.2 Derrame de ácido sulfúrico en el arco norte de la Cd. de México

Fuente: <http://www.eldiariodecoahuila.com.mx/notas/2011/1/15/nacional-213723.asp>

Por mencionar otro de varios accidentes con transporte de ácido sulfúrico se encuentra el ocurrido el 19 de diciembre de 2008 en el estado de Veracruz, dicho accidente se presentó en la carretera Córdoba-Veracruz donde un autobús se estrelló con una camión articulado cargado con este material, cabe mencionar el alto riesgo de este accidente dado que los pasajeros del autobús pudieron sufrir graves intoxicaciones o quemaduras al contacto con el material, esto no sucedió, pero es importante tener en cuenta todos los escenarios posibles que se pueden presentar debido a estos accidentes. Al igual que los ejemplos mencionados anteriormente fue necesario cerrar uno de los carriles por algunas horas para retirar el vehículo de la forma más segura posible.

1.3.2 Accidentes con Gas LP

Los accidentes con transporte de Gas LP representan altos riesgos por la naturaleza inflamable-explosiva de este material, algunos de los accidentes ocurridos con transporte de este producto son los ocurridos el 4 de febrero de 2010 en la carretera Guadalajara-Colima, el vehículo era un doblemente articulado y la fuga del material fue de solamente uno de los tanques, cada uno tenían una capacidad de 43 mil litros, a pesar de que no se registró ninguna persona afectada la carretera permaneció cerrada por más de 12 horas lo que representó un problema para los usuarios y pérdidas económicas. La figura 1.3 muestra una imagen del accidente.



Figura 1.3 Accidente de un vehículo que transportaba gas LP

Fuente: <http://realidadesgaslp.blogspot.com/2010/02/otro-accidente-con-pipa-de-gas-lp.html>

No solamente las vías federales de comunicación están expuestas a estos accidentes, sino también las zonas suburbanas e incluso urbanas, tal es el caso del siniestro que se presentó en la delegación Venustiano Carranza del Distrito Federal donde un camión articulado cargado con 12 mil 500 litros de Gas LP se volcó, este accidente requirió la atención de los bomberos de la ciudad y para el control de la fuga de la sustancia, tomando un tiempo de alrededor de 2 horas, las víctimas del percance debido a las intoxicaciones fueron solamente tres las cuales fueron trasladadas a los hospitales más cercanos. Este accidente tuvo lugar el 16 de junio de 2011 aproximadamente a medio día con lo cual se incrementa el riesgo debido a la gran cantidad de transeúntes en la zona de afectación. La figura 1.4 muestra una imagen del accidente.



Figura 1.4 Accidente de un vehículo que transportaba gas LP en zona suburbana

Fuente: <http://www.aztecanoticias.com/notas/seguridad/58991/vuelca-pipa-con-12-mil-500-litros-de-gas-lp>

1.3.3 Accidente con derivados del petróleo

En cuanto a los accidentes con transporte de materiales derivados de la refinación del petróleo tales como: gasolina, diesel, turbosina y combustóleo se citan algunos de los casos que han sido críticos, como el ocurrido en Cuautla estado de Morelos el 25 de octubre de 2010 donde los saldos por la explosión de uno de los tanques del vehículo doblemente articulado fueron de una persona calcinada, cuatro lesionados, 16 negocios y nueve domicilios dañados, varios vehículos afectados, cuatro postes de luz y nueve casetas telefónicas, este accidente ocurrió en la carretera México-Oaxaca a la altura del Distribuidor Vial Oriente. Ver figura 1.5



Figura 1.5 Accidente de un vehículo que transportaba gasolina

Fuente: <http://www.oem.com.mx/elsoldecuernavaca/notas/n1830759.htm>

Dentro de la misma línea de accidentes con transporte de materiales derivados del petróleo, el 25 de febrero de 2008 en el estado de Oaxaca ocurrió el percance en un vehículo doblemente articulado, sobre la carretera Palomares-Matías Romero a la altura del kilómetro 176, dejando un saldo de seis muertos. Según la información proporcionada por Protección Civil, la causa del accidente fue la velocidad excesiva por parte del conductor de un taxi involucrado en el accidente. A pesar de la pronta respuesta no se pudo evitar el derrame del material contenido en el tanque por lo cual cientos de litros de combustible se vieron vertidos en el suelo, contaminándolo de forma significativa. Ver figura 1.6



Figura 1.6 Accidente de un vehículo transportando gasolina

Fuente: <http://www.esmas.com/noticierostelevisa/mexico/708071.html>

Nuevamente un vehículo doblemente articulado estuvo involucrado en un accidente, el día 14 de agosto de 2011, el vehículo que transportaba diesel y gasolina en cada uno de sus dos tanques, se volcó en el kilómetro 127 de la carretera Puebla-Orizaba en el estado de Veracruz, ambos contenedores se incendiaron, sin embargo la inmediata respuesta del cuerpo de bomberos logró evacuar a la población circundante en un radio de 500 metros con lo cual no se presentó ninguna víctima en este siniestro. Se informó que las causas de este accidente corresponden a la velocidad excesiva desarrollada por el conductor del vehículo y a una falla mecánica del vehículo. La figura 1.7 muestra imágenes del percance.



Figura 1.7 Accidente de un vehículo transportando diesel y gasolina

Fuente: <http://www.contraparteinformativa.com>

1.3.4 Accidentes con explosivos

Por último, uno de los accidentes con mayores afectaciones a la población e infraestructura carretera fue el ocurrido el 12 de septiembre de 2007 en el estado de Coahuila, este suceso que se presentó en la carretera Monclova-San Pedro de las Colonias a la altura del municipio de Nadadores, dejó a mas de 25 personas muertas, alrededor de 250 lesionados, varios edificios dañados (67 según algunas notas periodísticas) y alrededor de 50 vehículos dañados, además se originó un cráter de aproximadamente tres metros de profundidad y 25 metros de diámetro sobre la carretera.

25 Toneladas de nitrato de amonio propiedad de la empresa australiana ORICA ubicada en Cuatro Ciénegas Coahuila, explotaron causando graves efectos sobre las personas que recorrían la carretera, este es uno de los accidentes más graves ocasionados por el mal transporte de materiales y residuos peligrosos ocurridos en nuestro país. A pesar de que la empresa contaba con los permisos otorgados por la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) no pudo ser posible evitar los daños anteriormente mencionados.

La figura 1.8 muestra una serie de fotografías recolectadas de ese evento.



Figura 1.8 Accidente de un vehículo transportando explosivos

Fuente: <http://jofi.lacocelera.net/post/2012/02/22/hoy-hablemos-cianuro-hablemos-nitrato-amonio>

2 Análisis de siniestralidad

Para la realización del diagnóstico de la siniestralidad de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos por carreteras federales, es necesario contar con una fuente de información confiable para la obtención de los datos de accidentes; por lo cual se utilizaron las bases de datos de accidentes generadas por el Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA). Este sistema ha sido desarrollado por la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), cabe mencionar que este sistema ha sido utilizado para el desarrollo de diversos trabajos de investigación los cuales han servido como herramientas para la gestión de accidentes viales. Es importante señalar que aunque la captura de partes de accidentes en dicho sistema ha ido en aumento, durante 2006 y 2007 apenas se alcanzó el 61 y 66% respectivamente, de accidente capturados; para complementar la información de siniestralidad se empleaba una base de datos de la Policía Federal (PF), desafortunadamente en esta fuente no se especifica el tipo de carga que transportan los vehículos.

Para el diagnóstico de vulnerabilidad se muestran las estadísticas más relevantes que se pueden obtener mediante el análisis a las bases de datos generadas a través del SAADA.

2.1 Accidentes

El presente proyecto abarca el estudio de cuatro años consecutivos de accidentes reportados, de 2006 a 2009, cuya muestra integra el 61, 66, 95 y 94 por ciento del total de los accidentes respectivamente. [SAADA]

2.1.1 Accidentes totales

Los accidentes totales en el periodo de análisis corresponden a un total de 1,199 colisiones con una suma de daños materiales de 17.8 millones de dólares y con un saldo de 196 muertos y 838 lesionados. El detalle se muestra en la tabla 2.1.

El aumento en las cifras de siniestralidad de vehículos con transporte de materiales peligrosos no necesariamente obedece a un incremento gradual sino que pudiese ser por las fuentes de información disponibles para este análisis, tal como se comentó anteriormente. Se observa para 2009 que los accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos representaron el 1.3% de la totalidad concentrando el 4.68% de los daños materiales, mientras que respecto a

las víctimas, estos porcentajes son de 1.25 y 0.86 para los muertos y lesionados, respectivamente.

Tabla 2.1 Accidentes totales y accidentes con transporte de materiales peligrosos

	2006		2007		2008		2009		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Accidentes totales	29,050		30,551		30,739		29,587		119,927	
Accidentes con MP	239	0.82	253	0.83	322	1.05	385	1.30	1,199	1.00
Muertos Totales	5,014		5,398		5,379		4,869		20,660	
Muertos con MP	52	1.04	44	0.82	39	0.73	61	1.25	196	0.95
Lesionados Totales	33,130		33,580		32,768		31,656		131,134	
Lesionados con MP	213	0.64	180	0.54	172	0.52	273	0.86	838	0.64
Daños Materiales Totales (1)	137,569		137,745		141,977		112,955		530,246	
Daños Materiales con MP (1)	3,071.36	2.23	4,100.42	2.98	5,368.53	3.78	5,290.35	4.68	17,830.67	3.36

(1) Miles de dólares, MP Materiales Peligrosos

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA.

2.1.2 Accidentes por entidad federativa

Se identificaron los estados con mayor número de accidentes de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos, y se observa una concentración importante en los estados de Veracruz, Puebla y San Luis Potosí con 186, 73 y 69 accidentes totales a lo largo de los cuatro años. No obstante que la concentración de accidentes en estos estados es importante, cabe mencionar que aunque Guanajuato reporta menos accidentes (60), registra el mayor número de muertos (26 más que Veracruz y San Luis Potosí).

La tabla 2.2 muestra por entidad federativa, el número de accidentes y los saldos para cada año así como el total. La jerarquización de la tabla obedece al número de accidentes totales.

El mayor porcentaje de accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos se concentra en el estado de Veracruz y corresponde a la clase 3 “Líquidos Inflamables” seguido por la clase 2 “Gases”; esta tendencia seguramente esta relacionada con las refinerías que se ubican en el estado.

La figura 2.1 muestra los porcentajes totales de accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por entidad federativa.

Tabla 2.2 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por entidad

Entidad	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
Veracruz	2006	49	9	30	5,506.0
	2007	53	7	44	5,182.5
	2008	42	2	21	6,067.8
	2009	42	6	30	7,495.0
	Total	186	24	125	24,251.3
Puebla	2006	11	7	7	1,729.0
	2007	16	10	10	1,589.0
	2008	18	2	6	4,020.0
	2009	28	8	17	9,905.5
	Total	73	27	40	17,243.5
San Luis Potosí	2006	14	-	2	1,270.0
	2007	17	10	8	3,189.5
	2008	13	1	9	2,809.0
	2009	25	1	12	4,954.0
	Total	69	12	31	12,222.5
México	2006	18	5	36	1,515.1
	2007	14	-	6	1,313.7
	2008	12	3	13	1,443.0
	2009	18	5	13	1,894.0
	Total	62	13	68	6,165.8
Guanajuato	2006	16	13	29	7,468.0
	2007	12	1	3	756.5
	2008	12	7	2	612.0
	2009	20	5	17	3,831.1
	Total	60	26	51	12,667.6
Michoacán	2006	20	3	15	2,076.0
	2007	16	5	36	3,000.0
	2008	11	1	3	1,314.0
	2009	10	1	9	2,700.0
	Total	57	10	63	9,090.0
Jalisco	2007	15	2	10	1,534.0
	2008	11	1	13	2,946.0
	2009	25	3	47	2,293.0
	Total	51	6	70	6,773.0
Sonora	2006	16	8	8	3,545.0
	2008	15	2	2	2,935.0
	2009	20	4	4	1,144.0
	Total	51	14	14	7,624.0
Nuevo León	2006	7	-	14	614.0
	2007	16	1	3	11,602.0
	2008	13	1	12	2,728.0
	2009	11	6	2	1,013.0
	Total	47	8	31	15,957.0

Tabla 2.2 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por entidad (continuación)

Entidad	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
Guerrero	2006	2	-	4	102.0
	2007	2	-	-	238.0
	2008	20	2	5	4,660.0
	2009	21	9	23	6,574.0
	Total	45	11	32	11,574
Oaxaca	2006	10	-	6	2,170.0
	2008	15	7	6	3,686.1
	2009	20	3	8	3,872.0
	Total	45	10	20	9,728.1
Zacatecas	2006	5	-	2	461.0
	2007	15	1	7	1,785.0
	2008	11	-	12	1,218.0
	2009	13	-	7	2,090.0
	Total	44	1	28	5,554.0
Coahuila	2006	14	-	6	2,335.3
	2007	7	-	9	2,555.0
	2008	9	1	8	749.0
	2009	12	2	15	1,535.1
	Total	42	3	38	7,174.4
Chihuahua	2006	6	1	6	740.0
	2007	11	-	4	1,820.5
	2008	15	-	7	4,111.0
	2009	10	1	2	5,840.0
	Total	42	2	19	12,511.5
Tamaulipas	2008	16	2	5	2,412.0
	2009	21	1	8	2,714.0
	Total	37	3	13	5,126.0
Campeche	2006	6	-	-	293.0
	2007	9	1	2	1,601.0
	2008	7	-	3	540.0
	2009	3	1	3	330.0
	Total	25	2	8	2,764.0
Hidalgo	2006	4	-	2	215.5
	2007	5	-	-	311.0
	2008	9	2	4	1,073.0
	2009	7	1	3	713.0
	Total	25	3	9	2,312.5
Chiapas	2006	6	1	4	427.5
	2007	6	2	-	2,875.0
	2008	8	-	1	2,105.0
	2009	4	1	-	330.0
	Total	24	4	5	5,737.5

Tabla 2.2 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por entidad (continuación)

Entidad	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
Baja California	2006	6	-	5	500.0
	2007	5	-	4	1,223.0
	2008	6	-	4	1,457.0
	2009	6	-	1	1,365.0
	Total	23	-	14	4,545.0
Querétaro	2007	8	-	9	913.0
	2008	8	1	5	594.0
	2009	6	1	6	581.0
	Total	22	2	20	2,088.0
Tlaxcala	2006	8	2	16	684.0
	2007	7	2	4	450.0
	2008	3	-	-	102.0
	2009	3	1	-	70.0
	Total	21	5	20	1,306.0
Baja California Sur	2006	2	-	-	220.0
	2007	4	-	4	1,040.0
	2008	7	1	1	5,715.0
	2009	5	-	-	725.0
	Total	18	1	5	7,700.0
Tabasco	2008	10	1	15	1,183.0
	2009	8	-	1	382.5
	Total	18	1	16	1,565.5
Durango	2007	4	-	1	920.0
	2008	6	1	7	1,105.0
	2009	6	-	3	1,528.0
	Total	16	1	11	3,553.0
Yucatán	2008	8	1	4	2,371.5
	2009	7	-	1	2,900.0
	Total	15	1	5	5,271.5
Quintana Roo	2006	5	-	1	525.0
	2007	1	-	-	80.0
	2008	5	-	1	790.0
	2009	4	-	14	370.0
	Total	15	-	16	1,765.0
Colima	2006	1	-	4	90.0
	2007	4	-	7	320.0
	2008	3	-	1	425.0
	2009	6	-	1	1,860.0
	Total	14	-	13	2,695.0
Sinaloa	2006	4	1	6	328.1
	2008	1	-	-	60.0
	2009	9	-	11	684.0
	Total	14	1	17	1,072.1

Tabla 2.2 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por entidad (continuación)

Entidad	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
Morelos	2006	5	2	3	700.0
	2007	3	1	5	643.0
	2008	1	-	-	4.0
	2009	4	-	3	155.0
	Total	13	3	11	1,502.0
Nayarit	2008	5	-	2	350.0
	2009	8	1	10	962.0
	Total	13	1	12	1,312.0
Distrito Federal	2006	3	-	5	250.5
	2007	1	-	1	55.0
	2008	1	-	-	200.0
	2009	1	-	-	120.0
	Total	6	-	6	625.5
Aguascalientes	2006	1	-	2	20.0
	2007	2	1	3	108.0
	2008	1	-	-	20.0
	2009	2	-	2	225.0
	Total	6	1	7	373.0
Total		1,199	196	838	209,850.43

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

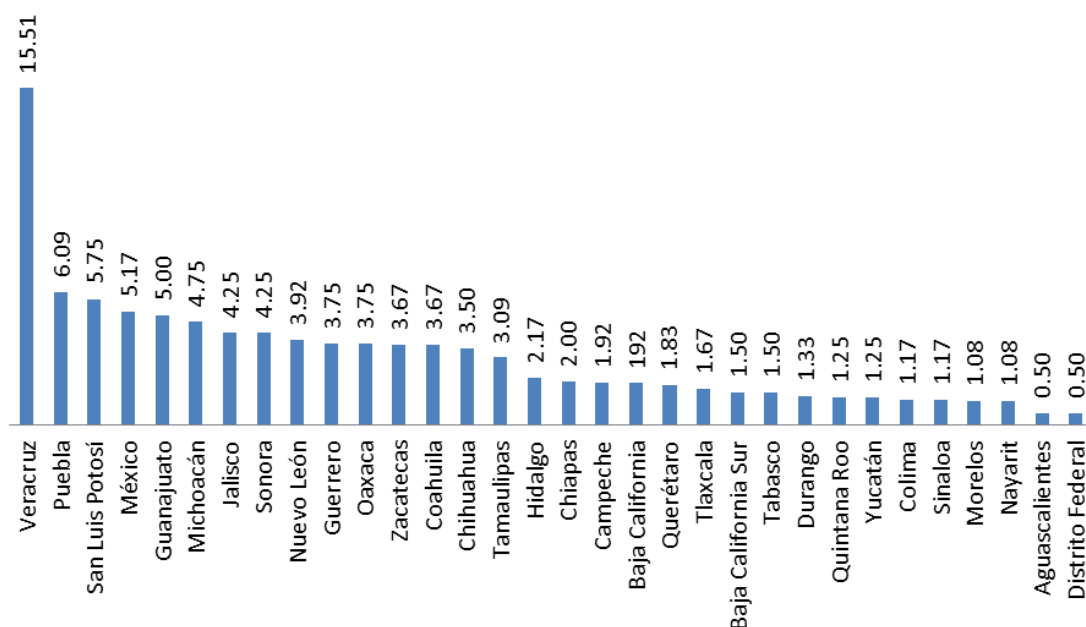


Figura 2.1 Distribución porcentual del total de accidentes registrados de 2006 a 2009 por entidad federativa

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.1.3 Accidentes por ruta

Por tratarse de un universo pequeño de datos en los accidentes por ruta se agruparon las carreteras de cuota y libres, por ejemplo: la autopista México - Querétaro se considera dentro de la ruta MEX-057.

La Tabla 2.3 muestra las cifras por ruta, para aquellas que reportaron accidentes en los cuatro años, el orden obedece al número total de accidentes; de forma tal, que la ruta MEX-180 Matamoros - Puerto Juárez fue la que reportó el mayor número de siniestros (115), seguida por la ruta MEX-057 México - Piedras Negras y MEX-150 México - Veracruz.

