



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS,
INGENIERÍA Y MEDICINA**

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS
DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL
RIESGO AMBIENTAL DEBIDO AL MANEJO DE MATERIALES
PELIGROSOS EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ**

PRESENTA:

M.C. CLAUDIA YAZMÍN ORTEGA MONTOYA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALFREDO ÁVILA GALARZA

ASESORES:

DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

DR. ISRAEL RAZO SOTO

AGOSTO DE 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS,
INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS
DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL
RIESGO AMBIENTAL DEBIDO AL MANEJO DE MATERIALES
PELIGROSOS EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ**

PRESENTA:

M.C. CLAUDIA YAZMÍN ORTEGA MONTOYA

COMITÉ TUTELAR:

DIRECTOR: DR. ALFREDO ÁVILA GALARZA

ASESOR: DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

ASESOR: DR. ISRAEL RAZO SOTO

SINODALES:

PRESIDENTE: DR. ALFREDO ÁVILA GALARZA

SECRETARIO: DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

VOCAL: DR. ISRAEL RAZO SOTO

VOCAL: DRA. ANA CRISTINA CUBILLAS TEJEDA

VOCAL: DR. GUILLERMO VELASCO MARTÍNEZ

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

**PROYECTO REALIZADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
(CIEP) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS
POTOSÍ**

AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 230664

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS
DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL
RIESGO AMBIENTAL DEBIDO AL MANEJO DE MATERIALES
PELIGROSOS EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

M.C. CLAUDIA YAZMÍN ORTEGA MONTOYA

Descargo

La información contenida en el presente trabajo de investigación debe ser usada de manera integral. La autora de esta tesis y su director no se hacen responsables del uso que terceras personas puedan hacer de los contenidos de este documento.

CONTENIDO	
INTRODUCCIÓN.	1
CONTEXTO DE ANÁLISIS.	1
PROBLEMA DE ESTUDIO.	6
OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.	7
ESTRUCTURA DE LA TESIS.	8
CAPÍTULO 1. RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A FENÓMENOS QUÍMICO TECNOLÓGICOS.	9
1.1. FENÓMENO QUÍMICO TECNOLÓGICO.	9
1.1.1 INCENDIOS.	9
1.1.2 EXPLOSIONES.	11
1.1.3 LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS.	12
1.1.4 COMBINACIÓN DE FENÓMENOS QUÍMICOS.	14
1.2. ASPECTOS AMBIENTALES DE LOS ACCIDENTES CON SUSTANCIAS PELIGROSAS.	15
1.3. ANÁLISIS DE ACCIDENTES QUÍMICO-TECNOLÓGICOS A NIVEL MUNDIAL.	18
1.4. EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS.	20
1.4.1. IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO.	21
1.4.2. CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO.	22
1.4.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.	23
1.4.3.1. LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS.	24
1.4.3.2. INCENDIOS.	25
1.4.3.3. EXPLOSIONES.	25
1.4.4. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO.	25
1.4.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO.	26
1.4.6. CONTROL DE LA EMISIÓN Y EXPOSICIÓN.	27
1.4.7. MONITOREO DEL RIESGO.	28
1.5. LA GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO.	28
1.6. INCERTIDUMBRES Y ÁREAS DE OPORTUNIDAD DE LA GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO.	29
1.6.1. FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA EVALUACIÓN DE RIESGO.	30
1.7. ESTADO DEL ARTE DE LA MODELACIÓN DE ACCIDENTES EN CARRETERA.	32
CAPITULO 2 GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL Y EN MÉXICO.	37
2.1. INSTRUMENTOS INTERNACIONALES PARA LA GESTIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS.	37
2.2. NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES INDUSTRIALES MAYORES.	42
2.3. GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO EN MÉXICO.	44
2.3.1. INSTRUMENTOS REGULATORIOS MEXICANOS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.	46
2.3.2. DISTRIBUCIÓN DE COMPETENCIAS EN LA REGULACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.	48

2.3.3.	ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.	48
2.3.3.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.	48
2.3.3.2.	REGULACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.	50
2.3.4.	ACTIVIDADES DE RIESGO ESTATALES.	51
2.4.	MARCO LEGISLATIVO INTERNACIONAL PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS.	51
2.5.	MARCO LEGISLATIVO MEXICANO PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE.	53
	CAPITULO 3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN MÉXICO.	58
3.1.	ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN MATERIA RIESGO AMBIENTAL EN LOS ÁMBITOS FEDERAL Y ESTATAL.	58
3.1.1.	ANÁLISIS DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO FEDERAL.	58
3.1.2.	ANÁLISIS DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO ESTATAL.	60
3.2.	CASO DE ESTUDIO: RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A ACTIVIDADES DE RIESGO Y AL TRANSPORTE TERRESTRE EN SAN LUIS POTOSÍ.	63
3.2.1.	ACTIVIDADES DE RIESGO.	63
	CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN MATERIA RIESGO AMBIENTAL EN LOS ÁMBITOS FEDERAL Y ESTATAL EN MÉXICO.	66
4.1.	COMPARATIVA INTERNACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DE LOS ACCIDENTES INDUSTRIALES MAYORES.	66
4.2.	ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS EN MÉXICO.	70
4.2.1.	CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL PARA LAS ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.	70
4.2.2.	CARACTERÍSTICAS DE LAS ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS EN MÉXICO.	73
4.3.	RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO ESTATAL EN MÉXICO.	77
4.3.1.	PRINCIPIOS QUE DEFINEN LAS ACTIVIDADES RIESGOSAS.	77
4.3.2.	GESTIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO ESTATAL.	79
4.3.3.	NÚMERO DE AUTORIZACIONES EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL.	80
4.4.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL EN LOS ÁMBITOS FEDERAL Y ESTATAL EN MÉXICO.	81
	CAPITULO 5. CASO DE ESTUDIO: RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A ACTIVIDADES DEL ÁMBITO ESTATAL EN SAN LUIS POTOSÍ.	83
5.1.	EMPRESAS DE ALTO RIESGO EN SAN LUIS POTOSÍ.	83
5.2.	EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN ACTIVIDADES DE COMPETENCIA ESTATAL EN SAN LUIS POTOSÍ.	85
5.2.1.	LEGISLACIÓN EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL EN SAN LUIS POTOSÍ.	85
5.2.2.	UNIVERSO DE EMPRESAS RIESGOSAS EN SAN LUIS POTOSÍ, SLP.	87
5.2.3.	CUMPLIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN GIROS ECONÓMICOS RELEVANTES.	88
5.2.4.	CALIDAD DE ESTUDIOS DE RIESGO Y PPA	91

5.2.5. ANÁLISIS DE FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS DE SEGAM.	94
5.3. RESULTADOS DEL RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A ACTIVIDADES DEL ÁMBITO ESTATAL EN SAN LUIS POTOSÍ.	95
CAPÍTULO 6. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.	97
6.1. ORGANIZACIÓN DE DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES PARA GESTIÓN EFECTIVA DEL RIESGO.	97
6.2. RECOMENDACIONES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE RIESGO.	98
6.3. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN EFECTIVA DEL RIESGO AMBIENTAL.	100
6.4. ESTUDIO DE CASO DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE PEMEX EN SAN LUIS POTOSÍ.	106
6.5. CASO DE ESTUDIO: TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS EN SAN LUIS POTOSÍ.	107
6.5.1. SIMULACIÓN DE ACCIDENTES HISTÓRICOS.	108
6.5.1.1. EXPLOSIÓN DE UNA MASA DE TNT.	108
6.5.1.2. EXPLOSIÓN DE UNA NUBE INFLAMABLE.	108
6.5.1.3. COMBUSTIÓN DESDE DERRAME.	109
6.5.1.4. EMISIÓN DE CHORRO HORIZONTAL PARA SUSTANCIAS TÓXICAS.	110
6.5.2. ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE LIBERACIÓN EN EL TRAMO SAN LUIS POTOSÍ- SANTA MARÍA DEL RÍO.	111
6.5.2.1. ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE LOS ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE LIBERACIÓN.	113
6.5.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN EL TRAMO SAN LUIS POTOSÍ - SANTA MARÍA DEL RÍO.	113
CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS AL EXTERIOR EN ACTIVIDADES RIESGOSAS Y EL TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS.	115
7.1. ESCENARIOS ALTERNATIVOS PARA ESTACIONES DE SERVICIO EN SAN LUIS POTOSÍ.	115
7.1.1. ANÁLISIS HISTÓRICO DE EVENTOS.	115
7.1.2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS AL EXTERIOR.	116
7.1.2.1. COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGOS CON OTRAS REFERENCIAS.	118
7.1.2.2. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPUESTOS.	118
7.1.2.3. RESULTADOS DEL NIVEL DE RIESGO EN LAS ESTACIONES DE SERVICIO.	120
7.1.3. REGULACIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.	121
7.1.3.1. RESTRICCIONES DE LOS PREDIOS.	121
7.1.3.2. MANUAL DE ESTACIONES DE SERVICIO DE PEMEX.	123

7.1.3.3.	VISITAS COMERCIALES DE SUPERVISIÓN TÉCNICA POR TERCERÍAS.	123
7.1.3.4.	PROYECTO DE NORMA PROY-NOM-124-ECOL-1999.	124
7.1.4.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS AL EXTERIOR PARA ESTACIONES DE SERVICIO.	125
7.2.	CASO DE ESTUDIO: TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN SAN LUIS POTOSÍ.	126
7.2.1.	ANÁLISIS DE EMERGENCIAS AMBIENTALES EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS.	126
7.2.2.	ESTUDIO SOBRE VULNERABILIDAD EN CARRETERAS FEDERALES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.	129
7.2.3.	SIMULACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS AL EXTERIOR EN ACCIDENTES HISTÓRICOS OCURRIDOS DURANTE EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS.	132
7.2.3.1.	MODELO DE EXPLOSIÓN DE UNA MASA DE TNT.	132
7.2.3.2.	SOBREPRESIÓN PROVOCADA POR NUBES EXPLOSIVAS.	134
7.2.3.3.	MODELO DE COMBUSTIÓN DESDE DERRAME.	135
7.2.3.4.	MODELO DE EMISIÓN DE CHORRO HORIZONTAL.	136
7.2.4.	MODELACIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS.	138
7.2.5.	ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE LOS ESCENARIOS MODELADOS EN LA CARRETERA FEDERAL NO. 57 TRAMO SAN LUIS POTOSÍ-SANTA MARÍA DEL RÍO.	142
7.2.5.1.	AFECTACIONES POR SUSTANCIAS INFLAMABLES.	142
7.2.5.2.	AFECTACIONES POR SUSTANCIAS TÓXICAS.	144
7.2.6.	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL.	148
7.2.7.	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL.	148
7.3.	RESULTADOS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN SAN LUIS POTOSÍ.	149
	CAPÍTULO 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	151
	CONCLUSIONES.	158
	REFERENCIAS	161
	ANEXO 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	170
	ANEXO 2. REPORTE DE VISITA COMERCIAL DE SUPERVISIÓN TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PARA ESTACIONES DE SERVICIO DE PEMEX.	174
	ANEXO 3. HAZOP ESTACIONES DE SERVICIO	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Criterios de clasificación de sustancias inflamables y combustibles según la NFPA.	10
Tabla 1.2.	Tipos de sustancias tóxicas.	13
Tabla 1.3.	Propiedades físicas y químicas que hacen riesgosas a las sustancias químicas.	16
Tabla 2.1.	Definiciones relativas a las sustancias químicas peligrosas en la legislación mexicana.	45
Tabla 2.2.	Dependencias del gobierno federal encargadas de regular diversos aspectos de las sustancias químicas peligrosas.	46
Tabla 2.3.	Organizaciones y acuerdos internacionales para el control de las sustancias químicas peligrosas en México.	47
Tabla 3.1.	Datos de la solicitud de información pública realizada a SEMARNAT.	59
Tabla 3.2.	Legislaciones ambientales estatales en materia de riesgo.	61
Tabla 4.1.	Bases internacionales para la categorización y la clasificación de las actividades riesgosas.	67
Tabla 4.2.	Evolución de las sustancias reguladas en la normativa SEVESO.	68
Tabla 4.3.	Categorías de peligrosidad empleadas para clasificar las actividades sujetas a regulación de la directiva SEVESO III.	69
Tabla 4.4.	Métodos aceptados para la identificación de peligros y jerarquización de riesgos dependiendo del nivel del estudio de riesgo ambiental en México.	72
Tabla 4.5.	Límites de exposición para la identificación de zonas de seguridad en los estudios de riesgo ambiental.	73
Tabla 4.6.	Giros relevantes de las actividades altamente riesgosas en México.	74
Tabla 4.7.	Comparativa entre actividades del DENUe y base de datos de actividades altamente riesgosas.	76
Tabla 5.1.	Universo de empresas de riesgo en San Luis Potosí, SLP.	88
Tabla 5.2.	Actividades de riesgo estatal relevantes en San Luis Potosí.	91
Tabla 5.3.	Análisis FODA de SEGAM en relación al riesgo ambiental.	95
Tabla 6.1.	Nivel de frecuencia de los escenarios de riesgo.	104
Tabla 6.2.	Clasificación de las consecuencias de los escenarios de riesgo.	104
Tabla 6.3.	Datos de entrada utilizados en la determinación de consecuencias al exterior de las estaciones de servicio.	107
Tabla 6.4.	Factor de eficiencia de sustancias explosivas modeladas.	108
Tabla 6.5.	Sustancias inflamables modeladas en el escenario de explosión de nubes de vapor inflamables.	109
Tabla 6.6.	Parámetros de emisión modelados.	110
Tabla 6.7.	Parámetros de flujo y concentraciones de interés modeladas.	111
Tabla 6.8.	Escenarios meteorológicos modelados.	112
Tabla 6.9.	Dimensiones e indicadores que constituyen al índice de marginación urbana por AGEb 2010	114

CONTINUACIÓN DEL ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1.	Resultados de las simulaciones para los dos escenarios de incendio de gasolina.	117
Tabla 7.2.	Localización de las estaciones de servicio conforme a grado de marginación social.	118
Tabla 7.3.	Nivel de riesgo del escenario modelado para las estaciones de servicio.	121
Tabla 7.4.	Resultados de simulación del modelo de equivalencias del TNT.	134
Tabla 7.5.	Resultados del modelo de sobrepresión de nubes explosivas.	135
Tabla 7.6.	Resultado del modelo de combustión desde derrame.	136
Tabla 7.7.	Resultado del modelo de chorro horizontal.	137
Tabla 7.8.	Radios de afectación modelados para sustancias inflamables.	140
Tabla 7.9.	Radios de afectación modelados para sustancias tóxicas.	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo de vida de las sustancias químicas.	2
Figura 1.1.	Posibles peligros de las sustancias químicas con consecuencias no mutuamente excluyentes	15
Figura 1.2.	Tipos de procesos físico químicos en el ambiente. Las flechas indican las principales interacciones entre las diferentes interfaces ambientales.	17
Figura 1.3.	Destino y reacciones de las sustancias en los organismos y pruebas para determinar exposición y efectos.	18
Figura 1.4.	Elementos de la gestión de los riesgos.	29
Figura 3.1.	Análisis del riesgo ambiental en el ámbito federal.	58
Figura 3.2.	Análisis del riesgo ambiental de competencia estatal.	60
Figura 3.3.	Análisis de la evaluación del riesgo ambiental en San Luis Potosí.	64
Figura 4.1.	Sustancias químicas peligrosas tóxicas, inflamables y explosivas utilizadas para categorizar las actividades de riesgo en el ámbito internacional.	68
Figura 4.2.	Niveles para la elaboración del estudio de riesgo ambiental.	71
Figura 4.3.	Localización de las actividades altamente riesgosas en México.	73
Figura 4.4.	Entidades federativas donde se ubican más de 50 actividades altamente riesgosas de PEMEX.	74
Figura 4.5.	Criterios para la definición de las actividades de riesgo de competencia estatal al interior de las entidades federativas.	78
Figura 4.6.	Procedimiento para la autorización en materia de riesgo ambiental en las entidades federativas.	80
Figura 4.7.	Número de autorizaciones en materia de riesgo ambiental por entidad federativa.	81
Figura 5.1.	Número de actividades altamente riesgosas en San Luis Potosí por giro.	83
Figura 5.2.	Ubicación de las actividades altamente riesgosas en el estado de San Luis Potosí.	84
Figura 5.3.	Localización de las empresas de alto riesgo al interior de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.	85
Figura 5.4.	Localización de las empresas que reportaron COA's estatales en el año 2009 y 2010.	90
Figura 5.5.	Localización de las empresas que sometieron a evaluación sus estudios de riesgo y programas para la prevención de accidentes ante SEGAM en los años 2008 y 2010.	92
Figura 5.6.	Sustancias químicas peligrosas que motivaron los estudios de riesgo y los programas para la prevención de accidentes en los años 2008 y 2010.	92
Figura 6.1.	Vinculación propuesta entre organismos responsables de la prevención y respuesta ante emergencias.	98
Figura 6.2.	Modificaciones a la evaluación del riesgo ambiental.	101
Figura 6.3.	Matriz de riesgo establecida por el sistema ARAMIS.	105
Figura 7.1.	Fotografías de los incendios en las estaciones de servicio localizadas en Ghana y España.	116
Figura 7.2.	Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.	119

CONTINUACIÓN DEL ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7.3.	Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para el municipio de Matehuala.	119
Figura 7.4.	Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para los municipios de Río Verde y Ciudad Fernández.	120
Figura 7.5.	Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para el municipio de Ciudad Valles.	120
Figura 7.6.	Distribución de los accidentes ambientales dentro de las zonas del estado de San Luis Potosí (2000-2010).	126
Figura 7.7.	Materiales peligrosos involucrados en las emergencias ambientales del periodo 2000-2010. Elaboración propia a partir de PROFEPA, 2011 y fuentes de comunicación impresas.	127
Figura 7.8.	Ubicación de accidentes en la Zona Centro del estado. Elaboración propia.	128
Figura 7.9.	Ubicación de accidentes en la ciudad de San Luis Potosí. Elaboración propia.	128
Figura 7.10.	Causas principales de los accidentes analizados.	129
Figura 7.11.	Causas de los accidentes con materiales peligrosos en San Luis Potosí (2007-2009).	130
Figura 7.12.	Materiales peligrosos que participaron en accidentes en San Luis Potosí (2007-2009).	131
Figura 7.13.	Tramos carreteros que reportaron cinco o más accidentes con materiales y residuos peligrosos en el periodo 2006-2009.	132
Figura 7.14.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de combustión de gasolina y diésel.	143
Figura 7.15.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de combustión de gas LP.	144
Figura 7.16.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de derrame de ácido sulfúrico en accidentes con transportes unitarios.	145
Figura 7.17.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de derrame de ácido sulfúrico en accidentes con transportes articulados.	145
Figura 7.18.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de fuga de amoniaco en accidentes con transportes unitarios.	146
Figura 7.19.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de fuga de amoniaco en accidentes con transporte unitario y condiciones críticas; y transporte articulado con condiciones promedio.	147
Figura 7.20.	Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de fuga de amoniaco en accidentes con transporte articulado y condiciones críticas.	147
Figura 7.21.	Grado de marginación urbana de la CONAPO 2010 de las comunidades expuestas ante riesgos químicos 1) San Luis Potosí y 2) Santa María del Río.	148
Figura 7.22.	Zonas de alto riesgo con mayores radios de afectación de la liberación de amoniaco, ácido sulfúrico y su potencial de afectación en áreas naturales protegidas.	149

INTRODUCCIÓN.

CONTEXTO DE ANÁLISIS.

Las sustancias químicas han contribuido a elevar la calidad de vida de la sociedad a través del uso generalizado de productos como es el caso de combustibles, fertilizantes, pesticidas, plásticos, fármacos y solventes. Sin embargo, estas sustancias también pueden poseer características reactivas, explosivas, corrosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas, con la capacidad de ocasionar enfermedad, lesión o muerte a las personas y a otros organismos, además de daño a las propiedades y/o al ambiente (DOE, 2004; Cheremisnoff & Graffia, 1995).

Las sustancias químicas peligrosas se generan por la acción de la naturaleza, así como por las actividades y síntesis de sustancias químicas realizadas por el hombre. Para dimensionar la problemática relativa al universo de sustancias químicas, la Sociedad Norteamericana de Química, por medio de su Servicio de Resúmenes Químicos (CAS), tiene registro de más de 85 millones de sustancias químicas. De este total, la organización reporta que más de 71 millones se encuentran disponibles comercialmente y que existen 309 000 sustancias químicas peligrosas que están dentro de algún inventario para su regulación a nivel mundial (ASC, 2011). Por su parte, la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD) indica que aproximadamente 4 mil sustancias químicas se producen en grandes volúmenes (OCDE, 2009), pero sólo 40 de ellas se encuentran sujetas al control internacional de exportaciones, mediante el consentimiento fundamentado previo (UNEP, 2010).

Las directivas internacionales principales, encaminadas al control de las sustancias químicas incluyen: al Convenio de Basilea, relativo al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos; al Convenio de Rotterdam, que se centra en los plaguicidas y productos químicos altamente tóxicos (objeto del control internacional de importaciones); y al convenio de Estocolmo, que regula los contaminantes químicos persistentes (UNEP, 2004).

El ciclo de vida de las sustancias químicas peligrosas en el sector industrial inicia con la producción de las mismas mediante procesos de extracción, síntesis, formulación y reciclado (Cortinas, 2000). Una vez producidas las sustancias químicas se transportan y almacenan en las industrias, con el fin usarse como materias primas de otros productos químicos o utilizarse directamente en la

fabricación de productos. Posteriormente, las sustancias químicas se integran a los productos de consumo y se transportan hasta los puntos de venta para ser adquiridos y usados por los consumidores. Cuando estos productos son usados se generan residuos peligrosos debido a que las características de peligrosidad se transfieren a los envases y materiales que estuvieron en contacto con el producto. Después, los residuos peligrosos se transportan para ser sujetos de tratamiento y/o disposición final, de manera que no representen una fuente de peligro para el ambiente y la salud humana (Figura 1).

La exposición humana ante las sustancias químicas peligrosas puede generarse en el ambiente laboral en cualquier etapa del ciclo de vida de las mismas o tener lugar fuera de las industrias, mediante el contacto con el agua residual, las emisiones atmosféricas y/o los residuos peligrosos; o durante el uso de los productos de consumo (Dalle, Romano, & Vega, 2009). Además, el contacto con las sustancias químicas también se puede generar como resultado de eventos accidentales que causen la liberación de dichas sustancias al ambiente.



FUENTE: Modificación a Cortinas (2000).

Figura 1. Ciclo de vida de las sustancias químicas.

Una vez emitidas en el ambiente, las sustancias químicas generan mezclas y nuevas reacciones químicas como resultado de su interacción, con efectos difícilmente predecibles en su conjunto. De esta forma, las sustancias químicas peligrosas pueden contaminar los elementos del ambiente e incluso entrar a las cadenas tróficas, pudiendo ser objeto de bioacumulación o biomagnificación en los organismos vivos (Dalle, Romano & Vega, 2009).

La Organización Mundial de la Salud estimó que para el año 2004, la exposición ambiental ante sustancias químicas fue responsable de 4,9 millones de muertes y

86 millones de años de vida ajustados por discapacidad, siendo que las principales causas son el humo en interiores ocasionado por combustibles sólidos, la contaminación atmosférica y el humo de tabaco de segunda mano, seguidos por las partículas en exposiciones ocupacionales y sustancias químicas en intoxicaciones agudas y pesticidas (Prüss-Ustün, Vickers, Haefliger, & Bertollini, 2011).

Las rutas de entrada de las sustancias químicas peligrosas a los seres humanos, plantas y animales pueden ser por vía oral, dérmica o respiratoria, y dependiendo de las características del contacto, la exposición se caracteriza como aguda o crónica. Las exposiciones agudas implican contactos individuales con las sustancias químicas por periodos cortos de tiempo, mientras que las exposiciones crónicas tienen lugar por periodos más prolongados y usualmente son contactos repetidos con sustancias químicas en cantidades bajas. Los efectos de las exposiciones agudas pueden aparecer en forma inmediata, a diferencia de las exposiciones crónicas, cuyos efectos toman largos periodos de tiempo en desarrollarse (EPA, 2011).

Dentro del amplio escenario del ciclo de vida de las sustancias químicas y los diferentes tipos de exposiciones ante las mismas, este trabajo de investigación se centra en los accidentes industriales mayores, que se definen como un suceso inesperado y súbito, resultante de acontecimientos anormales durante una actividad industrial, que supone un peligro grave para los trabajadores, la población o el ambiente, sea inminente o no, dentro o fuera de la instalación, y en el que intervienen una o más sustancias peligrosas (OIT, 1991).

Los accidentes químicos asociados con las sustancias químicas peligrosas pueden ocurrir en cualquier etapa de su ciclo de vida, tanto en la producción o manufactura, formulación, almacenamiento, uso y disposición (DeLissi, 2006; Garrod, 2006), así como en las actividades de transporte carretero, ferroviario, marítimo o aéreo o mediante ductos.

Los accidentes que ocasionan la pérdida de contención de las sustancias químicas peligrosas representan severidades altas (cifras elevadas de muertes o lesiones serias, costos económicos o bien la pérdida de recursos valiosos), por lo que constituyen una preocupación muy visible y concentrada (Covan, 1995). El potencial de daño de estos accidentes depende de las propiedades fisicoquímicas y de peligrosidad de la sustancia, la cantidad de ésta que entra al ambiente, su ruta de entrada al ambiente y su distribución entre las diferentes matrices ambientales (Garrod, 2006). Debido a lo anterior, el manejo de las sustancias

químicas a través de las distintas etapas que conforman su ciclo de vida constituye un riesgo para la sociedad.

El riesgo se define como la probabilidad de que un suceso exceda un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado (OPS, 2000), y es función de las variables: amenaza, vulnerabilidad y exposición (Guevara, Quaas, & Fernández, 2004).

La configuración de un escenario de riesgo tiene como componentes una fuente de peligro, un receptor y una ruta entre la fuente y el receptor (Prinos & Galiatsatou, 2010). La fuente de peligro o amenaza para una sociedad es un fenómeno perturbador, ya sea de origen natural o antropogénico con la capacidad para ocasionar daños, con una localización e intensidad determinadas (OPS, 2000). El receptor de un escenario de riesgo es el sistema afectable que es vulnerable ante dicha amenaza. Mientras que la ruta entre la fuente de peligro y el receptor es la exposición que exhibe el sistema afectable.