Tabla 2.3 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por ruta

Ruta	Nombre de la Ruta	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
MEX-180	Matamoros - Puerto Juárez	2006	23	5	12	2,196.0
		2007	24	7	11	3,057.0
		2008	39	10	27	7,190.3
		2009	29	1	27	5,191.0
		Total	115	23	77	17,634.3
MEX-057	México - Piedras Negras	2006	23	2	31	4,074.0
		2007	20	2	17	13,048.0
		2008	29	7	22	3,755.0
		2009	30	3	14	4,542.1
		Total	102	14	84	25,419.1
MEX-150	México - Veracruz	2006	25	5	27	3,883.1
		2007	19	3	19	2,549.0
		2008	16	1	4	3,664.0
		2009	22	9	8	9,686.0
		Total	82	18	58	19,782.1
MEX-045	México - Ciudad Juárez	2006	14	3	5	1,114.0
		2007	21	1	6	2,677.5
		2008	19	3	9	2,527.0
		2009	20	5	14	2,509.1
		Total	74	12	34	8,827.6
MEX-015	México - Nogales	2006	21	3	20	2,914.1
		2007	7	1	10	619.0
		2008	9	1	1	1,305.0
		2009	26	4	19	2,357.0
		Total	63	9	50	7,195.1
MEX-200	Tepic - Puente Talismán	2006	3	-	4	128.0
		2007	6	2	-	2,525.0
		2008	24	1	3	5,255.0
		2009	25	1	14	4,443.0
		Total	58	4	21	12,351.0

Tabla 2.3 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por ruta (continuación)

Ruta	Nombre de la Ruta	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
MEX-002	Playa Lauro Villar - Tijuana	2006	9	7	9	1,375.0
		2007	6	-	3	1,445.0
		2008	20	3	7	5,015.0
		2009	21	2	4	7,248.0
		Total	56	12	23	15,083.0
MEX-145	La Tinaja - Sayula	2006	9	-	2	778.0
		2007	11	-	5	805.5
		2008	12	-	5	1,605.0
		2009	12	4	12	1,180.0
		Total	44	4	24	4,368.5
MEX-040	Reynosa - Mazatlán	2006	8	-	8	699.3
		2007	9	-	2	2,217.0
		2008	13	1	17	1,838.0
		2009	12	1	4	2,433.0
		Total	42	2	31	7,187.3
MEX-190	México - Ciudad Cuauhtémoc	2006	12	1	6	2,499.5
		2007	1	-	-	500.0
		2008	12	1	5	3,926.1
		2009	16	3	5	2,501.5
		Total	41	5	16	9,427.1
MEX-085	México - Nuevo Laredo	2006	9	-	13	688.0
		2007	7	1	1	665.0
		2008	8	2	1	1,990.0
		2009	13	1	5	974.0
		Total	37	4	20	4,317.0
MEX-130	Pachuca - Tuxpan	2006	2	-	-	20.5
		2007	9	2	6	504.0
		2008	11	-	1	1,928.0
		2009	15	1	6	2,860.0
		Total	37	3	13	5,312.5
MEX-054	Colima - Ciudad Mier	2006	2	-	-	370.0
		2007	8	-	8	855.0
		2008	7	-	8	1,101.0
		2009	18	3	33	2,830.5
		Total	35	3	49	5,156.5
MEX-095	México - Acapulco	2006	9	2	12	1,035.5
		2007	1	-	1	400.0
		2008	8	1	3	869.0
		2009	10	9	24	3,889.0
		Total	28	12	40	6,193.5

Tabla 2.3 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por ruta (continuación)

Ruta	Nombre de la Ruta	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
MEX-090	Irapuato - Guadalajara	2006	3	10	6	5,155.0
		2007	10	2	3	948.5
		2008	5	-	2	1,240.0
		2009	9	1	9	1,577.0
		Total	27	13	20	8,920.5
MEX-080	Tampico - Barra de Navidad	2006	1	-	-	40.0
		2007	5	-	5	668.0
		2008	8	1	9	860.0
		2009	13	-	22	1,136.0
		Total	27	1	36	2,704.0
MEX-110	San Luis de la Paz - Tecomán	2006	5	1	1	720.0
		2007	7	1	8	645.0
		2008	5	-	3	830.0
		2009	8	1	7	1,812.0
		Total	25	3	19	4,007.0
MEX-070	Tampico - Puerto Vallarta	2006	5	-	3	1,034.0
		2007	8	1	2	1,091.5
		2008	4	-	2	550.0
		2009	5	-	1	1,730.0
		Total	22	1	8	4,405.5
MEX-001	Tijuana - Los Cabos	2006	2	-	-	90.0
		2007	5	-	4	1,075.0
		2008	9	1	3	4,062.0
		2009	3	-	-	275.0
		Total	19	1	7	5,502.0
MEX-037	San Luis Potosí - Playa Azul	2006	3	1	2	290.0
		2007	5	1	4	978.0
		2008	5	-	-	770.0
		2009	5	-	2	2,030.0
		Total	18	2	8	4,068.0
MEX-049	San Luis Potosí - Jiménez	2006	2	1	1	260.0
		2007	9	7	5	1,520.0
		2008	4	-	1	530.0
		2009	3	-	-	735.0
		Total	18	8	7	3,045.0
MEX-140	Puebla - Veracruz	2006	6	6	4	850.5
		2007	6	3	13	266.0
		2008	2	-	-	541.0
		2009	2	-	2	240.0
		Total	16	9	19	1,897.5

Tabla 2.3 Accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos por ruta (continuación)

Ruta	Nombre de la Ruta	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
MEX-136	Los Reyes - Zacatepec	2006	6	1	16	643.5
		2007	3	1	1	160.0
		2008	3	-	-	132.0
		2009	2	-	-	28.0
		Total	14	2	17	963.5
MEX-055	Querétaro - Taxco	2006	3	1	1	156.0
		2007	5	-	1	730.0
		2008	2	-	1	220.0
		2009	2	-	1	270.0
		Total	12	1	4	1,376.0
MEX-115	México - Cuautla	2006	1	-	-	17.0
		2007	4	1	5	333.0
		2008	2	1	4	170.0
		2009	5	2	5	325.5
		Total	12	4	14	845.5
MEX-126	Atlacomulco - Morelia	2006	3	-	1	155.0
		2007	3	1	19	1,000.0
		2008	2	-	2	320.0
		2009	1	-	1	200.0
		Total	9	1	23	1,675.0
MEX-186	Villahermosa - Chetumal	2006	1	-	-	100.0
		2007	1	-	-	80.0
		2008	3	-	1	379.0
		2009	4	-	1	150.5
		Total	9	-	2	709.5
MEX-134	Naucalpan - Ixtapa Zihuatanejo	2006	2	-	-	130.0
		2007	1	-	-	20.0
		2008	1	-	-	20.0
		2009	2	-	4	265.0
		Total	6	-	4	435.0
MEX-043	Salamanca - Morelia	2006	2	-	1	120.0
		2007	1	-	2	70.0
		2008	1	-	0	104.0
		2009	1	-	2	21.0
		Total	5	-	5	315.0

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.1.4 Accidentes por carretera

Se presentan tres tablas para mostrar la información más relevante de accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos por carretera, en las dos primeras se muestra la información de las carreteras que conforman a las dos rutas con mayor número de accidentes. La primera de ellas corresponde a las carreteras que conforman la Ruta MEX-180 Matamoros - Puerto Juárez (tabla 2.4), la tabla 2.5 la componen las carreteras que integran la Ruta MEX-057 México - Piedras Negras, por último, la tabla 2.6 integra carreteras en las cuales a lo largo de los cuatro años se presentaron 20 o más accidentes de vehículos con transporte de materiales peligrosos y las cuales no forman parte de las dos rutas anteriores.

Tabla 2.4 Carreteras de la Ruta MEX-180 Matamoros - Puerto Juárez

Clave de carretera	Nombre de la carretera	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
00528	Coatzacoalcos - Villahermosa	2006	5	-	-	582.0
		2007	3	-	2	400.0
		2008	7	-	7	659.0
		2009	6	1	7	597.0
		Total	21	1	16	2,238.0
00071	Kantunil - Cancún (Cuota)	2006	2	-	-	235.0
		2008	6	-	3	2,010.5
		2009	6	-	14	2,420.0
		Total	14	-	17	4,665.5
30146	Poza Rica - Veracruz	2006	3	2	3	375.0
		2007	4	1	2	530.0
		2009	5	-	1	905.0
		Total	12	3	6	1,810.0
30730	Minatitlán - Nuevo Teapa	2006	2	-	6	466.0
		2007	4	-	3	308.0
		2008	3	1	1	260.5
		2009	1	-	-	49.0
		Total	10	1	10	1,083.5
00064	Villahermosa - Ciudad del Carmen	2007	3	1	2	1,170.0
		2008	5	1	9	785.0
		2009	1	-	0	70.0
		Total	9	2	11	2,025.0
00147	Coatzacoalcos - Salina Cruz	2006	2	-	1	200.0
		2007	3	5	-	692.0
		2008	2	6	-	1,040.0
		2009	2	-	0	200.0
		Total	9	11	1	2,132.0
00529	Tuxpan - Tampico	2006	2	1	-	50.0
		2007	3	-	-	115.0
		2008	3	-	2	920.3
		2009	1	-	-	25.0
		Total	9	1	2	1,110.3

**Tabla 2.4 Carreteras de la Ruta MEX-180 Matamoros - Puerto Juárez
(continuación)**

Clave de carretera	Nombre de la carretera	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
30527	Paso del Toro - Acayucan	2006	2	2	2	105.0
		2007	4	-	3	192.0
		2008	2	-	-	100.0
		2009	1	-	-	25.0
		Total	9	2	5	422.0
04065	Ciudad del Carmen - Campeche	2006	3	-	-	150.0
		2007	1	-	-	50.0
		2008	3	-	1	155.0
		2009	1	-	-	50.0
		Total	8	-	1	405.0
00067	Mérida - Puerto Juárez	2008	2	1	1	570.0
		2009	2	-	-	600.0
		Total	4	1	1	1,170.0
50560	Acayucan - Cosoleacaque (Cuota)	2007	3	1	1	130.0
		2008	1	-	1	60.0
		Total	4	1	2	190.0
00066	Campeche - Mérida	2008	1	-	-	100.0
		2009	1	-	2	80.0
		Total	2	-	2	180.0
50200	Libramiento Aeropuerto Cancún	2009	1	-	1	150.0
		Total	1	-	1	150.0
30009	Tihuatlan - El Palmar (Cuota)	2006	1	-	-	30.0
		Total	1	-	-	30.0
30531	Gutiérrez Zamora - La Guadalupe	2006	1	-	2	20.0
		Total	1	-	2	20.0
04573	Libramiento de Campeche	2006	1	-	-	3.0
		Total	1	-	-	3.0
Total			115	23	77	17,634

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Tabla 2.5 Carreteras de la Ruta MEX-057 México - Piedras Negras

Clave de carretera	Nombre de la carretera	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
00165	Querétaro - San Luis Potosí	2006	8	-	20	1,663.0
		2007	3	-	3	285.0
		2008	8	4	5	706.0
		2009	7	-	1	969.0
		Total	26	4	29	3,623.0
24508	San Luis Potosí - Matehuala	2006	3	-	-	180.0
		2007	3	-	-	1,225.0
		2008	6	1	5	1,724.0
		2009	10	1	6	2,090.0
		Total	22	2	11	5,219.0
00411	México - Querétaro (Cuota)	2006	4	2	7	376.0
		2007	6	1	9	428.0
		2008	5	1	7	529.0
		2009	4	1	1	323.0
		Total	19	5	24	1,656.0
00405	Matehuala - Saltillo	2006	5	-	3	1,105.0
		2007	2	-	2	10,210.0
		2008	2	1	1	400.0
		2009	2	-	-	550.0
		Total	11	1	6	12,265.0
05407	Monclova - Piedras Negras	2007	1	-	2	30.0
		2008	3	-	1	184.0
		2009	3	1	2	210.0
		Total	7	1	5	424.0
50390	Libramiento Noreste de Querétaro	2007	1	-	-	40.0
		2008	2	-	2	132.0
		2009	2	-	3	385.0
		Total	5	-	5	557.0
24009	Libramiento de San Luis Potosí	2007	2	1	-	250.0
		2008	1	-	-	-
		Total	3	1	0	250.0
00115	Libramiento Oriente de Saltillo	2006	1	-	-	400.0
		2007	1	-	-	280.0
		Total	2	-	-	680.0
05406	Saltillo – Monclova	2006	1	-	-	150.0
		2007	1	-	1	300.0
		Total	2	-	1	450.0
53730	Arco Norte de la Ciudad de México	2008	1	-	-	20.0
		2009	1	-	-	5.0
		Total	2	-	-	25.0
56070	Nueva Rosita - Allende	2006	1	-	1	200.0
		Total	1	-	1	200.0
53690	Ramal Huachichil - Los Llanos	2008	1	-	1	60.0
		Total	1	-	1	60.0
05518	La Tembladora - El Encino	2009	1	-	1	10.1
		Total	1	-	1	10.1
Total			102	14	84	25,419.0

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Tabla 2.6 Carreteras con 20 o más accidentes con materiales peligrosos

Clave de carretera	Nombre de la carretera	Año	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños materiales (miles de pesos)
00485 (MEX-150D)	Puebla - Córdoba (Cuota)	2006	12	1	3	2,157.0
		2007	12	-	7	799.0
		2008	14	1	2	2,970.0
		2009	11	7	5	7,111.0
		Total	49	9	17	13,037.0
00608 (MEX-130)	Pachuca - Tuxpan	2006	2	-	-	20.5
		2007	8	2	6	409.0
		2008	11	0	1	1,928.0
		2009	14	1	6	2,820.0
		Total	35	3	13	5,177.5
30144 (MEX-145D)	La Tinaja - Acayucan (Cuota)	2006	6	-	2	533.0
		2007	7	-	3	484.0
		2008	11	-	4	1,455.0
		2009	5	-	-	460.0
		Total	29	-	9	2,932.0
20057 (MEX-190)	Oaxaca - Tehuantepec	2006	6	-	1	1,730.0
		2008	6	1	5	2,156.1
		2009	11	3	4	2,035.0
		Total	23	4	10	5,921.1
12072 (MEX-200)	Acapulco - Zihuatanejo	2007	1	0	0	150.0
		2008	10	1	1	3,250.0
		2009	11	0	2	2,015.0
		Total	22	1	3	5,415.0
00149 (MEX-054)	Entronque Morelos - Saltillo	2006	2	-	-	370.0
		2007	5	-	5	540.0
		2008	5	-	6	670.0
		2009	8	1	15	2,120.0
		Total	20	1	26	3,700.0

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.1.5 Accidentes por tramo carretero

Los 1,199 accidentes con vehículos que transportaban materiales peligrosos se concentran en 587 tramos carreteros, como se muestra en la tabla 2.7, el 59.1% sólo registraron un percance; mientras que, 44 tramos (7.5%) concentraron cinco o mas colisiones, estos últimos se encuentran enlistados en la tabla 2.8 en la cual se muestra por ruta, clave de carretera, nombre del tramo, cadenamiento, número total de accidentes, la relación entre el número de accidentes y la longitud del tramo (accidentes por kilómetro), jerarquización sobre este último indicador y finalmente entidad federativa. Se destaca, que en Puebla se encuentran los dos tramos que reportaron el mayor número de percances ubicados en la carretera Pachuca - Tuxpan (00608) y la autopista Puebla - Córdoba (00485). Si consideramos la relación de accidentes por kilómetro sobresale el estado de Guanajuato, el tramo entronque derecho Libramiento de Irapuato - Entronque carretera (Irapuato - Guadalajara), de la autopista Querétaro - Irapuato (00423) con un valor de 0.674 para este indicador. La red carretera de Veracruz concentra 10 de los 44 tramos mostrados, reiterándose la crítica situación de siniestralidad en dicha entidad.

Tabla 2.7 Distribución de frecuencias de accidentes por tramo

Nº de accidentes	Nº de tramos	%
1	347	59.11
2	112	19.08
3	45	7.67
4	39	6.64
5	14	2.39
6	12	2.04
7	7	1.19
8	3	0.51
>8	8	1.36
Total	587	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Tabla 2.8 Tramos carreteros que reportaron cinco o más accidentes en el periodo de 2006 a 2009

Ruta	Clave de carretera	Nombre del tramo	Cadenamiento	Accidentes	Accidentes por km	Jerarquización	Entidad
MEX-002D	02011	El Centinela - Km. 52	18 - 52	7	0.206	17	B.C.
MEX-180	04065	T. Der. Sabancuy - Champotón	78 - 142	5	0.078	38	CAMP.
MEX-054	00149	Lim. Edos. Zac./Coah. - T. Izq. Derramadero	266.4 - 330.8	5	0.078	39	COAH.
MEX-040	05086	T. Der. San Hipólito - Entronque La Cuchilla	56.5 - 205.7	10	0.067	41	
MEX-110	06119	Colima - T. Izq. Ixtlahuacán	0 - 25	5	0.200	19	COL.
MEX-002	08041	Ascensión - Janos	171.2 - 205.5	7	0.204	18	CHIH
MEX-002	00220	T. C. (Ciudad Juárez - Janos) - Lim. Edos. Chih./Son.	0 - 82.4	6	0.073	40	
MEX-045D	00423	T. Der. Libramiento de Irapuato - T. C. (Irapuato - Guadalajara)	96.3 - 105.2	6	0.674	1	GTO.
MEX-090	00114	Irapuato - Abasolo	0 - 32	8	0.250	9	
MEX-057	00165	X. C. (San Miguel de Allende - Doctor Mora) - Lim. Edos. Gto./S.L.P.	62 - 124.5	5	0.080	37	
MEX-200	12072	Papanao - Petatlán	163.8 - 208.1	11	0.248	10	GRO.
MEX-150D	00450	Caseta San Marcos - T. Izq. Río Frío	32.5 - 63	7	0.230	14	EDOMEX.
MEX-110	16181	T. C. (Irapuato - Guadalajara) - Yurécuaro	0 - 19.8	7	0.354	6	MICH.
MEX-037D	00032	Caseta de cobro Santa Casilda - Lim. Edos. Mich./Gro.	131.45 - 251	6	0.050	43	
MEX-200	00068	T. Izq. Chapalilla - Las Varas	39.3 - 71.3	5	0.156	26	NAY.
MEX-040	19085	T. C. (Saltillo - Monterrey) - X. C. (Monterrey - Castaños)	0 - 31	5	0.161	25	N.L.
MEX-085D	19086	T. C. (Monterrey - Nuevo Laredo (Libre)) - T. Der. Agualeguas	24.5 - 80.7	5	0.089	36	
MEX-057	00405	Lim. Edos. S.L.P./N.L. - T. Der. Linares	24.6 - 129	6	0.057	42	
MEX-190	20057	T. Izq. Nejapa de Madero - T. Der. Tequisistlán	127 - 206.7	13	0.163	24	OAX
MEX-130	00608	T. Der. Huauchinango (2 Acceso) - Villa Ávila Camacho	100 - 141.75	22	0.527	3	PUE.
MEX-150D	00485	Puebla - Lim. Edos. Pue./Ver.	122.9 - 232	20	0.183	21	
MEX-057D	50390	Libramiento Noreste de Querétaro	0 - 37.5	5	0.133	30	QRO.
MEX-057	24508	T. Der. Guadalcázar - T. Der. Ciudad del Maíz	76.8 - 109.6	6	0.183	22	S.L.P.
MEX-057	00165	Santa María del Río - San Luis Potosí	157.4 - 204.3	8	0.171	23	
MEX-057	00165	Lim. Edos. Gto./S.L.P. - Santa María del Río	124.5 - 157.4	5	0.152	28	
MEX-057	24508	T. Der. Ciudad del Maíz - La Bonita	109.6 - 172.6	7	0.111	33	
MEX-080	00136	T. C. (San Luis Potosí - Matehuala) - T. Der. Tula	0 - 57.6	6	0.104	35	
MEX-070	24135	X. C. (Cárdenas - Rayón) - T. Izq. Zaragoza	93 - 239.2	7	0.048	44	

Tabla 2.8 (continuación)
Tramos carreteros que reportaron cinco o más accidentes en el periodo de 2006 a 2009

Ruta	Clave de carretera	Nombre del tramo	Cadenamiento	Accidentes	Accidentes por km	Jerarquización	Entidad
MEX-002	26079	T. Izq. Cananea – Imuris	81.9 - 164.7	11	0.133	31	SON.
MEX-180	00528	T. Der. Samaria – Villahermosa	132.8 - 171.4	6	0.155	27	TAB.
MEX-080	28163	Altamira - Estación Manuel	24 - 81	6	0.105	34	TAMPS.
MEX-136	00052	T. Izq. Xalostoc - X. C. (Amozoc - Oriental)	127.7 - 175.4	7	0.147	29	TLAX.
MEX-150D	00485	Lim. Edos. Pue./Ver. - T. Der. Ciudad Mendoza	232 - 263	18	0.581	2	VER.
MEX-150D	00485	T. Der. Ciudad Mendoza - T. Izq. Orizaba	263 - 275.9	6	0.465	4	
MEX-180D	30730	Nuevo Teapa - Caseta de cobro	0 - 11	5	0.455	5	
MEX-150	30525	Córdoba – Yanga	0 - 16.2	5	0.309	7	
MEX-145	00301	Lim. Edos. Oax./Ver. - T. Izq. Tesechoacán	35.6 - 54.2	5	0.269	8	
MEX-145D	30144	Entronque Ciudad Isla – Acayucan	118 - 188	17	0.243	11	
MEX-145D	30144	Caseta de cobro Cosamaloapan - Entronque Ciudad Isla	83.36 - 118	8	0.231	13	
MEX-180	00528	T. Izq. Agua Dulce - Lim. Edos. Ver./Tab.	15 - 41.47	6	0.227	15	
MEX-180D	30730	Caseta de cobro – Cosoleacaque	nov-34	5	0.217	16	
MEX-150D	00485	T. Izq. Orizaba – Córdoba	275.9 - 301	5	0.199	20	
MEX-180D	00071	Kantunil - Caseta de cobro Piste	65.5 - 116.5	6	0.118	32	YUC.
MEX-054	00149	T. Izq. Concepción del Oro - Lim. Edos. Zac./Coah.	240.6 - 266.4	6	0.233	12	ZAC.

Notas: T. Der.: Entronque derecho, T. Izq.: Entronque izquierdo, T.C.: Entronque carretera, X.C.: Cruce carretero

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.1.6 Accidentes por segmento de 500 metros

Se realizó el mismo ejercicio por tramos pero para un nivel de agregación de segmentos de 500 metros; sin embargo, en este caso se puede concluir que la siniestralidad de vehículos con materiales y residuos peligrosos se encuentra distribuida en toda la red, ya que tan solo 11 segmentos reportaron una acumulación de tres o más accidentes en el periodo de análisis (véanse tablas 2.9 y 2.10). Sin embargo, se recomienda realizar un análisis de punto negro para identificar posibles elementos de la infraestructura o de la operación que representen un riesgo para este tipo de transporte.