Para los riesgos asociados al uso de sustancias químicas peligrosas, los fenómenos destructivos de origen químico configuran el elemento de amenaza o peligro dentro del escenario de riesgo. Los fenómenos químico tecnológicos son agentes perturbadores de origen antropogénico que se generan por la acción violenta de diferentes sustancias, derivadas de su interacción molecular o nuclear, y comprende fenómenos destructivos tales como: incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames; (LGPC, 2012). Los tipos de amenazas más importantes para la industria química son los incendios, las explosiones y la liberación de sustancias tóxicas (Santamaría & Braña, 1998).

Los sistemas receptores de los fenómenos químicos incluyen a todos los elementos del ambiente que pueden sufrir daños, tales como: las personas, los bienes materiales, los servicios ambientales, etc. El sistema afectable es aquél donde los peligros pueden materializarse; en términos generales está integrado por la sociedad y los componentes que necesita para su subsistencia, incluyendo el medio ambiente (Gelman, 2003).

El nivel de vulnerabilidad hace referencia a la propensión de los sistemas expuestos a ser afectados (Muñoz, Torres, Zepeda, Andrade, & López, 2006). La vulnerabilidad es un factor de riesgo interno de un sujeto o sistema; es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños, en caso de que un fenómeno

desestabilizador (de origen natural o antropogénico) se manifieste (Cardona, 2003). La vulnerabilidad ha sido definida también como dependiente de los tres factores siguientes: 1) la exposición ante situaciones de crisis, 2) la falta de capacidades para afrontar estas situaciones, y 3) la potencialidad de experimentar consecuencias graves como resultado de la crisis (Watts & Bohle, 1993).

A nivel internacional existen normas diversas encaminadas a la prevención de los accidentes industriales mayores, como es el caso de la Directiva SEVESO III (2012/18/UE), relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, y que es aplicable a la Unión Europea; y en el caso de Estados Unidos, el Código de Regulaciones Federales (CRF número 40, sección 68.130, relativa a las Disposiciones para la Prevención de los Accidentes Químicos).

Las regulaciones internacionales para el control del riesgo debido al manejo de sustancias químicas peligrosas, se desarrollaron como consecuencia de accidentes químicos de gran relevancia internacional como fue el caso de Bhopal (India en 1984), en el que una liberación accidental de metil isocianato ocasionó el deceso de 8 mil personas y lesiones permanentes a más de 100 mil residentes de la comunidad (Eckerman, 2011). En la Unión Europea, los desastres químicos principales fueron los acontecidos en Flixborough (Gran Bretaña, 1974) y Seveso (Italia, 1976). En el primero de ellos, el escape y posterior explosión de más de 40 toneladas de ciclohexano en una planta industrial, dedicada a la fabricación de fibras textiles, ocasionó el deceso de 29 trabajadores y cientos de heridos. Por su parte, la explosión de un reactor en una fábrica de la multinacional Roche, en Seveso, Italia, provocó una nube de dioxinas tóxicas que obligó a la evacuación de más de 200.000 personas; más de 500 personas sufrieron quemaduras cáusticas y cerca de 80.000 animales tuvieron que ser sacrificados para evitar que estas sustancias entraran en la cadena trófica (Dalle, Romano, & Vega, 2009).

En América Latina, los accidentes principales que han involucrado sustancias químicas peligrosas son el ocurrido en San Juan Ixhuatepec, en la terminal de Petróleos Mexicanos, en 1984, que ocasionó el deceso de 503 personas a consecuencia de una serie de explosiones y bolas de fuego de gas LP (Casal & Vílchez, 2010); y el incendio ocurrido en las favelas de Vila Soca, en Cubatao, estado de Sao Paulo, Brasil, a consecuencia de un derrame de petróleo del oleoducto de la empresa Petrobras, que tuvo como consecuencia la muerte de más de 500 personas (Gabarrell, 2008).

Al igual que en el ámbito internacional, las regulaciones mexicanas encaminadas a la prevención de accidentes con sustancias químicas peligrosas se desarrollaron como consecuencia de eventos catastróficos, como la explosión del sistema de alcantarillado municipal de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, en el año de 1992. A partir de este suceso lamentable, en las modificaciones realizadas a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en el año de 1996, se incluyó la obligación por parte de las empresas de realizar estudios de riesgo en sus actividades (Cortinas & Pérez, 1999).

El proceso de análisis de riesgo se enfoca en calcular o estimar el riesgo de un organismo o sistema objetivo, por medio de la evaluación de su exposición a un agente particular, tomando en consideración las características inherentes del peligro, así como las del sistema objetivo (IPCS, 2004). Dicho proceso incluye la identificación y el análisis de los peligros, determinando los sucesos iniciadores de accidentes, las secuencias accidentales y los escenarios asociados, así como el alcance de los fenómenos peligrosos (valores umbral, repercusión de los fenómenos) y los elementos vulnerables (personas, bienes, medio ambiente) (González, Miñana, Ruíz, & Garcés, 2004).

Los accidentes industriales mayores que involucran el uso de sustancias químicas peligrosas en países en vías de desarrollo, muestran que los niveles de vulnerabilidad pueden magnificar la severidad de los accidentes químicos, de acuerdo con el grado de organización, la reacción de los organismos encargados de la respuesta ante emergencias y el nivel de preparación y percepción social (UN/ISDR, 2004). Como muestra de lo anterior se tiene que los tres accidentes químicos con mayor severidad que ocurrieron en el siglo pasado, tuvieron lugar en comunidades marginadas de México, Brasil e India en 1984 (De Sousa & De Freitas, 2003).

PROBLEMA DE ESTUDIO.

Para los países en vías de desarrollo como México es fundamental poder analizar los instrumentos normativos que regulan el transporte y las actividades riesgosas asociadas al uso de materiales peligrosos, tomando en consideración que la regulación de las actividades riesgosas compete a la federación y a las entidades federativas, en el ámbito de sus competencias.

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis de la herramienta de evaluación del riesgo ambiental debido a accidentes mayores, ocasionados por

exposiciones agudas a sustancias químicas peligrosas en México. La investigación describe el estado actual de la normativa en materia de riesgo ambiental de los ámbitos federal y estatal, teniendo como objetivo establecer una propuesta que permita mejorar la gestión del riesgo ambiental. El estudio de caso del estado de San Luis Potosí favorece el reconocimiento de los desafíos de la regulación estatal de las actividades riesgosas, y el alcance de las consecuencias al exterior en el transporte de materiales peligrosos.

OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.

La importancia económica de México lo sitúa como la segunda economía más grande de Latinoamérica, después de Brasil, y en el nivel 11 a nivel mundial (SE, 2013). Cuando se analiza que el sector industrial contribuye con el 34.8% del Producto Interno Bruto Nacional (OCDE, 2015), se reconoce la importancia de las regulaciones para prevenir accidentes industriales mayores. Además es de gran importancia identificar las condiciones de vulnerabilidad imperantes en México debido a que éstas son un componente de los escenarios de riesgo. En el 2012, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2012) identificó que el 45.5% del total de la población experimenta condiciones de pobreza, el 28.6% es vulnerable debido a carencias sociales y el 6.2% es vulnerables debido a sus ingresos económicos.

Lo anterior evidencia la importancia de un análisis para identificar la gestión del riesgo ambiental en los ámbitos federal y estatal como instrumentos preventivos de accidentes químico-tecnológicos, así como de la vinculación entre los organismos responsables de la preparación y respuesta ante emergencias químicas.

El objetivo general del presente trabajo de investigación consiste en realizar una propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental, debido al almacenamiento y transporte de materiales peligrosos, tomando como estudio de caso el estado de San Luis Potosí, para emitir propuestas que permitan mejorar la gestión de los riesgos de origen químico tecnológico.

Para su cumplimiento, el trabajo de investigación se dirigió por los objetivos particulares siguientes:

- 1) Analizar la gestión del riesgo ambiental en los ámbitos federal y estatal, tomando como caso de estudio el estado de San Luis Potosí.
- 2) Proponer una metodología particular para la evaluación del riesgo ambiental en las instalaciones industriales y en el transporte de los mismos, mediante la modelación de sus consecuencias al exterior.
- 3) Evaluar la organización para la preparación y respuesta ante emergencias, y realizar propuestas de mejora para una gestión efectiva del riesgo ambiental.

ESTRUCTURA DE LA TESIS.

El presente trabajo de investigación se encuentra organizado de la siguiente forma: el capítulo 1 describe el proceso de evaluación del riesgo y brinda un panorama de los métodos y herramientas disponibles para su realización, así como sus desafíos y las áreas de oportunidad. En el capítulo 2 se analiza la normativa internacional y mexicana de las actividades riesgosas y el transporte terrestre de materiales peligrosos en su contexto internacional y local.

En el capítulo 3 se describe la metodología seguida para evaluar la gestión del riesgo ambiental en sus ámbitos federal y estatal, así como el estudio de caso de las actividades de riesgo en el estado de San Luis Potosí. En el capítulo 4 se analiza la gestión del riesgo ambiental en México en los ámbitos federal y estatal. Mientras que en el capítulo 5 se describen los resultados de la gestión del riesgo ambiental para el estado de San Luis Potosí. El capítulo 6 detalla la propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ambiental y los criterios utilizados para las actividades riesgosas y el transporte terrestre en San Luis Potosí. Finalmente, en el apartado 7 se analizan los resultados de los estudios de caso para dar paso a la discusión y recomendaciones para una gestión efectiva del riesgo ambiental.

CAPÍTULO 1. RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A FENÓMENOS QUÍMICO TECNOLÓGICOS.

1.1. FENÓMENO QUÍMICO TECNOLÓGICO.

Los accidentes que ocasionan la liberación de sustancias químicas peligrosas, en cualquier etapa de su ciclo de vida, pueden configurarse como fuentes de amenaza de los sistemas socio ambientales. La Ley General de Protección Civil (LGPC, 2012) define a un fenómeno químico-tecnológico como un agente perturbador generado por la acción violenta de diferentes sustancias, derivadas de su interacción molecular o nuclear, y comprende fenómenos destructivos tales como: incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas, radiaciones y derrames.

Las amenazas para el entorno dependen de las características de peligrosidad de las sustancias químicas, sus propiedades fisicoquímicas, sus formas de almacenamiento y de liberación al ambiente. De manera general, los efectos instantáneos de dichos fenómenos son, para el caso de incendios, la radiación térmica generada; para explosiones, la generación de ondas de sobrepresión y proyectiles y para fugas o derrames tóxicos, la generación de nubes tóxicas (Castro & Arcos, 1998).

Sin embargo, cada fenómeno químico tiene características particulares de afectación al entorno como se menciona a continuación.

1.1.1 INCENDIOS.

La inflamabilidad de una sustancia se refiere a la facilidad o dificultad con la que ésta puede quemarse en presencia de aire. La combustión es una reacción química en la cual se libera energía debido a la oxidación de algún material y en muchos casos, la combustión ocurre en la fase de vapor.

Los accidentes con sustancias químicas inflamables pueden resultar en escenarios de incendio, con niveles de radiación térmica que pueden ser fuentes de peligro para las personas y la infraestructura material circundante. Para que se genere la combustión deben existir 3 elementos (Carson & Mumford, 2002):

- 1) Combustible, dentro de sus límites inferior y superior de inflamabilidad;
- 2) Comburente; el oxígeno del aire es el comburente más usual, y
- 3) Fuente de ignición, con una temperatura, una duración y energía determinadas.

Para que el incendio se inicie es necesario que el combustible y el comburente se encuentren en un estado energético suficiente para que el choque molecular sea efectivo y se produzca la reacción. En combustiones simples, la energía desprendida se disipa en el ambiente y una parte se invierte en la activación de la mezcla, manteniendo la reacción en cadena. La velocidad de propagación en estos casos es inferior a 1 m/s (Asfahl, 2000).

Los límites de inflamabilidad brindan el rango de concentraciones del combustible (expresadas normalmente en porcentaje en volumen), dentro del cual es posible que la mezcla gaseosa pueda inflamarse y arder. En casos especiales es necesario considerar que una sustancia no requiere de una fuente externa de ignición si se encuentra por arriba de su temperatura de auto ignición; además, no se precisa de un comburente cuando un agente oxidante está presente o en casos particulares, cuando la sustancia tiene oxígeno en su configuración molecular (Carson & Mumford, 2002).

Las clasificaciones para líquidos inflamables y combustibles que establece la Asociación Estadounidense de Protección contra Incendios (NFPA, 2012) se muestran en la Tabla 1.1. Cabe mencionar que el punto de inflamación es la temperatura mínima a la cual un líquido desprende vapor dentro de un recipiente de ensayo, en una concentración suficiente, para formar una mezcla inflamable con el aire cerca de la superficie del líquido. El punto de inflamación indica normalmente la susceptibilidad a la ignición (OSHA, 2014)

Tabla 1.1. Criterios de clasificación de sustancias inflamables y combustibles según la NFPA.

Líquidos inflamables			Líquidos combustibles.	
Clase	Punto de flash	Punto de ebullición	Clase	Punto de flash
IA	PF < 22.8 °C	PE < 37.8°C	II	37.8 ≤ PF < 60°C
IB	PF < 22.8 °C	PE ≥ 37.8°C	IIIA	60°C ≤ PF < 93°C
IC	22.8°C ≤ PF < 37.8°C	NA	IIIB	93°C ≤ PF

NA: No aplica; PF: Punto flash; PE: Punto de ebullición.

Fuente: NFPA, 2012.

Los líquidos combustibles e inflamables se diferencian en que los primeros se queman a temperaturas que están usualmente por encima de 37.8°C, mientras que los segundos se encienden y se queman fácilmente en temperaturas menores a ésta (CCSO, 1997).

Las fuentes de ignición pueden ser ocasionadas por instalaciones eléctricas en malas condiciones, iluminación convencional, chispas de soldadura, esmerilado de la soldadura terminada, así como la acumulación de electricidad estática (Asfahl, 2000).

La consecuencia principal de los incendios en las personas son las quemaduras, cuya intensidad depende del nivel de radiación térmica, el tiempo de exposición, el tipo de ropa protectora o el equipo de protección personal, etc. Sin embargo, otra fuente importante de amenaza son los gases de la combustión, especialmente si éstos son tóxicos.

Los incendios también generan daños a la infraestructura circundante, que depende del nivel de radiación y de la exposición de los materiales a la radiación térmica. Los materiales críticos en escenarios de incendio son madera, materiales sintéticos y acero. La madera y los materiales sintéticos son combustibles y dan origen a incendios secundarios, mientras que la resistencia y rigidez del acero disminuyen con el calor, lo cual puede ocasionar colapsos y daños estructurales (TNO, 1992).

1.1.2 EXPLOSIONES.

Una explosión es la expansión violenta y rápida de un sistema determinado de energía, que puede tener su origen en formas distintas de transformación (física o química), acompañada de un cambio de energía potencial y generalmente seguida de una onda expansiva, que actúa en forma destructiva con el recipiente o estructura que lo contiene (Asfahl, 2000).

Las explosiones pueden dividirse en físicas y químicas. Las primeras se generan por la sobrepresión de equipos, como resultado de cambios bruscos de temperatura o presión, como en el caso de calderas, tuberías, compresores y reactores, entre otros.

Las sustancias químicas inflamables pueden dar lugar a escenarios de explosión química por la generación de nubes inflamables, resultantes de la liberación de cantidades grandes de gas o líquido inflamable en derrames que se vaporizan desde un tanque, equipo de proceso o tubería. Para que un escenario de explosión de una nube inflamable tenga lugar deben presentarse condiciones específicas de presión y temperatura en la sustancia, que la formación de la nube inflamable se efectúe con anticipación a la ignición y que al menos una fracción de

la nube se encuentre entre los límites de inflamabilidad de la sustancia (TNO, 2005).

Las explosiones también pueden generarse por la descomposición de explosivos de fase condensada, tales como la pólvora o el trinitrotolueno (Asfahl, 2000).

Además, dependiendo de la velocidad de propagación de la onda expansiva que resulta de las explosiones, éstas pueden dividirse en deflagraciones y detonaciones. En las primeras la velocidad de propagación es superior a 1 m/s y se producen efectos sonoros o flashes, con aumento de presión superior a 10 veces la presión inicial (como en el caso de deflagración de vapores de líquidos inflamables, mezclas lentas y polvos combustibles), mientras que en las segundas la velocidad de propagación es superior a la del sonido y los aumentos de presión pueden alcanzar 100 veces la presión inicial (Asfahl, 2000).

Los fenómenos destructivos de las explosiones dependen de la capacidad del recinto para soportar la presión inducida por el fenómeno. La velocidad de propagación se ve influida por los factores relativos a la superficie de contacto, la concentración combustible-comburente y la temperatura de los productos reaccionantes (Asfahl, 2000).

En ambos casos, las explosiones dan lugar a niveles de sobrepresión con la capacidad para causar daños en las estructuras y en el ser humano. Además, otro efecto destructivo de este tipo de fenómenos es la generación de proyectiles que pueden ocasionar incendios o explosiones secundarias que magnifican las consecuencias de dichos accidentes (Castro & Arcos, 1998).

1.1.3 LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS.

El Departamento Estadounidense de Salud y Servicios Humanos (U.S. Department of Health and Human Services) define a un agente tóxico como aquél capaz de causar efectos dañinos a organismos vivos, bajo ciertas circunstancias de exposición (ATSDR, 2009). Existen diferentes tipos de sustancias tóxicas, dependiendo del efecto que producen en el cuerpo humano y que se clasifican en irritantes, sensibilizantes, asfixiantes, anestésicos y narcóticos, venenos sistémicos, fibrógenos respiratorios y carcinógenos como se detalla en la Tabla 1.2.

La exposición a sustancias tóxicas incluye sólidos, líquidos o materia transportada por el aire como niebla, polvo, humo, vapor o gases en combinación. Algunas

sustancias químicas producen daños localizados en el punto de contacto o entrada al cuerpo, mientras que otras producen efectos sistémicos.

Los efectos ocasionados por las sustancias químicas dependen de las características de la exposición ante los organismos vivos y por ello se clasifican en efectos agudos y crónicos. Los efectos agudos pueden manifestarse en cuestión de minutos, horas o días, mientras que los efectos crónicos aparecen solamente después de semanas, meses o años de contacto con la sustancia tóxica (ETN, 2002).

Las vías principales de exposición de las sustancias químicas tóxicas al cuerpo son inhalación, ingestión y absorción por la piel. Debido a su capacidad de movilización, el escenario de amenaza mayor para el entorno por exposiciones agudas es la liberación de sustancias químicas tóxicas al aire.

Tabla 1. 2. Tipos de sustancias tóxicas.

Tipo de sustancia tóxica	Descripción	Subgrupos y ejemplos
Irritantes	Tienen un efecto corrosivo o abrasivo en superficies mucosas o húmedas. Se dividen en irritantes primarios o alérgenos. Los irritantes primarios pueden actuar en el tracto respiratorio alto, bajo o en ambos, o bien causar afectación en la piel. Los alérgenos son sensibilizantes de la piel o del sistema respiratorio.	Irritantes del tracto respiratorio-Acroleína, dióxido de azufre, ácido clorhídrico. Irritantes de la piel.- Ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos, álcalis inorgánicos y bases orgánicas.
Asfixiantes	Interfieren con el mecanismo de consumo de oxígeno del cuerpo humano. Se dividen entre aquellos que causan anoxia por deficiencia de oxígeno y los que causan anoxia tóxica por reacciones adversas con sustancias biológicamente activas.	Dióxido de carbono, metano, hidrógeno, nitrógeno y helio. Monóxido de carbono, cianógeno, ácido cianhídrico, nitritos, etc.
Anestésicos y narcóticos	Actúan como la anestesia, deprimiendo el sistema nervioso central.	Acetileno, olefinas, éter.
Venenos sistémicos	Causan daños en áreas que difieren del sitio de contacto o entrada al cuerpo humano. Se clasifican entre aquellos que causan daño visceral, son hematopoyéticos o afectan el sistema nervioso.	Hidrocarburos hidrogenados y metales, benceno.
Fibrógenos respiratorios	Son materia particulada que puede depositarse en los bronquios o alveolos, reduciendo la elasticidad de los pulmones y la capacidad para respirar.	Sílice cristalina, asbestos y talco
Carcinógenos	Producen cáncer.	Polvo de alquitrán de hulla, polvo de antraceno crudo, niebla de aceite mineral, arsénico, asbestos, hidrocarburos policíclicos aromáticos, mineral de níquel, etc.

Fuente: Carson & Mumford, 2002.

Cabe mencionar que dentro de las sustancias irritantes, algunas tóxicas pueden tener efectos corrosivos y atacar los tejidos vivos (causando úlceras en la piel o, en casos severos, quemaduras químicas con degradación de productos bioquímicos y carbonización), ocasionar la muerte de células vivas y la posibilidad de predisposición ante invasión bacteriana en forma secundaria. Estos efectos tienen relación con la naturaleza del compuesto, la concentración, la duración de la exposición, el pH de la sustancia, así como la susceptibilidad individual (Carson & Mumford, 2002).

Las sustancias tóxicas pueden inducir efectos a través de mecanismos fisiológicos y metabólicos distintos, lo que se clasifican en dos categorías generales (Ize, 2003).

- a) Compuestos tóxicos con umbral o punto a partir del cual se observa un efecto. Estas sustancias no provocan un efecto adverso en la salud, hasta que no alcanzan un nivel mínimo de exposición que se conoce como umbral; si éste se sobrepasa, la severidad de la respuesta aumenta proporcionalmente al grado de exposición
- b) Compuestos tóxicos sin umbral definido para iniciar un efecto. Para estas sustancias no existe un nivel de seguridad ya que provocan efectos adversos aún a dosis muy bajas, manteniendo una respuesta lineal en su relación dosis-respuesta, como en el caso de las sustancias cancerígenas.

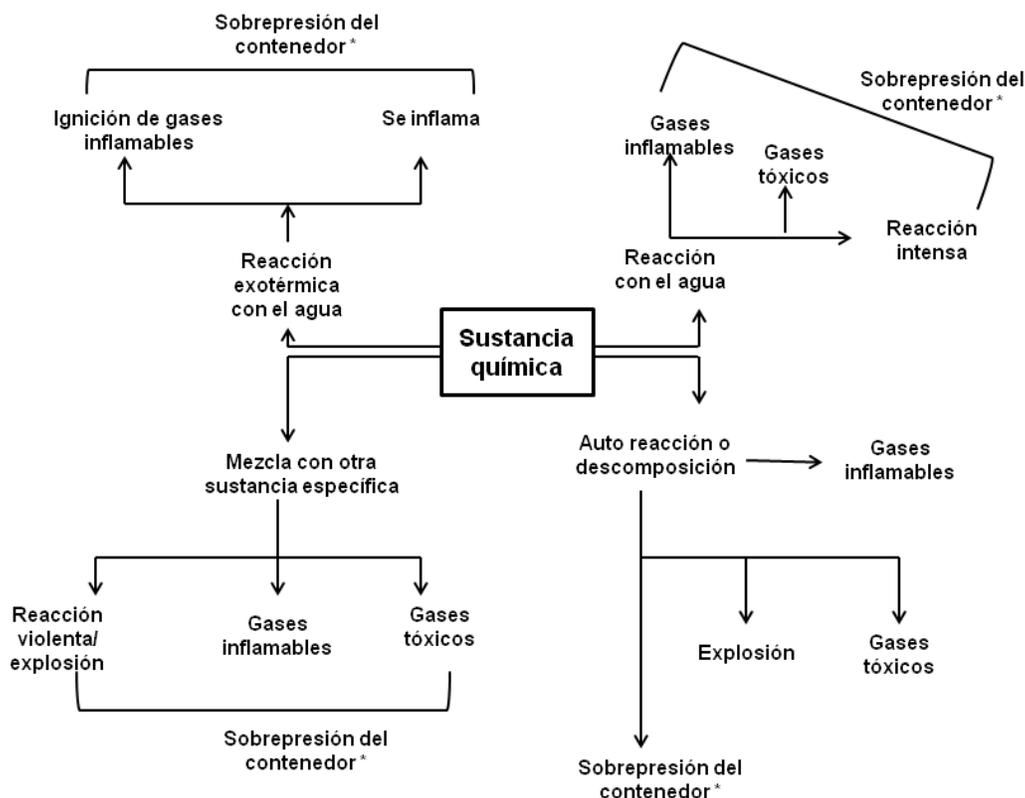
1.1.4 COMBINACIÓN DE FENÓMENOS QUÍMICOS.

Los fenómenos perturbadores de origen químico tecnológico en muchas ocasiones no ocurren en forma aislada e individual para cada tipo de peligro descrito anteriormente, sino que se presenta lo que se denomina efecto dominó, definido como el conjunto de situaciones en las cuales un accidente químico se convierte en el evento iniciador de uno o más accidentes, incrementando el nivel de severidad y el impacto al exterior de los procesos (Kourniotis, Kiranoudis, & Markatos, 2000).

De igual manera, algunas características de las sustancias peligrosas pueden dar lugar a una combinación de accidentes, como en el caso de las sustancias reactivas. La Agencia de Seguridad Química de Estados Unidos (US Chemical Safety Board CSB), define el peligro de reactividad como un evento repentino que involucra una reacción química sin control, con incrementos significativos de la temperatura, presión o evolución de un gas y que tiene el potencial para ocasionar

daños serios a la salud de las personas, la propiedad o el ambiente (Chemical Safety Board, 2002).

El peligro de estas sustancias puede deberse a su tendencia para descomponerse espontáneamente o a reaccionar violentamente en contacto con otras sustancias químicas (como el agua, el aire u otros compuestos). Las consecuencias de los accidentes con sustancias reactivas, dependiendo de sus características, pueden dar lugar a escenarios de fuego, explosión o liberación de sustancias tóxicas al ambiente, tal como se muestra en la Figura 1.1.



* Aunque se provea de ventilación o alivio de presión

Fuente: Carson & Mumford, 2002.

Figura 1.1. Posibles peligros de las sustancias químicas con consecuencias no mutuamente excluyentes.

1.2. ASPECTOS AMBIENTALES DE LOS ACCIDENTES CON SUSTANCIAS PELIGROSAS.

Las sustancias químicas pueden ocasionar efectos nocivos para los ecosistemas y los seres humanos, ya que sus propiedades físicas y químicas favorecen su movilización desde las fuentes generadoras hacia los posibles receptores.