Tabla 2.9 Distribución de frecuencias de accidentes por segmento

Nº de accidentes	Nº de segmentos	%
1	1,07	94.86
2	47	4.17
3	9	0.80
4	2	0.18
Total	1,128	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Tabla 2.10 Segmentos de 500 metros que reportaron más de tres accidentes en el periodo de 2007a 2009

Entidad	Ruta	Clave de carretera	Nombre del tramo	Cadenamiento	Accidentes
B.C.	MEX-002D	02011	El Centinela - Km. 52	50.15 - 50.3	4
COAH.	MEX-054	00149	Lim. Edos. Zac./Coah. - T. Izq. Derramadero	306.1 - 306.25	3
CHIH.	MEX-002	08041	Ascensión – Janos	186	3
D.F.	MEX-095D	00041	Caseta de cobro - Paradero Topilejo	24.9 - 24.95	3
GRO.	MEX-200	12072	Papanao – Petatlán	184.9 - 185.05	3
	MEX-200	12072	T. Der. Potrerillo - Zihuatanejo	222.7	3
OAX.	MEX-190	20057	T. Izq. Jalapa del Márquez - Tehuantepec	230.7 - 231	3
PUE.	MEX-130	00608	T. Der. Huauchinango (2 Acceso) - Villa Ávila Camacho	139.05 - 139.1	4
S.L.P.	MEX-070	24135	X. C. (Cárdenas - Rayón) - T. Izq. Zaragoza	99.05 - 99.1	3
VER	MEX-172	30007	Minatitlán - Coatzacoalcos	0 - 0.1	3
	MEX-180D	30730	Nuevo Teapa - Caseta de cobro	0 - 0.5	3

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.1.7 Accidentes en carreteras fronterizas

Se revisaron los accidentes que se presentaron en carreteras cuyo destino sea alguna de las fronteras del país, identificándose un número importante de siniestros dentro del periodo de análisis.

En la frontera sur se identificó la carretera Tapanatepec – Talisman con 13 siniestros en el periodo 2006-2009, mientras que en la frontera norte la carretera Imuris – Agua prieta se registraron 11 accidentes, seguidos por los ocurridos en la carretera Mexicali - Tijuana (cuota) con 10 accidentes en el mismo periodo.

La tabla 2.11 muestra el resumen de accidentes registrados en el periodo 2006-2009 con transporte de sustancias peligrosas en carreteras que comunican a la frontera sur y norte del país.

Tabla 2.11 Accidentes registrados en carreteras fronterizas

Estado	Ruta	Clave de carretera	Nombre de la carretera	Accidentes 2006-2009
Baja California	MEX-005	02082	Mexicali - Tijuana	3
	MEX-002	00608	Sonoita - Mexicali	1
	MEX-001	02099	Tijuana - Ensenada	1
	MEX-002D	02011	Mexicali - Tijuana (cuota)	10
	MEX.001D	02100	Tijuana - San Miguel	1
Sonora	MEX-002	26079	Imuris - Agua Prieta	11
		00220	Janos - Agua Prieta	9
		26080	Santa Ana - Sonoita	5
	MEX-017	26027	Moctezuma - Agua Prieta	1
	MEX-008	26232	Sonoita - Puerto Peñasco	2
	MEX-015	26445	Hermosillo - Nogales	9
Chihuahua	MEX-002	08041	Cd. Juárez - Janos	8
	MEX-045	08420	El Sueco - Cd. Juárez	4
Nuevo León	MEX-054	00127	Monterrey - Mier	2
	MEX-085	00463	Monterrey - Nuevo Laredo	7
	MEX-040	00088	Monterrey - Reynosa	1
Tamaulipas	MEX-101	28139	Cd. Victoria - Matamoros	1
	MEX-097	28029	Las Urracas - T.C. (Matamoros - Reynosa)	2
	MEX-002	28'76	Reynosa - Nuevo Laredo	5
Coahuila	MEX-057	05407	Monclova - Piedras Negras	7
Chiapas	MEX-200	00075	Tapanatepec - Talisman	13
	MEX-190	05407	Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc	2

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.1.8 Accidentes en carreteras que conectan a los puertos marítimos

En el análisis realizado a los accidentes en el transporte de materiales y residuos peligrosos que se presentan en las carreteras que conectan a los principales puertos del país, identificamos que la mayor siniestralidad se presenta en los puertos de Tuxpan, Coatzacoalcos, Veracruz y Salina Cruz, en el periodo de 2006-2009.

La tabla 2.12 muestra la totalidad de las carreteras analizadas que acceden a las ciudades con puertos marítimos.

Tabla 2.12 Accidentes registrados en carreteras que acceden a puertos marítimos

Puerto	Estado	Clave de carretera	Nombre de la carretera	Accidentes 2006-2009
Tuxpan	Veracruz	00529	Tuxpan - Tampico	9
		00608	Pachuca - Tuxpan	35
Total				44
Coatzacoalcos	Veracruz	00528	Coatzacoalcos - Villahermosa	21
		00147	Coatzacoalcos - Salina Cruz	9
		30730	Minatitlán - Nuevo Teapa	10
		30007	Coatzacoalcos - Minatitlán (vía cánticas)	3
Total				43
Veracruz	Veracruz	30146	Poza rica - Veracruz	12
		30526	Jalapa - Veracruz	6
		30066	Córdoba - Veracruz (cuota)	6
		30525	Córdoba - Entronque Boticaria	9
		30527	Paso del Toro - Acayucan	9
Total				42
Salina Cruz	Oaxaca	20057	Oaxaca - Tehuantepec	23
		20074	Santiago Pinotepa Nacional - Salina Cruz	4
		20059	La Ventosa - San Pedro Tapanatepec	4
Total				31
Lázaro Cárdenas	Michoacán	00032	Entronque Uruapan - Lázaro Cárdenas (cuota)	11
		00121	Zihuatanejo - La Mira	4
		16126	Carapan - Playa Azul	5
Total				20
Puerto Chiapas	Chiapas	00075	Tapanatepec - Talismán	13
Total				13

Puerto	Estado	Clave de carretera	Nombre de la carretera	Accidentes 2006-2009
Topolobampo	Sinaloa	00452	Los Mochis - Ciudad Obregón	7
		25502	Culiacán - Los Mochis	5
Total				12
Altamira/Tampico	Tamaulipas	50970	Ramal Altamira - Puerto Industrial	3
		28163	T. C. (Valle Hermoso - Empalme) - Matamoros	7
Total				10
Guaymas	Sonora	26444	Ciudad Obregón - Hermosillo	9
Total				9
Puerto Vallarta	Jalisco	14069	Melaque - Puerto Vallarta	2
		00068	Tepic - Puerto Vallarta	7
Total				9
Ensenada	Baja California	02098	Ensenada - San Quintín	3
		02009	Ensenada - El Chinero	2
		02099	Tijuana - Ensenada (libre)	1
		02097	Tecate - El Sauzal	1
		02100	Tijuana - San Miguel (cuota)	1
Total				8
Mazatlán	Sinaloa	25045	Mazatlán - Culiacán (cuota)	2
		00500	Tepic – Mazatlán	1
		25009	Escuinapa - Villa Unión (cuota)	1
		00083	Durango - Villa Unión	4
Total				8
Manzanillo	Colima	06585	Armería - Manzanillo (cuota)	3
		00495	Entronque Playa Azul - Manzanillo	1
Total				4
Progreso	Yucatán	31091	Mérida - Progreso	1
Total				1
Dos Bocas	Tabasco	00137	Malpaso - El Bellote	1
Total				1

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.2 Análisis de causas

Dentro de la información contenida en el SAADA fue posible identificar las causas asociadas a los accidentes; sin embargo, por las características de éste estudio se decidió descartar las colisiones en las que el vehículo con materiales y residuos peligrosos participa como involucrado, es decir, accidentes ocasionados por otros vehículos; identificando que 54.3% de los percances son unitarios (sólo involucra a un vehículo); mientras que, el 45.7% son múltiples y en los cuales el 19.5% el responsable es el vehículo con materiales peligrosos. De esta forma el análisis queda integrado para una muestra de 885 accidentes (véase tabla 2.13); aunque en las bases de datos sólo se tiene información de causas para 837 percances.

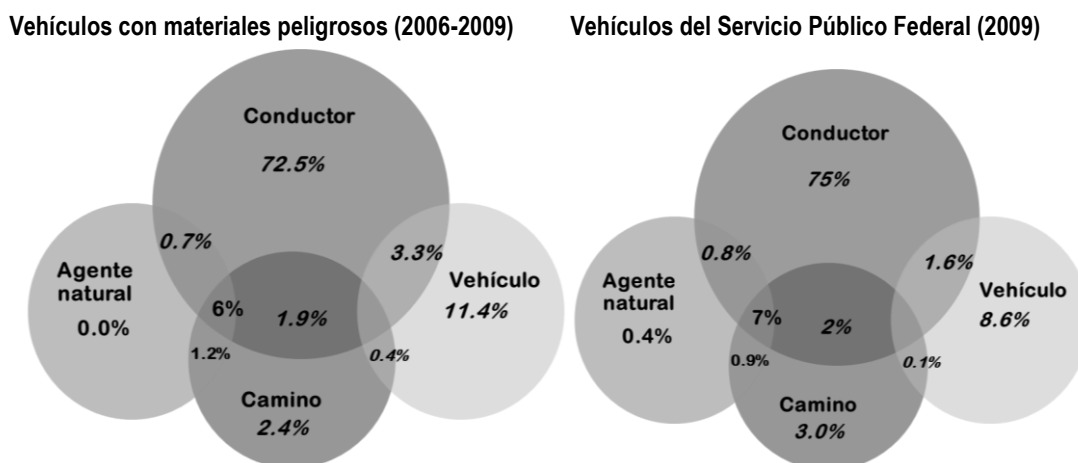
Tabla 2.13 Participación de vehículos con transporte de materiales peligrosos

Tipo de accidentes		2006		2007		2008		2009		Totales	
		Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Unitario		120	50.21	132	52.17	199	61.80	200	51.95	651	54.30
Múltiple	Causante	58	24.27	42	16.60	53	16.46	81	21.04	234	19.51
	Involucrado	61	25.52	79	31.23	70	21.74	104	27.01	314	26.19
Total		239	100	253	100	322	100	385	100	1199	100

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

La figura 2.2 izquierda, muestra la combinación de las causas para los 837 accidentes con materiales peligrosos, en esta figura destaca la participación del conductor como único causante en el 72.5% de los percances, seguido por el vehículo con el 11.4% y la combinación de factores asociados con el conductor, el camino y los agentes naturales en el 6%.

La figura 2.2 derecha, muestra la combinación de causas de accidentes de vehículos del Servicio Público Federal (SPF) en 2009 considerando solamente, accidentes unitarios y múltiples ocasionados por dichos vehículos. Se observa, que el nivel de profesionalización que se requiere para obtener una licencia para el transporte de materiales y residuos peligrosos se refleja en un menor número de accidentes cuya única causa es el conductor; pero por otra parte, el vehículo que debiese estar sometido a revisiones de seguridad más exhaustivas es el único responsable de un 2.8% más que los accidentes del SPF.

**Figura 2.2 Causas que ocasionaron accidentes**

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

La tabla 2.14 muestra los factores atribuibles al conductor en cada uno de los cuatro años y su porcentaje. El factor de velocidad excesiva representa casi un 60% del total, seguido por la imprudencia o intención con el 15% y la invasión de carril con el 7%.

Tabla 2.14 Factores atribuibles al conductor

Factores	2006		2007		2008		2009		Totales	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Total al Conductor	130		128		188		218		664	
Velocidad excesiva	72	55.37	81	63.28	102	54.26	142	65.14	397	59.79
Imprudencia o intención	17	13.08	18	14.06	34	18.09	32	14.68	101	15.21
Invadió carril contrario	11	8.46	7	5.47	16	8.51	14	6.42	48	7.23
Dormitando	4	3.08	6	4.69	13	6.91	14	6.42	37	5.57
Viró indebidamente	12	9.23	1	0.78	6	3.19	4	1.83	23	3.46
No guardó distancia	5	3.85	7	5.47	7	3.72	3	1.38	22	3.31
No cedió el paso	3	2.31	3	2.34	4	2.13	4	1.83	14	2.11
Rebasó indebidamente	1	0.77	2	1.56	3	1.60	1	0.46	7	1.05
No respetó señal de alto	1	0.77	1	0.78	2	1.06	0	0	4	0.60
Mal estacionado	1	0.77	1	0.78	0	0	2	0.92	4	0.60
Deslumbramiento	0	0	1	0.78	0	0	2	0.92	3	0.45
Estado de ebriedad	1	0.77	0	0	1	0.53	0	0	2	0.30
No respetó semáforo	2	1.54	0	0	0	0	0	0	2	0.30

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

La tabla 2.15 muestra los factores que son atribuibles al vehículo en cada uno de los cuatro años, en donde resaltan con mas del 20% fallas en las llantas y los ejes, seguidos por los frenos con el 17.7%, del total de causas atribuibles al vehículo.

Tabla 2.15 Factores atribuibles al vehículo

Factores	2006		2007		2008		2009		Totales	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Total al Vehículo	23		17		33		23		96	
Llantas	4	17.39	5	29.41	7	21.21	7	30.43	23	23.96
Ejes	3	13.04	6	35.29	9	27.27	3	13.04	21	21.88
Frenos	5	21.74	3	17.65	6	18.18	3	13.04	17	17.71
Dirección	6	26.09	2	11.76	2	6.06	3	13.04	13	13.54
Suspensión	3	13.04	0	0	4	12.12	4	17.39	11	11.46
Transmisión	2	8.70	0	0	0	0	1	4.35	3	3.13
Motor	0	0	1	5.88	2	6.06	1	4.35	4	4.17
Exceso de dimensiones	0	0	0	0	2	6.06	0	0	2	2.08
Sobrecarga	0	0	0	0	0	0	1	4.35	1	1.04
Luces	0	0	0	0	1	3.03	0	0	1	1.04

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.3 Tipos de accidentes

Los tipos de accidentes se agruparon en siete categorías: choque (por alcance, lateral, frontal y contra objeto fijo), salida del camino, volcadura, desprendimiento de remolque, incendio, atropellamiento y otros; siendo los primeros tres los de mayor frecuencia, concentrando el 92% del total de colisiones.

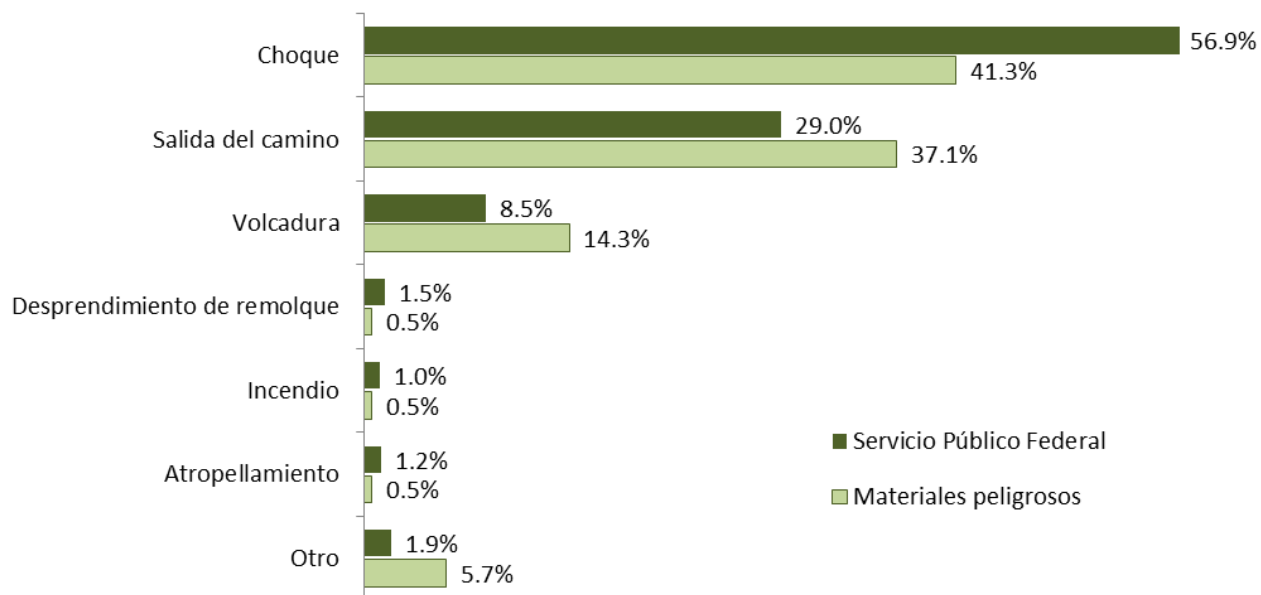
La tabla 2.16 contiene información referente al tipo de accidente.

Se tomaron los datos de 2009 y se compararon con los tipos de accidentes registrados para el SPF, construyéndose la gráfica de la figura 2.3; se observa que, predominan los mismos tipos de colisión; sin embargo, existen diferencias importantes en la participación de cada uno de éstos. En el entendido de que por lo menos el 30% de los materiales y residuos peligrosos fueron transportados en estado líquido, lo que ocasiona la dificultad para el conductor el control de su unidad, esto explica la frecuencia de las volcaduras y posibles salidas del camino.

Tabla 2.16 Tipos de accidente con transporte de materiales peligrosos

Tipos de accidente	2006		2007		2008		2009		Total	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Choque	121	50.63	119	47.04	136	42.24	159	41.30	535	44.62
Salida del camino	73	30.54	76	30.04	121	37.58	143	37.14	413	34.45
Volcadura	24	10.04	39	15.42	37	11.49	55	14.29	155	12.93
Desprendimiento de remolque	0	0.00	12	4.74	0	0.00	2	0.52	14	1.17
Incendio	1	0.42	4	1.58	4	1.24	2	0.52	11	0.92
Atropellamiento	2	0.84	1	0.40	1	0.31	2	0.52	6	0.50
Otro	18	7.53	2	0.79	23	7.14	22	5.71	65	5.42
Total	239	100.00	253	100	322	100.00	385	100.00	1,199	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

**Figura 2.3 Comparación de tipos de accidente**

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.4 Tipos de vehículos

El identificar el tipo de vehículos involucrados en los accidentes es importante, pues de acuerdo a su capacidad transportada, se puede estimar el impacto de la emergencia ambiental.

A continuación en la tabla 2.17 se muestra la composición de vehículos con transporte de materiales y residuos peligrosos involucrados en accidentes durante los cuatro años, se observa una distribución prácticamente uniforme predominando los vehículos articulados seguidos por los doble articulados y el camión unitario.

Tabla 2.17 Tipo de vehículos de accidentes con transporte de materiales peligrosos

Tipos de vehículo	2006		2007		2008		2009		Total	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Articulado	74	30.96	105	41.50	112	34.78	138	35.84	429	35.78
Doble articulado	60	25.10	68	26.88	114	35.40	122	31.69	364	30.36
Camión unitario	83	34.73	65	25.69	80	24.84	106	27.53	334	27.86
Pick-up	22	9.21	15	5.93	16	4.97	19	4.94	72	6.00
Total	239	100	253	100	322	100	385	100	1,199	100

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Considerando solamente los percances ocurridos durante 2009 y descartando las Pick-up, se realizó una comparación con los accidentes que involucraron a vehículos del SPF y los que transportan materiales y residuos peligrosos; los resultados se muestran en la figura 2.4.

De dicha gráfica, se identifica la alta participación de los vehículos doble articulados con materiales peligrosos, faltaría indagar sobre la flota vehicular autorizada para el transporte de estas sustancias y observar si esta participación es proporcional al número de unidades autorizadas. Lo anterior puede requerir un análisis detallado por parte de las autoridades competentes, para la toma de decisiones correspondientes en la materia.

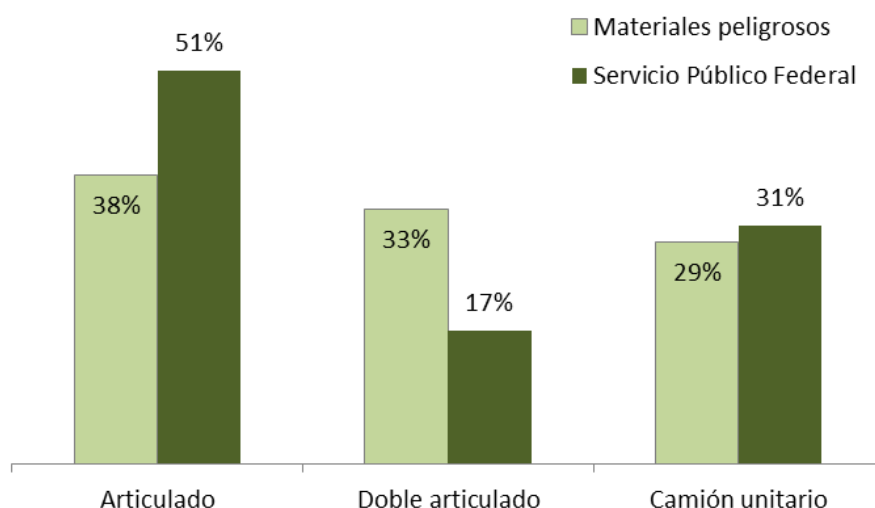


Figura 2.4 Comparación de los vehículos involucrados en accidentes

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

También se analizó la edad de la flota vehicular siniestrada. En la figura 2.5 se muestra que el 67% de los vehículos doble articulados tenían una antigüedad máxima de cinco años y alrededor del 30% de los camiones unitarios tenían una antigüedad superior a 10 años. Comparando con los resultados del SPF se observa que, en general los vehículos para el transporte de materiales peligrosos son menos antiguos o de modelo más reciente.

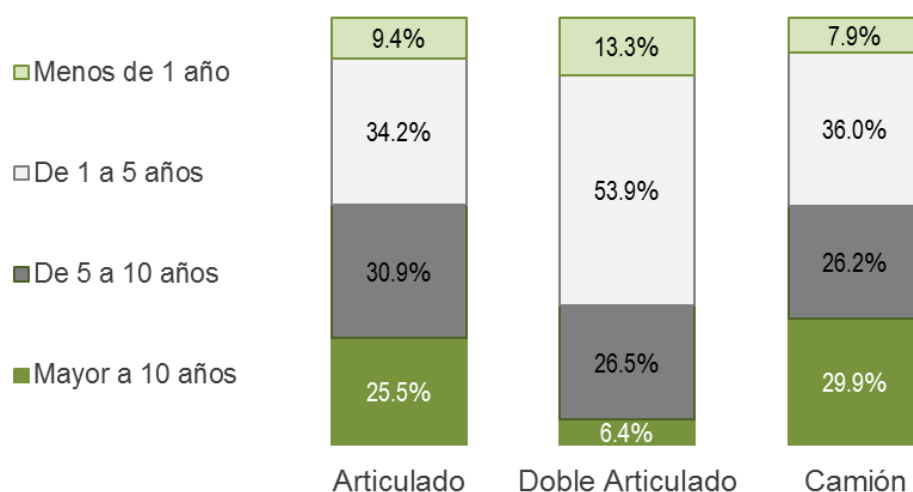


Figura 2.5 Edad de la flota vehicular siniestrada

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

2.5 Tipos de materiales

De acuerdo a la clasificación de materiales y residuos peligrosos se realizó un análisis para clasificar los 1,199 accidentes capturados en el SAADA. De acuerdo a dicho análisis resultó que el 53.96% corresponde a líquidos inflamables, seguido por los gases con el 17.43%, la tabla 2.18 y la figura 2.6 muestran el número y porcentaje de percances para cada clase.

Tabla 2.18 Accidentes con vehículos de transporte de materiales peligrosos por tipo de sustancia

Clasificación	2006		2007		2008		2009		Total	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
1 Explosivo	1	0.42	1	0.40	1	0.31	3	0.78	6	0.50
2 Gases	57	23.85	37	14.62	44	13.66	71	18.44	209	17.43
3 Líquido Inflamables	121	51.62	132	52.17	194	60.25	201	52.21	648	54.05
4 Sólidos Inflamable	2	0.84	3	1.19	7	2.17	20	5.19	32	2.67
5 Oxidantes y peróxidos	2	0.84	3	1.19	3	0.93	0	0	8	0.67
6 Tóxicos Agudos	36	15.06	47	18.58	26	8.09	47	12.21	156	13.01
7 Radioactivos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Corrosivos	19	7.95	12	4.74	22	6.83	19	4.94	72	6.01
9 Varios	1	0.42	18	7.11	25	7.76	24	6.23	68	5.67
Total	239	100	253	100	322	100	385	100	1,199	100

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

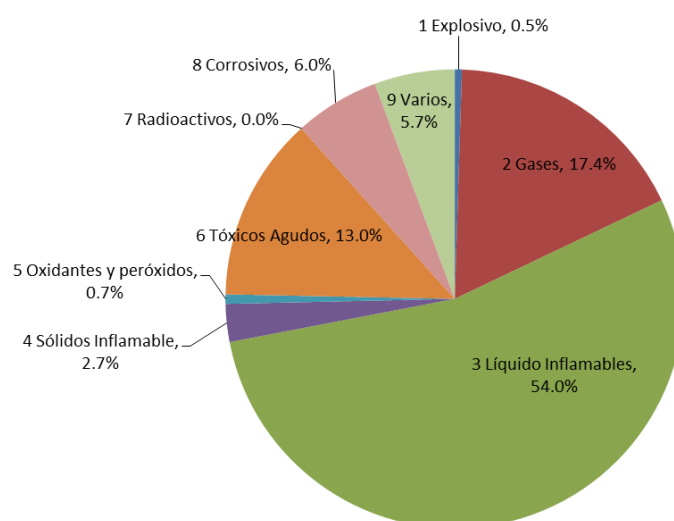


Figura 2.6 Porcentaje de accidentes con transporte de materiales peligrosos por tipo de sustancia

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Las sustancias clase 3 “Líquidos inflamables” y clase 2 “Gases” son las que están involucradas en un mayor número de siniestros, se realizó un desglose de cada categoría que se muestra en las tablas 2.19 y 2.20.

En la clase 3 se registraron 432 colisiones con vehículos que transportaban derivados del petróleo; mientras que en la clase 2 predominan 113 eventos con Gas LP.

Tabla 2.19 Materiales de la clasificación 3 “Líquidos Inflamables”

Material	2006		2007		2008		2009		Total	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Derivados del petróleo	69	57.02	83	62.88	151	77.84	129	64.18	432	66.77
Aceites	23	19.01	20	15.15	22	11.34	23	11.44	88	13.45
Esmaltes y Pinturas	11	9.09	15	11.36	10	5.15	7	3.48	43	6.65
Solventes	6	4.96	3	2.27	2	1.03	0	0	11	1.70
Alcoholes	8	6.61	3	2.27	5	2.58	12	5.97	28	4.32
Otros	4	3.31	8	6.06	4	2.06	30*	14.93	46	7.11
Total	121	100	132	100	194	100	201	100	648	100

* En el año 2009 se presentaron veinte accidentes con transporte de asfaltos

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Se observa que los materiales derivados de la refinación del petróleo presentan un alto porcentaje de accidentes, 67% del total de accidentes de los cuatro años, dentro de estos productos se engloban gasolina, diesel, turbosina y combustóleo (véase figura 2.7).

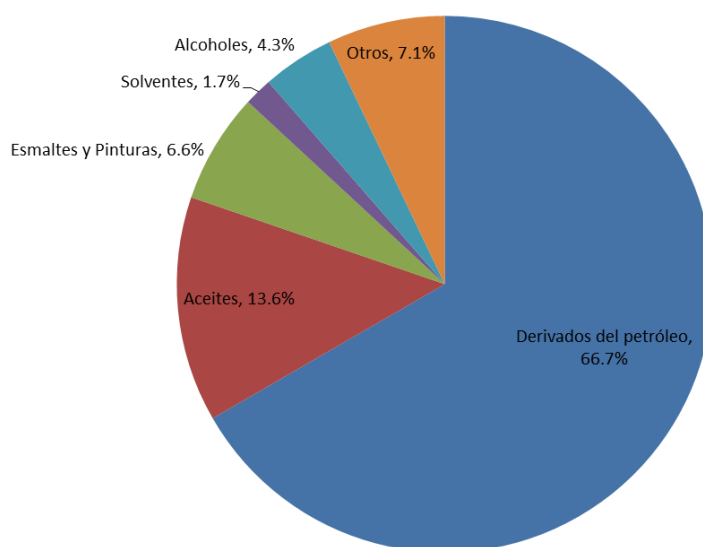


Figura 2.7 Materiales de la clasificación 3, Líquidos Inflamables

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

En la tabla 2.20 predomina

en los accidentes con transporte de Gas LP, ya sea transportado en auto tanques o en cilindros para consumo doméstico; por otra parte, es importante resaltar que se presentaron un total de 17 de accidentes con transporte de amoníaco el cual es un producto sumamente tóxico (véase también figura 2.8).

Tabla 2.20 Materiales de la clasificación 2 “Gases”

Material	2006		2007		2008		2009		Total	
	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%	Accidentes	%
Amoníaco	9	15.79	4	10.81	1	2.27	3	4.23	17	8.13
Gas LP	29	50.88	18	48.65	23	52.27	43	60.56	113	54.07
Cilindros de gas	13	22.81	6	16.22	6	13.64	14	19.72	39	18.66
Butano	2	3.51	3	8.11	2	4.55	2	2.82	9	4.31
Propano	0	0	0	0	0	0	1	1.41	1	0.48
Nitrógeno	2	3.51	1	2.7	4	9.09	3	4.23	10	4.78
Oxígeno	0	0	1	2.7	2	4.55	1	1.41	4	1.91
Otros	2	3.51	4	10.81	6	13.64	4	5.63	16	7.66
Total	57	100	37	100	44	100	71	100	209	100

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

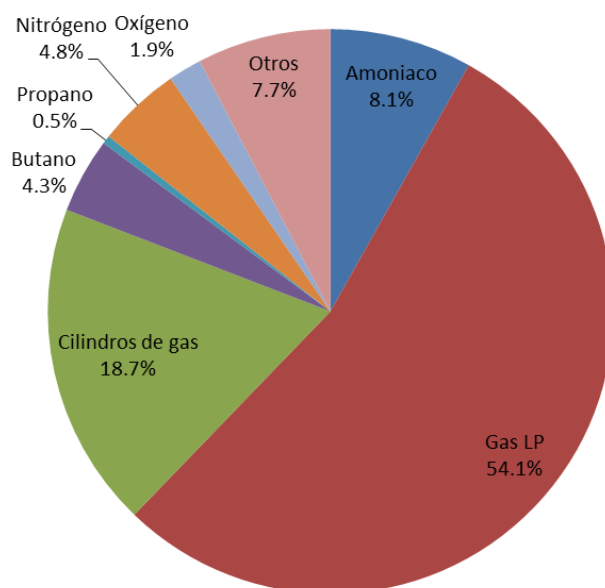


Figura 2.8 Materiales de la clasificación 2 “Gases”

Fuente: Elaboración propia con base en el banco de datos del SAADA

Los análisis de siniestralidad proporcionan información muy útil para la identificación de causas de accidentes en las carreteras, particularmente a las relacionadas con el transporte de materiales y residuos peligrosos, por eso es importante continuar manteniendo y operando las bases de datos encargadas de registrar la información de accidentes en México.

La información presentada en este capítulo es lo suficientemente detallada y precisa para la toma de decisiones e incluso realizar análisis mas profundos sobre alguna línea mas especifica para la atención de la problemática de la siniestralidad de los vehículos que transportan materiales y residuos peligrosos.

Se recomienda mejorar el registro en las partes de accidente que levanta la Policía Federal, con la finalidad de obtener mayor información en la determinación de las causas, el tipo de material, las cantidades transportadas, entre otras.

3 Determinación del escenario crítico de accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos

Para evaluar el impacto ambiental potencial de un accidente carretero con transporte de materiales y sustancias peligrosas, es necesario conocer el efecto que las diferentes clases de materiales y sustancias tendrían en el medio ambiente, esto incluye su radio de afectación.

Cuando se presenta un accidente con un vehículo cargado con materiales y residuos peligrosos es muy posible que el material sea liberado al suelo y atmósfera como consecuencia del rompimiento del tanque en el cual se transporta dicha sustancia, por tal motivo es necesario realizar una estimación del área potencialmente afectada por esta liberación para poder estimar los riesgos generados por el transporte de estos materiales, en un nivel preventivo para proteger la salud de las personas en el área de influencia.

Los escenarios posibles de un accidente pueden ser cuatro y la selección de ellos dependerá de las características particulares de cada sustancia, estos son:

- Liberación de sustancias tóxicas a la atmósfera
- Ondas de calor producidas por un incendio.
- Projectiles generados por explosión de los tanques.
- Ondas de sobrepresión ocasionadas por una explosión.

Para el desarrollo de las diferentes modelaciones de las situaciones de riesgo que pueden presentarse por un accidente carretero en el transporte de materiales y residuos peligrosos, es necesario utilizar herramientas que modelen la dispersión atmosférica de las sustancias.

El *software* ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) tiene integrado un modelo gaussiano para predecir la dispersión de la sustancia objeto de estudio, éste modelo gaussiano describe el transporte y la mezcla de las sustancias en el aire y es la aproximación computarizada más aceptada para calcular la concentración de contaminantes en un punto determinado.

Para que estas modelaciones arrojen como resultado los radios máximos de afectación probable, creando así un escenario crítico de las situaciones de riesgo, es necesario conocer cuál es la significancia de cada una de las variables requeridas por dicho modelador y posteriormente introducir los valores adecuados para cada una de las ellas con base en investigaciones realizadas, lo anterior para

obtener los escenarios críticos de riesgo que representa el transporte de materiales peligrosos en México por vías carreteras.

3.1 El modelo de dispersión ALOHA

El programa de modelación ALOHA en su versión 5.4, del año 2006, tiene incorporado la evaluación de accidentes tipo BLEVE, cuyo acrónimo del inglés es *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*, que significa explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido. Este Software esta integrado dentro del paquete informático de respuesta y gestión de emergencias estadounidense CAMEO (*Computer-Aided Management of Emergency Operations*).

ALOHA forma parte de un conjunto de programas creado conjuntamente por la *Environmental Protection Agency* (EPA, por sus siglas en inglés) en su sección de emergencias químicas (*Chemical Emergency Preparedness Office*), y por la agencia NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*), en su división de respuesta ante riesgos materiales (*Hazardous Materials Response División*).

El ALOHA es un programa diseñado especialmente para ser usado por equipos de respuesta en accidentes de tipo químico, así como para el entrenamiento y planificación de dichas emergencias. El programa puede evaluar escapes de elementos químicos por rotura de válvulas, tanques, o de evaporación de líquidos encharcados, su función principal es predecir cómo una nube de gas peligroso se dispersa en la atmósfera después de un escape accidental. [AUM 2007]

Para realizar las modelaciones necesarias y establecer los riesgos derivados de un accidente carretero con transporte de materiales y residuos peligrosos es necesario conocer algunos de los parámetros bajo los cuales opera el software, los cuales se enuncian a continuación.

- A) Características de sitio, tales como la localización y si existen construcciones a los alrededores del sitio afectado.
- B) Selección de la sustancia peligrosa transportada.
- C) Condiciones atmosféricas, entre las más importantes velocidad del viento, temperatura ambiente, nubosidad, y rugosidad del suelo.
- D) Fuente, que para el estudio se basa en auto tanques.
- E) Escenarios
- F) Selección del escenario

A continuación se describen cada una de las variables según su influencia en la determinación de los radios de afectación probable, así como se determinan los valores para realizar modelaciones, las cuales arrojan como resultado condiciones críticas de riesgo y vulnerabilidad de la infraestructura carretera.

3.2 Características del sitio

Para la realización de las modelaciones es posible hacerlo para cada sitio en particular, pero dado el universo de información que se requiere para desarrollar cada una de las modelación en el sitio donde ocurrió el accidente, se definió hacer casos tipo con la siguiente información.

3.2.1 Localización

La localización de las modelaciones “tipo” de las diferentes sustancias peligrosas involucradas en accidentes quedó definida en la ciudad de Querétaro, ya que su ubicación en el territorio nacional nos proporciona las características necesarias para realizar las modelaciones, además representa uno de los pasos más importante para el tránsito de materiales y residuos peligrosos por albergar una de las carreteras (00165 Querétaro – San Luis Potosí) con mayor número de accidentes de vehículos con transporte de estas sustancias. Las coordenadas utilizadas fueron las de 21° 40’ Latitud Norte y 100° 36’ Longitud Oeste.

3.2.2 Construcciones aledañas

Las construcciones que pudieran existir en las proximidades de las carreteras constituyen una barrera que puede afectar la dispersión de las sustancias, aunque es poco significativo, sin embargo, es necesario tener presente que estas construcciones pueden albergar personas, tales como parques, escuelas, casas habitación y hospitales. Para la selección del tipo de construcciones aledañas se tienen dos opciones dentro del modelador ALOHA las cuales son:

- A) Con construcciones aledañas tales como árboles, arbustos y edificios.
- B) Sin construcciones aledañas.

Se seleccionó la opción “B Sin construcciones aledañas” ya que la dispersión de las sustancias puede verse influenciada mínimamente por los obstáculos que representan árboles y edificios dando como resultado radios más pequeños que los que en realidad pueden presentarse, aunado a esto la mayoría de la red carretera no cuenta con barreras reales significativas para retener la dispersión de las sustancias causantes de situaciones de riesgo.

3.3 Materiales y sustancias peligrosas

Cada una de las diferentes sustancias consideradas como peligrosas que se transportan por la red carretera federal ya enunciadas en el capítulo 1, representan un riesgo mayor o menor según sus propiedades tóxicas e inflamables, por este motivo es necesario realizar una modelación única por cada sustancia con lo cual puede diferenciarse el riesgo en el transporte entre cada una de ellas.

El modelador ALOHA cuenta en su base de datos con una amplia gama de sustancias para ser modeladas, algunas de ellas fueron utilizadas como los casos del Butano, Metanol, Metil Acrilato, Cloro y Amoníaco por mencionar algunas, sin embargo, como resultado de los análisis a las bases de datos generadas mediante el SAADA se encontró que el mayor número de accidentes con sustancias peligrosas corresponden a vehículos con transporte de Gas LP y productos derivados de la refinación del petróleo tales como Gasolina, Turbosina, Combustóleo y Diesel (Ver tablas 2.17 y 2.18), por lo tanto la modelación se concentrará en esos materiales.

Estas sustancias son mezclas muy variadas de diferentes familias de hidrocarburos (Parafinas, Olefinas, Cicloparafinas, Compuestos Aromáticos) el modelador ALOHA no cuenta con la información necesaria para poder realizar las modelaciones correspondientes para cada uno de estos productos derivados del petróleo, sin embargo es posible interpretar un radio de afectación probable para estas sustancias mediante la modelación de sus componentes individuales los cuales en su mayoría son Benceno, Tolueno, Buteno, Iso-Butano, n-Butano, Buteno y 2 Metil 1 Buteno.

Para el caso del Gas LP fue necesario investigar las características físicas, químicas y energéticas para la realización de las modelaciones requeridas. La tabla 3.1 muestra los valores para las propiedades que son requeridas por el modelador ALOHA para el gas LP.

Las antes mencionadas sustancias (Gasolina, Diesel, Turbosina, Combustóleo y Gas LP) representan el 36% de los accidentes que involucran a materiales peligrosos en México, he ahí la importancia de poder contar con una modelación la cual refleje la potencialidad del riesgo expresado en un radio de afectación para ellas.

Tabla 3.1 Propiedades físicas, químicas y energéticas del Gas LP

Propiedad	Valor	Unidades	Propiedad	Valor	Unidades
Peso molecular	51	g/mol	Capacidad calorífica (líquido)	0,782	BTU/(lb°F)
AEGL-1	5500	PPM	Temperatura	120	°F
AEGL-2	17000	PPM	Presión	1	atm
AEGL-3	33000	PPM	Capacidad calorífica (gaseoso)	0,505	BTU/(lb°F)
Punto de ebullición	-47	°C	Temperatura	250	°F
Presión crítica	41	atm	Presión	1	atm
Temperatura crítica	122	°C	Calor químico de combustión	22800	BTU/lb
Densidad del Gas	508	g/l	Límite explosivo inferior	20500	PPM
Temperatura	15	°C	Límite explosivo superior	91500	PPM
Presión	1	atm	Presión de Vapor	2.7	atm
Punto de inflamación	-156	°F	Temperatura	0	°C
Punto de congelación	-162	°C			

Fuente: Pemex Refinación; Cameo Chemical; Pemex Gas y Petroquímica Básica

3.3.1 Gases pesados

Cuando una sustancia con una presión de vapor menor a la presión atmosférica es liberada bruscamente a la atmósfera pasa rápidamente del estado líquido en el cual es transportada, a un estado gaseoso. En este estado la sustancia puede comportarse de dos maneras, la primera de ellas es un comportamiento de gas de flotación neutra y es aquí donde se utiliza el modelo gaussiano para predecir el comportamiento del gas en la atmósfera.

Otro comportamiento diferente es el de un gas pesado. Cuando un gas más pesado que el aire es liberado, inicialmente se comporta de forma muy distinta a un gas de flotación neutra. El gas pesado primeramente cae porque es más pesado que el aire circundante. A medida que la nube de gas se mueve a favor del viento, la gravedad hace que se extienda, lo que puede causar que algunos de los vapores viajen contra el viento de su punto de liberación. En cuanto la dispersión avanza en dirección del viento la nube se vuelve más diluida y su densidad se aproxima a la del aire comenzando a comportarse como un gas con flotabilidad neutra.

Los cálculos de dispersión de gases pesados que se utilizan en el modelador ALOHA están basados en los utilizados en el modelo DEGADIS [Spicer y Havens, 1989]. Éste es uno de los varios modelos conocidos de gas pesado. Este modelo fue seleccionado debido a su amplia aceptación y a las numerosas pruebas que llevaron a cabo los autores.

El modelador ALOHA selecciona automáticamente el tipo de modelo para realizar el análisis de dispersión ya sea un modelo gaussiano o un modelo de gas pesado. Para realizar esta selección se toman en cuenta factores como las propiedades de las sustancias y la temperatura del medio ambiente. El comportamiento de un gas pesado se ilustra en la figura 3.1.

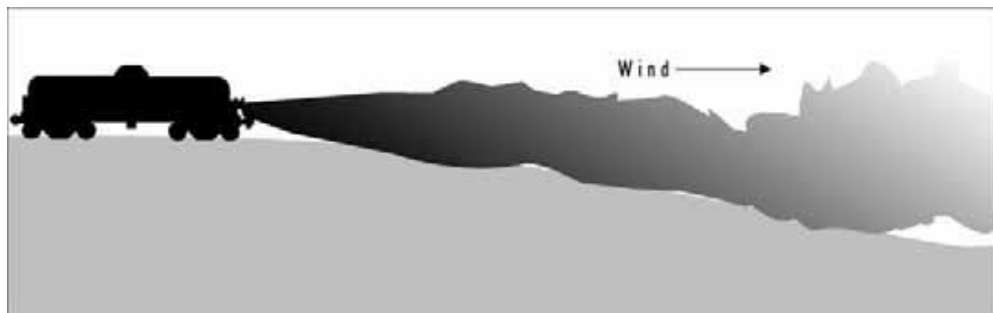


Figura 3.1 Comportamiento de un gas pesado

Fuente: Handbook of Chemical Hazards Analysis Procedures. USA. EPA 1997

3.4 Condiciones atmosféricas

Las condiciones atmosféricas representan una parte sustancial en el proceso de modelación, ya que el efecto de menor dispersión de las sustancias que da como resultando mayores radios de afectación depende en gran medida de las condiciones atmosféricas que se presentan en un lugar y en un instante de tiempo. Entonces, las condiciones atmosféricas dan como resultado diferentes tipos de estabilidad atmosférica las cuales determinarán la mayor o menor dispersión de una determinada sustancia.

La estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y el aire que la rodea, es por eso que es posible encontrar diferentes tipos de estabilidad dependiendo de lo grande o pequeña que sea la diferencia de temperaturas entre las masas de aire. La estabilidad atmosférica puede comportarse como estable, neutra, condicionalmente inestable o inestable, sin embargo, para estimar la dispersión el modelo ALOHA se basa en seis clases de estabilidad, con cinco categorías de velocidad del viento superficial, tres tipos de insolación diurna y dos tipos de nubosidad nocturna. Estos tipos de estabilidad se denominan clases de estabilidad de Pasquill-Gifford.

Tabla 3.2 Valores para las categorías de estabilidad atmosférica de Pasquill-Gifford

Velocidad del viento (m/s) a una altura de 10m	Día (Insolación)			Noche (Nubosidad)	
	Fuerte	Moderada	Ligera	Cobertura de nubes baja $\leq 3/8$	Cobertura de nubes $\geq 4/8$
< 2	A	A – B	B	-----	-----
2–3	A - B	B	C	E	F
3–5	B	B – C	C	D	E
5–6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: Handbook of Chemical Hazards Analysis Procedures. USA. EPA 1997

Como puede verse en la tabla 3.2 las estabilidades A, B y C representan las horas diurnas con condiciones inestables. La estabilidad D representa las noches o días con cielo cubierto con condiciones neutrales. Las estabilidades E y F hacen referencia a las condiciones nocturnas de gran estabilidad. La tabla 3.3 describe las categorías de estabilidad atmosférica de Pasquill-Gifford.

Para poder obtener los radios máximos de afectación probable, que son necesarios para determinar los escenarios críticos de riesgo en el transporte de materiales y residuos peligrosos, es necesario establecer la mayor estabilidad atmosférica posible, para ello es necesario contar con la información de cada una de las variables que intervienen para obtener la estabilidad deseada, dicha estabilidad corresponde a los valores para cualquiera de las categorías D, E o F dentro de la clasificación Pasquill-Gifford.

Tabla 3.3 Categorías de estabilidad atmosférica de Pasquill-Gifford

Estabilidad	Categoría	Características
A – B	Inestable	Implica una mayor turbulencia y dispersión más rápida. La dispersión de contaminantes se produce por convección y mezcla forzada (las parcelas de aire se mueven libremente hacia arriba o hacia abajo). Es la situación típica de los días soleados, especialmente cuando la velocidad del viento y la humedad son bajas, y también cuando masas de aire caliente fluyen sobre superficies frías.
C	Neutral	El cambio de velocidad ambiental es aproximadamente igual al cambio de velocidad seca adiabática, la convección y la mezcla de las capas de aire se lleva a cabo sin forzar. Se relaciona con cielos nublados y velocidades del viento moderadamente fuertes.
D	Estable	Se presenta menor turbulencia y dispersión de contaminantes más lenta. El cambio de velocidad atmosférica es subadiabática (menor que la adiabática), la dispersión de los contaminantes se da por convección y mezcla forzada. Físicamente, este tipo de condiciones se da en días que tienen alturas de mezclado relativamente bajas, no hay fuentes de calor y la velocidad del viento es baja.
E – F	Muy estable	Se presenta una temperatura de inversión, es decir, la superficie de la tierra y la superficie próxima al aire se enfrían rápidamente y la temperatura aumenta con la altura. Es común que se presente por la noche con cielos bajos y claros.

Fuente: Handbook of Chemical Hazards Analysis Procedures. USA. EPA 1997

3.4.1 Velocidad del viento

La variable más importante dentro las condiciones atmosféricas es la velocidad del viento, la cual influye de manera directa y significativa en la dispersión de las sustancias causantes de riesgos, para poder obtener una estabilidad mayor y obtener un radio de afectación crítico, es necesario introducir los valores mínimos de velocidad del viento los cuales para cada una de las sustancias quedan expresados como 1 y 2 m/s medidos a tres metros sobre el nivel del piso.

Estos valores son los mínimos que es posible encontrar en el territorio nacional pudiendo llegar a ser de hasta 0 m/s con estabilidades atmosféricas muy altas sin embargo la opción de realizar las modelaciones introduciendo este valor ha quedado descartada ya que el modelador ALOHA tiene como una de sus limitaciones el no poder hacer predicciones con velocidades de viento menores a 1 m/s.

Dadas las bajas velocidades de viento que es posible encontrar, la probabilidad de que la dirección cambie es muy alta, por este motivo es necesario interpolar los resultados de las modelaciones según las líneas de seguridad generadas por el modelador. Estas líneas se muestran en la figura 3.2.

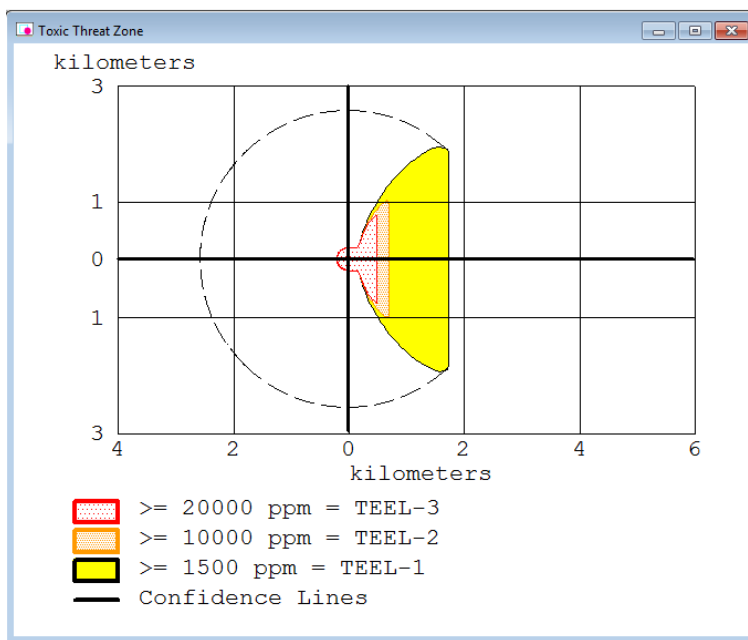


Figura 3.2 Área de afectación por nube de vapor tóxica de Propileno (55,000 l)

Fuente: Elaboración propia con el software ALOHA.

3.4.2 Rugosidad del suelo

Otro factor relacionado con las características meteorológicas es la rugosidad del suelo, el cual influye sobre la formación de torbellinos a nivel de suelo. Existen tres opciones dentro del modelador AHOLA para seleccionar la rugosidad del suelo las cuales son:

- a) Suelo abierto
- b) Suelo forestal o urbano
- c) Lagos, mares y océanos

Dadas las características de la mayoría de la red carretera federal se seleccionó el tipo “a” con lo cual se obtuvieron los resultados críticos en cuanto a radios de afectación.

3.4.3 Nubosidad

Otra condición atmosférica es la incidencia de la radiación solar sobre la sustancia derramada, para lo cual se cuenta con el factor de nubosidad, el cual emplea un rango en números representativos del 1 al 10 que son determinados de forma empírica dependiendo de la percepción del observador en particular, un número 10 como valor de nubosidad, es decir, un cielo completamente cubierto favorece el aumento en los radios de afectación para la mayoría de las sustancias objeto de estudio, por el contrario para la única sustancia para la cual esto es completamente contrario es para el Nitrógeno por lo que el valor de nubosidad para esta sustancia quedará definido como 1, es decir, un cielo completamente despejado, para todas las demás sustancias el valor alimentado será de 10.

3.4.4 Temperatura

La temperatura ambiente es expresada en el modelador como la temperatura del aire, ésta juega un papel fundamental en el proceso de dispersión de la sustancia. Para seleccionar la temperatura, se tomaron en cuenta los promedios mensuales de temperaturas máximas registradas por el Servicio Meteorológico Nacional en cada uno de los estados de la república durante los años que abarca el estudio los cuales corresponden a 2006-2009 siendo esta temperatura 37.1 °C la cual quedará asentada para todas las modelaciones de las diferentes sustancias. Cabe mencionar que al introducir un valor de temperatura elevado el radio de afectación verá incrementadas sus dimensiones y es por este motivo que se ha tomado en cuenta la mayor temperatura promedio mensual registrada a lo largo del territorio nacional.

3.4.5 Humedad relativa

En el último nivel de importancia por la poca variación en la dispersión en la que influye es el porcentaje de humedad relativa presente, el cual para todas las modelaciones de las diferentes sustancias se le ha asignado un valor del 50% de humedad, pudiendo variar este valor desde 40% hasta 80% sin presentar cambios significativos en el radio afectación resultante.

3.5 Fuente para la modelación (Autotanques)

La mayoría de las sustancias modelables y que al mismo tiempo representan el mayor porcentaje de accidentes corresponden como ya se mencionó al transporte de Gas LP y productos petrolíferos como gasolina, diesel, turbosina y combustóleo. El transporte de estos materiales se lleva a cabo mediante tanques arrastrados por tractores principalmente. Para obtener una mayor precisión en la estimación de los radios de afectación generados se han desarrollado tres diferentes modelaciones, las cuales corresponden a los volúmenes máximos de carga que es posible transportar en los mencionados vehículos. Según los análisis de las bases de datos SAADA se encontró que usualmente las sustancias antes mencionadas son transportadas en camiones doblemente articulados, en camiones articulados y en camiones unitarios, aunque también en menor medida el Gas LP es transportado en camionetas tipo Pick Up en cilindros para uso doméstico.

De esta manera los volúmenes utilizados para las modelaciones de acuerdo al tipo de vehículo y sus dimensiones máximas son los mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Volúmenes por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Volumen (litros)
Doble articulado	110,000
Articulado	55,000
Camión unitario	25,000

Fuente: Elaboración propia con datos de empresas transportistas

Las capacidades máximas así como las dimensiones de los tanques disponibles en el mercado para cada tipo de vehículo se ilustran en las figuras 3.3 y 3.4 y las medidas y capacidades en las tablas 3.5 y 3.6. Para el caso de los vehículos doblemente articulados las modelaciones fueron realizadas multiplicando por dos el volumen máximo de capacidad de un remolque para obtener la totalidad de la sustancia transportada.

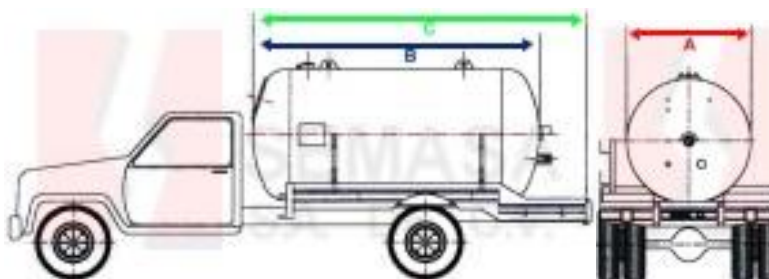


Figura 3.3 Autotanque de camión unitario

Fuente: Semasa S.A. de C.V.

Tabla 3.5 Dimensiones del tanque de un camión unitario

Capacidad Nominal		Ø Exterior del recipiente		Longitud total del recipiente		Longitud total del recipiente y carrocería	
Litros	Galones	Metros	Pulgadas	Metros	Pulgadas	Metros	Pulgadas
4,500	1189	1,574	62	2,641	104	3,25	128
5,000	1321	1,524	60	3,06	120 ½	3,68	145
5,500	1453	1,524	60	3,225	127	3,84	151 1/2
6,000	1585	1,574	62	3,3	130	3,93	154 1/2
7,000	1849	1,524	60	3,328	131	4,34	170 5/8
10,000	2642	2,02	79 ¾	3,86	156 3/16	4,49	176 7/8
12,200	3223	2,02	80 ¾	4,46	175 ¾	5,11	201
12,500	3302	2,08	82	4,52	178	5,16	203
12,900	3408	2,02	79 ¾	4,76	187	5,4	212 5/8
15,000	3963	2,08	82	5,13	202	5,76	227 3/8
17,000	4491	2,22	87 ½	5,27	207 ½	5,9	231 7/8
19,000	5019	2,22	87 ½	5,77	227 ¼	6,4	251 1/2
25,000	6604	2,35	92 ½	6,67	262 ½	7,3	285 1/2

Fuente: Semasa S.A. de C.V.

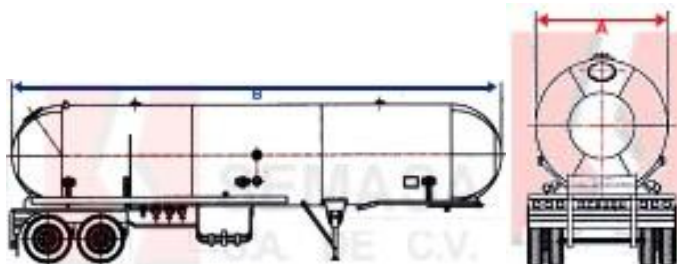
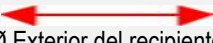


Figura 3.4 Autotanque de camión articulado

Fuente: Semasa S.A. de C.V.

Tabla 3.6 Dimensiones del tanque camión articulado

Capacidad Nominal		 Ø Exterior del recipiente		 Longitud total del recipiente	
Litros	Galones	Metros	Pulgadas	Metros	Pulgadas
42,000	11095	2,35	92 ½	10,66	420
46,000	12152	2,35	92 ½	11,49	452 ½
52,000	13737	2,35	92 ½	13,28	523
55,000	14529	2,35	92 ½	13,71	540

Fuente: Semasa S.A. de C.V.

3.5.1 Estado de la sustancia

Por cuestiones económicas todas las sustancias objeto de modelación son transportadas en estado líquido, algunas en forma natural como la Gasolina, Turbosina, Diesel y Combustóleo, en cambio algunas otras como el Gas LP, Gas Butano, Amoniaco, Nitrógeno y Cloro son licuadas por medio de presión o temperatura para adoptar un estado líquido.

Los beneficios económicos aumentan cuando el volumen de sustancia transportada es mayor por lo cual se busca que los volúmenes transportados sean los más altos posibles, aunque en caso de un siniestro el impacto ambiental es mucho mayor.

3.5.2 Porcentaje de llenado

Esta variable se refiere al porcentaje con el que es posible llenar un tanque, debido a las sobrepresiones ocasionadas por el aumento de la energía cinética de las moléculas de la sustancia dentro del contenedor, esto a su vez ocasionado por el aumento de la temperatura exterior y por el transporte en si, tiene como consecuencia que no sea posible llenar los tanques al 100% de su capacidad por lo cual el porcentaje de llenado de los tanques para calcular los radios de afectación máximos corresponde al 95% del volumen del autotanque.

3.5.3 Tamaño y altura de la abertura

Es necesario indicar al modelador que el escape de la sustancia contenida en el tanque hacia la atmósfera se lleva a cabo por medio de una abertura que pudiera ser probablemente ocasionada por el accidente mismo.

Para determinar el diámetro de la abertura por el cual la sustancia escapa hacia la atmósfera se seleccionó el valor de 30 cm, esto debido a que se realizaron diferentes corridas en el modelador para determinar que de este valor en adelante se genera el mayor riesgo, ya que los radios se ven afectados de manera significativa. Tomando en cuenta los pesos de los tanques y las velocidades a las que circulan (el factor velocidad excesiva representa el 60% del total de los accidentes atribuibles al conductor) es muy probable encontrarse con este tipo de situaciones ya que las acciones de choque, volcadura o salida del camino (las cuales corresponden al 92 % del total de los tipos de accidentes) pudieran ocasionar situaciones de ruptura de los tanques.

La altura determinada para la ubicación de la abertura quedó establecida a cero metros, es decir, la abertura por la cual la sustancia escapa hacia la atmósfera y/o suelo se encuentra ubicada en el fondo del tanque lo que conducirá a que todo el material contenido dentro del tanque escape generando así una situación crítica de riesgo.

3.6 Escenarios

Dentro del ALOHA la opción de modelación de riesgos por fuente como lo es un tanque permite seleccionar tres diferentes escenarios, los cuales dadas sus características particulares expresan radios de afectación diferentes. Cada uno de estos escenarios se enuncian a continuación:

- 1) Fuga del tanque, el químico no se incendia y escapa a la atmósfera
 - a) Área tóxica por nube de vapor
 - b) Área inflamable por nube de vapor
 - c) Área de sobrepresión por explosión de nube de vapor
- 2) Fuga del tanque; el químico se incendia en forma de un chorro de fuego
- 3) BLEVE; *Boling Liquid Expanding Vapor Explosion* (Explosión por líquido en ebullición dentro de un tanque cerrado.)

Cada uno de los escenarios plantea sus propias consideraciones particulares, por lo que es necesario detallarlos más. Los siguientes apartados describen cada uno de ellos.

3.6.1 Fuga del tanque, el químico no se incendia y escapa a la atmósfera

3.6.1.1 Área tóxica por nube de vapor

Este escenario muestra una área de afectación generada por una nube de vapor tóxica, indica cuales son las dimensiones del área en la cual es posible encontrar alguno de los niveles de concentración en los cuales puede ocurrir alguna afectación por intoxicación o envenenamiento a los seres humanos, las unidades a las cuales se refiere son partes por millón (ppm) de concentración de la sustancia en mezcla con el aire. Dichas concentraciones pueden variar dependiendo del nivel de toxicidad de la sustancia y del nivel de alerta con el que se esta evaluando el riesgo, de esta forma una sustancia con mayor potencial tóxico como lo es el Cloro que genera mayores radios de afectación que otras sustancias con un grado de toxicidad menor.

Para determinar los radios de afectación generados en este escenario es primordial conocer cuales son los niveles en los que se pueden encontrar efectos negativos en la salud de los individuos expuestos a alguna sustancia liberada accidentalmente, para ello el modelador cuenta con diferentes niveles de alerta desarrollados por diversas instituciones, todos ellos encaminados a proporcionar la información necesaria para conocer cuales son las concentraciones a las cuales existen efectos negativos sobre la población vulnerable.

Niveles de alerta para el escenario “Nube de vapor tóxica”

Dentro del modelador ALOHA se tienen cuatro opciones de niveles de alerta las cuales se detallan a continuación.

A) IDLH

Es el acrónimo en inglés “*Immediately Dangerous to Life or Health*” que significa nivel de peligrosidad inmediato para la vida o la salud. Originalmente fue un límite establecido por el Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (*National Institute for Occupational Safety and Health* – NIOSH), para seleccionar mascarillas de oxígeno de uso en lugares de trabajo. El nivel IDLH de un producto químico es una estimación de la concentración máxima en el aire al cual un trabajador sano podría ser expuesto sin sufrir efectos permanentes sobre la salud o efectos que le imposibiliten escapar del lugar del accidente.

B) AEGL

Es el acrónimo en inglés de *Acute Exposure Guideline Levels*, que significa niveles guía de exposición aguda, que han sido desarrollados por el comité sobre toxicología del Consejo nacional de investigación de los EE.UU. El comité ha llevado a cabo directrices detalladas para el desarrollo de estándares uniformes y

sencillos de respuesta a emergencias para el público en general. Los criterios en las directrices han tomado en cuenta a las personas más sensibles en caso de accidente y han pretendido proteger a la inmensa mayoría de la población. El comité ha comenzado a poner las directrices en práctica desarrollando niveles AEGL para productos químicos específicos. A mediados del año 2001 se definieron valores de AEGL para cuatro productos químicos y actualmente se están preparando valores de AEGL para más productos químicos. El objetivo del comité es definir valores de AEGL para las 300 sustancias más peligrosas enumeradas en la legislación de los E.E.U.U. (la EPA ofrece una lista en internet de estas sustancias).

Los tres niveles base de AEGL son los siguientes.

AEGL 1: La concentración aerotransportada de una sustancia sobre la cual predice que la población en general, incluyendo individuos susceptibles, podrían experimentar malestar notable, irritación, o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos. Sin embargo, los efectos no provocan daños irreversibles y permanentes después de terminar la exposición al riesgo.

AEGL 2: La concentración aerotransportada de una sustancia sobre la cual se predice que la población en general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar efectos sobre la salud adversos e irreversibles y también incapacidad para escapar en una situación de peligro.

AEGL 3: La concentración aerotransportada de una sustancia sobre la cual se predice que la población en general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar efectos peligrosos para la salud o incluso la muerte.

Cada uno de los tres niveles de AEGL (AEGL-1, AEGL-2 y AEGL-3), han sido desarrollados para cada uno de los periodos de exposición: 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 4 horas y 8 horas. ALOHA, sin embargo, sólo utiliza un periodo de exposición de AEGL de diez minutos. Cuando el nivel AEGL está disponible y se conoce puede ser el mejor método de nivel de alerta. Aunque el juicio experto y la experiencia deberían utilizarse para seleccionar el nivel de alerta adecuado y poder interpretar los datos obtenidos a raíz de su utilización.

C) ERPG

Es el acrónimo en inglés de *Emergency Response Planning Guidelines* que significa directrices de planificación en respuesta a emergencias, han sido desarrolladas por el comité ERPG de la asociación americana de la higiene industrial (*American Industrial Hygiene Association*). Las ERPG fueron concebidas como directrices de planificación para anticiparse a los efectos adversos y nocivos sobre la población debidos a la exposición a productos químicos tóxicos. Los niveles ERPG han sido estructurados en tres grados con un denominador común: la duración de una hora a la exposición al peligro. Cada directriz identifica la sustancia, las propiedades químicas y físicas información estudiada de toxicidad sobre animales y experiencias en la población.

ERPG 1: Es la concentración aerotransportada máxima por debajo de la cual se cree que la inmensa mayoría de las personas pudieran estar expuestas durante una hora sin sufrir otros síntomas que no sean efectos suaves y pasajeros sobre la salud o percibir un claro hedor.

ERPG 2: Es la concentración aerotransportada máxima por debajo de la cual se cree que la inmensa mayoría de las personas pudieran estar expuestas durante una hora sin sufrir o desarrollar efectos irreversibles sobre la salud u otros efectos que pudiesen perjudicar las posibilidades de una persona para tomar medidas de protección.

ERPG 3: Es la concentración aerotransportada máxima por debajo de la cual se cree que la inmensa mayoría de las personas pudieran estar expuestas durante una hora sin sufrir o desarrollar efectos en la salud con riesgo de muerte.

Las directrices ERPG no protegen a todo el mundo. Las personas hipersensibles sufrirían reacciones adversas a concentraciones mucho menores que las sugeridas por las directrices. De hecho, según aparece reflejado en el ALOHA, los niveles ERPG, como otros niveles ya vistos, están basados sobre todo en estudios sobre animales, por lo que se deben tomar con precaución cuando se pretendan aplicar a humanos. Este tipo de niveles se enfocan en el periodo temporal de una hora después de la emisión del gas o del accidente. Los periodos de exposición pueden ser más dilatados o menores, sin embargo, el comité realizador de los niveles ERPG advierte como tratar de extrapolar los niveles ERPG a periodos más amplios de tiempo.

Es importante recordar sobre los niveles ERPG que no contienen factores de seguridad, por el contrario, los ERPG se estiman mediante las supuestas reacciones del público general a exposiciones de contaminantes. Los ERPG deben servir como un instrumento de planificación y no como un estándar para proteger al público en general.

D) TEEL

Es el acrónimo en inglés de Límites de *Temporary Emergency Exposure Limits* que significa exposición a emergencias temporales. Son niveles de alerta temporales similares a ERPG definidos por el Departamento de energía de los EE.UU. para usarlos cuando los niveles ERPG no están disponibles. Igual que el ERPG, los niveles TEEL no incorporan factores de seguridad. En cambio, están diseñados para representar la predicción sobre la supuesta respuesta del público en general.

Los incidentes relacionados con compuestos químicos a diferentes concentraciones, estos niveles de alerta se pueden dividir en tres grados:

TEEL-1 Predice irritación y otros efectos menores.

TEEL-2 Predice irritación seria pero con efectos reversibles.

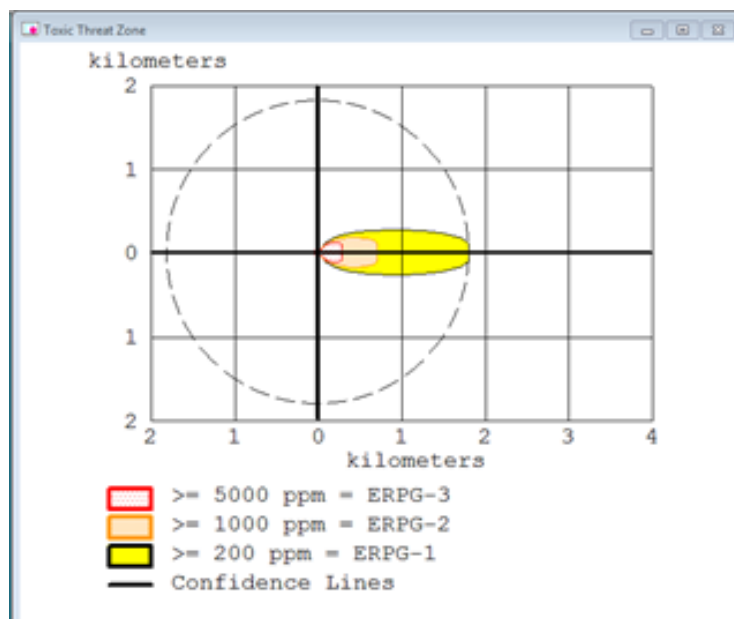
TEEL-3 Predice impacto muy severo con probabilidad de muertes.

Las directrices TEEL no protegen a todo el mundo. Las personas hipersensibles sufrirían reacciones adversas a concentraciones mucho menores que las sugeridas por las directrices. De hecho los niveles TEEL, como otros niveles ya vistos, están basados sobre todo en estudios sobre animales, por lo que se deben tomar con precaución cuando se pretendan aplicar a humanos. Este tipo de niveles se enfocan en el periodo temporal de una hora después de la emisión del gas o del accidente. Los periodos de exposición pueden ser más demorados o pequeños, sin embargo, el comité realizador de los niveles TEEL advierte como tratar de extrapolar los niveles TEEL a periodos más amplios de tiempo.

Al contrario que los niveles ERPG, que se derivan de extensas experiencias sobre animales, los niveles TEEL proceden de una metodología estándar que usa niveles de alerta (LOC) disponibles y procedimientos preestablecidos para adaptarlos a los niveles TEEL. Como resultado de ello estos niveles están disponibles para una amplia gama de compuestos químicos.

La metodología para la obtención de niveles TEEL, la cual usa un mayor abanico de información disponible que la requerida para la obtención de los niveles ERPG, puede ser utilizada para obtener los niveles de alerta para una gama amplia de productos químicos. La principal ventaja de los niveles TEEL es que puede proveer referencias útiles cuando no haya ningún otro nivel de alerta (LOC) disponible. [HCHAP 1997]

Para representar los diferentes niveles de alerta el modelador ALOHA utiliza colores (rojo, naranja, amarillo) para identificar las áreas en las cuales es posible encontrar alguna concentración por encima de los umbrales establecidos y que corresponden a las especificaciones de cada nivel de alerta. En los resultados presentados se muestran los valores máximos de afectación, es decir, el área en la cual es posible encontrar alguna afectación a los individuos expuestos por pequeña que esta sea.



THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 285 meters --- (5000 ppm = ERPG-3)

Orange: 708 meters --- (1000 ppm = ERPG-2)

Yellow: 1.8 kilometers --- (200 ppm = ERPG-1)

Figura 3.5 Niveles de alerta de una nube de vapor tóxica de metanol (55,000 l)

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

3.6.1.2 Área inflamable por nube de vapor

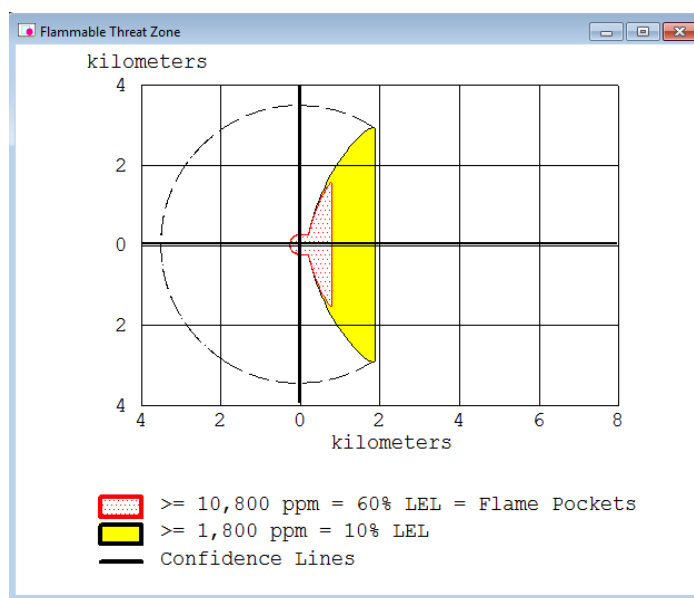
Éste escenario muestra un área de afectación generada por una nube inflamable, indica cuales son las dimensiones del área en la cual existe un riesgo de incendio por la sustancia derramada en mezcla con el aire. Cuando una nube de vapor inflamable se encuentra con una fuente de ignición, la nube puede incendiarse y arder rápidamente en lo que se conoce como destello de fuego (*Flash Fire*). Los peligros potenciales asociados con un destello de fuego pueden ser radiación térmica, el humo y los subproductos de la combustión del material que se quema.

Para determinar esta área el modelador toma en cuenta el Límite Explosivo Inferior (*Lower Explosive Limit* - LEL) y el Límite Explosivo Superior (*Upper Explosive Limit* - UEL), estos límites representan los porcentajes de concentración de combustible, es decir, la sustancia química derramada en mezcla con el aire entre los cuales es posible tener un incidente si la nube encuentra una fuente para entrar en ignición.

Si la concentración de aire-combustible está por debajo del LEL la mezcla no cuenta con suficiente combustible para sostener un incendio o una explosión. Si por el contrario la concentración de aire combustible está por encima del UEL la mezcla no cuenta con suficiente oxígeno para generar un incendio o una explosión.

Sin embargo, en una nube real de vapor inflamable existirán zonas donde la concentración de mezcla (combustible – aire) son superiores a la media y otras en donde la concentración sea inferior, esto se conoce como agregación de concentración. A causa de la agregación de la concentración habrá zonas llamadas sacos de fuego (*Flame Pockets*) si la sustancia se encuentra en el rango de inflamabilidad sin importar que la concentración promedio haya caído por debajo del LEL.

Algunos experimentos han demostrado que los sacos de fuego pueden presentarse en lugares donde la concentración media es superior al 60% del LEL por este motivo el modelador ALOHA utiliza el 60% del LEL como el valor predeterminado para representar el nivel de alerta (rojo). Otro nivel de alerta comúnmente utilizado por los socorristas es el 10% del LEL y ALOHA lo utiliza para representar un nivel de alerta menor (amarillo).



THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud

Model Run: Heavy Gas

Red : 816 meters --- (10,800 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)

Yellow: 1.9 kilometers --- (1,800 ppm = 10% LEL)

Figura 3.6 Niveles de alerta de una nube de vapor inflamable de Isobutano (55,000 l)

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

3.6.1.3 Área de sobrepresión por explosión de una nube de vapor

Éste escenario hace referencia a un área de afectación generada por la posible sobrepresión generada por la explosión de una nube de vapor inflamable, en él se muestra el área en la cual es posible encontrar un valor de sobrepresión de hasta 1.0 psi que es el valor mínimo en el cual se pueden encontrar afectaciones a los seres humanos.

Si la nube de vapor inflamable se encuentra con una fuente de ignición las partes de la nube donde la concentración se encuentra dentro del rango de inflamabilidad pueden quemarse. La velocidad a la cual la llama se mueve a través de la nube determina si se trata de una deflagración o de una detonación. En algunos casos la nube se quema tan rápido que crea una onda explosiva. La gravedad de la explosión de una nube de vapor depende de las propiedades de la sustancia, el tamaño de la nube en el momento de la ignición, el tipo de ignición y el nivel de congestión dentro de la nube.

La fuerza destructiva de una nube de vapor depende de la rapidez con la que la explosión se propaga, es decir, la velocidad a la que viaja su frente de llama. Una vez que una explosión se ha activado su frente de llama se propaga a través de la nube inflamable incendiando las zonas donde la concentración está en el rango de inflamabilidad. La explosión produce una onda de presión que se extiende a sus alrededores causando daños a personas y bienes. Cuanto mayor sea la velocidad del frente de la flama más intensa es la onda de presión (sobrepresión) y mayor es la fuerza destructiva de la explosión.

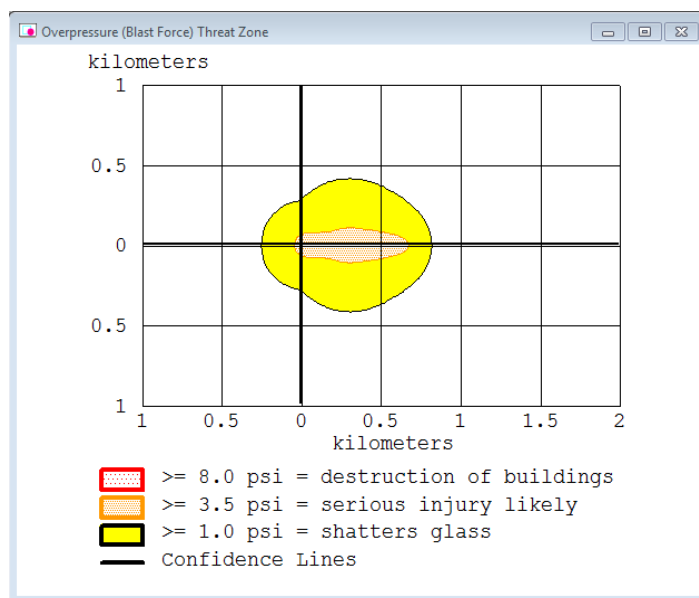


Figura 3.7 Niveles de sobrepresión generados por una nube de vapor inflamable de Isobutano (55,000 l)

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

3.6.2 Fuga del tanque; el químico se incendia en forma de chorro de fuego

Para este escenario el modelador mostrará el área probable en la cual será posible encontrar radiaciones térmicas cuyas concentraciones expresadas en kW/m² representen una amenaza para las personas. Un chorro de fuego, también conocido como *Jet Fire* se produce cuando una sustancia inflamable se libera rápidamente de un contenedor e inmediatamente se incendia, al igual que la llama de un soplete.

La radiación térmica es el principal riesgo asociado con un chorro de fuego, otros riesgos potenciales son: el humo, los subproductos tóxicos del fuego, y los posibles incendios y explosiones secundarias en el área circundante.

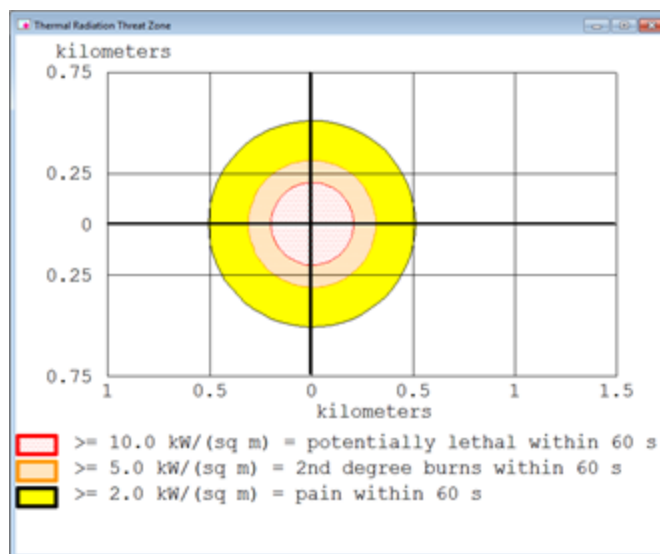
Un nivel de alerta de radiación térmica es un umbral en el cual un peligro puede existir, el modelador ALOHA utiliza tres valores umbral para representar las zonas de riesgo generadas por un chorro de fuego.

Los valores para determinar estas zonas son:

- A) Rojo: 10 kW/m² (potencialmente letal dentro de 60 segundos de exposición)
- B) Naranja: 5 kW/m² (quemaduras de segundo en 60 segundos de exposición)
- C) Amarillo 2 kW/m² (dolor severo en 60 segundos de exposición)

Los efectos de la radiación térmica que pueden experimentar los individuos depende de la cantidad de tiempo que están expuestos a ella, derivado de ello el modelador ALOHA señala cuales son los tiempos mínimos de exposición a los cuales se puede tener afectaciones.

Los valores para seleccionar los niveles de alerta del modelador ALOHA se basan en varias fuentes ampliamente aceptadas para este tema entre ellas el *American Institute of Chemical Engineers* (Instituto Americano de Ingenieros Químicos) y la *Federal Emergency Management Agency* (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias).



THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire

Red : 211 meters --- ($10.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$) = potentially lethal within 60 sec)

Orange: 321 meters --- ($5.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 516 meters --- ($2.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$) = pain within 60 sec)

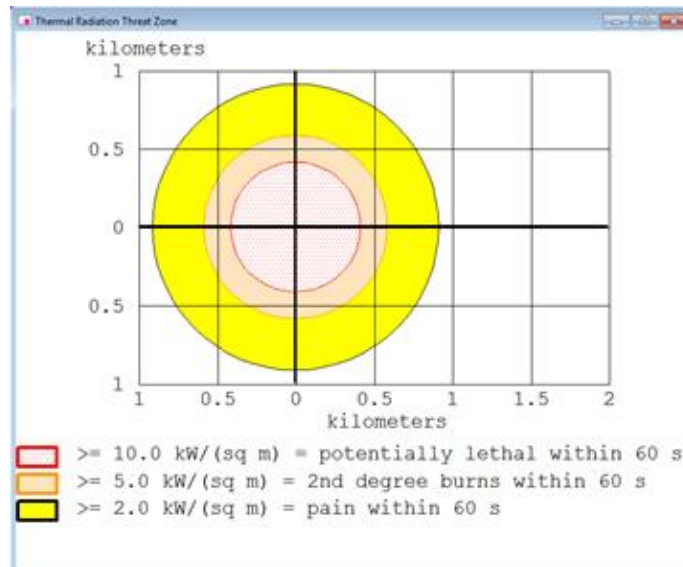
Figura 3.8 Niveles de radiación térmica generados por un chorro de fuego de un tanque de Isobutano (55,000 l)

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

3.6.3 Explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido (BLEVE)

Por último, en el escenario BLEVE el tanque explota y el químico se quema en forma de una bola de fuego, para este escenario el modelador ALOHA muestra el área probable en la cual es posible encontrar radiaciones térmicas por debajo de las cuales existen afectaciones a los individuos expuestos a ellas, similar en cuanto a niveles de alerta con el escenario de chorro de fuego, sin embargo, el escenario BLEVE presenta radios de afectación más amplios, aunque el tiempo de exposición puede ser muy corto debido a que la totalidad del volumen de la sustancia puede quemarse de forma instantánea en forma de una bola de fuego.

Otros riesgos potenciales que pueden presentarse en este escenario son la sobrepresión, fragmentos peligrosos, el humo y los subproductos tóxicos del fuego, pero estos peligros no son modelados por ALOHA. El modelador se centra en la energía térmica debido a que en la mayoría de los accidentes los cuales desencadenan un escenario tipo BLEVE representan un peligro con mayor área de impacto y esto la convierte en la amenaza más significativa.



THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball

Red : 413 meters --- (10.0 kW/(sq m)) = potentially lethal within 60 sec)

Orange: 585 meters --- (5.0 kW/(sq m)) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 911 meters --- (2.0 kW/(sq m)) = pain within 60 sec)

Figura 3.9 Niveles de radiación térmica generados por BLEVE de un tanque de Isobutano (55,000 l)

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

3.7 Selección del escenario crítico

Para seleccionar el escenario crítico, es decir, el escenario con mayores radios de afectación fue necesario realizar todas las modelaciones para cada uno de los escenarios probables y comparar posteriormente los resultados obtenidos entre cada uno de ellos.

Se encontró que el escenario crítico para la mayoría de las sustancias a excepción del Gas LP, Gas Butano, Isobutano y Acetato de Metilo es el escenario tipo A "Fuga del tanque", el químico no se incendia y escapa a la atmósfera, y dentro de éste, el escenario tipo 1 "Área tóxica por nube de vapor" generaron los radios de afectación más amplios.

Para las mencionadas sustancias el radio de afectación máximo se presentó seleccionado el escenario tipo 2 "Área inflamable por nube de vapor", esto debido a la alta capacidad de combustión de estos materiales y a la poca toxicidad que presenta en comparación con otras sustancias.

Para algunas otras sustancias altamente tóxicas como el cloro, el acetato de vinilo, el acrilato de etilo, el butil acrilato, la metilamina y el amoniaco los radios de afectación superan los 10 Kilómetros de extensión, sin embargo una de las limitantes del modelador es no poder mostrar como continua la dispersión de las sustancias a partir de esta distancia por lo cual el valor asentado para estas será de 10 km al no poder predecir la continuidad de las concentraciones de la sustancia.

En la tabla 3.7 se muestran los resultados de los radios de afectación para los componentes de los combustibles derivados de la refinación del petróleo. En esta tabla se muestra el componente, el tipo de vehículo con su capacidad correspondiente, el resultado de la modelación en kilómetros el escenario y por último el nivel de alerta sobre el cual se basa el resultado.

Con los resultados de la tabla 3.7 es posible realizar un promedio de los radios de afectación obtenidos por los componentes de los productos derivados del petróleo y asignar estos valores a los productos mismos. De tal forma los valores asignados para los radios de afectación de las sustancias tales como la gasolina, el diesel, la turbosina y el combustóleo quedan definidos en la tabla 3.8.

Tabla 3.7 Radios de afectación generados por los compuestos de los derivados del petróleo (Gasolina, Diesel, Combustóleo, Turbosina)

Componente	Tipo de Vehículo	Capacidad (litros)	Radio de afectación (Km)	Escenario	Nivel de alerta (Mínimo)
Benceno	Doble articulado	110,000	3.7	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 50 ppm
	Articulado	55,000	3	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 50 ppm
	Camión unitario	25,000	2.3	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 50 ppm
Tolueno	Doble articulado	110,000	2.4	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 200 ppm
	Articulado	55,000	1.9	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 200 ppm
	Camión unitario	25,000	1.3	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 200 ppm
n – Butano	Doble articulado	110,000	1.2	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 5500 ppm
	Articulado	55,000	0.904	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 5500 ppm
	Camión unitario	25,000	0.634	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 5500 ppm
Iso Butano	Doble articulado	110,000	1.5	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 3000 ppm
	Articulado	55,000	1.1	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 3000 ppm
	Camión unitario	25,000	0.79	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 3000 ppm
Buteno	Doble articulado	110,000	2.5	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 750 ppm
	Articulado	55,000	1.9	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 750 ppm
	Camión unitario	25,000	1.3	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 750 ppm
2 Metil 1 Buteno	Doble articulado	110,000	0.324	Nube de vapor tóxica	TEEL 65000 ppm
	Articulado	55,000	0.3	Nube de vapor tóxica	TEEL 65000 ppm
	Camión unitario	25,000	0.253	Nube de vapor tóxica	TEEL 65000 ppm

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

Tabla 3.8 Promedio de radios de afectación de los productos derivados del petróleo

Producto	Tipo de Vehículo	Capacidad (l)	Radio de afectación (Km)	Escenario	Nivel de alerta (Mínimo)
Gasolina, Diesel, Turbosina, Combustóleo	Doble articulado	110,000	2	Nube de vapor tóxica	Promedio de los componentes
	Articulado	55,000	1.5	Nube de vapor tóxica	
	Camión unitario	25,000	1.1	Nube de vapor tóxica	

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

Los resultados obtenidos de las modelaciones para cada una de las sustancias las cuales se vieron involucradas en accidentes carreteros durante el periodo de análisis (2006-2009) se encuentran resumidos en la tabla 3.9, donde se muestra la sustancia, el vehículo y su capacidad, el radio de afectación generado bajo el escenario seleccionado y el nivel de alerta bajo el cual se presenta el resultado (radio de afectación).

Tabla 3.9 Radios de afectación críticos por sustancia

Sustancia	Vehículo	Capacidad (l)	Radio Afectación (Km)	Escenario	Nivel de alerta (Mínimo)
Combustibles derivados del petróleo	Doble Articulado	110000	2	Nube de vapor tóxica	Promedio de componentes
	Articulado	55000	1.5	Nube de vapor tóxica	
	Camión Tractor	25000	1.1	Nube de vapor tóxica	
Gas LP	Doble Articulado	110000	1.9	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL
	Articulado	55000	1.5	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL
	Camión Tractor	25000	1.1	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL
Nitrógeno	Doble Articulado	110000	0.621	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 65000 ppm
	Articulado	55000	0.486	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 65000 ppm
	Camión Tractor	25000	0.353	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 65000 ppm
Propileno	Doble Articulado	110000	2.3	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 1500 ppm
	Articulado	55000	1.7	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 1500 ppm
Gas Butano	Articulado	55000	1.6	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL
	Camión Tractor	25000	1.1	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

Tabla 3.9
Radios de afectación críticos por sustancia (continuación)

Sustancia	Vehículo	Capacidad (l)	Radio Afectación (Km)	Escenario	Nivel de alerta (Mínimo)
Acetato de etilo	Doble Articulado	110000	1	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 400 ppm
	Camión Tractor	25000	0.567	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 400 ppm
Gas Propano	Doble Articulado	110000	1.5	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL
Cloruro de vinilo	Articulado	55000	3	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 500 ppm
Isobutano	Doble Articulado	110000	1.9	Nube de vapor inflamable	60-10% LEL
Ciclohexano	Doble Articulado	110000	1.2	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 300 ppm
Acrilonitrilo	Articulado	55000	8,3	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 10 ppm
Acetato de vinilo	Articulado	55000	10	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 5 ppm
Metanol	Articulado	55000	1,8	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 200 ppm
Acrilato de etilo	Articulado	55000	10	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 0.01 ppm
Butil Acrilato	Articulado	55000	10	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 0.05 ppm
Tolueno	Articulado	55000	1,9	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 50 ppm
Acetato de Metilo	Camión Tractor	25000	1.1	Nube de vapor tóxica	TEEL 1 250 ppm
Amoniaco	Articulado	55000	10	Nube de vapor tóxica	AEGL 1 (60 min) 30 ppm
Ácido acético glacial	Articulado	55000	5.6	Nube de vapor tóxica	ERPG 1 5ppm
Cloro	Camión Tractor	25000	10	Nube de vapor tóxica	AEGL 1 (60 min) 0.5 ppm
	Articulado	55000	10	Nube de vapor tóxica	AEGL 1 (60 min) 0.5 ppm

Fuente: Elaboración propia, a través del modelador ALOHA.

En la tabla anterior podemos observar radios de hasta 10 km para algunas sustancias, mientras que para los derivados del petróleo se obtienen radios de hasta 2 km, en los vehículos doble articulados.

Con dicha información se pueden establecer las zonas de vulnerabilidad de una carretera al presentarse un accidente con cualquier material o sustancia peligrosa.

4 Vulnerabilidad de las carreteras por accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos

En éste capítulo se determinaran las áreas vulnerables en función de la información de accidentes mostrados en el capítulo 2. Esta vulnerabilidad será determinada en función de la siniestralidad, de la peligrosidad de las sustancias y de la propia vulnerabilidad de la zona.

La figura 4.1 muestra el esquema mediante el cual se determinará la vulnerabilidad de las carreteras, a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y superposición de mapas.

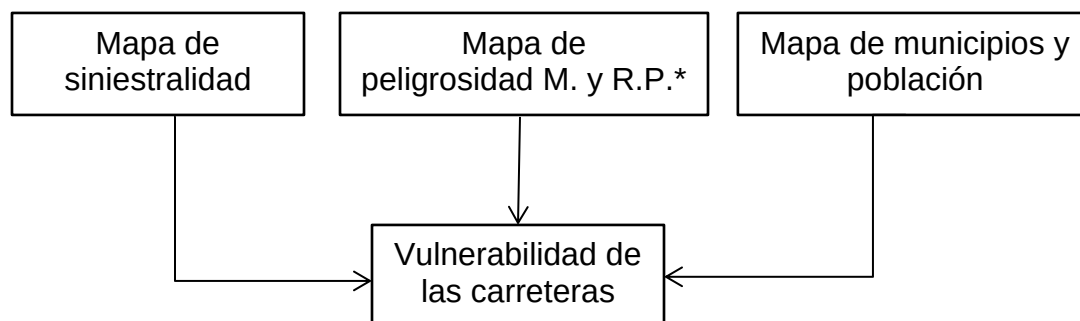


Figura 4.1 Metodología para determinar la vulnerabilidad en las carreteras

*M. y R.P. Materiales y Residuos Peligrosos

La determinación de la vulnerabilidad consiste en la superposición de diferentes capas de información a través de SIG.

La primera representa la siniestralidad del transporte de materiales y residuos peligrosos en los años 2006-2009 que se presentó en la red carretera federal, basados en los registros descritos en el capítulo 2.

El segundo representa la peligrosidad de las sustancias modeladas en el capítulo 3, que de acuerdo al tipo de vehículo y a las sustancias transportadas se obtiene el radio de afectación máximo para situaciones críticas para cada uno de los accidentes registrados en el capítulo 2.

El tercero y último de ellos consiste en la colocación del mapa de los municipios, la población inmersa en los radios de afectación y la propia red carretera geoposicionada. No se incluyen aspectos ambientales relevantes.

La superposición de estos mapas señalará las zonas vulnerables en el país, la población expuesta y los impactos ambientales posibles, en caso de presentarse una situación crítica.

La representación visual permite detectar las áreas más vulnerables en el país de accidentes con transporte de materiales y sustancias peligrosas, identificando zonas de alta, media o baja siniestralidad en éste tipo de transporte.

A continuación se detallaran cada uno de los elementos que integran la metodología descrita y los resultados obtenidos.

4.1 Representación geográfica de los accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos (Mapa de siniestralidad)

La información presentada en el capítulo 2 a través de tablas y graficas, no nos permite tener un panorama visual de la vulnerabilidad de la red de carreteras en el país, por lo que se consideró necesario realizar la representación geográfica de los accidentes carreteros con transporte de materiales y sustancias peligrosas, así como de los escenarios críticos que representan cada uno de ellos de acuerdo al tipo de sustancia.

Para realizar la representación es muy útil para conocer la ubicación exacta del accidente, el área de impacto y su distribución espacial, para ello se utilizaron SIG.

Los mapas de siniestralidad fueron separados en tres diferentes: El mapa mostrado en la figura 4.2 que representa el número total de accidentes en el periodo de 2006-2009, clasificándolos en 5 rangos, para destacar los estados que presentan un número de accidentes mayor a 60. La figura 4.3 muestra la representación geográfica del número de accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos por carretera, donde las carreteras marcadas en rojo son las más críticas en cuanto al número de accidentes registrados en periodo de análisis. En la figura 4.3 se destaca también los principales puertos para identificar aquellas carreteras que pudieran tener cierta conexión puerto-accidente en el transporte con materiales y residuos peligrosos. La figura 4.4 muestra un detalle mas fino de la concentración de accidentes por tramo carretero de vehículos que transportan materiales y residuos peligrosos, donde los tramos marcados en rojo representan la mayor concentración de accidentes en el periodo de estudio.

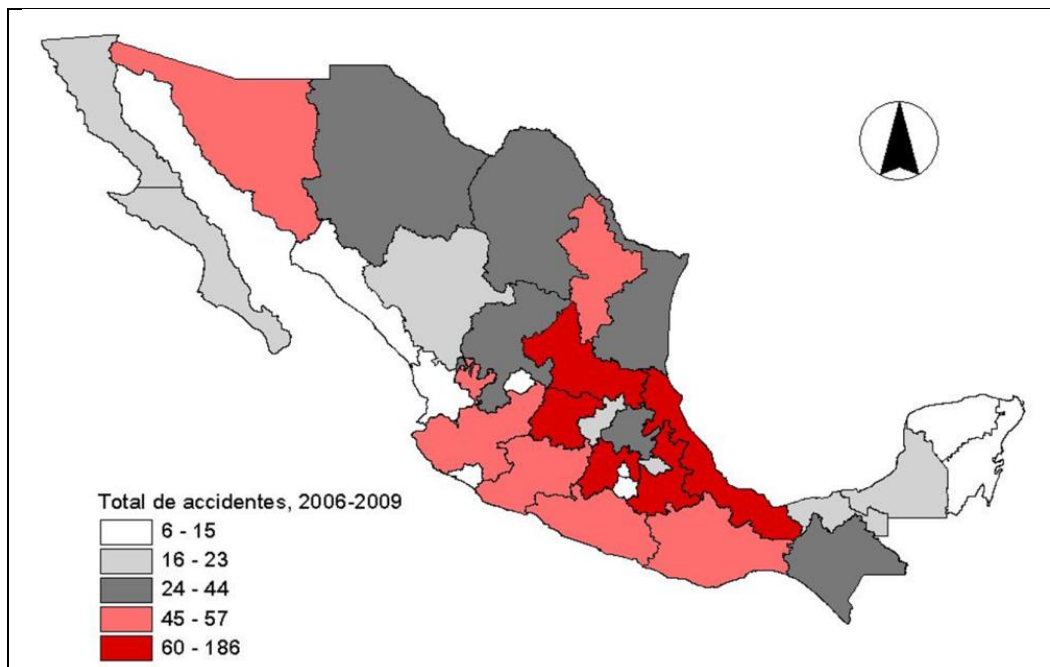


Figura 4.2 Total de accidentes por entidad federativa



Figura 4.3 Total de accidentes por carretera

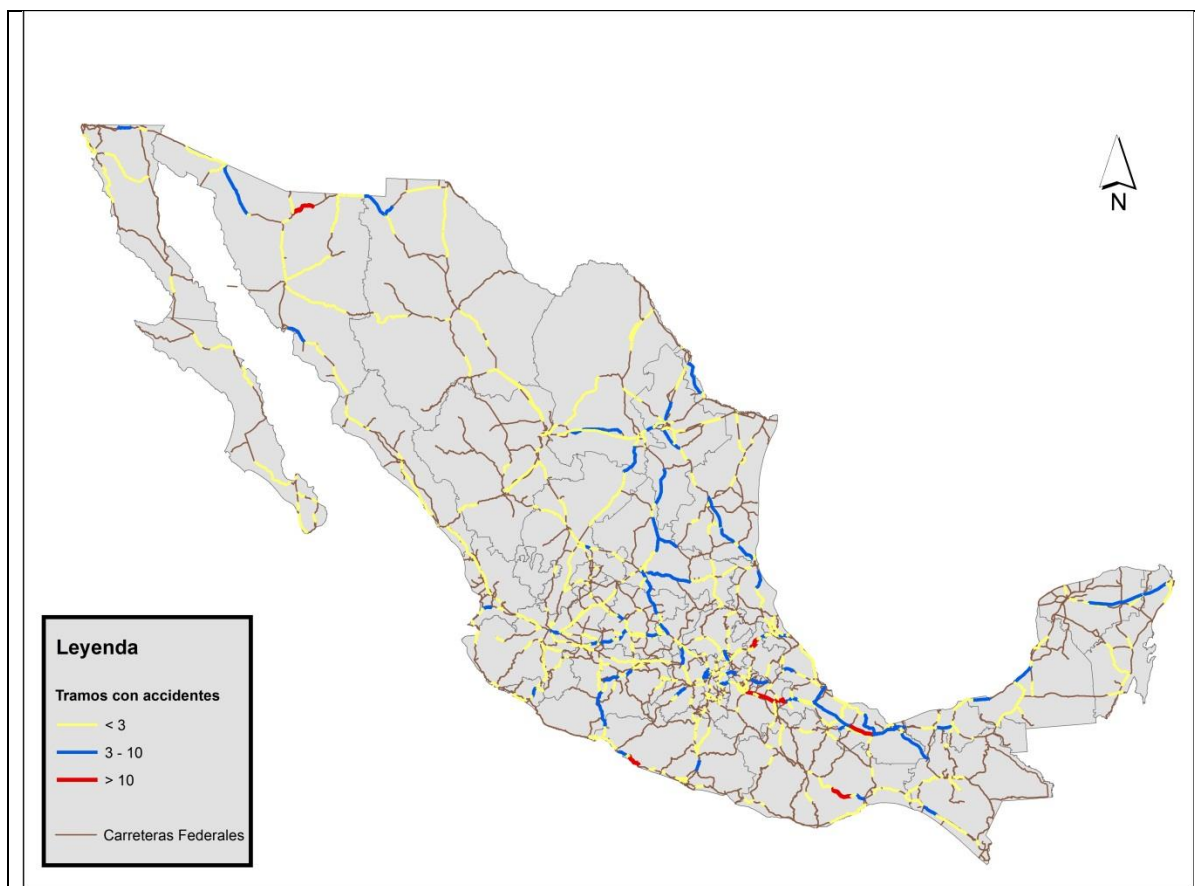


Figura 4.4 Total de accidentes por tramo carretero

4.2 Representación de escenarios críticos de accidentes con transporte de materiales y residuos peligrosos (mapa de peligrosidad)

En el capítulo 3 se determinaron los radios de afectación para cada una de las sustancias transportadas en la red de carreteras en México, modelando los casos críticos para cada evento, y de acuerdo a la capacidad de transportación de cada unidad, camión unitario (C3), camión articulado (T3-S2) y el camión doblemente articulado (T3-S2-R4), en el periodo de 2006-2009.

La figura 4.5 muestra los resultados en dos clasificaciones importantes, para radios menores o mayores a 5km, aunque la escala nacional no permite visualizar las dimensiones de las áreas posibles de afectación.

La figura incluye de los 1192 accidentes registrados en el periodo 2006-2009 con radio de afectación mayor a cero, de un total de 1199 accidentes.

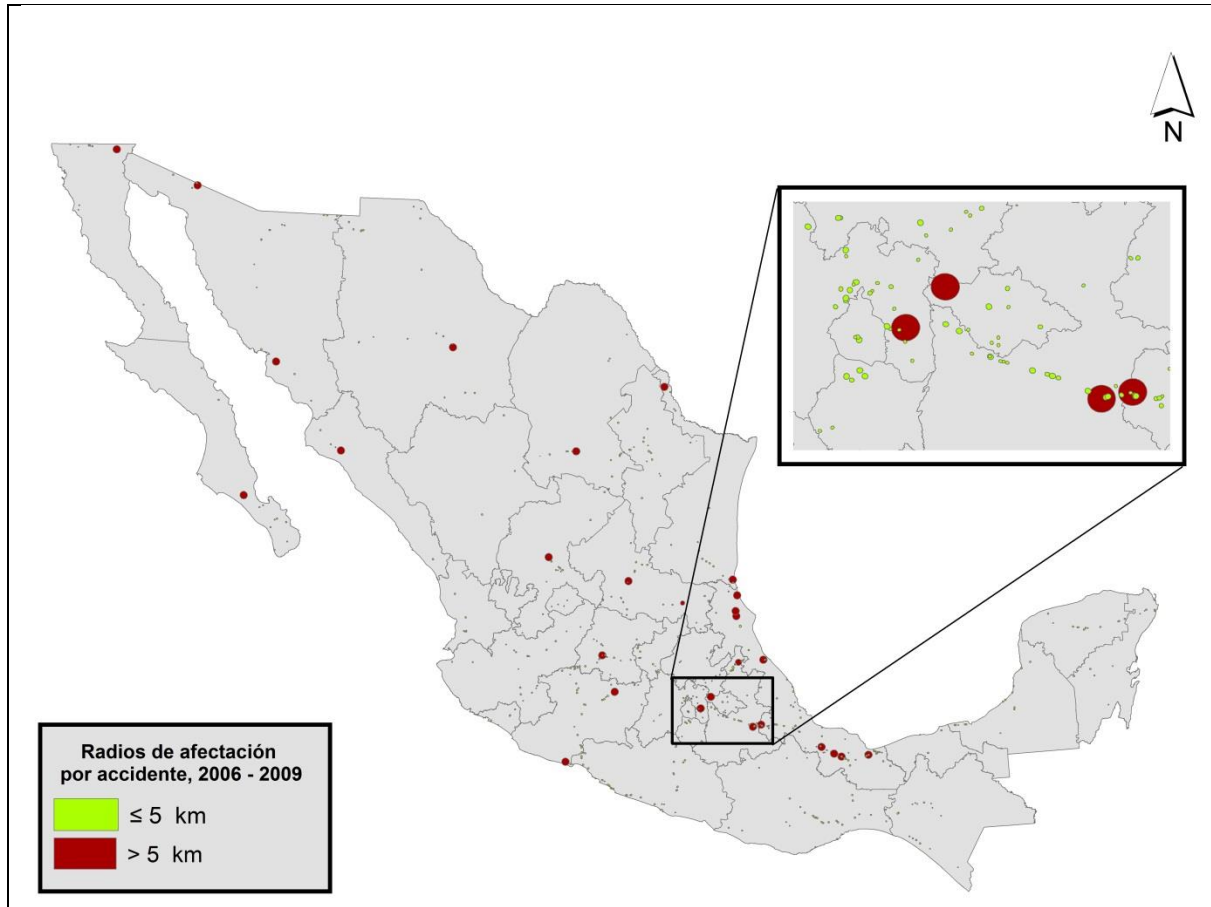


Figura 4.5 Radios de afectación por accidente, 2006-2009

4.3 Representación geográfica de las zonas vulnerables (Mapa de municipios y población)

Para determinar el territorio potencialmente expuesto que se puede ver afectado por un accidente en el transporte de materiales y residuos peligrosos, es necesario zonificar el área sensible y el número de personas que residen en ella, basados en los accidentes registrados y los materiales involucrados en el periodo 2006-2009.

Para ello fue necesario concentrar el número de accidentes por municipio y con ello establecer clases de siniestralidad, como nula, baja (igual a 1 accidente), media (entre 2 y 5 accidentes) y alta (mayor a 5 accidentes). La figura 4.6 muestra el mapa de vulnerabilidad por municipio de la República, donde 457 municipios tienen uno o más accidentes.

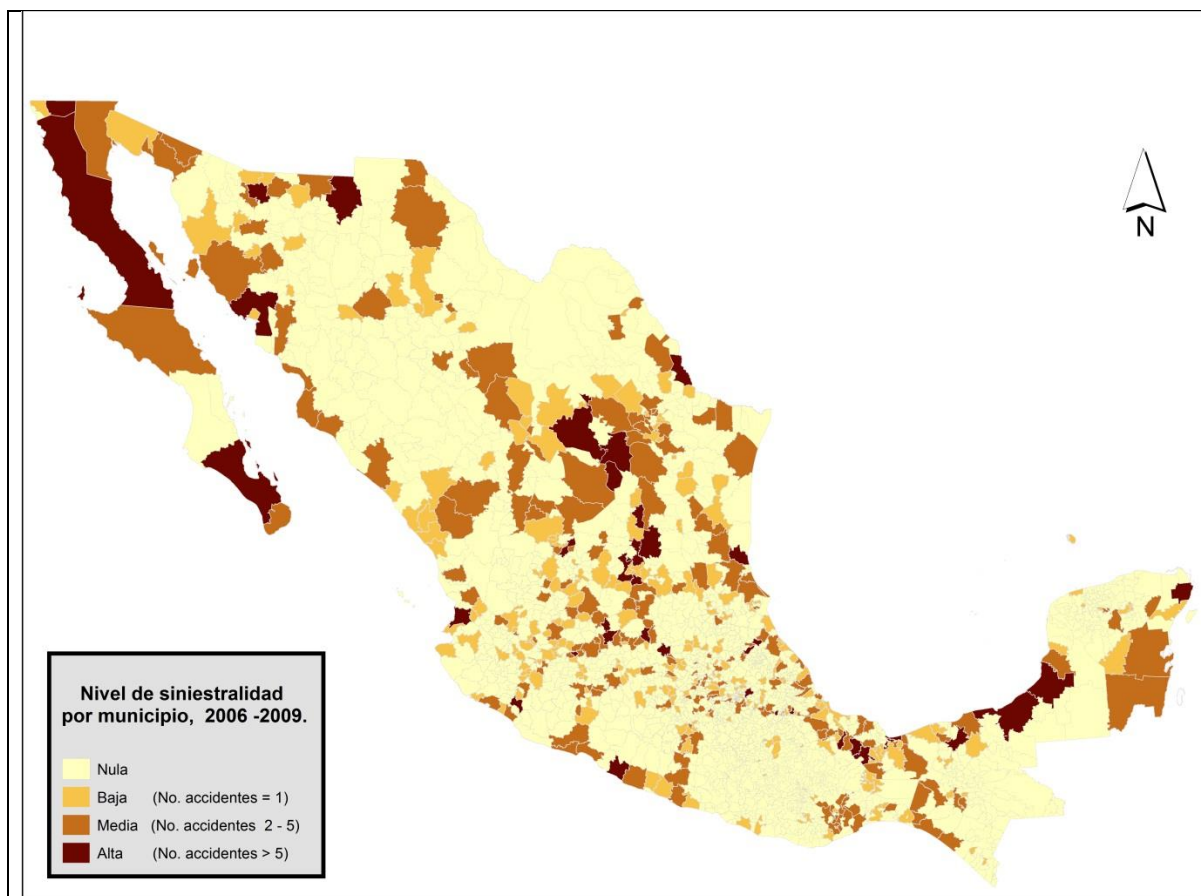


Figura 4.6 Nivel de siniestralidad por municipio, 2006-2009

La tabla 4.1 muestra la lista de los 39 municipios que se obtuvieron con más de seis accidentes dentro de sus límites políticos en las carreteras de jurisdicción federal.

La población vulnerable se obtuvo al cuantificar el número de personas viviendo en ellas, dentro de los radios de afectación mostrados en la figura 4.5, por accidente y por sustancia modelada.

La población vulnerable en los 1,192 accidentes registrados con radio de afectación de 2006-2009 en el transporte de materiales y sustancias peligrosas se presenta en la figura 4.7.

Los resultados muestran que de las 192,244 localidades registradas por el INEGI en México, han estado expuestas alrededor de 4,565 en los 1,192 accidentes en el periodo de 2006-2009, lo cual representa el 2.4% de localidades vulnerables en el país.

En relación a población las 4.565 localidades están conformadas por alrededor de 5'614,946 habitantes según datos del censo de población y vivienda del año 2010.

Esta población vulnerable representa un 4.99% de la población total del país, estimada en el mismo censo en 112'336,538 habitantes.

Tabla 4.1 Estados y municipios con alta siniestralidad en el transporte de materiales y residuos peligrosos, 2006-2009

Entidad	Posición Entidad	Municipio	Accidentes
Veracruz	1	Maltrata	18
		Juan Rodríguez Clara	12
		Cosoleacaque	9
		Coatzacoalcos	8
		Amatlán de los Reyes	7
		San Juan Evangelista	6
		José Azueta	6
Puebla	2	Xicotepec	18
		Venustiano Carranza	6
San Luis Potosí	3	Guadalcázar	14
		San Luis Potosí	8
		Zaragoza	6
		Villa Hidalgo	6
		Matehuala	6
Guanajuato	5	Irapuato	15
		Silao	8
Michoacán	6	Yurécuaro	6
Sonora	8	Imuris	6
		Guaymas	6
Guerrero	10	Petatlán	16
Zacatecas	12	Concepción del Oro	7
		Guadalupe	6
Coahuila	13	Parras	11
		Saltillo	8
Chihuahua	14	Janos	14
Tamaulipas	15	Altamira	9
		Guerrero	6
Campeche	18	Carmen	10
		Champotón	10
Baja California	19	Tecate	12
		Ensenada	8
Querétaro	20	Querétaro	10
		San Juan del Río	6
Tlaxcala	21	Huamantla	6
Baja California Sur	22	La Paz	12
Tabasco	23	Centro	8
Quintana Roo	25	Benito Juárez	6
Colima	27	Colima	6
Nayarit	30	Compostela	6

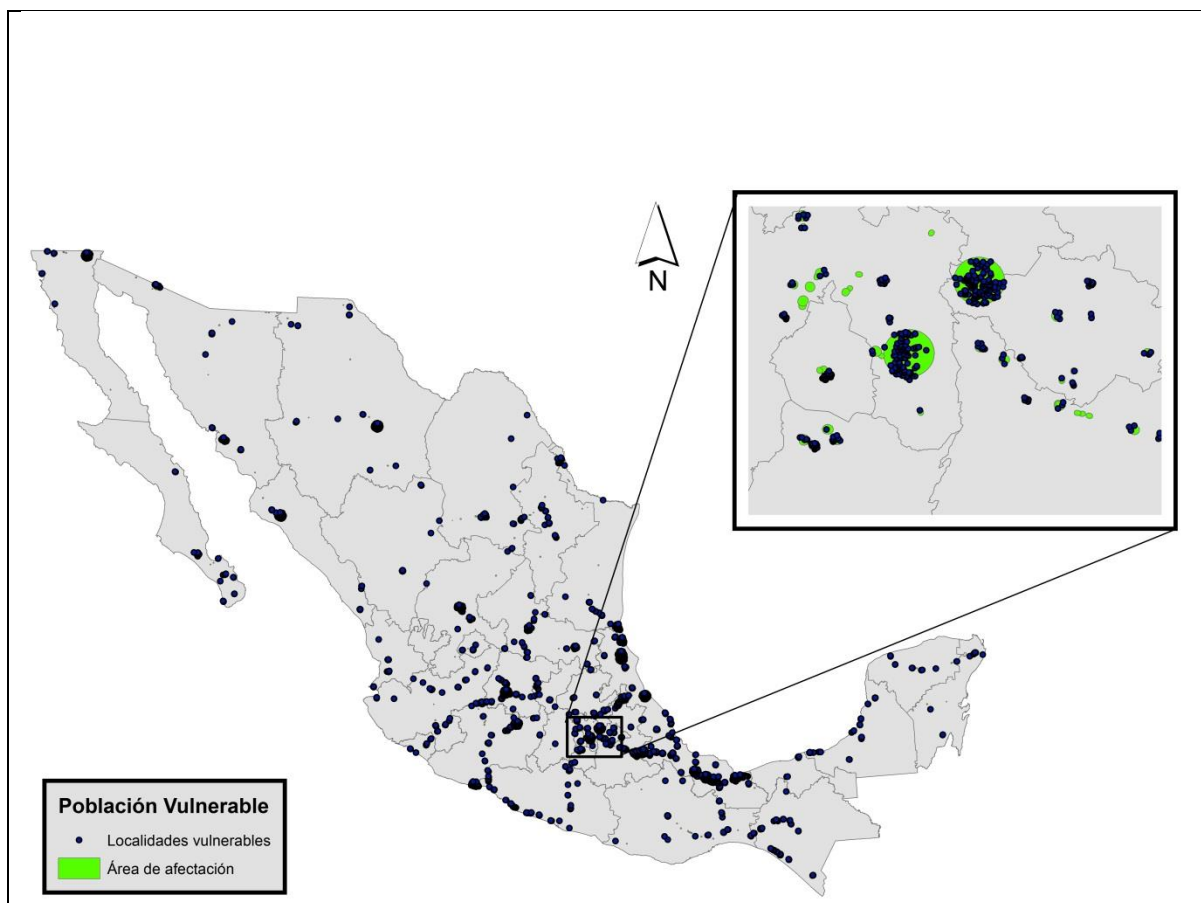


Figura 4.7 Población vulnerable, 2006-2009

4.4 Discusión de resultados

La vulnerabilidad quedó determinada en función de la estadística de accidentes en carreteras federales en el transporte de materiales y residuos peligrosos, en el periodo 2006-2009. Dicha estadística nos permitió identificar las zonas de riesgo en relación a la frecuencia de accidentes ocurridos en la misma carretera o en el mismo municipio. En función de ello se determinaron las zonas vulnerables.

Por otra lado, se estableció el grado de peligrosidad de cada accidente en función del tipo de sustancia que transportaba, definiendo radios de afectación, con ello se identificó la población que se encuentra inmersa en esas zonas y que estuvieron en riesgo de padecer algún tipo de afectación debido a esos accidentes, aunque en la realidad no se tiene registros sobre población afectada o de ecosistemas dañados, o a la infraestructura de transporte afectada.

La identificación de las carreteras vulnerables y sus áreas de influencia permiten establecer zonas de riesgos probables en función de la estadística de siniestralidad, para con ello establecer planes y/o programas de alerta que atiendan posibles consecuencias derivadas de accidentes y sus efectos nocivos.

Los programas de alerta, tendrán el objeto de tener una pronta respuesta para atender una emergencia ambiental en el transporte de materiales y residuos peligrosos y con ello limitar el riesgo a la población, a los ecosistemas y a la infraestructura carretera. Los riesgos son impredecibles, sin embargo, con la información que se tiene disponible es posible determinar planes de contingencias y el establecimiento de puntos de rápida respuesta por parte del personal de protección civil.

La responsabilidad civil de los transportes de materiales y residuos peligrosos podría ampliarse al evaluar los posibles riesgos en función de los escenarios críticos desarrollados en esta investigación, de tal manera que los seguros de daños contemplen correctamente los posibles impactos de un accidente carretero.

Se pudo identificar que a mayor cantidad de sustancia transportada, las zonas vulnerables se incrementan considerablemente hasta un radio de afectación de 10km, por lo que se recomienda revisar para cada sustancia en lo particular los límites máximos que se permitan para el transporte.

Un factor importante a considerar a futuro en la planeación de vías terrestres es la regulación de los usos del suelo aledaños a las carreteras, sobre todo en aquellas vías que se permite el transporte de materiales y residuos peligrosos, con la finalidad de mantener alejadas a las poblaciones. Una discusión particular deberá darse sobre el transporte de dichos materiales a través de carreteras que atraviesan zonas altamente sensibles como las áreas naturales protegidas.

Otro aspecto es la forma de alertar a la población a través de sistemas de aviso para informar acerca de los riesgos a los que están expuestos, las medidas adoptadas para evitarlos o minimizarlos, y las acciones que la población deberá tomar en caso de ser impactada.

En el caso de accidentes, se debe evitar en lo posible la circulación sobre la vía afectada, por lo que deberán existir operativos de respuesta inmediata para desviar el tránsito a rutas alternas, para impedir congestionamientos, evitando que los vehículos con conductores y pasajeros permanezcan en la zona de riesgo totalmente varados.

Los resultados obtenidos permiten a las autoridades correspondientes tener elementos importantes de discusión para mejorar la normativa en relación al transporte de materiales y residuos peligrosos, sobre el análisis de los diferentes materiales que actualmente circulan por las carreteras en relación al impacto a la salud y al medio ambiente que pueden provocar, y por otro lado en relación a las estrategias relacionadas con la respuesta inmediata para mitigar y contener los daños al medio ambiente derivados de los accidentes carreteros.

Conclusiones

La vulnerabilidad de las carreteras debido a la probabilidad de accidentes en el transporte de materiales y sustancias peligrosas es un tema complejo, ya que parte de la premisa de ser eventos poco frecuentes y de forma aleatoria, sin embargo, para su análisis y determinación existen algunas fuentes y herramientas informáticas para determinar las zonas de riesgo.

La información de siniestralidad parte de una fuente confiable como lo es el SAADA, este sistema sólo está conformado por los accidentes registrados en las carreteras federales y reportados a la Policía Federal, excluye entonces por cuestiones administrativas los accidentes que se pudieron haber presentado en zonas urbanas o carreteras estatales, esto significa entonces que el análisis de vulnerabilidad no está basado en la totalidad de las incidencias ambientales, por ello se deben realizar esfuerzos encaminados a desarrollar un sistema integral de siniestralidad, detallada, precisa, confiable y con la totalidad de incidentes que se presenten en el país.

Una futura línea de investigación en relación a la siniestralidad en el transporte de materiales y residuos peligrosos será la determinación de indicadores sobre el tema que permitan realizar comparativas con otros países, o para la generación de políticas dirigidas a la reducción de este tipo de accidentes.

La vulnerabilidad estudiada refleja también en forma focalizada la ocurrencia de accidentes en el periodo 2006-2009, de tal manera que podemos visualizarlos por carretera, por estado o por municipio. De esta manera se pudo obtener las áreas de riesgo y la población expuesta, de acuerdo a los diferentes tipos de sustancia modeladas y que históricamente han sido fuente de un posible impacto. Los resultados podrán determinar las consecuentes políticas o medidas a adoptar para la mitigación de los riesgos y la atención oportuna de los efectos sobre la población, el medio ambiente o la infraestructura carretera. Corresponde a las autoridades utilizar la información de los resultados de esta investigación para implementar y ubicar de manera estratégica las brigadas de atención.

Adicionalmente se deben establecer mecanismos para hacer llegar información a la población vulnerable para su protección y toma de decisiones en el caso de presentarse algún tipo de riesgo derivado de un accidente ambiental.

En relación a las carreteras, la autoridad competente deberá evaluar el impacto que el transporte de materiales y residuos peligrosos puede tener en caso de presentarse un accidente, con la finalidad de proteger la infraestructura y continuar brindando el servicio a los usuarios.

Otras regulaciones tendrán que darse en relación al uso del suelo en las zonas aledañas a las rutas que permiten el transporte de materiales y residuos peligrosos, para evitar asentamientos irregulares o normados para la vivienda, escuelas u otros con alta concentración de personas.

Así mismo se tendrá que trabajar en diseñar rutas especiales para evitar que percances en el transporte de materiales y residuos peligrosos se presente en zonas altamente sensibles o con un alto valor ambiental, como las áreas naturales protegidas, evitando daños posibles a los ecosistemas.

Sobre las rutas será importante diseñar las rutas alternas para cuando se presenten incidencias en las carreteras, evitando los bloqueos en las arterias viales, demoras, pérdidas de horas-hombre, así como tiempos de exposición en las zonas aledañas a los incidentes con vehículos varados con ocupantes.

Podría ser importante tener información sobre los orígenes y destino de los materiales y residuos peligrosos, conociendo datos como la cantidad transportada, empresas involucradas, la sustancia transportada, para modelar corredores específicos para estos materiales, de tal manera que el análisis de vulnerabilidad pudiera ser más fino.

El modo ferroviario también tiene su aportación en el transporte de materiales y residuos peligrosos por lo que se deben realizar en un futuro el seguimiento a las incidencias y los efectos al medio ambiente que ocasionan, aunque por el momento no se tiene información disponible al respecto.

El uso de modelos para representar la peligrosidad de las sustancias no necesariamente refleja las condiciones particulares de cada lugar, por lo que hacer un análisis más fino representa una oportunidad de investigación en las diferentes regiones del país, ya que un incidente no tiene los mismos efectos en la península de Yucatán, que en la península de Baja California, por ejemplo.

Es importante recalcar que de ninguna manera este trabajo representa una señal de alerta que refleje un peligro potencial en el transporte de materiales y residuos peligrosos. El único objetivo es el manejo de la información histórica en el tema, presentar los resultados en tablas y graficas modeladas a través de SIG con el fin de diseñar mejores estrategias para este tipo de transporte.

Se espera que el presente trabajo motive a continuar con investigaciones relacionadas con el tema, así como coadyuve a la toma de decisiones en la materia para mejorar el servicio de éste tipo de transporte en un marco regulatorio moderno, orientado a la eficiencia del transporte y los requerimientos de la industria y usuarios, pero que también tenga un enfoque preventivo para evitar los impactos ambientales y a la salud de las personas.

En esencia, se espera que el sector transporte mantenga la tendencia mundial de ser cada vez más eficiente, sustentable y más seguro. Mayor seguridad en las carreteras y caminos se traducen en mejoras socio-económicas y una óptima protección del medio ambiente, con el objetivo de continuar con el ritmo del crecimiento económico y del desarrollo del país.

En la medida que como país se sigan optando por compromisos donde se evidencié la responsabilidad en materia de protección ambiental, será el ritmo en que estas medidas pueden verse reflejadas en proyectos de infraestructura carretera sustentable en México.

Bibliografía

Diario Oficial de la Federación. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SCT/2003* Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. México, DF. 03 de Diciembre de 2003

Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), *Bases de datos generadas en el sistema SAADA-2008 de los accidentes ocurridos en 2008 en la Red Carretera Federal*, México 2009.

Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), *Bases de datos generadas en el sistema SAADA-2007 de los accidentes ocurridos en 2007 en la Red Carretera Federal*, México 2008.

Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), *Bases de datos generadas en el sistema SAADA-2006 de los accidentes ocurridos en 2006 en la Red Carretera Federal*, México 2007.

Environmental Protection Agency. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), *ALOHA User Manual*, USA 2007. [AUM 2007]

Federal Emergency Management Agency, U. S. Department of Transportation and U.S. Environmental Protection Agency (EPA); *Handbook of Chemical Hazards Analysis Procedures*. USA. EPA 1997 [HCHAP 1997]

Instituto Mexicano del Transporte. *Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes SAADA*, México 2006-2009. [SAADA]

Instituto Nacional de Ecología (INE)-SEMARNAP. *Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria*. México, DF. (1997) [SEMARNAT-INE 1997]

Jonh H. Sienfeld. *Contaminación Atmosférica Fundamentos Físicos y Químicos*, Instituto de Tecnología. Mc Graw Hill. USA 1975.

Junta de Extremadura. Plan especial de protección civil de la comunidad autónoma de Extremadura sobre transportes de mercancías peligrosas por carreteras y ferrocarril. España, 2006.

Kenneth Wark. *Contaminación del Aire Origen y Control*, Universidad de Purdue. Limusa, México 1992.

Noel de Nevers. *Ingeniería De Control De La Contaminación Del Aire*, Mc Graw Hill. México 1997.

Procuraduría de Protección al Ambiente. *Datos de Emergencias Ambientales 2006-2009* CD IMT 31-10-2011, México, DF (2011)

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Reglamento para el Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos*, Artículo 2º, Diario Oficial de Federación, México 7 de Abril de 1993 y reformas del 28 de Noviembre de 2006. [RTMP, 2006]

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Estadística básica del autotransporte federal*. México, DF. (2010) [SCT, 2010]

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* Capítulo 1º, Artículo 3º fracción XXIII. Diario Oficial de la Federación, México 28 de Enero de 1988 y reformas del 13 de Diciembre de 1996. [LGEEPA 1996]

Secretaría de Salud. *Ley General de Salud*. Capítulo XII, Artículo 278 fracciones III y IV. Diario Oficial de la Federación, México 7 de Febrero de 1984. [LGS 1984]

Unidades generales de Servicios Técnicos (UGST) y Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), *Bases de datos generadas en el sistema SAADA-2009 de los accidentes ocurridos en 2009 en la Red Carretera Federal*, México 2010.

Ligas de Internet:

<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/207/1/mx/emergencias.html>

[PROFEPA 2011]

<http://smn.cna.gob.mx/> [SMN]

CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671



**INSTITUTO
MEXICANO DE
TRANSPORTE**

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx