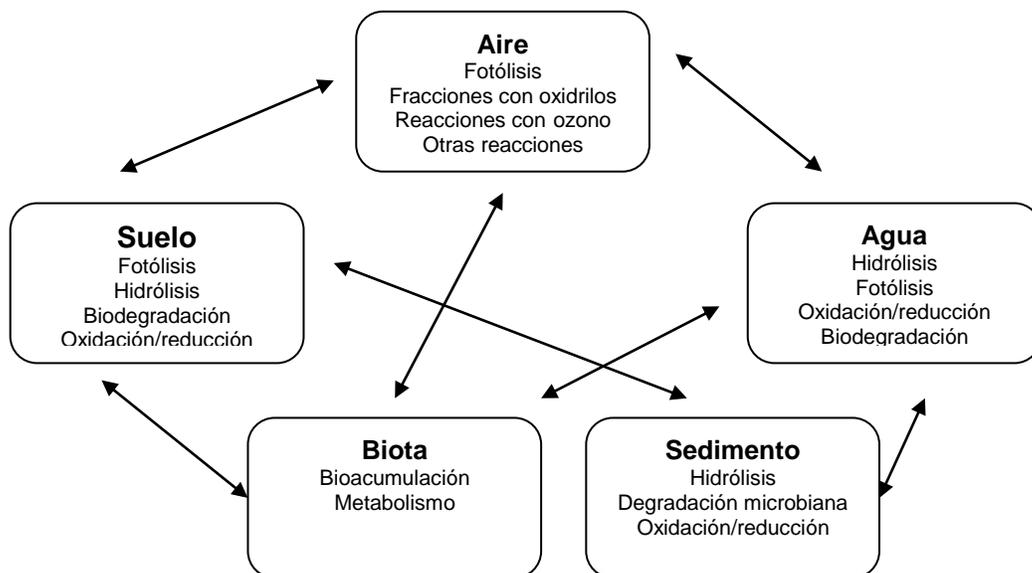
Además, existen propiedades que influyen en la posibilidad de que ingresen al organismo humano o al de otros seres acuáticos y terrestres (Tabla 1.3). Entre las propiedades que inciden en la peligrosidad de las sustancias químicas resaltan las que favorecen su movilización a través del aire (como es el caso de la presión de vapor que determina su volatilidad); la solubilidad en agua (que influye en su infiltración en el suelo hacia los mantos freáticos); el coeficiente de reparto octanol/agua (que permite conocer su capacidad de penetrar a través de las membranas biológicas y de acumularse en el tejido adiposo); y la persistencia (que indica cual es la vida media de las sustancias en el ambiente, conservando sus propiedades tóxicas) (SEMARNAT, 2014a).

Entre los procesos que más influyen en el transporte de las sustancias químicas en el ambiente, y que pueden modificar su disponibilidad y la posibilidad de exposición a ellas, se encuentran su adsorción a las partículas del suelo y sedimentos que impiden su movilización, así como su degradación química, microbiológica o por la acción de los rayos solares (Figura 1.2). Así por ejemplo, la capacidad toxicológica de las sustancias puede reducirse o eliminarse al romperse los enlaces de las moléculas por la acción de la luz (fotólisis), descomponerse por la acción del agua (hidrólisis) y transformarse por la acción del oxígeno (oxidación), entre otros mecanismos (SEMARNAT, 2014a).

Tabla 1.3. Propiedades físicas y químicas que hacen riesgosas a las sustancias químicas.

Propiedades	Ejemplos de aplicaciones
Solubilidad en agua > 500 mg/l	Peligro de movilización en suelos, contaminación de acuíferos y acumulación en ecosistemas acuáticos.
Presión de vapor > 10-3 mm de mercurio	Peligro de volatilización y difusión atmosférica.
Persistencia mayor a seis meses reteniendo sus características físicas, químicas y toxicológicas.	Peligro de acumulación en los diferentes medios ambientales y de bioacumulación.
Coeficiente de reparto octanol/agua (Log K _{ow}) > 1	Peligro de absorción a través de membranas celulares y acumulación en tejido adiposo.

Fuente: SEMARNAT, 2014a.



Fuente: SEMARNAT, 2014a.

Figura 1.2. Tipos de procesos físico químicos en el ambiente. Las flechas indican las principales interacciones entre las diferentes interfaces ambientales.

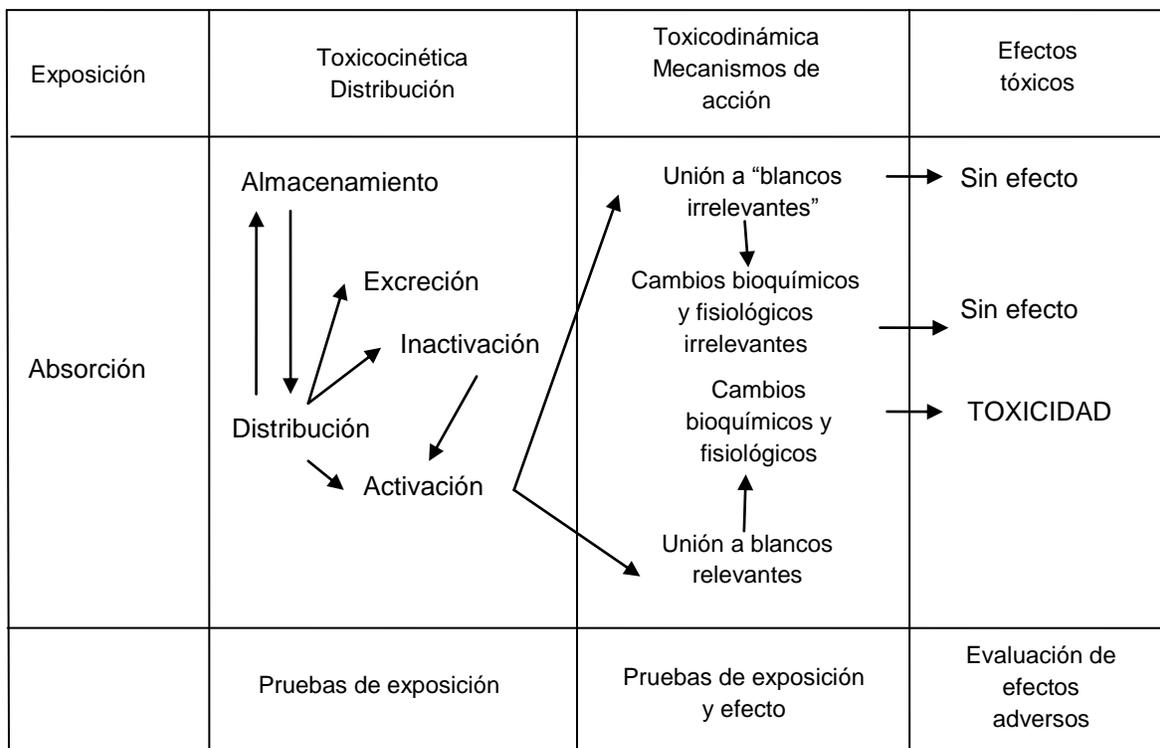
De forma similar a como ocurre en la naturaleza, una vez que las sustancias químicas ingresan en el organismo, se ponen en marcha procesos de transporte y mecanismos que pueden contribuir a la destoxificación o reparación de los daños en el organismo o bien favorecer los efectos tóxicos en el organismo (SEMARNAT, 2014a).

Así por ejemplo, las sustancias con umbral que son capaces de penetrar a través de las membranas celulares, pueden ser metabolizadas por enzimas que las activan o las inactivan; pueden ser transportadas a sitios diferentes como el tejido adiposo o los huesos en donde quedan “secuestradas o almacenadas”; o bien pueden llegar a dañar a moléculas o receptores celulares intrascendentes denominados “blancos irrelevantes” con lo cual no afectan a los organismos; finalmente estas sustancias pueden alterar a otros receptores que son críticos y que por lo tanto al ser modificados se traducen en manifestaciones patológicas de intoxicación, como se observa en la Figura 1.3 (SEMARNAT, 2014a).

Algunas lesiones pueden también ser reparadas como ocurre con las del material genético, o bien aunque suceda una transformación celular como resultado de una mutación, no necesariamente se desarrolla un cáncer si no intervienen otros

factores que promuevan la proliferación de las células mutadas o si funcionan los mecanismos de defensa inmunológica (SEMARNAT, 2014a).

Lo descrito anteriormente explica porque no todos los individuos expuestos a una sustancia tóxica manifiestan signos y síntomas de intoxicación, así como el hecho de que exista un umbral, por debajo del cual no se producen efectos adversos al exponerse a una sustancia tóxica, gracias a los mecanismos de defensa o de homeostasis (SEMARNAT, 2014a).



Fuente: SEMARNAT, 2014a.

Figura 1.3. Destino y reacciones de las sustancias en los organismos y pruebas para determinar exposición y efectos.

1.3. ANÁLISIS DE ACCIDENTES QUÍMICO-TECNOLÓGICOS A NIVEL MUNDIAL.

Los riesgos principales de la industria química son los incendios, las explosiones y las emisiones de sustancias tóxicas. De estos tres, los incendios son los más comunes, pero las explosiones son más importantes en términos de su potencial de afectación, conduciendo a menudo a muertes y daños a la propiedad. La liberación de sustancias tóxicas tiene la mayor capacidad para afectar a un gran

número de personas y ocasionar efectos tóxicos en diversas áreas por lapsos que varían de meses a años (Khan & Abbasi, 1999).

En su investigación Carol y Casal (2002) analizan los accidentes industriales mayores a nivel mundial, usando la base de datos de MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), que pertenece a la Agencia de Salud y Seguridad de Gran Bretaña. El análisis incluye 10 252 accidentes en instalaciones fijas, a partir de 1974. Los resultados del estudio son los siguientes:

- 1) La severidad de los accidentes en países en vías de desarrollo y subdesarrollados son más serios que los accidentes ocurridos en la Unión Europea.
- 2) Los incidentes con sustancias explosivas son más severos que aquellos que involucran sustancias inflamables o tóxicas.

Los autores también sugieren que el costo de los accidentes mayores (registrados en las base de datos MHIDAS y en el Informe Marsh-McLennan) crecen en promedio a un ritmo de entre medio millón y un millón de dólares por año. Por otra parte, el costo de los accidentes más graves registrados en cada año tienden a aumentar significativamente (\$ 5 millones de dólares por año) (Carol, Vilchez, & Casal, 2000). Lo anterior, puede deberse a que la infraestructura expuesta ante los accidentes químicos es mayor y por tanto ocasiona mayor grado de pérdidas materiales.

En su investigación Casal y Dabra (2013) exponen las características principales de los accidentes en los que ocurre el efecto dominó, a partir del análisis de investigaciones diversas con bases de datos de accidentes químicos. Los autores establecen que estos accidentes se generan en mayor medida en instalaciones fijas (80%) que en el transporte de materiales peligrosos (20%). Las causas de los eventos accidentales primarios son eventos externos y fallas mecánicas, seguidos por errores humanos y fallas debido a impactos. Son las sustancias inflamables las que más participan en eventos de dominó, seguidos de las sustancias tóxicas. Las secuencias de eventos más comunes son explosión/fuego, fuego/explosión y fuego/fuego. La mayoría de los accidentes que implican efecto dominó incluyen eventos primarios y secundarios (53%) más que eventos terciarios o de mayor nivel (47%). Finalmente el análisis de Casal y Dabra (2013) sugiere que dichos eventos tienen una tendencia decreciente desde 1980, debido a los avances en la cultura de la seguridad en la industria química, a las nuevas regulaciones, a una mejor capacitación del personal operativo y al aumento en la automatización de las industrias químicas.

En relación al transporte de materiales peligrosos, Oggero y colaboradores (2006) analizaron 1932 accidentes durante el transporte con materiales peligrosos en carretera y ferrocarril reportados en la base de datos MHIDAS, en el periodo comprendido de 1931-2004. Los resultados que obtenidos muestran un aumento en la frecuencia de los accidentes con el paso del tiempo, como resultado del aumento en el transporte terrestre por tren y carretera y un mejor acceso a la información sobre los accidentes.

La frecuencia mayor de estos accidentes se observa en el transporte carretero (63%). Del total de eventos analizados los tipos de accidentes más frecuentes fueron la liberación de sustancias (78%), los incendios (28%), las explosiones (14%) y las nubes de gas (6%). En la investigación los porcentajes suman más de 100% debido a que un accidente que involucra efecto dominó puede estar evaluado en más de una categoría. Para los efectos dominó la secuencia más común es una liberación de sustancia seguida de 1) un incendio (12.7%), 2) una nube de gas (7.7%) y una explosión (1.8%) La investigación de: Oggero y colaboradores (2006) reporta que aproximadamente 1 de cada 9.5 accidentes en transporte terrestre a nivel mundial resulta en una explosión, 1 de cada 3.5 accidentes resulta en un incendio y 1 de cada 15 accidentes resulta en un incendio y explosión. El evento más frecuente que inicia un accidente con sustancias peligrosas es el impacto de las unidades con el 73.5% de los casos, siendo que las consecuencias de los accidentes son significativamente mayores en países en vías de desarrollo.

1.4. EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS.

La evaluación de riesgos es una metodología utilizada ampliamente que brinda las bases para determinar el nivel de riesgo asociado a un peligro particular (Floyd, 2006). El análisis de riesgo es el proceso de evaluación de la probabilidad y severidad de los efectos / eventos que ocurren al hombre y al ambiente, como resultado de la exposición en condiciones definidas a una fuente de riesgo; dicho proceso incluye la identificación de las incertidumbres que conlleva (Borek, Parlikad, Webb, & Woodall, 2014).

Los conceptos de evaluación y gestión del riesgo que se exponen a continuación se basan en los resultados obtenidos por el grupo de trabajo para la armonización de la terminología para la Evaluación de Peligros/Riesgos Químicos, de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) y el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS).

El proceso de evaluación de riesgo tiene por objeto calcular o estimar el riesgo para un organismo o sistema, por medio de la evaluación de su exposición a un agente particular, tomando en consideración tanto las características inherentes del peligro, como las del sistema u organismo expuesto (IPCS, 2004). Dicho proceso incluye la identificación y análisis de los peligros, determinando los sucesos iniciadores de accidentes, las secuencias accidentales y los escenarios asociados, así como el alcance de los fenómenos peligrosos (valores umbral, repercusión de los fenómenos) y los elementos vulnerables (personas, bienes, medio ambiente) (González, Miñana, Ruiz, & Garcés, 2004).

En el proceso de gestión del riesgo, la información obtenida en la fase de análisis de riesgo respecto a un peligro y su desarrollo, se analiza y compara con opciones regulatorias y no regulatorias para seleccionar e implementar respuestas apropiadas ante dicho peligro. Esta etapa involucra la toma de decisiones a partir de factores políticos, sociales, económicos, técnicos y de percepción, que establecen los umbrales de los riesgos socialmente aceptados (IPCS, 2004).

El proceso de evaluación y gestión del riesgo implica las etapas 1) identificación de los peligros, 2) caracterización de los peligros, 3) evaluación de la exposición, 4) caracterización de los riesgos, 5) evaluación de los riesgos, 6) control de la emisión y exposición y 6) monitoreo de los riesgos (IPCS, 2004). A continuación se describe brevemente cada etapa.

1.4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS.

Se identifican las fuentes y la intensidad de los peligros que pueden causar pérdidas humanas y/o daños al medio ambiente o a la propiedad (Modarres, 2006). Una fuente de peligro es una característica física o química con el potencial para ocasionar daños (DOE, 2004).

Las técnicas para identificar y caracterizar los peligros se desarrollan en las etapas de preparación, realización del estudio y documentación (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999). Las técnicas se pueden clasificar en 1) Métodos cualitativos (auditoría de seguridad, análisis histórico de accidentes, análisis preliminar de peligros, listados de control, ¿qué pasa si...?, Análisis de Peligro y Operabilidad y Análisis de Modos de Falla y Efectos) 2) Métodos semi-cuantitativos (índice Dow, índice Mond, índice SHI, MHI, árboles de falla y árboles de sucesos).

Los métodos cualitativos analizan la importancia de situaciones peligrosas sin recurrir a cálculo alguno, mientras que en los semi-cuantitativos existen métodos que introducen una valoración cuantitativa respecto a las frecuencias de ocurrencia de un determinado suceso (métodos para determinación de frecuencias). Otros métodos recurren a una clasificación de las áreas de una instalación con base en una serie de índices para cuantificar los daños (índices de riesgo) (González, Miñana, Ruiz, & Garcés, 2004).

La selección de una técnica depende de factores diversos, como la complejidad del proceso, la localización del proyecto, la experiencia del personal de la planta, la experiencia de los evaluadores y las consecuencias de los peligros (Myers, Cramer, & Hessian, 1991). Las características básicas de las diferentes metodologías para identificación de peligros se muestran en el Anexo 1 del documento.

1.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS.

El proceso de caracterización de los peligros describe en forma cualitativa o cuantitativa las propiedades de la situación o agente que tiene el potencial para causar efectos adversos (IPCS, 2004). El resultado de esta etapa es la identificación de los sucesos iniciadores, las secuencias accidentales y los escenarios de accidente (González, Miñana, Ruiz, & Garcés, 2004); es decir, la caracterización de las fuentes potenciales de liberación mayor de sustancias químicas peligrosas (Mannan, 2005).

En esta etapa se caracterizan los eventos que ocasionarían la falta de contención de las sustancias químicas peligrosas en la actividad bajo estudio, así como el tipo de fenómeno perturbador que ocasionaría dicha situación, tal como un incendio, una explosión o una nube tóxica. Esta etapa es importante porque brinda información relativa a las desviaciones del proceso que originarían un accidente, las variables que se alterarían, así como las barreras del proceso que pueden mejorar la detección de estas desviaciones o disminuir la severidad de los accidentes.

Un accidente químico tecnológico tiene una serie de causas que le dan origen y que ocasionan desviaciones en el proceso (sucesos iniciadores); sin embargo, para que un accidente tenga la capacidad de manifestarse, es necesario que el evento supere una serie de barreras de los procesos industriales a) de prevención

(que reducen la probabilidad de ocurrencia de un accidente), y b) protección (que reducen la gravedad de las consecuencias) (CRAIM, 2006) (DOE, 2004).

Dentro de las causas que ocasionan una emergencia química se encuentran los errores humanos, las fallas en los equipos y los eventos externos, como es el caso de los fenómenos naturales. Las barreras de prevención y protección que se analizan en esta etapa del análisis de riesgos son de utilidad para mejorar la seguridad de actividades que se encuentran en la fase de diseño, siendo que dichas etapas se retoman en la fase de control y monitoreo de los riesgos.

1.4.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.

La evaluación de la exposición implica identificar los sistemas potencialmente expuestos ante los posibles accidentes químicos, el tipo y la cantidad de población, así como la infraestructura para la atención de las emergencias. En esta etapa se hace uso de los modelos de peligro y de relaciones de daño/lesión para determinar los efectos de las descargas específicas de materiales (Mannan, 2005).

Las consecuencias de la liberación de sustancias tóxicas se establecen en base a relaciones dosis-respuesta que fijan los niveles de dosis seguras para la exposición humana (exposiciones agudas a sustancias no carcinogénicas). Se hace uso de tasas de exposición para jornadas de trabajo (Valores Límite Umbral- TLV, Límites de Exposición Permisibles- PEL's) o niveles públicos para emergencias (Límites de Exposición Temporal de Emergencia – TEEL, Límites de la Guía para Planeación y Respuesta ante Emergencias Industriales- ERPG, Niveles de Exposición Aguda- AEGL y Límites Inmediatamente Peligrosos para la Vida y la Salud- IDLH).

En el caso de los escenarios que involucran fuego y explosión, las consecuencias se establecen con base en niveles de calor constante o radiación térmica y sobrepresión, respectivamente, las cuales ocasionarían consecuencias diferentes a las personas y estructuras expuestas.

Los fenómenos perturbadores se clasifican según los tipos de eventos que originan.

- 1) Incendios los escenarios más frecuentes son: albercas de fuego (*pool fire*), bolas de fuego (*fireballs*), llamaradas (*flash fire*) y dardos o lenguas de fuego (*jet fire*) (Mannan, 2005).

- 2) Explosiones de tipo química: 1) de nubes de vapor confinadas, 2) de vapor por expansión de líquidos en ebullición, 3) de polvos, 4) ocasionadas por deflagración o detonación térmica de sólidos o líquidos y 5) de nubes de vapor sin confinar (Carson & Mumford, 2002).
- 3) Liberación de sustancias tóxicas o inflamables. Los escenarios más importantes son: las emisiones de gases pesados, de gases flotantes y con densidad neutral; así como los momentos de chorro (Mannan, 2005).

A continuación se identifican los modelos principales, utilizados para la evaluación de las consecuencias al exterior de los diversos fenómenos químicos.

1.4.3.1. Liberación de sustancias tóxicas.

Los modelos de dispersión atmosférica pueden dividirse en categorías de acuerdo con las características siguientes (NRC, 2003).

- 1) El tipo de sistema utilizado para la modelación que puede ser de tipo euleriano y lagrangiano.
- 2) Ingreso de datos de viento donde se puede usar el valor promedio del viento o los datos de vientos variables en el tiempo e incluso medidos en puntos diferentes dentro del dominio.
- 3) El tipo de promedio usado en los modelos de conservación que puede ser el promedio de conjunto o el promedio espacial.

Los modelos CAMEO/ ALOHA (Gestión asistida por computadora para operaciones de emergencia- Área de localización de atmósferas peligrosas), HPAC (Predicción de Peligros y Capacidad de Evaluación) y NARAC (Centro Estadounidense de Asesoramiento sobre Liberaciones Atmosféricas) son sistemas operacionales para respuesta a emergencias, que permiten identificar la fuente de emisión e ingresar datos meteorológicos para utilizar los modelos de dispersión y realizar el análisis de consecuencias. Para cada sistema, los modelos de dispersión son únicos (NRC, 2003).

Finalmente, el Laboratorio de Los Álamos del Departamento de Energía de Estados Unidos se encuentra trabajando en nuevos modelos de dispersión, diseñados para predecir concentraciones peligrosas en el contexto urbano por medio de un modelo de dispersión de tipo Lagrangiano (QWIC-URB) y de un modelo computacional de fluidos dinámicos llamado HIGRAD (NRC, 2003).

1.4.3.2. Incendios.

Los modelos para calcular los flujos de calor asociados con escenarios de fuego pueden dividirse en tres categorías (TNO, 2005).

- 1) Modelos semi-empíricos. Se basan en datos experimentales y están diseñados para predecir la forma y la radiación de la flama; son simples y matemáticamente sencillos; pero sus rangos de aplicación son limitados.
- 2) Modelos de campo. Se basan en resoluciones de las ecuaciones de flujo de fluido ponderadas en el tiempo, de Navier-Stokes; implican matemáticas complejas en programas computacionales que conllevan un tiempo significativo de procesamiento.
- 3) Modelos integrales. Relacionan los modelos semi-empíricos y los modelos de campo; la solución de las ecuaciones simplificadas involucra menos tiempo que los modelos de campo.

1.4.3.3. Explosiones.

En el caso de explosiones, los principales modelos para la determinación de consecuencias al exterior, son el método de equivalencia del trinitrotolueno (TNT), el modelo multi energía, el modelo Baker-Strehlow y la Dinámica de fluidos computacionales (TNO, 2005; Guan & Kwok, 2009).

El método de equivalencia del TNT obtiene el nivel de daños esperados que se producirían en niveles similares a los de la explosión bajo estudio, mediante la equivalencia de la sustancia estudiada con una masa de TNT. Por su parte el modelo de multi-energía toma en consideración que la combustión deflagrativa genera una explosión únicamente en aquellas partes de la nube de vapor inflamable que cuentan con suficiente obstrucción o están parcialmente confinadas. Por su parte el modelo de Baker- Strehlow se basa en el uso de datos computacionales en explosiones de gas para modelar las explosiones de nubes de vapor inflamables (TNO, 2005).

1.4.4. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO.

La caracterización del riesgo es un proceso cualitativo o cuantitativo que determina la probabilidad de ocurrencia del peligro y su potencial para ocasionar efectos adversos de un sistema, organismo o población bajo condiciones de

exposición determinadas (Prinos & Galiatsatou, 2010; The International Programme on Chemical Safety, 2004).

Técnicamente, el análisis de riesgos puede enfocarse de dos maneras distintas (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999).

- 1) Tratamiento probabilístico. Analiza las consecuencias de accidentes en relación con las frecuencias estimadas del suceso. Las medidas de protección y prevención se dirigen prioritariamente a las situaciones incidentales de riesgo mayor, definido éste como el producto de la severidad por la frecuencia.
- 2) Tratamiento determinístico. Analiza las consecuencias de los accidentes en las condiciones más desfavorables, incluso en el caso de que su frecuencia estimada sea muy baja; es decir, se analizan las consecuencias máximas de cara a adoptar medidas de prevención y protección.

La frecuencia de un peligro usualmente se estima directamente de datos de los eventos históricos, aunque también existen metodologías que además de identificar peligros, pueden determinar las probabilidades de ocurrencia del suceso no deseado, mediante el análisis de la frecuencia con que se producen las secuencias accidentales o concatenación de fallos que los originan (González, Miñana, Ruiz, & Garcés, 2004; Mannan, 2005).

Las consecuencias de los escenarios pueden ser impactos económicos, sociales o daños ambientales, expresados cuantitativamente, por categoría o en forma descriptiva.

1.4.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO.

Implica el proceso de decisión sobre las medidas o los cambios que deben realizarse en el proceso o actividad, de manera que los riesgos puedan clasificarse como socialmente aceptables.

La evaluación del riesgo puede hacerse en forma cualitativa usando categorías para determinar la frecuencia (frecuente, probable, ocasional, remoto, improbable, increíble) y la severidad de las consecuencias (catastrófico, crítico, marginal y despreciable). En estos casos, la determinación del riesgo también se realiza en escalas cualitativas, dependiendo de los niveles aceptables de riesgo para la organización, en función de la conjunción de estas dos variables (Modarres, 2006).

Cuando la determinación del riesgo se efectúa en forma cuantitativa, su aceptación puede determinarse mediante criterios de salud y seguridad, los cuales se evalúan para un solo receptor del riesgo (individuales) o para un grupo o población (sociales). Existen también criterios económicos que se establecen con base en el desarrollo de barreras de los peligros, precursores del riesgo y pérdidas económicas (que incluyen el establecimiento de un valor monetario a la vida humana) (Modarres, 2006).

En el análisis cuantitativo de riesgos es relevante el concepto de "riesgo aceptable", mediante el cual se fijan los límites de leyes, normas y reglamentos. En general, los riesgos se aceptan más fácilmente cuando son conocidos, observables y de efectos inmediatos, (OMS, 2002), influyendo también la aversión social al riesgo, que ocasiona que los accidentes poco frecuentes pero de grandes consecuencias sean menos tolerados que aquellos con frecuencia mayor pero de consecuencias menores, a pesar de que ambos tengan un similar impacto social promedio (CERESIS, 2001).

En la definición de niveles aceptables de riesgo influye fuertemente cómo perciben los distintos grupos sociales los riesgos de las sustancias químicas, lo cual varía de acuerdo con la educación, los valores, la edad, el género, etc. (Cortinas, 1997).

1.4.6. CONTROL DE LA EMISIÓN Y EXPOSICIÓN.

A partir de los niveles aceptables de riesgo y del resultado de la evaluación de los riesgos en la actividad estudiada, la sociedad u organización puede adoptar una de las cuatro estrategias posibles para el control del riesgo del proceso o actividad, 1) eludir el riesgo, decidiendo no proceder con la política, programa, proyecto o actividad, por considerar que los beneficios de la actividad no justifican los riesgos que la misma conlleva; 2) reducir el nivel de riesgo, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia o las consecuencias o ambas a la vez; 3) realizar la transferencia del riesgo, compartiendo la responsabilidad de ciertas actividades de seguridad con otra empresa o prestador de servicios y 4) puede decidir aceptar y retener los riesgos dentro de la organización (SNA, 2007).

Para reducir la probabilidad de ocurrencia y severidad de los riesgos, el control de las sustancias químicas peligrosas se realiza en el orden siguiente: 1) eliminación de los peligros a través del diseño, 2) uso de barreras y aplicación de técnicas de contención, 3) alerta del peligro por medio de alarmas y/o señales, 4) entrenamiento del personal a través de procedimientos, 5) uso de equipos de

protección personal, 6) diseño de programas de evacuación hacia lugares seguros y 7) justificación de riesgo residual (Covan, 1995).

1.4.7. MONITOREO DEL RIESGO.

El monitoreo y la revisión del proceso de análisis de riesgo evalúa la efectividad de las medidas aplicadas para su control, permitiendo además, la aplicación del concepto de mejora continua en la evaluación y el manejo de los riesgos (Center for Chemical Process Safety, 2008).

1.5. LA GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO.

La gestión del riesgo establece los criterios necesarios para enfrentar un riesgo; se fundamenta en la información recopilada en el proceso de evaluación del riesgo ya que incluye las bases científicas y de ingeniería en las que se basa este proceso, además de que incluye información socioeconómica, política, jurídica, espiritual, ética y otros valores humanos para contextualizar los escenarios de riesgo y definir los mecanismos de decisión sobre este tema (Figura 1.4). Finalmente, esta etapa contiene el proceso de comunicación a las partes que puedan verse afectadas (Vallero, 2003), además del seguimiento de los pasos descritos en la sección anterior, relacionados con el control de la emisión y exposición.

Otros autores definen la gestión del riesgo químico como “el proceso de aplicación sistematizado de políticas, procedimientos y prácticas de gestión que incluye a las actividades de comunicación, consulta, establecimiento del contexto, en las fases de identificación, análisis, evaluación, tratamiento y monitoreo del riesgo” (ISO, 2009). El proceso de gestión del riesgo generalmente se divide en la evaluación y el manejo de los riesgos.



Fuente: Vallero, 2003

Figura 1.4. Elementos de la gestión de los riesgos.

1.6. INCERTIDUMBRES Y ÁREAS DE OPORTUNIDAD DE LA GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO.

A pesar de los esfuerzos que se han hecho, aún hace falta un camino largo para conocer completamente el peligro para la salud humana ante la exposición a los miles de productos químicos en el entorno, principalmente en lo relativo a las sustancias tóxicas.

Los desafíos principales consisten en generar la información relevante de numerosas sustancias químicas, además de complementar los vacíos de información de las sustancias químicas que ya disponen de información toxicológica (Rosenfeld & Feng, 2011).

La Agencia Europea de Sustancias Químicas realizó un estudio con las sustancias químicas que se producen en volúmenes mayores a 1000 toneladas por año y relevó que únicamente el 28% de las 100 000 sustancias tiene información relevante para la evaluación del riesgo en humanos y el ambiente (Allanou, Hansen, & Van der Bilt, 2003).

Además, existen otras incertidumbres en la evaluación del riesgo por sustancias químicas (Rosenfeld & Feng, 2011).

- 1) El uso de información toxicológica en mamíferos y las correlaciones para establecer los efectos en la salud humana.
- 2) Las extrapolaciones que se realizan entre los efectos por exposiciones a dosis altas y los efectos en la salud por dosis bajas.
- 3) Existen obstáculos para una caracterización apropiada del riesgo debido a la complejidad para caracterizar todas las rutas de exposición de la población.
- 4) La complejidad para evaluar las mezclas químicas y las interacciones de las mismas que pueden presentarse en efectos aditivos, antagonistas, potencialización y sinergismo.
- 5) La interacción de las sustancias químicas en el ambiente y en el cuerpo humano se desconoce, actualmente se tratan como aditivos los efectos de la exposición de sustancias diversas ante rutas de exposición diferentes; sin embargo, se cree que el peligro se está subestimando ante esta forma de evaluación individualista.

Otra fuente de incertidumbre la constituyen las bases de datos de dosis-respuesta de comunidades homogéneas que sirven como base para predecir las relaciones en comunidades heterogéneas, con individuos de grupos de edad diferentes (Allanou, Hansen, & Van der Bilt, 2003).

1.6.1. FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA EVALUACIÓN DE RIESGO.

Todas las evaluaciones del riesgo tienen carácter predictivo y por tanto son inherentemente inciertas. Las fuentes de incertidumbre pueden agruparse en las relativas a la incertidumbre de conocimiento y a la incertidumbre asociada al alcance del proceso de análisis de riesgos.

En relación a la incertidumbre de conocimiento. En este caso no se toman en cuenta los mecanismos o interacciones entre los componentes del sistema. La falta de información sobre el uso de una sustancia química ocasionará incertidumbre en la probabilidad de exposición evaluada (Floyd, 2006).

- 1) Incertidumbre asociada al mundo real. El mundo real se caracteriza por su incertidumbre, aunque el rango de “condiciones naturales” puede ser predicho probabilísticamente, siempre habrá incertidumbre. Por ejemplo, se puede predecir que el 50% de los animales de laboratorio sucumbirán ante la concentración DL50; sin embargo, no es posible predecir cuáles individuos perecerán.

- 2) Incertidumbre en los datos. Se presenta cuando el conocimiento se fundamenta en conjuntos de datos que son incompletos o están limitados. Este tipo de error se expresa en términos de límites de confianza.
- 3) Incertidumbre en la modelación. Esta incertidumbre determina la validez de los métodos usados para predecir posibles desenlaces futuros, generalmente en términos matemáticos; puede originarse debido a la falta de conocimiento, las decisiones tomadas por los analistas durante la modelación y las asunciones realizadas por los modelos.

Por otra parte, una panorámica de los desafíos y alcances de la evaluación de riesgos implica reconocer los elementos siguientes (Floyd, 2006).

- 1) En la fase de identificación de peligros donde se evalúan las fuentes de peligro capaces de causar efectos adversos a los seres humanos o a los ecosistemas, así como una descripción cuantitativa de la naturaleza de dichos efectos. La información ha sido escasa históricamente, lo cual conlleva una incertidumbre de datos.

Como muestra se tiene que en el mercado europeo donde se fabrican o importan más de 146.000 sustancias diferentes; sólo se ha realizado la batería completa de pruebas establecidas en las evaluaciones de riesgo a 141 sustancias, y éstas, en general, no incluyen efectos crónicos sub-letales como la disrupción endocrina, cuyos efectos no son inmediatos y se percibirán al cabo de los años.

Sin embargo, la información toxicológica y ecotoxicológica disponible públicamente indica que actualmente existen 1.500 cancerígenos y mutágenos, 1.500 tóxicos para la reproducción (TPR), 3.000 alérgenos, 1.300 neurotóxicos, 1.500 disruptores endocrinos, 400 sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas (TPB), 500 compuestos orgánicos volátiles (COV), 92 sustancias que dañan la capa de ozono, entre otros.

- 2) La fase de caracterización del riesgo para exposiciones agudas implica la identificación de concentraciones aéreas, niveles de sobrepresión o de radiación térmica, capaces de ocasionar determinados efectos a la salud humana. La incertidumbre de dichos límites de concentración implica reconocer la heterogeneidad de la población, existiendo grupos de edad con mayor predisposición a ser afectados. Además los límites no consideran la sensibilidad entre individuos, por lo cual no pueden ser generalizados para toda la población.
- 3) La fase de evaluación de la exposición implica el análisis de la posibilidad de exposición del hombre o el medio ambiente a las fuentes de riesgo, incluye la

estimación de las emisiones al ambiente, la determinación del destino de dichas emisiones, la predicción de sus concentraciones en el ambiente y sus consecuencias. En la prevención de accidentes industriales mayores, esta fase se realiza mediante modelaciones matemáticas que tienen incertidumbres asociadas a la imposibilidad de simular las interacciones de las sustancias químicas con otros contaminantes del ambiente y los efectos de las mezclas asociadas, además la modelación es incapaz de evaluar los efectos dominó asociados a los accidentes que en muchas ocasiones magnifican la severidad de sus consecuencias.

- 4) El énfasis de la evaluación del riesgo para escenario accidentales se centra en las etapas de identificación del peligro debido a la importancia en términos preventivos de evaluar las secuencias accidentales que darán como resultado una emisión masiva de las sustancias químicas, así como en la etapa de caracterización del riesgo donde se determina las probabilidades de que un accidente mayor tenga lugar.

1.7. ESTADO DEL ARTE DE LA MODELACIÓN DE ACCIDENTES EN CARRETERA.

La OECD (OECD, 1997) establece la existencia de cuatro enfoques en las investigaciones relacionadas con la modelación de accidentes en carretera.

1. Descriptiva. Su objetivo es denotar cualitativa o cuantitativamente la situación actual de la seguridad en el transporte carretero; generalmente, por medio de la evaluación de las variables de exposición, del riesgo de accidente y de consecuencias de los accidentes.
2. Predictivo.- Evalúan las variables independientes que contribuyen a la ocurrencia de accidentes (efectos externos, socioeconómicos, del transporte, incertidumbre en la recopilación de datos, el azar y la efectividad de medidas de control); hacen uso de estadística multivariada y se realizan para definir estrategias para la seguridad en carreteras.
3. Modelos de los factores de riesgo. Evalúan los factores de riesgo desde el nivel individual, del conductor, vehículo y camino; su propósito es comprender y predecir el comportamiento de los conductores. Estos modelos pueden ser evaluados desde diversas disciplinas como es el caso de la psicología, sociología, ergonomía, medicina, biomecánica o física.
4. Modelos para determinar las consecuencias de los accidentes. Pueden ser descritos de diversas formas, con base en muertes o lesiones, desde los

costos a la salud pública, como pérdidas en salud, o bien en términos económicos.

A continuación, se describe el resultado del análisis de las principales investigaciones desarrolladas en los últimos 15 años bajo el enfoque descriptivo y a los modelos utilizados para la evaluación de consecuencias en el transporte de materiales peligrosos.

En el primer caso, las evaluaciones cuantitativas del riesgo se han enfocado en diseñar modelos de distribución de los riesgos a través de las áreas de transporte, considerando como factores de riesgo el material, la modalidad del transporte y las condiciones ambientales. Otro aspecto es la planeación del transporte de materiales peligrosos, por medio de dos tipos de escenarios (Caramia, Giordani, & Iovanella, 2010; Marcotte, Mercier, Savard, & Verter, 2009; Kara & Verter, 2004).

1. El diseño de rutas. La selección de vías alternativas para el envío de un solo embarque de material peligroso, desde un origen hasta un destino.
2. El diseño de redes. La planeación de distintos viajes dentro de múltiples pares de origen y destino.

En estos casos existen maneras diversas de cuantificar el riesgo; sin embargo, todos los modelos tratan de reducir el impacto en la sociedad debido a esta actividad. Como se verá a continuación, los modelos se basan en escenarios diferentes del problema (Kang, 2011).

1. Riesgo esperado. El riesgo para un determinado envío de mercancías se cuantifica en función de la evaluación del trayecto donde una red de transporte se representa con nodos (interacciones de la carretera) y segmentos o enlaces, de manera que para cada enlace (i,j) existen valores de atributos de probabilidad y consecuencia de los accidentes. El valor esperado del riesgo en una ruta dada es la sumatoria del producto de estos dos atributos para todos los segmentos del camino.
2. Consecuencias del accidente. Sólo considera la evaluación del atributo de severidad o consecuencias en la ruta, centrándose en evaluar las consecuencias en cada una de las regiones evaluadas.
3. Probabilidad del accidente. Estudia únicamente la variable de probabilidad dentro de los segmentos para la selección de la ruta.
4. Percepción del riesgo. Hace uso de criterios alternativos y de la ponderación de éstos para evaluar la seguridad y eficiencia de la ruta.
5. Varianza media. Este modelo asume que los atributos de los segmentos son escolásticos y trata de encontrar rutas con un mínimo de medias y varianzas.

6. No-utilidad. Desarrolla una función de no utilidad de tramos (aversión al riesgo), cuando las consecuencias esperadas de los mismos son mayores que el valor de consecuencias previamente establecido.
7. Riesgo máximo. Se enfoca en minimizar la población expuesta al riesgo, en cada nodo dentro del trayecto.
8. Ruta mezclada (probabilidad desconocida). Trata de reducir el riesgo máximo, mediante intercambios de envíos entre rutas. Como resultado se evalúan las probabilidades potenciales del segmento usado y sus probabilidades de accidente, utilizando teoría de juegos y asumiendo el uso de la estrategia mezclada de equilibrio de Nash para un juego no cooperativo y de sumatoria cero entre dos jugadores.
9. Probabilidad condicional. Este modelo evalúa las consecuencias esperadas al momento del primer accidente en un tramo, y sugiere una suspensión necesaria entre el par de origen-destino, luego del primer accidente catastrófico.

Para la aplicación de metodologías cuantitativas (que buscan distribuir la probabilidad de ocurrencia de los accidentes entre los distintos segmentos de la ruta) es necesario utilizar información estadística confiable, por medio de registros robustos, con información histórica de los accidentes a largo plazo. Los datos recopilados para una evaluación cuantitativa deben asegurar su credibilidad y representatividad, así como ser estadísticamente significativos (Vinnem, 2007). La problemática para el uso de este tipo de metodologías en países en vías de desarrollo como México, consiste en que en muchos casos, las instancias gubernamentales no brindan continuidad a los registros relativos a los accidentes con materiales peligrosos y no se cuenta con información estadística relativa a la frecuencia de las diferentes carreteras en el transporte de éstos materiales, por lo que la información se encuentra fragmentada entre distintas instituciones y no se puede asegurar su representatividad y significancia estadística.

En los países desarrollados con información de calidad se usan Sistemas de Soporte Espacial de Decisiones (SSED), que realizan el análisis espacial de los peligros, la evaluación de sus consecuencias y contribuyen en la toma de decisiones. Los elementos integrados a este sistema son, entre otros, los atributos de tiempos, costos y población en peligro, tasas de accidentes y niveles de velocidad en cada segmento; así como los usos de suelo, la infraestructura urbana, la red vial, las zonas industriales, las fábricas y los datos estadísticos y geográficos sobre accidentes que involucran el transporte de materiales peligrosos (Boulmakoul, Laurini, Servigne, & Idriss, 1999; Frank, Thill, & Batta, 2000; Hasan, 2010).

Entre las metodologías cualitativas para describir las situaciones de riesgo en el transporte de materiales peligrosos, se encuentra el “Índice de riesgo mediante jerarquización relativa para la evaluación del riesgo por transporte de gas licuado de petróleo” (Altamoros, Fernández, Cruz, & Durán, 2009). Esta metodología se estableció especialmente para una economía emergente como la mexicana y permite la asignación de un nivel de riesgo para el análisis histórico de los accidentes que involucran una sustancia química en particular, como es el caso del gas L.P.

El “índice de riesgo mediante jerarquización relativa para la evaluación del riesgo por transporte de gas licuado de petróleo” pondera los valores principales de riesgo debido 1) al material y sus condiciones particulares; 2) a la unidad transportadora; 3) al personal; 4) a la ruta; 5) a cuestiones imponderables; y finalmente 6) establece un valor de bonificaciones. El empleo de este índice es considerado por Altamoros y colaboradores, como la mejor alternativa para la estimación del riesgo en México, ya que permite establecer racionalmente valores sistemáticos consistentes, que brindan resultados confiables y reproducibles. La aportación principal de esta investigación es la conceptualización y evaluación de las causas principales que intervienen en la ocurrencia de los materiales peligrosos, principalmente en México en donde influyen factores característicos de una economía emergente.

Por su parte, Martínez, Ordóñez, & Taboada (2003) establecen una metodología cualitativa para la determinación de la gravedad de los accidentes, haciendo uso de variables como el peligro que implica el accidente (Pe), las propiedades de peligrosidad de la sustancia (Hhg) y la vulnerabilidad del medio en el cual el accidente tiene lugar (V).

$$G = Pe (Hhg + V)$$

En su investigación se establecen cinco clasificaciones para los tipos de accidentes en el transporte, evaluados según el potencial de liberación del producto y que permiten la asignación de un nivel a la variable (Pe). Los parámetros evaluados son a) el criterio para determinar el valor de la peligrosidad de la sustancia según la clasificación de su rombo de riesgo, b) la evaluación de la vulnerabilidad del medio, determinada mediante la identificación de los ecosistemas sensibles y de los sitios con importancia histórica y c) la vulnerabilidad poblacional que es función de la densidad de población del área estudiada y del tipo de evento del que se trate (como resultado de este proceso de estima el valor de vulnerabilidad de 0 a 4, donde cero indica no vulnerabilidad y 4 una muy alta vulnerabilidad).

Este método permite la evaluación rápida de la gravedad de los accidentes en el transporte de materiales peligrosos. En el caso de que el método se aplique como ejercicio de planeación y que únicamente se tengan los datos de peligrosidad del material y de la vulnerabilidad del entorno, se puede optar por conocer el nivel de gravedad máximo, eligiendo el accidente más grave (Martínez, Ordóñez, & Taboada, 2003).

Esta investigación se considera valiosa porque, en el concepto de severidad de un accidente en el transporte de materiales peligrosos, destacan las características particulares del sistema afectable, como es el caso de la vulnerabilidad poblacional y del ambiente. Dicho enfoque se deja de lado en muchas investigaciones cuantitativas, cuyo objetivo final es conocer las distancias de afectación del fenómeno.

En cuanto a la determinación de consecuencias de los accidentes existen investigaciones que hacen uso de modelos matemáticos para identificar el sistema afectable ante los accidentes Akgún y col. (2000) y Dell'Olmo, Gentili, & Scozzari (2005) proponen usar el modelo de banda fija o "buffers" que se determinan en función de cada tipo de sustancia peligrosa, para determinar la población afectada en los segmentos de la ruta y para establecer rutas con menor exposición a la población, o bien proponen el uso de algoritmos para corrección de la población expuesta ante el modelo de banda fija en segmentos de la ruta con determinado ángulo (Kara, Erkut, & Verter, 2003).

Por su parte, (Zhang & Han, 2013) hacen uso de modelos matemáticos por fuente de dispersión puntual, aplicando del modelo de Pluma Gaussiana para la determinación de áreas afectadas por la dispersión de sustancias tóxicas. Finalmente, (Chakrabarti & Parikh, 2009; Chakrabarti & Parikh, 2011) hacen uso de dos métodos para la evaluación de consecuencias al exterior en el caso de BLEVES, tanto para la determinación del peor escenario de la EPA, como para la determinación de escenarios alternativos, haciendo uso del modelo de explosión de nubes de vapor no confinadas y charcos de fuego.

En la presente investigación se realizó un análisis de consecuencias al exterior para sustancias químicas con características inflamables y tóxicas. Los escenarios de liberación fueron seleccionados del análisis de casos en el transporte terrestre de materiales peligrosos en México y se usaron modelos de dispersión gaussiana y de gases pesados para identificar los elementos expuestos ante los accidentes planteados.

CAPITULO 2. GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL Y EN MÉXICO.

2.1. INSTRUMENTOS INTERNACIONALES PARA LA GESTIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS.

Los riesgos ambientales y en salud relacionados con la industria química son motivo de controversia debido a sus implicaciones en materia de seguridad humana y la salud de los ecosistemas. Los accidentes químicos graves ocurridos en décadas recientes han sido discutidos en el ámbito internacional dando lugar a acuerdos internacionales (He, Zhang, Lu, & Mol, 2011).

A continuación se brinda una descripción breve de estos instrumentos internacionales para la regulación de las sustancias químicas peligrosas.

1. El Convenio de Rotterdam (1988) sobre el consentimiento fundamentado previo para ciertas sustancias químicas peligrosas y pesticidas fue establecido por el PNUMA en colaboración con la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El convenio entró en vigor el 24 de febrero de 2004 y tiene de 154 estados miembros (UNEP, 2010). Establece obligaciones jurídicas de orden internacional para los estados miembros y fundamenta el consentimiento informado antes de realizar el comercio de pesticidas y ciertas sustancias químicas peligrosas (listadas en el Anexo III de dicho convenio) así como sustancias prohibidas o severamente restringidas en los estados exportadores, aunque no se encuentren listadas. Este instrumento busca compartir responsabilidades entre el exportador y el importador respecto al comercio y uso seguro de las sustancias químicas. El convenio consta de 43 sustancias químicas donde se incluyen 4 pesticidas severamente peligrosos (Van der Kolk, 2014). Las principales deficiencias de este instrumento son (McDorman, 2004).
 - a) No incluye la prohibición o inhibición del comercio de sustancias químicas y pesticidas entre estados no miembros de la convención (terceras partes) que pueden actuar como intermediarios y brindar a los estados exportadores una manera fácil para evadir sus responsabilidades.
 - b) La falta de documentación obligatoria y de requisitos para el manejo seguro de los plaguicidas y sustancias químicas.
 - c) La falta de obligaciones o referencias en relación a la asistencia técnica y capacidades para que los estados importadores, en vías de desarrollo,

puedan evaluar, en forma oportuna y de manera informada, la información que es la columna vertebral de la convención.

2. El Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos y la Disposición de Residuos Peligrosos, fue adoptado en 1986 y entró en vigor en 1992. Dicha convención (que cuenta con 178 estados miembros) tiene como objetivo proteger la vida humana y el ambiente de los probables efectos nocivos derivados de la generación, gestión, movimiento transfronterizo y eliminación de residuos peligrosos y otros desechos (SBC, 2008). Para alcanzar este objetivo, el convenio cuenta con cuatro ejes fundamentales, 1) minimizar la generación de residuos peligrosos, 2) el apoyo para una buena gestión ambiental de los residuos peligrosos, 3) asegurar la disposición de los residuos peligrosos en las áreas más cercanas a donde son generados y 4) el examen de los movimientos transfronterizos y la minimización de los residuos peligrosos (Sand, 1992).

Las debilidades de este convenio se relacionan con el vacío que existe respecto a la prohibición del comercio de residuos entre estados no miembros de la convención. De igual manera, de acuerdo con Kaya (2012), las actividades de monitoreo, inspección y sanción han sido extremadamente débiles, por lo cual es complicado determinar si dicho acuerdo tiene la capacidad y el poder para eliminar el transporte de residuos hacia los países en vías de desarrollo.

3. El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP's) se adoptó el 2 de mayo de 2001 y entró en vigor el 7 de mayo de 2004, actualmente la convención tiene 179 estados miembros (Fiedler, Abad, Van Bavel, & Bogdal, 2013). Conforme al PNUMA este convenio es un tratado global para proteger la salud humana y el ambiente de las sustancias químicas que permanecen intactas por largos periodos de tiempo, que están ampliamente distribuidas geográficamente y se acumulan en los tejidos humanos y animales. La exposición a COP's puede producir efectos serios para la salud y por ello, los estados miembros de la convención se comprometen a tomar medidas para eliminar o disminuir las emisiones de COP's al ambiente (UNEP, 2014a).

Algunos autores mencionan la insuficiencia de esta herramienta, al señalar que la lista de COP's debe ser ampliada para proteger verdaderamente a la vida del planeta. La ampliación de las sustancias sujetas al convenio debe estar fundamentada en el principio precautorio que regule nuevas sustancias

químicas, según su comportamiento esperado en el ambiente; dado el plazo largo requerido para contar con pruebas toxicológicas contundentes de daños a la salud ambiental. Dicha regulación podría controlar las nuevas sustancias químicas que entran en el mercado y aquéllas sobre las que aún no se cuenta con pruebas definitivas (Godduhn & Duffy, 2003).

4. El registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REACH), aprobado en 2006, por la Unión Europea para controlar el uso de sustancias químicas peligrosas. La ley se aplica a la mayoría de los productos químicos (tanto nuevos como existentes) producidos o importados en la UE en cantidades superiores a 1 tonelada / productor / año, así como a las mezclas químicas, y para productos terminados (conocidos como "artículos" en REACH). El reglamento entró en vigor en 2007, con un cumplimiento final en 2018. El REACH exige que (1) los productores químicos proporcionen información básica sobre la identidad y las propiedades peligrosas de sus productos, como condición para colocarlos en el mercado; (2) los proveedores de artículos que contienen productos químicos en la lista de sustancias extremadamente preocupantes (SEP), comuniquen la información suficiente a lo largo de la cadena de suministro para asegurar el uso seguro de sus productos; y (3) los productores de sustancias extremadamente preocupantes que progresan en el anexo XIV deben cesar de inmediato la producción u obtener la autorización del uso específico para continuar la producción. Como el REACH incluye las importaciones europeas, esta directiva ha impactado positivamente las normas de información química a nivel internacional (Scruggs, Ortolano, Wilson, & Schwarzman, 2015).

Los beneficios de la legislación REACH se observaron en la investigación de Oltmanns (2014), donde se investigan 142 sustancias producidas en grandes volúmenes en Estados Unidos. Los resultados indican que de este total, el 20% cuenta con información nueva, como resultado de la implementación de REACH, al tener disponible en el grupo de sustancias químicas peligrosas producidas en grandes volúmenes, al menos, un límite de consecuencias al exterior, no cubierto por la clasificación anterior de la Unión Europea, lo cual muestra un impacto positivo de esta iniciativa.

5. El Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Químicos (SAICM) es un marco político para promover la seguridad química en todo el mundo. El SAICM tiene como objetivo general el logro de la gestión racional de los productos químicos durante su ciclo de vida, para que, en el año 2020, los productos químicos se produzcan y utilicen de manera que se minimicen los

impactos adversos significativos sobre la salud humana y el ambiente. Esta "meta 2020" fue adoptada por la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en 2002 como parte del Plan de Implementación de Johannesburgo. Los objetivos del enfoque se agrupan en cinco temas, la reducción de riesgos; los conocimientos e información; la gobernabilidad; la creación de capacidades y de cooperación técnica; y el tráfico internacional ilícito. La declaración y estrategia van acompañados de un Plan de acción mundial que sirve como herramienta de trabajo y documento de orientación para apoyar la implementación del SAICM y otros instrumentos e iniciativas internacionales pertinentes. Las actividades en el plan se llevarán a cabo, en su caso, por los interesados, en función de su aplicabilidad (UNEP, 2014b).

Entre los objetivos del SAICM se encuentra el reducir al mínimo los riesgos para la salud humana (incluida la de los trabajadores) y para el ambiente durante todo el ciclo de vida de los productos químicos, de tal manera que para el año 2020, los productos químicos que plantean riesgos excesivos y difíciles de controlar para la salud humana y el medio ambiente 1) se hayan dejado de producir o utilizar con esos fines y 2) se minimicen los riesgos derivados de sus emisiones no intencionales, a la luz de una evaluación del riesgo basada en datos científicos y teniendo en cuenta los costos y beneficios, así como la disponibilidad de productos más seguros y eficaces que puedan sustituirlos (UNEP, 2007).

En su investigación Perrez (2006) menciona que el surgimiento del SAICM tenía grandes esperanzas y aspiraciones de que se convertiría en un paso importante para la cooperación internacional, generando mayor coordinación y coherencia a nivel mundial; llenando los vacíos existentes e influyendo en las regulaciones nacionales, orientando y apoyando las economías en transición hacia una gestión química sostenible. Sin embargo, el enfoque final carece de un acuerdo vinculante para cerrar las brechas existentes en la gestión de las sustancias químicas entre países ricos y pobres, además sus enfoques y principios carecen de orientación y claridad para guiar las políticas públicas de las sustancias químicas y los mecanismos para su financiamiento no se encuentran claros, por lo cual se trata de una herramienta débil para la protección de la salud humana y del ambiente de los efectos nocivos de las sustancias químicas.

Finalmente es importante resaltar la vinculación de los instrumentos antes mencionados con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) de la ONU, el cual tiene como objetivo

normalizar y armonizar la clasificación y etiquetado de los productos químicos. Se trata de un enfoque lógico y completo encaminado a los objetivos siguientes (UNITAR, 2010).

1. Definir los peligros físicos para la salud y para el medio ambiente que entrañan los productos químicos;
2. Crear procesos de clasificación en los que se utilicen datos disponibles sobre los productos químicos, para compararlos con los criterios definidos, relativos a sus peligros, y
3. Transmitir información sobre los peligros, así como las medidas de protección, en las etiquetas y fichas de datos de seguridad (FDS).

El SGA no constituye un reglamento ni una norma. En el documento sobre el SGA se establecen disposiciones acordadas para la comunicación y clasificación de peligros, con información explicativa sobre cómo aplicar éste. Así, los elementos contenidos en el SGA proporcionan un mecanismo encaminado a: 1) reunir los requisitos básicos de todo sistema de comunicación de peligros (que consiste en decidir si el producto químico obtenido y/o suministrado es peligroso) y 2) elaborar una etiqueta y/o una ficha de datos de seguridad según corresponda (UNITAR, 2010).

Existen varios esfuerzos y acuerdos internacionales relevantes a la gestión racional de los productos químicos y la aplicación del SGA:

1. El SGA figura en calidad de área de trabajo del SAICM en el Plan de Acción Mundial, incluyendo ocho actividades bien definidas.
2. El Convenio de Rotterdam está estrechamente vinculado a las cuestiones de identificación y comunicación al igual que el SGA. Las normas internacionales y el formato de las FDS y etiquetas de dicho convenio pueden considerarse referencias al SGA.
3. El Convenio de Basilea, que se refiere a los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos, ha creado un grupo de trabajo con el SGA-ONU, con el fin de seguir promoviendo las sinergias entre los dos organismos.
4. En las FDS de la ISO se ha adoptado el formato de los 16 epígrafes de las FDS del SGA (UNITAR, 2010).

2.2. NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES INDUSTRIALES MAYORES.

La normativa de Estados Unidos de América para la prevención de los accidentes industriales mayores, tuvo como eventos detonantes los accidentes ocurridos en la empresa Unión Carbide tanto en Bhopal, India, con la liberación de metil isocianato y el accidente ocurrido en Virginia Occidental, Estados Unidos, que liberó una mezcla química de cloruro de metileno que resultó en la hospitalización de 134 personas (EPA, 2013).

Dichos accidentes sumados a la preocupación pública relativa a los peligros químicos orientó un cambio en las acciones regulatorias de Estados Unidos de América. Las normativas estadounidenses principales para la prevención de los accidentes industriales se mencionan a continuación (Belke, 2005).

1. En 1986, el Congreso Norteamericano promulgó el Acta de Planeación en Emergencias y el Derecho a Conocer por parte de la Comunidad (EPCRA, Emergency Planning and Community Right to Know Act), la cual obliga a los estados a crear Comisiones de Respuesta ante Emergencias (CRE) y a formar Comités de Planeación ante Emergencias Locales (CPEL) en conjunto con las comunidades locales, para establecer planes de acción ante emergencias químicas. Por medio de esta legislación, las empresas deben compartir información de sus procesos para la construcción de los planes de respuesta a emergencia locales y adicionalmente, una vez al año, deben reportar ante EPA las emisiones de sustancias tóxicas para conformar el Inventario de Liberaciones Tóxicas.
2. En 1992, la Administración sobre Salud y Seguridad Ocupacional de Estados Unidos de Norteamérica (OSHA) instauró el Estándar de Administración de Seguridad en los Procesos (PSM), legislado en el Código de regulaciones federales (29 CRF parte 1910). Esta normativa establece ciertos requerimientos de prevención de accidentes y respuesta ante emergencias para industrias que manejan determinadas sustancias químicas por encima de cantidades umbral.
3. En 1996, la EPA promulga el Programa de Administración de Riesgos (40 CRF parte 68), el cual tiene similitudes con el estándar de la OSHA en aspectos como la capacitación operativa del personal, el empleo de procedimientos escritos, el aseguramiento de la integridad mecánica de los equipos, así como el control de los peligros del proceso y además; cubre muchas de las sustancias químicas tóxicas e inflamables del estándar. Sin embargo, incluye obligaciones adicionales, como el análisis de liberaciones accidentales de los últimos 5 años, el análisis de consecuencias al exterior de escenarios hipotéticos y el reporte del Plan de Administración de riesgos ante

la EPA. Las empresas deben actualizar dicho plan cada 5 años, o con una frecuencia mayor cuando ocurran cambios en la instalación.

En la Unión Europea, los accidentes industriales que promovieron la legislación en los temas de prevención y control de los accidentes químicos, fueron el incendio y explosión de Flixborough, Inglaterra, en 1974, que ocasionó 28 decesos y la destrucción del área industrial de la empresa, así como el accidente de Seveso, Italia, de 1976, que ocasionó la liberación de una nube de dioxinas en una planta que fabricaba pesticidas y herbicidas. Como resultado de este evento se evacuaron más de 600 personas y 2 000 fueron tratadas por efectos a la salud, ocasionados por las dioxinas (Porter & Wettig, 1999).

La primera directiva Seveso se aprobó en 1985 en el Parlamento Europeo, después de 3 años de negociaciones; posteriormente a mediados de los años 90 se actualizó con la Directiva Seveso II, aprobada en diciembre de 1996, y posteriormente, la Directiva Seveso III, que se aprobó en julio de 2012 y que debe implementarse por los estados miembros en Junio de 2015. Esta directiva obliga a los países europeos a identificar las zonas industriales con riesgos y a adoptar las medidas apropiadas para prevenir los accidentes graves en los que estén implicadas sustancias peligrosas y a limitar sus consecuencias para el hombre y para el ambiente (Porter & Wettig, 1999; McCann, 2014).

Los establecimientos objeto de esta directiva se establecen en dos niveles, superior e inferior, a partir de las cantidades umbral de las sustancias químicas establecidas en el Anexo I de la Directiva. La parte 1 establece cantidades umbral por categorías de sustancias peligrosas; mientras que la parte 2 indica los umbrales de sustancias peligrosas nominadas de manera específica. La directiva establece obligaciones generales de seguridad de los establecimientos regulados, e incluye la notificación de las empresas a las autoridades con relación a las sustancias químicas peligrosas, sus características y las del entorno afectable, así como los factores capaces de ocasionar un accidente. Los establecimientos deben contar con una política de prevención de accidentes industriales y llevar un control de las instalaciones y sus modificaciones. De igual manera se establece que para la instalación de una empresa, regulada bajo esta directiva, se tiene que cumplir con requisitos de planeación de uso de suelo UE (2012).

Las diferencias principales de la Directiva Seveso III en relación con su anterior versión se establecen a continuación (McCann, 2014).

1. Esta directiva tiene correspondencia con el Sistema de Armonización Global de Sustancias Químicas de la ONU y con la Convención para el acceso a la

información, participación pública en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en Asuntos Ambientales de la Comisión Económica Europea de las Naciones Unidas. El resultado principal es que las empresas deben de compartir más información sobre sus actividades con el público.

2. La directiva posee una regulación mayor para el control de efectos dominó, al incluir que las empresas donde éstos puedan ocurrir deben cooperar con el intercambio de información con aquellas que no son objeto de la regulación Seveso III, pero que pueden ser relevantes para los escenarios de riesgo, ya que por su proximidad pueden desencadenar o exacerbar los accidentes graves. La autoridad también debe proporcionar información adicional relevante para que estos grupos de empresas puedan mejorar la identificación de sus peligros.

2.3. GESTIÓN DEL RIESGO QUÍMICO EN MÉXICO.

En el marco legislativo mexicano existen definiciones múltiples relativas a las sustancias químicas, materiales y residuos peligrosos, tanto en leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas (Tabla 2.1).

Como se muestra en la Tabla 2.1., las diferentes definiciones hacen equiparables los conceptos de material peligroso, sustancia peligrosa y sustancia química peligrosa, ya que todas ellas incluyen al menos un elemento para establecer la amenaza relativa a las mismas, ya sea 1) el potencial de afectación a la salud o el medio ambiente o 2) las características de peligrosidad CRETIB (corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas).

Tabla 2.1. Definiciones relativas a las sustancias químicas peligrosas en la legislación mexicana.

Dependencia	Instrumento normativo	Definición
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	Material peligroso.- es un elemento, sustancia, compuesto, residuo o mezcla de ellos que, independientemente de su estado físico, representa un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas
Secretaría de Comunicaciones y Transportes	Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos	Sustancia peligrosa.- es todo aquel elemento, compuesto, material o mezcla de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo potencial para la salud, el ambiente, la seguridad de los usuarios y la propiedad de terceros; también se consideran bajo esta definición los agentes biológicos causantes de enfermedades.
Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)	NOM-018-STPS-2000, NOM-005-STPS-1998	Sustancias químicas peligrosas.- son aquellas que por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejadas, transportadas, almacenadas o procesadas presentan la posibilidad de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad, acción biológica dañina o peligros especiales, y pueden afectar la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a las instalaciones
Secretaría de Salud, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación	Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos	Sustancia peligrosa.- Elementos o compuestos o la mezcla química de ambos, que tiene características de corrosividad, reactividad, inflamabilidad, explosividad, toxicidad o biológico-infecciosas

Fuente: LGEEPA, 2015; NOM-018-STPS-2000; NOM-005-STPS-1998; RTTMRP. 2006; PLAFEST, 2004.

Las múltiples definiciones respecto de las sustancias químicas peligrosas se explican al considerar que el marco regulatorio de éstas es responsabilidad de diversas dependencias del gobierno federal, las cuales controlan algunas etapas del ciclo de vida de las mismas. Estas instancias de gobierno también establecen el marco de su responsabilidad, de acuerdo con el potencial de las sustancias químicas peligrosas para causar ciertos efectos negativos (ya sea a la salud humana o al ambiente), como se muestra a en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Dependencias del gobierno federal encargadas de regular diversos aspectos de las sustancias químicas peligrosas.

Dependencia	Regulación
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	Reglamenta las actividades con potencial para causar desequilibrios ecológicos, tal como es el caso de las actividades altamente riesgosas Realiza el control de generadores, transportistas, sitios de almacenamiento temporal, tratamiento y disposición final residuos peligrosos
Secretaría del Trabajo y Previsión Social	Regular las sustancias químicas utilizadas en los centros de trabajo, a fin de asegurar sus condiciones de seguridad e higiene
Secretaría de Comunicaciones y Transportes	Norma el transporte de materiales peligrosos por vía terrestre, marítima y aérea
Secretaría de la Defensa Nacional	Controla las sustancias con propiedades explosivas debido a que pueden atentar contra la seguridad nacional.

Además, diversas instancias federales cooperan en temas relacionados con las sustancias químicas peligrosas, tales como:

- 1) La SSA, SAGARPA y SEMARNAT, regulan los registros y autorizaciones de importación y exportación de plaguicidas, nutrientes vegetales y sustancias y materiales tóxicos o peligrosos.
- 2) La SSA en colaboración con SRE, SHCP, SCFI y la SCT, controlan la producción, preparación, enajenación, adquisición, importación, exportación, transporte, almacenamiento y distribución de precursores químicos y productos químicos esenciales, debido a su aplicación en la producción de narcóticos.
- 3) La SEGOB, en conjunto con la SRE, SEDENA, SEMAR, SSP, SEMARNAT, SE, SAGARPA; SCT y SSA, regulan las sustancias químicas susceptibles de desvío para fabricación de armas químicas.

2.3.1. INSTRUMENTOS REGULATORIOS MEXICANOS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.

En el ámbito internacional, algunas organizaciones y acuerdos vinculantes que han desarrollado directrices diversas sobre el control de las sustancias químicas peligrosas y que han influido en la generación de instrumentos regulatorios en México, se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Organizaciones y acuerdos internacionales para el control de las sustancias químicas peligrosas en México.

Organización o acuerdo	Descripción	Instrumentos regulatorios en México
La Organización Internacional del Trabajo	Elabora sistemas y criterios de clasificación de los productos químicos	La Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS) ha elaborado algunas Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) referentes a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.
El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)	Ha respaldado los convenios de Rotterdam y Estocolmo y publicó iniciativas como el “Manual para la Concientización y Preparación de Emergencias a Nivel Local” (APELL), cuyo objetivo es minimizar la ocurrencia y efectos dañinos de los accidentes tecnológicos y las emergencias.	La PROFEPA crea a partir de 1992 el “Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales” (COATEA). Además, México ha trabajado en el Plan Nacional para la Implementación del Convenio de Estocolmo, a partir de su ratificación en 2003.
La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)	Desarrollan alternativas de gestión para el manejo de riesgos ambientales para la protección de la salud.	La Secretaría de Salud realiza el control sanitario de plaguicidas y sustancias peligrosas para la salud y la regulación de las actividades que implican un riesgo para la salud humana.
La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE),	Establece recomendaciones relativas a la evaluación de productos químicos antes de su comercialización, el control de bifenilos policlorados, el intercambio de información de sustancias prohibidas o severamente restringidas, de accidentes capaces de causar daño transfronterizo y de prevención y respuesta de accidentes químicos.	México forma parte desde el 18 de mayo de 1994 de esta organización y ha debido adaptar su normativa para dar seguimiento a estas recomendaciones.
El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN),	Integra los Planes de Acción Regionales (PAR) para la reducción de los riesgos y, la eliminación del uso de las sustancias seleccionadas (DDT, el clordano,103 el mercurio, los bifenilos policlorados, las dioxinas y furanos, el hexaclorobenceno y el lindano).	El tratado entró en vigor el 1° de enero de 1994 y México ha dado seguimiento íntegro a éstos acuerdos.
El Convenio para la Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente en la Región Fronteriza,	Contraído el 14 de agosto de 1983 y conocido como Convenio de La Paz, a través del cual se logró la concertación del Plan Conjunto de Contingencias México-Estados Unidos	Regula la Preparación y Respuesta ante Emergencias Ambientales causadas por sustancias peligrosas en la franja fronteriza terrestre y la regulación de los movimientos de residuos peligrosos.

Fuente: Hernández, 2006.

Como se observa de la Tabla 2.3, la gestión racional de las sustancias químicas peligrosas constituyen una preocupación importante en el ámbito internacional y las directrices que se han desarrollado a éste nivel han influido profundamente en la regulación mexicana de las sustancias químicas en sus diferentes aspectos ambientales, de salud pública, de higiene en el trabajo y de prevención y respuesta ante emergencias.

2.3.2. DISTRIBUCIÓN DE COMPETENCIAS EN LA REGULACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.

La LGEEPA establece dos clasificaciones para las actividades de riesgo (Artículos 146 y 149 de LGEEPA).

- a) las actividades altamente riesgosas que son reguladas por la federación y
- b) las actividades riesgosas que las entidades federativas deben definir y regular.

Los establecimientos comerciales, industriales y de servicio que realizan actividades altamente riesgosas, son sujetos a regulación para la prevención de accidentes industriales mayores por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en el artículo 5o, fracción VI de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) que define como facultades de la federación, la regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas.

Las entidades federativas, en el marco de las competencias que les confiere el artículo 6º, fracción IV de la LGEEPA, tienen la facultad de regular las actividades que no sean consideradas altamente riesgosas para el ambiente, cuando éstas afecten el equilibrio de los ecosistemas o el ambiente, para lo cual las legislaciones locales deben definir las bases para coordinar sus acciones en esta área.

2.3.3. ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.

La LGEEPA establece en el artículo 146 que la SEMARNAT es la dependencia encargada de determinar y publicar en el Diario Oficial de la Federación, los listados de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas. Lo anterior en consenso con las Secretarías de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Gobernación y del Trabajo y Previsión Social, de acuerdo con los reglamentos que para tal efecto se expidan.

2.3.3.1. Clasificación de las actividades altamente riesgosas.

La LEGEEPA reconoce que el manejo de materiales peligrosos tiene la capacidad para provocar afectaciones significativas al ambiente, a la población o a sus bienes, y que en su potencial de afectación influyen tanto las propiedades de peligrosidad de las sustancias, como las cantidades de las mismas que participan en los escenarios de fuga, derrame o explosión. Lo anterior fundamenta la clasificación y regulación de las actividades altamente riesgosas (LGEEPA, 2015).

Una actividad se considera como altamente riesgosa cuando en las actividades de producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso, disposición final, o la suma de las anteriores, maneja sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las de reporte, asentadas en alguno de los dos listados (PLAAR, 1990; SLAAR, 1992).

- * El Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1990, establece las cantidades de reporte para sustancias tóxicas (exceptuando el uso y aplicación de plaguicidas, en virtud de que existe una legislación específica para el caso) (PLAAR, 1990).
- * El Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas, publicado el 4 de mayo de 1992, incluye las cantidades de reporte para sustancias inflamables y explosivas (SLAAR, 1992).

Las cantidades de reporte establecidas en éstos listados son las cantidades mínimas de las sustancias capaces de ocasionar consecuencias al exterior en una franja de 100 metros en torno de las instalaciones, donde se observarían 1) límites de concentración superiores a los permisibles, de producirse una liberación a la atmósfera, sea por fuga o derrame de las mismas, o bien 2) ondas de sobrepresión, para el caso de la formación de nubes explosivas (PLAAR, 1990; SLAAR, 1992).

Cabe mencionar que estos listados no han sido actualizados desde su publicación y que se carece de regulación de las actividades que manejan sustancias reactivas, corrosivas o biológicas, debido a que no existe un listado que establezca sus cantidades de reporte. Lo anterior, tomando en consideración que para las sustancias con propiedades radioactivas se determinó no establecer un listado, ya que la regulación de estas actividades compete a la Secretaría de Energía y a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, con la participación de la Secretaría de Salud (PLAAR, 1990).

En el año 2008 surgió una iniciativa para establecer el Reglamento de Materiales y Residuos Peligrosos y Actividades consideradas como Altamente Riesgosas; sin embargo éste no llegó a publicarse. Algunos de sus aspectos se incorporaron en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, tal es el caso de la categorización y responsabilidades de los generadores de residuos peligrosos y transportistas, planes de manejo y almacenamiento, importación y exportación de residuos peligrosos (MAYPA, 2000).

2.3.3.2. Regulación de las actividades altamente riesgosas.

La LGEEPA establece la obligación de presentar estudios de riesgo ambiental ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en dos situaciones.

1. Para empresas nuevas que se caractericen como altamente riesgosas y que requieren someterse al proceso de autorización federal en materia de impacto ambiental; el estudio de riesgo es un requisito para obtener dicha autorización, según lo indicado en la sección V y artículo 30 de la Ley, relativa a la autorización en materia de impacto ambiental.
2. Para actividades en operación, el artículo 147 de la LGEEPA indica de manera general, que quienes realicen actividades altamente riesgosas deberán formular y presentar a la SEMARNAT un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.

En el primero de los casos, los proyectos de alto riesgo que requieren autorización en materia de impacto ambiental son evaluados dentro de la SEMARNAT, por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA), quienes en caso de que los proyectos resulten favorables, puede emitir los resolutivos en materia de impacto y riesgo ambiental.

En el segundo caso, la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR), cuenta con la atribución de emitir observaciones y recomendaciones sobre los estudios de riesgo ambiental y aprobar los programas para la prevención de accidentes de las actividades altamente riesgosas en operación (SEMARNAT, 2013). Como resultado de este proceso la dependencia brinda resolutivos del programa para la prevención de accidentes para empresas en operación.

Por otra parte, la LGEEPA en sus artículos 23, Fracción VIII y 148 establece instrumentos legales para evitar la construcción de los escenarios de riesgo, mediante la restricción de los sistemas afectables entorno a las actividades industriales riesgosas. En ellos se señala la declaratoria de zona intermedia de salvaguarda; y se prohíben los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población. Con esta medida se busca garantizar la seguridad de los vecinos de industrias o entidades que lleven a cabo actividades altamente riesgosas.

Finalmente, el artículo 145 de la LEGEEPA señala que la SEMARNAT promoverá que en la determinación de los usos del suelo se especifiquen las zonas en las que se permita el establecimiento de industrias, comercios o servicios considerados riesgosos por la gravedad de los efectos que puedan generar en los ecosistemas o en el ambiente.

2.3.4. ACTIVIDADES DE RIESGO ESTATALES.

La regulación de las empresas riesgosas por parte de las entidades federativas se establece en el artículo 149 de la LGEEPA, e indica que los estados y el distrito federal “regularán la realización de actividades que no sean consideradas altamente riesgosas, cuando éstas afecten el equilibrio de los ecosistemas o el ambiente dentro de la circunscripción territorial correspondiente, de conformidad con las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables” (LGEEPA, 2015).

2.4. MARCO LEGISLATIVO INTERNACIONAL PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS.

Las sustancias peligrosas son aquellas cuya naturaleza de la composición o propiedades en el almacenamiento, el transporte, la carga, descarga, reacondicionamiento y manipulaciones similares pueden conducir a fenómenos nocivos y peligrosos para el ambiente y la vida silvestre (Rechkoskaa, Rechkoskia, & Georgioska, 2012).

Dentro de los acuerdos internacionales no obligatorios para los países, pero que representan avances en la identificación y clasificación de los materiales peligrosos, se encuentra el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Éste es el resultado de diez años de trabajo que culminaron con la adopción y recomendación para su comunicación por parte del Subcomité de las Naciones Unidas para el Desarrollo Económico y Social (PHMSA, 2013).

El acuerdo tiene como propósito la promoción de criterios comunes y consistentes para la clasificación de los productos químicos y el desarrollo de material compatible en materia de etiquetado y fichas de datos de seguridad y pretende mejorar la salud pública y la protección del medio ambiente, así como reducir las barreras al comercio internacional (PHMSA, 2013).

En relación a las principales regulaciones en el ámbito internacional para el transporte de mercancías peligrosas, existe el Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR), que data de 1957 y que tuvo su última modificación en el año 2013. Para cumplir con el ADR, cada estado miembro de la Unión Europea publica normas nacionales apegadas a con dicho acuerdo. Las principales regulaciones del convenio se enumeran a continuación.

1. El establecimiento de los criterios de clasificación, los métodos de transporte y empaque de las sustancias reguladas, siendo éstos principalmente el transporte en embalajes, a granel y en cisternas. Los requisitos para el marcado y etiquetado de los embalajes incluyen el número de la ONU y etiquetas de peligro, conforme a lo indicado en el convenio (Vidal, García, & Romano, 2004).
2. La señalización de las unidades de transporte por medio de etiquetas con la identificación del peligro de los materiales y paneles naranjas reflectantes. Cada unidad que transporta materiales peligrosos está obligada a contar con equipamiento de emergencia que varía según la peligrosidad de la sustancia. La documentación necesaria para llevar a cabo el transporte terrestre de mercancías peligrosas también se especifica en este acuerdo, al igual que los métodos de prueba para la aprobación de envases, embalajes y cisternas, así como los procedimientos para carga y descarga.
3. La determinación de cantidades máximas de mercancías peligrosas por unidad de transporte, conforme a los riesgos de las sustancias químicas; establece además la necesidad de formación de las personas que intervienen en el transporte de materiales peligrosos y las obligaciones de seguridad de los participantes. A partir de la actualización del año 2005 este acuerdo incluye la obligación de elaborar un Plan de Seguridad, como resultado del reconocimiento del terrorismo como fuente de amenaza en estas actividades (Gerbec, 2008).

En los Estados Unidos de Norteamérica, el Departamento de Transporte aplica el Código de Regulaciones Federales No. 49, Partes 100-185. Los transportistas de materiales peligrosos deben registrarse ante este departamento a fin de obtener el permiso correspondiente y las placas para sus unidades de transporte. A partir de 2005, el transporte de ciertos materiales altamente peligrosos debe obtener además el Permiso de Seguridad de Materiales Peligrosos (HMSP) (USDOT, 2014).

Las actividades principales del generador de los materiales peligrosos incluyen 1) la determinación de las características de peligrosidad de éstos, 2) obtener el

nombre apropiado del material para su transporte, 3) obtener la clasificación de clase y división del material, el número de identificación de la ONU y su etiqueta de precaución de peligros, 3) realizar un marcado y embalaje adecuados, 5) proporcionar entrenamiento apropiado del personal y 6) tener completa la documentación para el transporte que consiste en la información de respuesta a emergencias, los datos del centro de atención a emergencias, el registro de la compatibilidad de los materiales, el plan de seguridad y el reconocimiento de incidentes (USDOT, 2014).

Por su parte, los transportistas son responsables de la documentación de embarque, de la señalización y placas de las unidades, de las maniobras de carga y descarga, de asegurar la compatibilidad entre los materiales transportados, de realizar el reporte de las incidencias al Departamento de Transporte, así como de contar con un plan de seguridad actualizado y personal entrenado para las labores con materiales peligrosos (USDOT, 2014).

Es importante mencionar que el Departamento de Transporte impone sanciones por la violación a la normativa del transporte de materiales peligrosos. En estos casos, las demandas civiles pueden ascender a US\$ 75, 000 y las demandas penales a corporaciones hasta US \$ 500, 000 (USDOT, 2014).

2.5. MARCO LEGISLATIVO MEXICANO PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes es la dependencia gubernamental encargada de regular las sustancias peligrosas durante su traslado por vías generales de comunicación aérea, marítima y terrestre (carreteras y ferrocarriles), mediante leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas, principalmente.

Entre los instrumentos principales de la SCT que involucran el control de los materiales peligrosos en las diversas vías de comunicación, destaca el Reglamento y la Ley Federal para el Control de Precursores Químicos, Productos Químicos Esenciales y Máquinas para Elaborar Cápsulas, Tabletas y/o Comprimidos, el cual establece que quien realice el transporte de los precursores y productos químicos esenciales, deben dar aviso a la SCT del inicio de sus actividades, comprobando que cuentan con las autorizaciones correspondientes y remitir en forma anual las cantidades o volúmenes de las sustancias reguladas y las empresas que requirieron de dicho servicio. Las cantidades de estas sustancias a partir de las cuales se regulan las actividades comerciales, se

establecen en el acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 23 de abril de 1998.

Las normas oficiales mexicanas aplicables al transporte de materiales peligrosos por vías generales de comunicación terrestre, aérea y marítima, identifican y clasifican las sustancias y materiales peligrosos transportados con mayor frecuencia, de acuerdo con su clase, división de riesgo, riesgo secundario y número asignado por la Organización de las Naciones Unidas (NOM-002-SCT/2003). Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) precisan el uso y los métodos para el envasado y embalaje utilizados para su transporte (NOM-002/1-SCT/2009), las características de las etiquetas para su identificación (NOM-003-SCT/2008), el sistema para la Identificación de las unidades que realizan el transporte de las sustancias peligrosas (NOM-004-SCT/ 2008) y la información de emergencia que debe estar disponible en dichas unidades (NOM-005-SCT/2008).

En el caso del transporte por carretera, la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal indica que es competencia de la SCT la regulación del autotransporte de materiales, residuos, remanentes y desechos peligrosos que circulen en vías generales de comunicación (Artículo 50). Esta secretaría promueve así el cumplimiento del Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, entre las empresas autotransportistas y ferroviarias. Las disposiciones principales de este reglamento son:

- 1.- Disposiciones generales. Establece que las personas que llevan a cabo el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos en vías federales de comunicación, requieren de un permiso otorgado por la SCT. Las unidades autorizadas tienen prohibido el transporte de personas o animales, productos alimenticios, artículos de uso personal, así como residuos sólidos municipales. Separa a las sustancias peligrosas en 9 clases, 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 y 9) Varios. Finalmente, se especifica que el código para la identificación de estas sustancias, las especificaciones para su traslado y las características de sus empaques y embalajes se establecen en normas oficiales mexicanas. En el caso de sustancias radioactivas, éstas se sujetarán a las normas que expida la Secretaría de Energía, por conducto de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.
- 2.- Envases y embalajes. Indica las consideraciones generales de seguridad para los envases y embalajes nuevos y reutilizables; menciona que corresponde al generador su inspección antes de entregarlos al transportista, para asegurarse

que se encuentran en buenas condiciones para su traslado. También indica las medidas preventivas de seguridad durante el envasado y empaquetado. Este apartado establece que los envases y embalajes deben detallar en una etiqueta los riesgos que representa, y así como el cumplimiento de las normas relativas a su fabricación. Indica que las normas oficiales mexicanas respectivas establecerán la clasificación de los envases y embalajes, sus tipos, disposiciones, especificaciones, características de construcción, métodos de prueba, así como la información de las etiquetas de identificación de riesgos.

- 3.- Características, especificaciones y equipamiento de los vehículos motrices y unidades de arrastre a utilizar. Señala que las unidades motrices destinadas al traslado de materiales y residuos peligrosos deben cumplir con ciertas especificaciones, indicadas en las normas oficiales correspondientes; de igual manera, los autotanques, carros tanque, recipientes intermedios para granel y contenedores cisterna deben sujetarse al proceso de certificación y verificación, además de contar con aditamentos de emergencia y dispositivos de protección. Las unidades deben tener una placa metálica fija de señalización y cuatro carteles que identifiquen el material y residuo peligroso que se transporta.
- 4.- Condiciones de seguridad. Indica que las disposiciones y las especificaciones de seguridad de las unidades se verifican periódicamente por la SCT o por unidades acreditadas, las cuales supervisan entre otros, las condiciones mecánicas y de mantenimiento de las unidades; para ello, los transportistas deberán llevar un control del mantenimiento preventivo y correctivo a sus unidades y un registro de los materiales y residuos peligrosos transportados. El transportista debe verificar que las unidades reúnan las condiciones de operación, físicas y mecánicas antes de realizar la carga de los materiales peligrosos. Durante el proceso de carga ésta se debe acondicionar de manera que no se produzcan daños en la misma; se debe tomar en cuenta la compatibilidad entre los materiales y contar con indicaciones en caso de emergencia. Finalmente, establece que el Sistema Nacional de Emergencia en Transportación de Materiales y Residuos Peligrosos proporciona información técnica y guía en el control de accidentes.
- 5.- Tránsito en vías de jurisdicción federal. Establece condiciones de seguridad como a) evitar el traslado de personas no relacionadas con la actividad en las unidades autorizadas; b) evitar la apertura de envases y embalajes, así como la purga y venteo de los materiales al camino; c) abstenerse de realizar paradas no justificadas; d) proteger la carga durante el estacionamiento de la unidad, en el caso de paradas nocturnas o ante condiciones meteorológicas adversas.
- 6.- Residuos peligrosos. Para realizar su transporte, los residuos deben ser compatibles entre sí; las unidades requieren cumplir con especificaciones de construcción y los residuos peligrosos generados en el lavado o

descontaminación de las unidades deben respetar la normatividad relativa para su correcta disposición.

7.- **Responsabilidad**. Este apartado fija las obligaciones del generador, destinatario y autotransportista en el proceso de transporte de materiales peligrosos. Dentro de las responsabilidades del generador se encuentran, el verificar la seguridad e identificación de los envases y embalajes; el brindar la información de emergencia en la transportación y portar los carteles para identificación del riesgo en las unidades, además de contar con las autorizaciones y la documentación necesaria.

Las obligaciones comunes son referentes al acuerdo sobre métodos de control en la transportación; a la verificación que la documentación para el envío se encuentre completa; al consenso de que la ruta de transporte cuente con las mejores condiciones de seguridad y a la vigilancia de las condiciones en que se realiza el transvase de los materiales.

Las obligaciones del transportista consisten en cuidar las medidas de seguridad establecidas previamente en relación con las unidades, con los envases y embalajes; proteger la carga; asegurar que los conductores se encuentren autorizados para la realización de sus tareas (licencia federal tipo E, asistencia y aprobación de cursos de capacitación y actualización de conocimientos).

8.- **Sanciones**. Se indican las sanciones económicas y administrativas aplicables en caso de infracciones a lo establecido en el Reglamento.

Las normas oficiales mexicanas en las cuales se especifican las medidas de seguridad mencionadas en el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, establecen el proceso de la revisión ocular diaria de las unidades (NOM-006-SCT2/2011), el marcado de envases y embalajes (NOM-007-SCT2/2010), especificaciones de incompatibilidad y segregación para los materiales peligrosos (NOM-009-SCT2/2009; NOM-011-SCT2/2003), condiciones para la limpieza y control de remanentes (NOM-019-SCT2/2004), las condiciones de diseño y construcción de auto tanques, la información que debe especificarse en la placa metálica para identificación de las unidades (NOM-023-SCT2/2011) y las características de los documentos de embarque y la cadena de custodia entre el generador, transportista y destinatario de los materiales peligrosos (NOM-043-SCT/2003). Así mismo se establecen especificaciones técnicas para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de ensayo (prueba) de los envases y embalajes (NOM-024-SCT2/2010) y las condiciones especiales de los envases, embalajes y unidades, con base en la clase de riesgo de los materiales que transportan (NOM-027-SCT2/2009; NOM-028-SCT2/2010; NOM-028-SCT2/2010; NOM-029-SCT2/2004; NOM-030-SCT2/2009; NOM-032-SCT2/2009; NOM-046-SCT2/2010).

El transporte terrestre de gas LP tiene su normativa particular establecida en la NOM-007-SESH-2010, donde se indican las condiciones de seguridad, operación y mantenimiento de los vehículos para el transporte y distribución de gas L.P. De igual forma, la NOM-008-SESH/SCFI-2010 indica las especificaciones de fabricación, materiales y métodos de prueba en los recipientes transportables para contener gas L.P.

La legislación en materia de transporte terrestre de materiales peligrosos contiene la información necesaria para prevenir y minimizar los accidentes con sustancias químicas peligrosas en las vías de comunicación terrestres. Si su aplicación fuera más efectiva se podría reducir la frecuencia y severidad de los accidentes, sin embargo, ha hecho falta una mayor supervisión de las autoridades responsables respecto al cabal cumplimiento de las mismas (Cámara de Diputados, 2013).

CAPITULO 3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN MÉXICO.

En este capítulo se describe el procedimiento seguido en México para llevar a cabo el análisis de la herramienta de evaluación del riesgo ambiental en sus ámbitos federal y estatal.

3.1. ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN MATERIA RIESGO AMBIENTAL EN LOS ÁMBITOS FEDERAL Y ESTATAL.

En esta sección se analizaron las características principales del proceso para la evaluación del riesgo ambiental de competencia federal que se realiza para las empresas altamente riesgosas, así como los enfoques utilizados para regular las actividades riesgosas en las entidades federativas.

3.1.1. ANÁLISIS DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO FEDERAL.

En el ámbito federal se realizó la comparación de la legislación ambiental en materia de riesgo a nivel internacional y se analizaron las características principales de las actividades altamente riesgosas en México, como se muestra en la Figura 3.1.

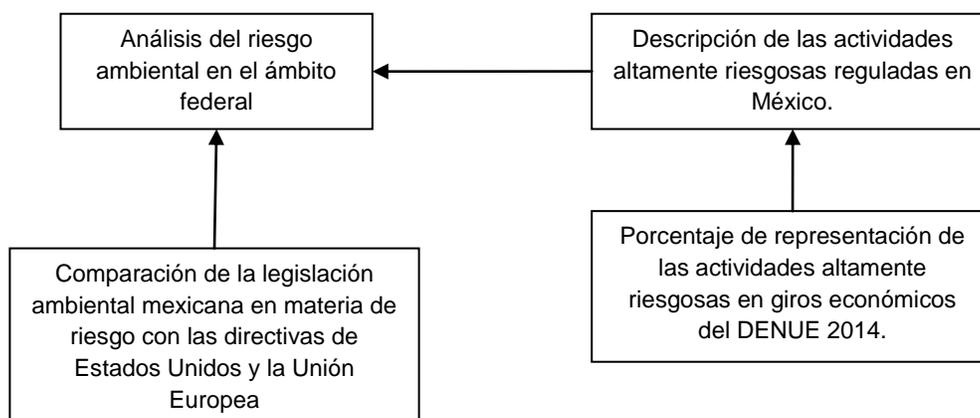


Figura 3.1. Análisis del riesgo ambiental en el ámbito federal.

Las normativas para la prevención de accidentes industriales mayores de México, Estados Unidos y la Unión Europea que fueron analizadas son las siguientes.

- La normativa mexicana se basa en el artículo 5º, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), del 9 de enero de 2015.
- La normativa de los Estados Unidos de América se basa en el Código de Regulaciones Federales No. 40, sección 68, denominada “Disposiciones para la Prevención de Accidentes Químicos” del 9 de Abril de 2004.
- La directiva 2012/18/UE de la Unión Europea “Relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas”, del 4 de julio de 2012.

La comparativa entre las tres legislaciones se realizó para los aspectos siguientes:

2. Las bases y los niveles para realizar la clasificación de las actividades sujetas a regulación.
3. La actualización de cada legislación.
4. Los tipos de sustancias químicas que clasifican las actividades a regular.
5. Los requerimientos de cada normativa para las actividades de riesgo.

Por otra parte, la descripción de las actividades altamente riesgosas en México se obtuvo a partir de una solicitud de información, haciendo uso de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, a través del sitio INFOMEX. Los datos de la solicitud de muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Datos de la solicitud de información pública realizada a SEMARNAT.

Folio de la solicitud	0001600176014
Tipo de solicitud	Información Pública
Dependencia que recibe la solicitud	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Descripción de la solicitud de información	Deseo conocer las actividades altamente riesgosas de las cuales la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas ha realizado la revisión del Estudio de Riesgo y la aprobación del Programa para la Prevención de Accidentes, desde la aprobación de la legislación ambiental respectiva hasta la fecha. Para cada actividad requiero el nombre de la actividad, su ubicación, giro económico y sustancias de riesgo.
Otros datos para facilitar su localización	La SEMARNAT como sujeto obligado debe contar con información actualizada respecto a las concesiones, permisos o autorizaciones otorgados, especificando los titulares de aquéllos. Conforme a la fracción XII del Artículo 7 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental.

De acuerdo con la respuesta a la citada solicitud de información, recibida el día 29 de agosto de 2014, se describieron la localización de las actividades altamente riesgosas en México, los giros principales de estas actividades y el porcentaje que representan del total de actividades económicas relevantes, con base en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.

Los giros principales de las actividades típicas de alto riesgo de extracción de petróleo y derivados, comercio de gas LP y gas natural, fabricación de hielo, fabricación de refrescos y fabricación de plaguicidas y agroquímicos, fueron consultados en el Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI, versión 2014, para conocer el porcentaje de éstos que se encuentra regulado como actividad altamente riesgosa.

3.1.2. ANÁLISIS DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO ESTATAL.

En el ámbito estatal, el análisis del riesgo ambiental se realizó mediante la revisión de la legislación vigente en cada entidad federativa, así como haciendo uso de la Ley de Acceso a la Información Pública Gubernamental de cada estado, con el fin de conocer las modalidades para la gestión del riesgo en esta esfera de competencia (Figura 3.2).

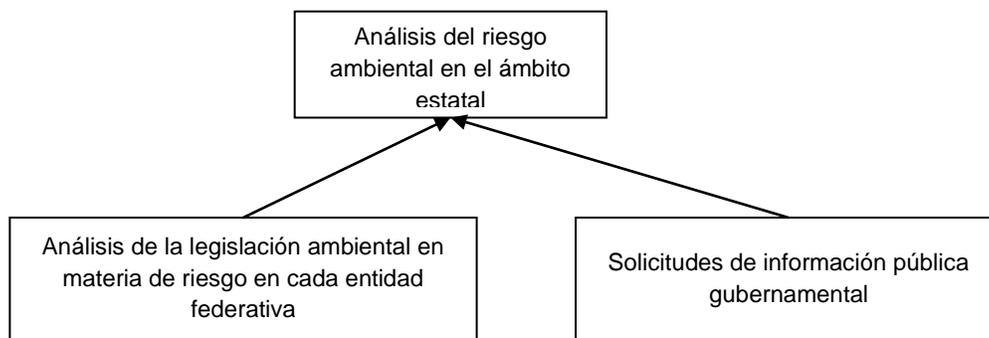


Figura 3.2. Análisis del riesgo ambiental de competencia estatal.

El análisis de la legislación en materia de riesgo ambiental entre las diferentes entidades federativas se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Legislaciones ambientales estatales en materia de riesgo.

Estado	Clasificación de actividades riesgosas.
Aguascalientes	Artículo 175. Ley de Protección Ambiental para el Estado de Aguascalientes. 24 de diciembre de 2012.
Baja California	Artículo 153. Ley de Protección al ambiente para el Estado de Baja California. 1 de Agosto de 2014.
	Artículo 35 del Reglamento de la ley de protección al ambiente para el estado de baja california en materia de impacto ambiental. 30 de Julio de 2010.
Baja California Sur	Artículo 70. Ley del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente del Estado de Baja California Sur. 20 de Julio de 2010.
	Definiciones. Reglamento de la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente del Estado de Baja California Sur. 10 de junio de 1994.
Campeche	Artículo 118. Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Campeche. 30de agosto de 2012.
Chiapas	Artículo 79 y 184. Ley Ambiental para el Estado de Chiapas. 9 de mayo de 2014.
Chihuahua	Artículo 119. Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua. 21 de Junio de 2014.
Coahuila	Artículo 152. Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Coahuila de Zaragoza. 1 de Mayo de 2015.
Colima	Artículo 194. Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Colima. 2 de noviembre de 2013.
	Definiciones. Reglamento de Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Colima en materia de Impacto y Riesgo Ambiental. 12 de marzo de 1994.
Distrito Federal	Artículo 176. Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. 17 de septiembre de 2013.
	Artículo 6. Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo. 26 de marzo de 2004.
Durango	Definiciones. Ley de Gestión Ambiental Sustentable para el Estado de Durango. 22 de Febrero de 2011.
	Artículo 13. Reglamento de la Ley de Gestión Ambiental Sustentable para el Estado de Durango en materia de Impacto Ambiental. 18 De Agosto De 2013.
Estado de México	Artículo 2.185. Código para la biodiversidad del Estado de México. 3 de mayo de 2006.
	Artículo 126. Reglamento del libro segundo del Código para la Biodiversidad del Estado de México. 22 de mayo del 2007.
	Listado de Obras y actividades industriales, comerciales y de servicios que requerirán de la presentación del estudio de riesgo de acuerdo a los artículos 2.67 del código para la biodiversidad del estado de México y 134 del reglamento del libro segundo del código para la biodiversidad del estado de México. 5 de Octubre de 2007
Guanajuato	Artículo 132. Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del Estado de Guanajuato. 7 de junio del 2013.
	Artículo 40. Reglamento de la Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del Estado de Guanajuato en materia de Evaluación de Impacto Ambiental. 15 de junio del 2012
Guerrero	Artículo 224. Ley número 878 del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Guerrero. 03 de Marzo de 2009.
Hidalgo	Artículo 45. Ley para la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo. 13 de febrero de 2015.
	Artículo 10.- Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del estado de Hidalgo. 6 de Agosto de 2001
Jalisco	Artículo 94 y 95. Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 8 de abril de 2014.
Michoacán	Artículo 44. Ley Ambiental y de Protección del Patrimonio Natural del Estado de Michoacán de Ocampo. 20 de diciembre del 2007.
	Artículo 66. Reglamento de la Ley Ambiental y de Protección del Patrimonio Natural del Estado de Michoacán de Ocampo. 12 de agosto del 2010

Estado	Clasificación de actividades riesgosas.
Morelos	Definiciones, Artículo 24 y 25. Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos en materia de evaluación del impacto y riesgo ambiental. 26 de octubre de 2011.
Nayarit	Artículo 174. Ley Estatal del Equilibrio Ecológico Y Protección al Ambiente del Estado de Nayarit. 4 de julio de 2007
Nuevo León	Artículo 182. Ley Ambiental del Estado de Nuevo León. 20 de Junio de 2014. Artículo 209. Reglamento de la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León. 29 de febrero de 2008
Oaxaca	Definiciones y artículo 112. Ley del Equilibrio Ecológico del Estado de Oaxaca. 10 de mayo de 2008.
Puebla	Artículo 146. Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla. 29 de agosto de 2012
Querétaro	Artículo 60. Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro. 13 de marzo de 2015.
Quintana Roo	Artículo 143. Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente del Estado de Quintana Roo. 29 de junio de 2001. Artículo 14. Reglamento de la Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo, en materia de Impacto Ambiental. 28 de febrero de 2005.
San Luis Potosí	Artículo 98. Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí. 1 de noviembre de 2014. Primer Listado de Actividades Riesgosas para el Estado de San Luis Potosí. 5 de junio de 2002.
Sinaloa	Artículo 204. Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Sinaloa. 8 de abril de 2013. Primer listado de actividades riesgosas. 7 de Febrero de 2001
Sonora	Artículo 167. Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora. 11 de diciembre de 2014. Acuerdo que determina los criterios ecológicos aplicables a quienes pretendan realizar o realicen actividades riesgosas. 22 de Agosto de 2005.
Tabasco	Artículo 163. Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco. 6 de enero de 2010. Artículo 6, 18 y 19. Reglamento de la Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco, en materia de Evaluación del Impacto y Riesgo Ambiental. 3 de junio de 2009.
Tamaulipas	Artículo 150. Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas. 24 de octubre de 2006. Artículo 5. Reglamento de Evaluación del Impacto Ambiental para el Estado de Tamaulipas. 20 de Noviembre de 2013
Tlaxcala	Artículo 49. Ley de Ecología y de Protección al Ambiente del Estado de Tlaxcala. 13 de diciembre del 2005. Artículo 5. Reglamento de la Ley de Ecología y de Protección al Ambiente del Estado de Tlaxcala en materia de impacto y riesgo ambiental. 24 de marzo de 2004.
Veracruz	Artículo 168. Ley Estatal de Protección Ambiental del Estado de Veracruz. 16 de julio de 2014. Artículo 9. Reglamento en materia de Impacto Ambiental de la Ley Número 62 Estatal de Protección Ambiental. 20 de mayo de 2005.
Yucatán	Artículo 90. Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán. 24 de abril de 2014. Artículo 46. Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán. 23 de Marzo de 2000.
Zacatecas	Artículo 161. Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Zacatecas. 23 de Marzo de 2013.

La información del marco legal se complementó con las solicitudes de información pública gubernamental que se realizaron a cada entidad federativa para conocer lo relativo a:

1. La existencia de un documento, reglamento o acuerdo donde se caractericen las actividades de riesgo.
2. Las modalidades usadas para definir las actividades riesgosas (si se trata de giros económicos, cantidades umbral, etc.).
3. El procedimiento para la autorización de las actividades de riesgo.
4. El número de actividades autorizadas en cada entidad federativa. Las solicitudes de información se realizaron en el periodo de mayo a junio de 2014.

3.2. CASO DE ESTUDIO: RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A ACTIVIDADES DE RIESGO Y AL TRANSPORTE TERRESTRE EN SAN LUIS POTOSÍ.

3.2.1. ACTIVIDADES DE RIESGO.

La investigación de esta tesis de doctorado plantea como estudio de caso el estado de San Luis Potosí, cuya ubicación geográfica privilegiada la convierte en el centro neurálgico de comunicaciones en el país (SEDECO, 2010b). Actualmente, el estado cuenta con 6 parques industriales públicos y 10 privados (SEDECO, 2010a). En 2013, San Luis Potosí recibió 509 millones de dólares por concepto de inversión extranjera directa (IED) y la capital del estado fue reconocida como la tercera mejor ciudad de América para invertir y hacer negocios en el rubro de efectividad de costos (El Sol de San Luis, 2013).

Para llevar a cabo el diagnóstico de las actividades riesgosas en el estado de San Luis Potosí, en primer lugar se realizó la caracterización de las actividades de alto riesgo, localizadas en la entidad federativa y posteriormente se efectuó el análisis de la evaluación para las actividades riesgosas del ámbito estatal (Figura 3.3).

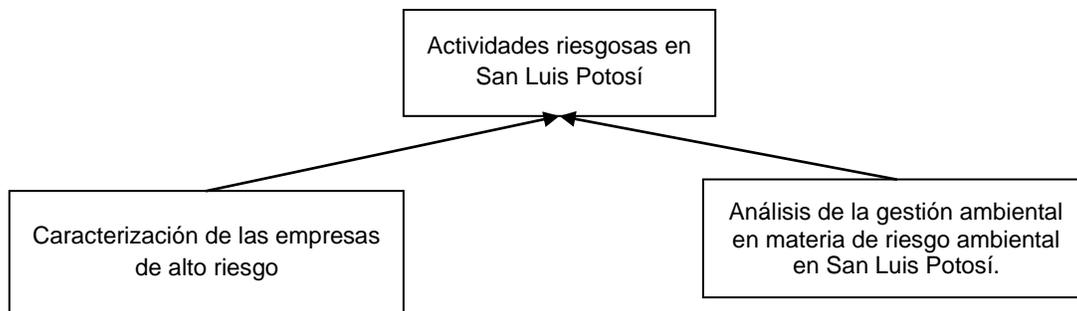


Figura 3.3. Análisis de la evaluación del riesgo ambiental en San Luis Potosí.

La evaluación del riesgo ambiental para el estado de San Luis Potosí (Figura 3.4) inició con el análisis de la legislación aplicable, específicamente del “Primer listado de actividades riesgosas para San Luis Potosí” y la clasificación que efectúa de las actividades riesgosas que le corresponde regular al estado.

Además, la evaluación incluyó la realización de dos ejercicios para identificar las actividades sujetas a regulación.

- 1) El primero de ellos para la capital del estado, conforme a los criterios definidos en el Primer Listado de Actividades Riesgosas para San Luis Potosí y con base en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas en su versión 2014.
- 2) El segundo con base en tres giros económicos en materia de riesgo (gaseras, estaciones de servicio y empresas con almacenamiento de combustibles) cuyas actividades se regulan en forma generalizada por las entidades federativas y que se identificaron en el análisis realizado para toda la República Mexicana, a partir de las fuentes de información siguientes:
 - a. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2013.
 - b. Cédulas de operación anual de los años 2009 y 2010 de la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del estado de San Luis Potosí.
 - c. Bases de datos de licencias de funcionamiento de la Dirección de Comercio del Ayuntamiento de San Luis Potosí, en el año 2012.

Posteriormente se analizó la calidad en los Estudios de Riesgo y Programas para la Prevención de Accidentes, aprobados por SEGAM durante los años 2008 y 2010. Los principales aspectos evaluados en los estudios fueron:

- a) El tipo de metodologías seleccionadas para la identificación de peligros y la aplicación realizada con las mismas.
- b) Los modelos utilizados para la determinación de consecuencias al exterior, la selección de los escenarios a modelar y los resultados obtenidos.

Finalmente se definieron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para la SEGAM en relación a la gestión que realiza del riesgo ambiental en el estado de San Luis Potosí, con la finalidad de identificar los agentes internos y externos a esta secretaría que contribuyen en la construcción de escenarios de riesgo.

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN MATERIA RIESGO AMBIENTAL EN LOS ÁMBITOS FEDERAL Y ESTATAL EN MÉXICO.

En el presente capítulo se analizan las regulaciones del riesgo ambiental de competencias federal y estatal. Primero se compara la legislación mexicana federal con otras directivas internacionales, y posteriormente se caracteriza la distribución y los tipos de actividades altamente riesgosas. Finalmente se analizan los enfoques diferentes para caracterizar las actividades de riesgo estatales y su distribución en las entidades federativas.

4.1. COMPARATIVA INTERNACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DE LOS ACCIDENTES INDUSTRIALES MAYORES.

La comparación entre las normativas federales para la prevención de accidentes industriales mayores de México, Estados Unidos y la Unión Europea se realizó con base en las legislaciones siguientes.

- La normativa de los Estados Unidos de América se fundamenta en el Código de Regulaciones Federales No. 40, sección 68.130. Tiene establecidos 3 niveles de riesgo ambiental con base en la cantidad umbral de un listado de sustancias químicas peligrosas de la sección 68.130 del Código de Regulaciones Federales.
- La normativa mexicana se cimienta en el artículo 5º, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual establece una sola clasificación de las denominadas “Actividades altamente riesgosas”, a partir de la cantidad de reporte indicada en el Primer y Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas.
- La directiva 2012/18/UE de la Unión Europea define dos programas de riesgo ambiental el de nivel superior y el de nivel inferior, según cantidades umbral establecidas en dicha normativa.

Es importante notar que en el caso de Estados Unidos y México, las cantidades de reporte de sustancias químicas peligrosas son el criterio único para su categorización; mientras que en la Unión Europea se incluyen otros criterios como el historial de accidentes de las empresas, el potencial de afectación a receptores públicos y la efectividad de los programas de respuesta ante emergencias en cada actividad (Tabla 4.1).

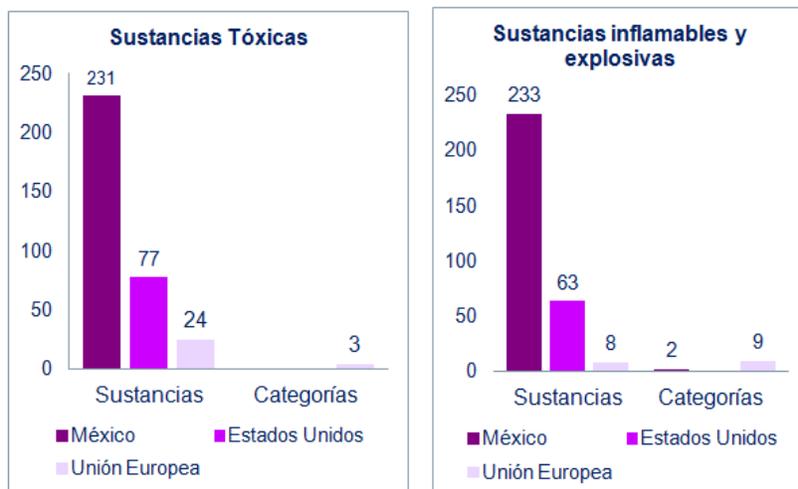
Tabla 4.1. Bases internacionales para la categorización y la clasificación de las actividades riesgosas.

Regulación	Clasificación de riesgo	Base para categorización
México	Actividades altamente riesgosas.	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de reporte indicada en el Primer y Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas.
Estados Unidos de América	Programa 1, 2 y 3.	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad umbral de la sección 68.130 del Código de Regulaciones Federales. • Historial de accidentes • Potencial de afectación a receptores públicos. • Efectividad de los programas de respuesta ante emergencias.
Unión Europea	Establecimientos de nivel superior e inferior.	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidades umbral de la Directiva 2012/18/UE.

Fuente: LGEEPA, 2015; CFR (2000). UE (2012).

En relación a la actualización de dichas normativas, México es el país con la normativa menos actualizada para la prevención de los accidentes industriales mayores, ya que desde los años 1990 y 1992, en que se promulgaron los listados que categorizan las actividades altamente riesgosas, no se han realizado otras propuestas. Estados Unidos es el país con el mayor número de actualizaciones en materia de riesgo ambiental, con un total de 4, mientras que la Unión Europea tiene la normativa más actual que data del año 2012.

Las diferencias principales en el número de las sustancias químicas normadas de las legislaciones se observan en la Figura 4.1. El análisis de los tipos de sustancias químicas peligrosas reglamentadas por cada marco legal mostró que las tres normativas regulan sustancias con características tóxicas inflamables y explosivas. En México se norma un número mayor de sustancias químicas como sustancias individuales, mientras que la normativa de la Unión Europea considera categorías de riesgo más que sustancias químicas individuales; además, ésta incluye otros parámetros para la reglamentación de las sustancias químicas, como es el caso de la reactividad y la peligrosidad medioambiental.



Fuente: LGEEPA, 2015; CFR (2000). UE (2012).

Figura 4.1. Sustancias químicas peligrosas tóxicas, inflamables y explosivas utilizadas para categorizar las actividades de riesgo en el ámbito internacional.

En la Tabla 4.2 se observa la evolución de la directiva SEVESO en relación al número de sustancias y categorías de riesgo en el que se basa para la clasificación de las empresas que son objeto de regulación.

Tabla 4.2. Evolución de las sustancias reguladas en la normativa SEVESO.

	SEVESO I	SEVESO II	SEVESO II
Sustancias individuales	187	34	48
Categorías de riesgo	1 categoría 3 sub-categorías	10 categorías 5 sub-categorías	4 categorías 21 sub-categorías

Fuente: Muñoz, 2013; DGPCE, 2013.

Como establece Muñoz (2013), el criterio empleado en la Directiva Seveso I a la hora de clasificar a una planta como de alto riesgo era de tipo isotraumático, basado en daños equivalentes; es decir, cuanto más tóxica, más inflamable o más explosiva, tanto menor es la cantidad mínima a partir de la cual se determina el que una planta sea de alto riesgo; mientras que la Directiva SEVESO II establece una nueva clasificación según las categorías de sustancias y preparados químicos; y por otra parte, para la última actualización de la normativa, ésta se adapta al Sistema Global Armonizado (GHS), conforme al reglamento 1272/2008 de la Unión Europea. Las categorías vigentes que agrupan gran número de sustancias químicas individuales se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Categorías de peligrosidad empleadas para clasificar las actividades sujetas a regulación de la directiva SEVESO III.

SECCIÓN H. PELIGROS PARA LA SALUD				
H1 Toxicidad aguda	H2 Toxicidad aguda		H3 Toxicidad específica en determinados órganos	
SECCIÓN «P» – PELIGROS FÍSICOS				
Pla Explosivo	P1b Explosivo	P2 Gases inflamables	P3a Aerosoles inflamables	P3b Aerosoles inflamable
4 Gases comburentes	P5a Líquidos inflamable	P5b Líquidos inflamables	P5c Líquidos inflamable	P6a Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente y peróxidos orgánicos
P6b Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente y peróxidos orgánicos	P7 Líquidos y sólidos pirofóricos		P8 Líquidos y sólidos comburentes	
SECCIÓN «E» – PELIGROS PARA EL AMBIENTE				
E1 Peligroso para el ambiente acuático en las categorías aguda 1 o Crónica 1			E2 Peligroso para el ambiente acuático en la categoría crónica 2	
SECCIÓN «O» – OTROS PELIGROS				
O1 Sustancias o mezclas con indicación de peligro euh014	O2 Sustancias y mezclas que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables de categoría 1		O3 Sustancias o mezclas con indicación de peligro euh029	

Fuente: UE, 2012

México cuenta con la norma mexicana NMX-R-019-SCFI-2011 (DOF, 2011) relativa al Sistema armonizado de clasificación y comunicación de peligros de los productos químicos, que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Junio de 2011. Aunque esta norma es de observancia voluntaria, constituye la base para la aplicación del Sistema Global Armonizado (GHS) en el país, y que ha incorporado a otras regulaciones como la NOM-003-SCT/2008 y la NOM-018-STPS-2000, como una alternativa al sistema tradicional para la identificación y comunicación de los riesgos de las sustancias químicas.

Por otra parte, en relación al contenido de las regulaciones analizadas para la prevención de los accidentes industriales mayores, las principales diferencias y similitudes entre las regulaciones de Estados Unidos, México y la Unión Europea son los siguientes.

- 1) En el proceso de evaluación del riesgo, los tres marcos normativos incluyen la identificación de las fuentes de peligro y el análisis de consecuencias al exterior de los accidentes químicos. En este aspecto, la legislación estadounidense no incluye la evaluación del efecto dominó de los

accidentes químicos, ni la consideración de las amenazas naturales como fuentes potenciales de accidentes.

- 2) Las medidas para la prevención de accidentes incluyen la revisión de procedimientos de operación, la capacitación, el mantenimiento y la investigación de accidentes, como aspectos esenciales para la gestión de los riesgos. En el caso de México se identificó que en esta categoría la normativa no incluye la obligación de las empresas de enviar un informe de seguridad a las entidades gubernamentales encargadas de la respuesta a emergencias.
- 3) En el aspecto de la respuesta ante emergencias, los tres marcos regulatorios indican la obligatoriedad de que las empresas establezcan un programa de atención a emergencias en los niveles interno y externo. El primero brinda respuesta a accidentes que pueden resolverse con los recursos internos de la organización, mientras que el segundo implica la coordinación para la atención de las emergencias con las entidades gubernamentales. En este contexto se identifica que la legislación mexicana no contempla en los programas para la prevención de accidentes y los estudios de riesgo ambiental la obligación del acceso a la información de las comunidades potencialmente afectables.

4.2. ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS EN MÉXICO.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL PARA LAS ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.

A pesar de que en México existe una sola clasificación para las actividades de alto riesgo de competencia federal, la guía para la elaboración de los estudios de riesgo ambiental divide las actividades de alto riesgo ambiental en 4 niveles, dependiendo de sus características con el fin de exigir un grado determinado de profundidad en la descripción de sus procesos y en el estudio del riesgo ambiental, como se muestra en la Figura 4.2.

Esta clasificación para la elaboración del estudio de riesgo también considera metodologías determinadas para la identificación de peligros y jerarquización de los riesgos, tal como se muestra en la Tabla 4.4.

Cabe mencionar que en el nivel 1, la guía no establece el tipo de métodos para la jerarquización de riesgos, y sólo señala que se deberán indicar los criterios de selección de las metodologías para jerarquización de riesgos.

Además, como se observa en la Tabla 4.4, para establecer la jerarquización de los riesgos se pueden usar los criterios de peligrosidad de los materiales; de manera que la evaluación cuantitativa o cualitativa de la severidad y frecuencia de los escenarios de riesgo no es obligatoria para la mayoría de los niveles de los estudios de riesgo ambiental.

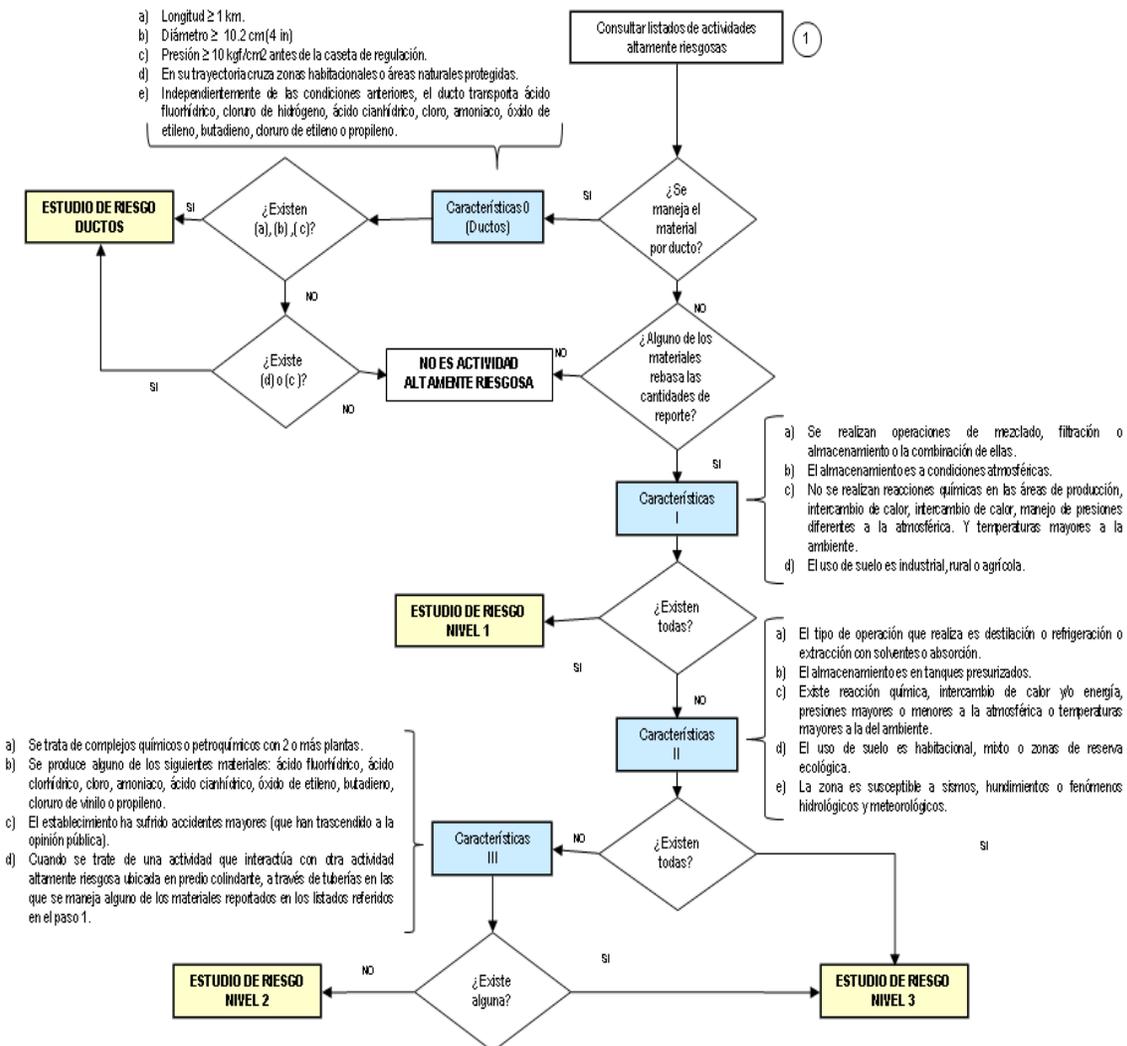


Figura 4.2. Niveles para la elaboración del estudio de riesgo ambiental.

Por otra parte, la guía para elaboración del estudio de riesgo ambiental no establece criterios para la caracterización del riesgo ambiental con base en sus niveles de severidad y frecuencia, por lo que los escenarios de riesgo, una vez

jerarquizados, no necesitan evaluar su categoría de riesgo, y resulta difícil evaluar los escenarios para conocer los riesgos que requieren modificaciones para su aceptación.

Tabla 4.4. Métodos aceptados para la identificación de peligros y jerarquización de riesgos, dependiendo del nivel del estudio de riesgo ambiental en México.

Nivel de estudio/Métodos recomendados	Identificación de peligros	Jerarquización de riesgos
Nivel 0	¿Qué pasa si?/ Lista de verificación, Hazid, Hazop, Árbol de Fallas o cualquier otra cuyos alcances y profundidad sean similares.	Matriz de riesgos. Metodologías cuantitativas de identificación de riesgos. Criterios de peligrosidad de los materiales en función de los gastos, condiciones de operación y/o características CRETI
Nivel 1	Lista de verificación (check list), ¿Qué pasa si?, Índice DOW, Índice Mond, Análisis de Modo Falla y efecto (FMEA) o alguna otra con características similares a las anteriores y/o la combinación de estas.	No se mencionan
Nivel 2	Análisis de Riesgo y Operabilidad (Hazop), Análisis de Modo Falla y efecto (FMEA) con árbol de eventos, Árbol de fallas o alguna otra con características similares a las anteriores y/o la combinación de estas.	Matriz de riesgos. Metodologías cuantitativas de identificación de riesgos. Criterios de peligrosidad de los materiales en función de los gastos, condiciones de operación y/o características CRETI
Nivel 3	Análisis de Riesgo y Operabilidad (Hazop) y Árbol de fallas, Análisis de Modo Falla y efecto (FMEA) con árbol de fallas, o la combinación de dos metodologías con características similares a las anteriores.	Metodologías cuantitativas de identificación de riesgos

En relación con la determinación de consecuencias al exterior, todos los niveles establecen los mismos límites de exposición para la identificación de las zonas de seguridad (de alto riesgo y amortiguamiento), en escenarios relacionados con fuego, explosión y liberación de sustancias tóxicas. Los límites de exposición se muestran en la Tabla 4.5.

Es importante señalar que la guía para la elaboración del estudio de riesgo solicita únicamente representar las zonas de alto riesgo y amortiguamiento, e indicar los puntos de interés que pudieran verse afectados, pero no incluye el análisis de las características sociales o ecológicas de los entornos potencialmente afectados por los escenarios evaluados.

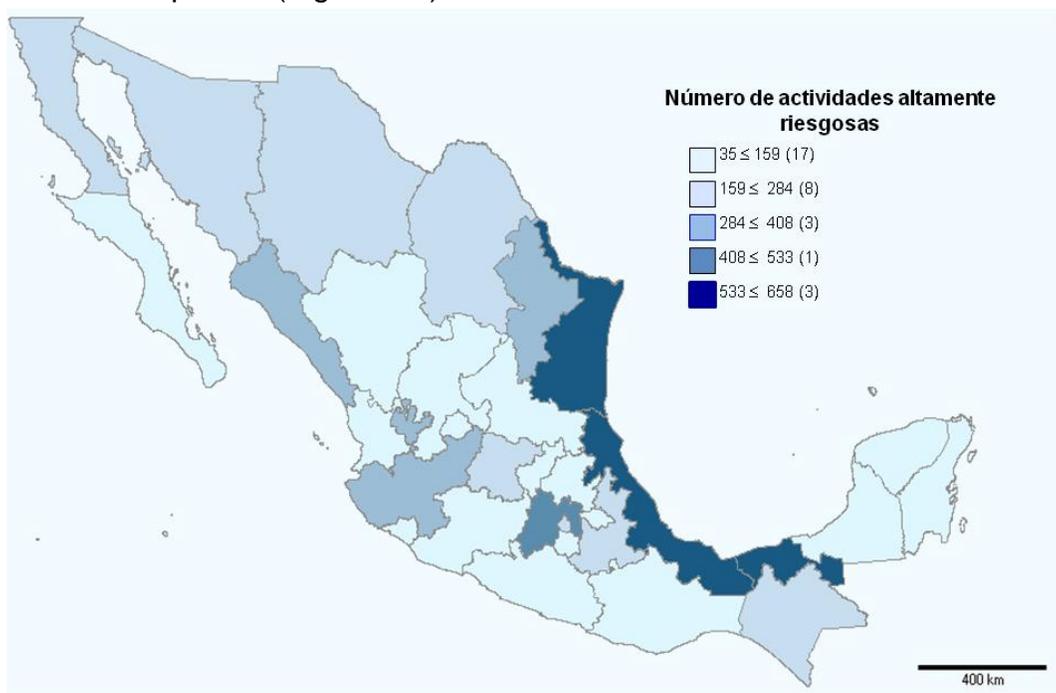
Tabla 4.5. Límites de exposición para la identificación de zonas de seguridad en los estudios de riesgo ambiental.

	Toxicidad (concentración)	Inflamabilidad (radiación térmica)	Explosividad (Sobrepresión)
Zona de riesgo alto	IDLH	5 kW/m ² o 1500 BTU/Pie ² H	1.0 lb/plg ²
Zona de Amortiguamiento	TLV ₈ o TLV ₁₅	1.4 kW/m ² o 440 BTU/Pie ² H	0.5 lb/plg ²

4.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS EN MÉXICO.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2014b) dio a conocer la existencia de 6581 empresas de alto riesgo que operan en México, la base de datos proporcionada por dicha dependencia incluye el nombre de la empresa, el proyecto y la ubicación de cada actividad; sin embargo, la información relativa a las sustancias químicas utilizadas por cada actividad fue clasificada como reservada o confidencial, por lo que no fue posible su conocimiento

El análisis de los registros proporcionados por la SEMARNAT (2014b) indica que los estados donde se concentra la cantidad mayor de actividades altamente riesgosas son Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, con más de 550 empresas. A éstos les siguen el Estado de México, Nuevo León, Jalisco y Sinaloa que tienen más de 340 empresas (Figura 4.3).

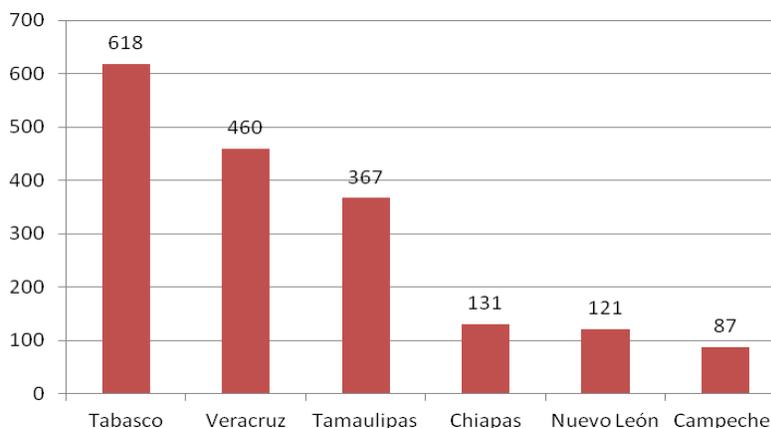


Fuente: SEMARNAT, 2014b.

Figura 4.3. Localización de las actividades altamente riesgosas en México.

Como se observa en la Figura 3.1, las actividades altamente riesgosas se concentran en los estados que tienen como litoral el golfo de México, exceptuando aquellos que conforman la península de Yucatán. Lo anterior se explica al considerar la contribución de actividades altamente riesgosas de la paraestatal PEMEX en los estados del litoral del Golfo de México. Para el resto de las entidades federativas que concentran un gran número de actividades altamente riesgosas como son el Estado de México, Nuevo León, Jalisco y Sinaloa, éstas estarían enfocadas al ámbito industrial, debido a su dinamismo económico.

PEMEX realiza 2034 actividades altamente riesgosas, mismas que representan el 30.9% del total de actividades de riesgo del ámbito federal. Los estados que concentran la mayor parte de las actividades altamente riesgosas de PEMEX en las diferentes entidades federativas se muestra en la Figura 4.4. Como se observa, los estados de Tabasco, Veracruz y Tamaulipas concentran el mayor número de éstas operaciones.



Fuente: SEMARNAT, 2014b.

Figura 4.4. Entidades federativas donde se ubican más de 50 actividades altamente riesgosas de PEMEX.

Los giros principales de las actividades altamente riesgosas en la República Mexicana se describen en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Giros relevantes de las actividades altamente riesgosas en México.

Giro	Actividad
Pemex	2030
Gas natural y Gas LP	725
Fabricación de hielo	221
Uso de amoniaco industrial	462
Plaguicidas y agroquimicos	186
Embotelladoras	111
Otros	2135

Fuente: SEMARNAT, 2014b.

Cabe mencionar que los 2135 registros (32%) de la base de datos de SEMARNAT (2014b) reportados como otros en la Tabla 4.4, no cuentan con descripción de la actividad que se realiza, lo cual limita la caracterización de dichas actividades.

Los datos recabados del Directorio Estadístico Nacional (DENUE) y la comparativa con las actividades de alto riesgo (Tabla 4.7), arrojó los siguientes resultados:

1. El DENUE cuenta con un registro de 21 unidades económicas relacionadas con la extracción de petróleo y derivados, lo cual representa el 0.1% del total de actividades de alto riesgo realizadas por PEMEX. Lo anterior se explica al considerar a) que en el listado de actividades altamente riesgosas contabiliza los proyectos individuales llevados a cabo por la paraestatal y b) que la base de datos del DENUE no incluye las terminales de almacenamiento y distribución que tienen gran presencia en todo el territorio nacional.
2. El Directorio contabiliza 3 814 unidades económicas relacionadas con a) el suministro de gas por ductos al consumidor final, b) comercio al por menor de gas LP en cilindros y para tanques estacionarios y c) comercio de Gas LP en estaciones de carburación. De éste total, las actividades altamente riesgosas (725) representan el 19%. Es importante mencionar que el listado de actividades altamente riesgosas contempla también los proyectos industriales de aprovechamiento de gas natural y no solo las empresas que se dedican a su distribución, por lo que la participación de empresas reguladas en materia de riesgo ambiental sería menor al 19%. Por lo cual se deduce que muchas de las unidades económicas obtenidas en la búsqueda no se consideran altamente riesgosas al no rebasar la capacidad de almacenamiento de 50 000 kg para el caso de gas LP comercial.
3. Las empresas productoras de hielo, que también tienen una participación importante en las actividades altamente riesgosas debido a su uso de amoniaco anhidro para el proceso de refrigeración, cuentan con un registro de 823 unidades económicas en el territorio nacional. De ese total, las actividades altamente riesgosas (221) representan el 26.8%. A este respecto pueden existir actividades de producción de hielo que no utilicen este gas en su sistema de refrigeración y por tanto no se consideran altamente riesgosas (cantidad de reporte 10 kg).
4. Las empresas productoras de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, las cuales suman 304 actividades en el DENUE, donde las actividades altamente riesgosas reguladas (111) representan el 36.5%. Las empresas embotelladoras se clasifican como de alto riesgo debido a su manejo de amoniaco anhidro y en ocasiones debido al uso de gas natural.

- Las empresas manufactureras que se dedican a la formulación de plaguicidas y fertilizantes, sumen 286 en el territorio nacional, siendo actividades de alto riesgo (186) el 65%. Las empresas formuladoras de plaguicidas se encuentran reguladas por las sustancias tóxicas que se mencionan en el primer listado de actividades altamente riesgosas; además, las empresas que fabrican plaguicidas y agroquímicos hacen uso de amoniaco para proveer nitrógeno a los productos y también utilizan sustancias tóxicas reguladas.

Tabla 4.7. Comparativa entre actividades del DENUÉ y base de datos de actividades altamente riesgosas.

Giro	Total de unidades económicas	No. de actividades de alto riesgo	Porcentaje de alto riesgo del total	Cantidad de reporte de sustancias peligrosas
Pemex (extracción de petróleo y derivados)	21	2030	0.1%	10 000 barriles de gasolina y kerosenos.
Comercio de gas LP y gas Natural	3814	725	19%	50 000 kg para gas LP comercial
Fabricación de hielo	823	221	26.8%	10 kg de amoniaco
Fabricación de refrescos	304	111	36.5%	10 kg de amoniaco y 500 Kg de metano.
Fabricación de plaguicidas y agroquímicos	386	186	65%	10 kg de amoniaco.

Fuente: DENUÉ, 2014; SEMARNAT, 2014b.

Se requeriría un análisis con mayor información acerca de los procesos y el manejo de sustancias químicas al interior de las empresas con giros económicos relevantes para poder determinar si la regulación en el ámbito estatal para los giros económicos analizados es completa.

Los giros económicos relevantes pueden ser el punto de partida al interior de las entidades federativas para llevar a cabo investigaciones que caractericen la eficiencia en la aplicación de la normativa federal en materia de riesgo ambiental. La información sobre el tipo y capacidades de almacenamiento de las sustancias químicas peligrosas puede ser obtenida a través de cédulas de operación anual o bien, pueden recabarse directamente con las empresas.

Una vez realizado el análisis de las actividades de alto riesgo en México, a continuación se analiza la regulación paralela que se realiza en el mismo tema, al interior de las entidades federativas.

4.3. RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO ESTATAL EN MÉXICO.

El marco regulatorio en materia de riesgo ambiental en el ámbito estatal en México fue analizado distinguiendo las modalidades para la evaluación del riesgo ambiental y las consideraciones para la caracterización de las actividades riesgosas.

La regulación del riesgo en el orden estatal es importante debido a la gran cantidad de actividades riesgosas que no están sujetas a control federal (Tabla 4.5) y que tienen la capacidad para ocasionar impactos al exterior. Además, pueden configurarse en escenarios de riesgo si existen sistemas humanos expuestos y susceptibles de ser afectados (Guevara, Quaas, & Fernández, 2004), por lo que requieren controles para su ubicación. Además, es en el ámbito local donde el riesgo se manifiesta de manera más clara y resulta más factible y práctico dimensionar los problemas del riesgo, coordinar y actuar para modificar las variables que configuran los escenarios de riesgo (Fernández, 1996).

4.3.1. PRINCIPIOS QUE DEFINEN LAS ACTIVIDADES RIESGOSAS.

Al interior de las entidades federativas se identificaron cuatro modalidades para definir las actividades riesgosas:

1. Por medio de un acuerdo legal que específicamente identifica estas actividades (por ejemplo el caso de Sonora donde existe el “Acuerdo que determina los criterios ecológicos aplicables a quienes pretendan realizar o realicen actividades riesgosas.”),
2. Por medio del principio de discrecionalidad al interior de las secretarías de estado (donde una actividad se clasifica como riesgosa y se le solicita el estudio de riesgo cuando así lo determina el evaluador, al conocer la información del manifiesto de impacto ambiental)
3. Mediante la definición de algunos giros económicos de riesgo en conjunto con el principio de discrecionalidad (algunas Secretarías de estado cuentan con giros que consideran como actividades riesgosas y en conjunto con el análisis de la actividad sirven como referencia para solicitar o no un estudio de riesgo ambiental).
4. Mediante exclusión respecto de las actividades altamente riesgosas (En este caso las Secretarías determinan que todas las empresas que utilicen materiales peligrosos en cantidades menores a las de reporte de los listados federales, son de competencia estatal y requieren la presentación de un estudio de riesgo ambiental).

La Figura 4.5 relaciona los criterios para la definición de las actividades de riesgo en cada estado de la República Mexicana. Sólo 8 entidades federativas y el Distrito Federal cuentan con un acuerdo o documento específico para su definición y por lo tanto, son las únicas que refieren una categorización clara y definida de las actividades de riesgo que les corresponde regular.



Figura 4.5. Criterios para la definición de las actividades de riesgo de competencia estatal al interior de las entidades federativas.

Los ocho estados y el Distrito Federal tienen las bases siguientes para caracterizar las actividades riesgosas:

- Baja California, Sinaloa, Quintana Roo y Coahuila establecen cantidades de reporte de sustancias químicas de forma similar a los listados de actividades altamente riesgosas.
- Tamaulipas y el Estado de México caracterizan las actividades de riesgo en función de las cantidades de reporte para determinados giros económicos.
- El Distrito Federal y San Luis Potosí indican giros comerciales para caracterizar las actividades riesgosas.
- Sonora define la capacidad de la actividad para provocar impactos en el exterior de sus instalaciones, haciendo uso de niveles de radiación térmica (en el caso de incendios), concentración aérea (en el caso de liberación de

sustancias tóxicas); o sobrepresión (en el caso de explosiones). Lo anterior, haciendo uso de una aproximación basada en consecuencias.

Por otra parte, los estados de Tamaulipas y Chihuahua definen giros económicos de riesgo ambiental estatal, pero además incluyen el principio de discrecionalidad para caracterizar una actividad como riesgosa.

La mayoría de los estados utilizan el criterio de exclusión con las actividades altamente riesgosas para definir el ámbito de su competencia en materia de riesgo ambiental. Sin embargo, el criterio anterior es incompleto debido a que no se establece un nivel inferior de reporte, por lo que las empresas sujetas a esta regulación son muy numerosas (ya que la gasolina, el gas LP o el gas natural son sustancias de uso general en diversas actividades industriales, comerciales y de servicio). Debido a lo anterior, en forma generalizada las secretarías hacen uso del principio de discrecionalidad en la caracterización de las actividades riesgosas que les corresponde regular.

En el principio de discrecionalidad, la dependencia responsable evaluar si una empresa es riesgosa o no, elige los elementos no regulados del acto administrativo para realizar dicha evaluación. En esta situación se encuentran la mayoría de los estados de la República Mexicana. Sin embargo, la utilización de este principio puede dar lugar a evaluaciones subjetivas y diferenciadas dependiendo de la opinión de los dictaminadores, al carecer de un documento de carácter legal que establezca claramente los criterios que determinan las actividades de riesgo de competencia estatal.

4.3.2. GESTIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL ÁMBITO ESTATAL.

Respecto al procedimiento para autorizar el riesgo ambiental al interior de los estados, se identificaron dos modalidades:

1. Entidades federativas que solicitan un estudio de riesgo ambiental a empresas nuevas y en funcionamiento.
2. Entidades que solicitan estudios de riesgo únicamente a actividades nuevas que realizan el trámite para obtener autorización estatal en materia de impacto ambiental

La gran mayoría de las entidades federativas cuenta con un trámite para que las actividades riesgosas de competencia estatal obtengan la autorización para su funcionamiento en dicha materia (Figura 4.6).

1. En 20 estados este trámite se realiza únicamente para actividades nuevas, ligado al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.
2. En 10 estados existe un trámite independiente para la evaluación del riesgo ambiental, que les permite regular tanto a las actividades nuevas como a las que se encuentran en operación y que por alguna razón no requieran autorización en materia de impacto ambiental.

En los estados de Coahuila y Guerrero no existe un trámite para obtener autorización en materia de riesgo ambiental.

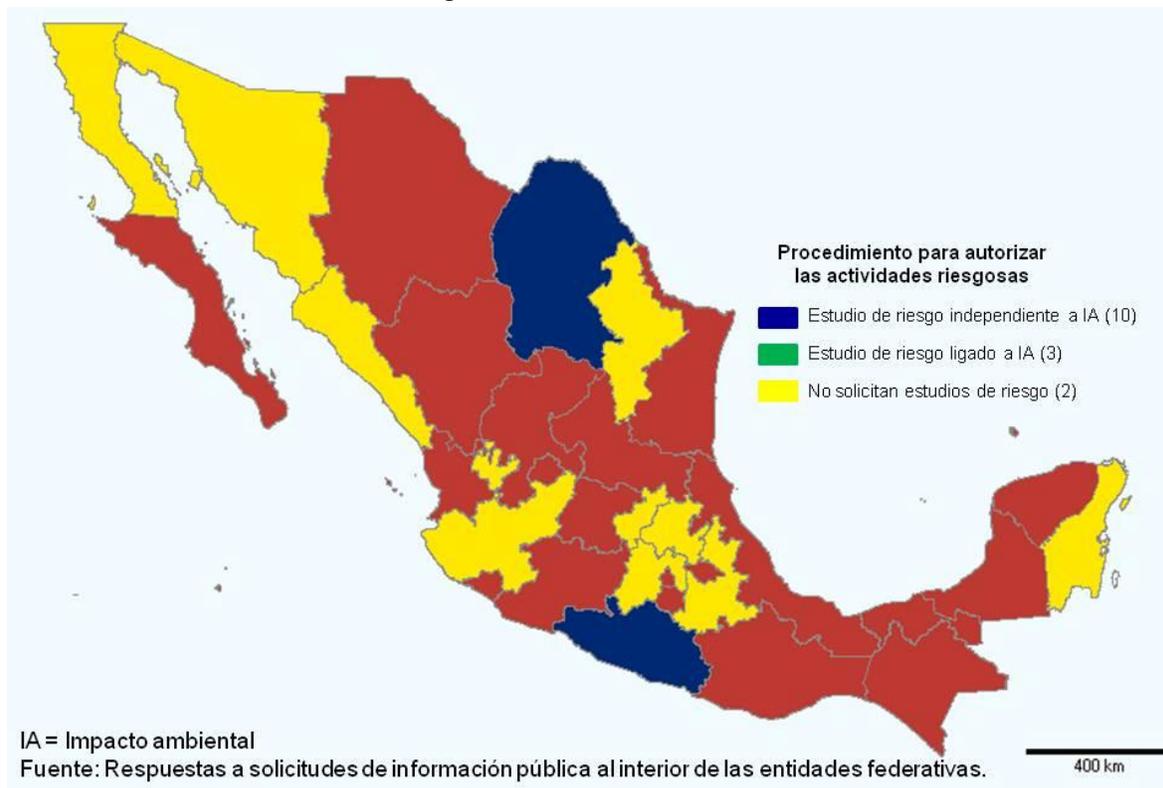


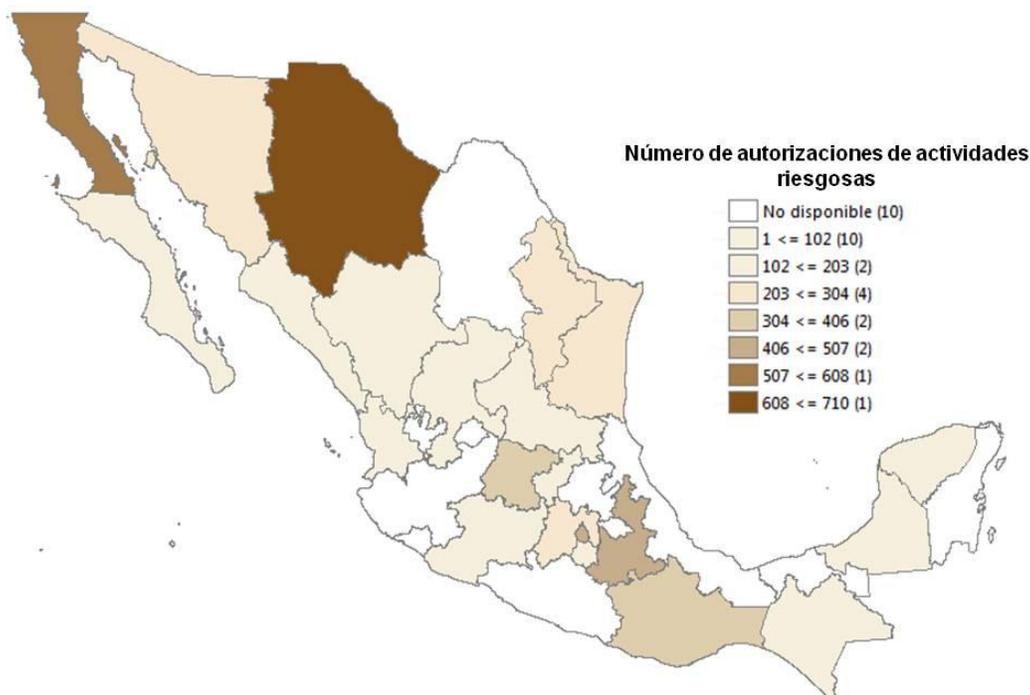
Figura 4.6. Procedimiento para la autorización en materia de riesgo ambiental en las entidades federativas.

4.3.3. NÚMERO DE AUTORIZACIONES EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL.

Sólo 22 entidades federativas respondieron a las solicitudes de información pública gubernamental con el número de actividades autorizadas en materia de riesgo estatal. Como se observa en la Figura 4.7, el número de autorizaciones estatales en materia de riesgo ambiental difiere sustancialmente entre las entidades federativas. Aquellas que cuentan con mayor número de actividades

reguladas son Chihuahua (710), Baja California (575) y Puebla (423), en contraste con los estados de Morelos y Zacatecas (7 y 1).

Las secretarías de medio ambiente son las encargadas de revisar y autorizar las actividades riesgosas de competencia estatal en todas las entidades federativas y en el Distrito Federal, con excepción del estado de Nuevo León, en el cual el organismo que autoriza dichas actividades es la Unidad de Protección Civil estatal.



Fuente: Respuestas a solicitudes de información pública al interior de las entidades federativas.

Figura 4.7. Número de autorizaciones en materia de riesgo ambiental por entidad federativa.

4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL EN LOS ÁMBITOS FEDERAL Y ESTATAL EN MÉXICO.

En México, en el ámbito federal las deficiencias principales identificadas en el marco regulatorio son:

1. La falta de actualización de los listados que categorizan las actividades altamente riesgosas, ya que datan de hace 23 y 25 años, y que se refieren a sustancias químicas individuales.
2. La ausencia de vinculación entre las autorizaciones para llevar a cabo actividades altamente riesgosas con el derecho a saber, por parte de las

comunidades locales, de los riesgos químicos a los que se encuentran expuestos

3. El escaso seguimiento de las actividades altamente riesgosas respecto a sus condiciones seguras de operación y la vinculación con las entidades gubernamentales encargadas de la respuesta ante emergencias, ya que la legislación mexicana no contempla el reporte de la seguridad de dichas actividades para garantizar la operación eficiente de sus sistemas de prevención, control y mitigación de los escenarios de riesgo.

El análisis de la gestión del riesgo en el ámbito estatal indica que los criterios y modalidades para la autorización de actividades riesgosas no son uniformes en la República Mexicana; las diferencias comienzan por la definición de las actividades a regular, entre otras. Lo anterior da como resultado que el mismo tipo de actividad pueda ser regulada en materia de riesgo por una entidad federativa no serlo por otra; o bien, que existan estados que no cuenten con este trámite, como son los casos de Coahuila y Guerrero.

Además, se puede concluir que la falta de criterios claros para clasificar las actividades riesgosas.

1. Imposibilita la identificación del universo de empresas sujetas a regulación, dificultando así tanto la evaluación del cumplimiento de dicho instrumento al interior de los estados como la realización de programas para la regulación de estas actividades.
2. Limita la evaluación del riesgo ambiental a actividades nuevas que requieren autorización estatal en materia de impacto ambiental. Como consecuencia pueden existir escenarios de riesgo que no tengan un análisis detallado de las fuentes de peligro, ni cuenten con herramientas para el control de los riesgos ni la planeación para la respuesta ante emergencias.

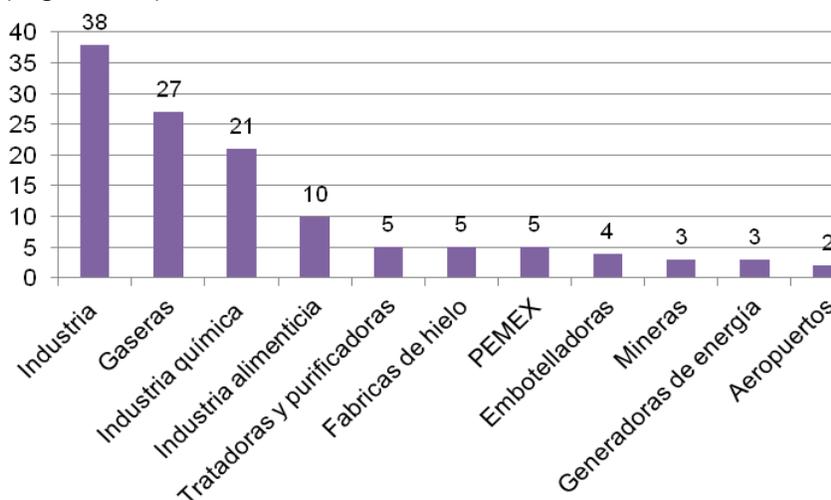
CAPITULO 5. CASO DE ESTUDIO: RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A ACTIVIDADES DEL ÁMBITO ESTATAL EN SAN LUIS POTOSÍ.

En este capítulo se analiza el caso de estudio del estado de San Luis Potosí con sus características particulares y la problemática relativa a la regulación en materia de riesgo ambiental.

5.1. EMPRESAS DE ALTO RIESGO EN SAN LUIS POTOSÍ.

De acuerdo con la base de datos de la SEMARNAT, el estado de San Luis Potosí tiene 123 actividades altamente riesgosas. El 87% (107 empresas) sometieron ante la dirección de Impacto y Riesgo Ambiental de SEMARNAT el manifiesto de impacto ambiental en conjunto con el estudio de riesgo correspondiente y obtuvieron la autorización para su operación en materia de impacto y riesgo ambiental. Mientras que el 12% (16 empresas) no requerían la autorización en materia de impacto ambiental, sino únicamente en materia de riesgo, por lo cual sometieron a consideración de la Dirección General de Materiales y Actividades Altamente Riesgosas de SEMARNAT su estudio de riesgo y programa para la prevención de accidentes y así obtuvieron la autorización de su Programa para la Prevención de Accidentes para la realización de su actividad.

El análisis de los giros de las actividades altamente riesgosas indica que las de mayor presencia son gaseras, químicas, de fabricación de plaguicidas y de alimentos (Figura 5.1).



Fuente: SEMARNAT, 2014b.

Figura 5.1. Número de actividades altamente riesgosas en San Luis Potosí por giro.

La zona metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez concentra el 71.5% del total de las actividades riesgosas en todo el estado (Figura 5.2). Otros municipios con un número importante de éstas son Ciudad Valles y Tamuín (5 actividades), Villa de Reyes, Río Verde y Matehuala (4 actividades), Tamazunchale (3 actividades), Charcas y Huehuetlán (4 actividades) y los municipios de Cárdenas, Cedral, Cerro de San Pedro, Ciudad del Maíz, Ébano y Salinas (1 actividad).

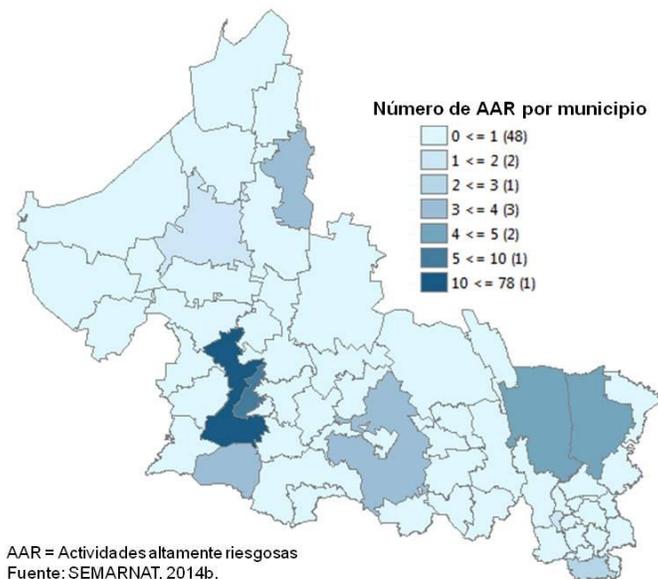


Figura 5.2. Ubicación de las actividades altamente riesgosas en el estado de San Luis Potosí.

La definición de las actividades altamente riesgosas dentro de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez permite identificar 19 empresas que se localizan en el interior de la mancha urbana de estos municipios, tal como se observa en la Figura 5.3.

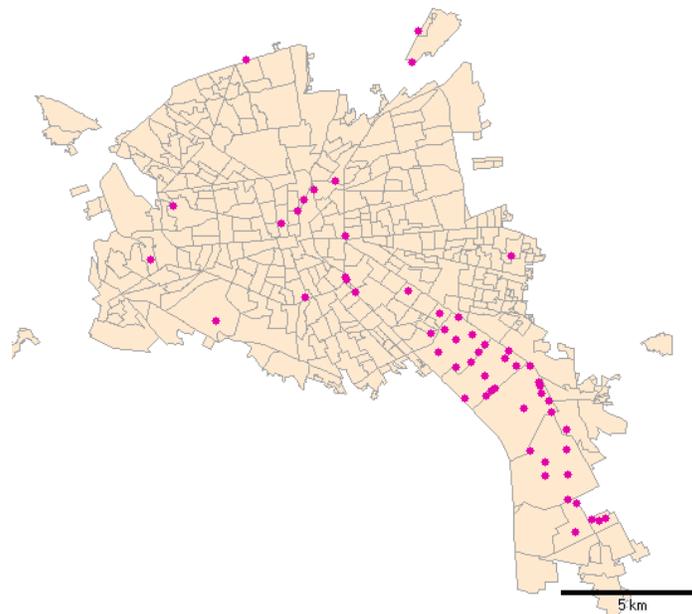


Figura 5.3. Localización de las empresas de alto riesgo al interior de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

5.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN ACTIVIDADES DE COMPETENCIA ESTATAL EN SAN LUIS POTOSÍ.

5.2.1. LEGISLACIÓN EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL EN SAN LUIS POTOSÍ.

En el estado de San Luis Potosí la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM), es la encargada de reglamentar las actividades riesgosas, tal como lo establece el artículo 7 fracciones X y XXVIII de la Ley Ambiental de San Luis Potosí: “corresponde a la SEGAM, la regulación y control de las actividades riesgosas, que no sean consideradas altamente riesgosas para el ambiente, en los términos previstos en la LGEEPA y en esta Ley”, además de “la formulación de los listados de actividades riesgosas, así como de las obras y actividades que generen impacto significativo”.

El artículo 99 de dicha Ley dispone que quienes realicen actividades riesgosas deben formular y presentar a la SEGAM un estudio de riesgo ambiental bajo la modalidad de informe preliminar; así como someter a su aprobación los programas para la prevención de accidentes.

Por otra parte, de acuerdo con lo indicado en el artículo 120 el estudio de riesgo ambiental se encuentra vinculado a la autorización en materia de impacto ambiental para las actividades riesgosas, dado que “para obtener la autorización en materia de impacto ambiental, los interesados deberán presentar ante la SEGAM una manifestación de impacto ambiental y cuando se trate de actividades consideradas como riesgosas en los términos de la presente Ley y que se encuentren en el listado que al efecto se expida, la manifestación deberá incluir un análisis de riesgo bajo la modalidad de informe preliminar”. Cabe mencionar que las actividades que requieren autorización estatal en materia de impacto ambiental se establecen en el artículo 118.

El 5 de junio de 2002 se publicó en el Periódico Oficial del Estado, el Acuerdo que expide el Primer Listado de Actividades Riesgosas para el Estado de San Luis Potosí, el cual define como actividad riesgosa “el manejo de sustancias peligrosas referido en los listados de actividades altamente riesgosas de competencia federal, pero en cantidades menores a las de reporte, señaladas en éstos, así como cuando su manejo se pretenda dar en establecimientos comerciales, industriales y de servicios” (Artículo 3).

El artículo 2 de este listado considera además como actividades riesgosas las siguientes:

- 1) Las actividades que manejen sustancias inflamables y explosivas. Gasolineras*, gaseras*, estaciones de carburación a gas L.P.*, distribuidores genéricos de combustibles (ventas de mayoreo)*, tintorerías, tortillerías, restaurantes, panaderías, hoteles, supermercados, centros comerciales, mercados públicos, baños públicos, hoteles y sanatorios, clubes sociales, instalaciones industriales de cualquier tipo, fabricación de muebles.
- 2) Las actividades relacionadas con el almacenamiento de sustancias peligrosas, independientemente del uso de combustibles. Establecimientos industriales de cualquier tipo, en cantidades de reporte inferior a las establecidas en los listados de actividades altamente riesgosas*, curtidorías*, hospitales, ferreterías, tlapalerías, laboratorios en general y bodegas de acopio y transferencia de productos inflamables y explosivos.
- 3) Las actividades comerciales y de servicios relacionadas con el almacenamiento de gases sujetos a presión.

* Estas actividades quedan sujetas al procedimiento de evaluación de impacto ambiental establecido en la fracción XIV, del Artículo 118, de la Ley Ambiental del estado de San Luis Potosí.

El listado referido no establece una cantidad mínima de reporte, lo cual implica que un número significativo de actividades se clasifiquen como de riesgo. Para ejemplificar para ejemplificar la problemática relativa a la categorización tan amplia de dichas actividades y dimensionar el número de autorizaciones otorgadas por SEGAM se analizó el universo de empresas riesgosas conforme al Listado de actividades riesgosas para San Luis Potosí en la capital del estado, así como el número de actividades de los principales giros económicos regulados por los estados

- 1) La identificación el universo de empresas sujetas a regulación en materia de riesgo conforme al primer listado de actividades riesgosas, tan solo para la ciudad de San Luis Potosí y que se muestra en el apartado 5.2.2.
- 2) El universo de empresas riesgosas para el estado de San Luis Potosí conforme a 3 giros económicos relevantes en materia de riesgo: gaseras, estaciones de servicio y empresas con almacenamiento de combustibles y que se describe en la sección 5.2.3.

5.2.2. UNIVERSO DE EMPRESAS RIESGOSAS EN SAN LUIS POTOSÍ, SLP.

El Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI, en su versión 2013 fue consultado para determinar el universo de empresas en San Luis Potosí capital sujetas a esta regulación, con base en los giros económicos definidos como actividades riesgosas en el Primer Listado de Actividades Riesgosas para el Estado de San Luis Potosí.

Como se observa en la Tabla 5.1, el número de empresas riesgosas en la capital del estado de San Luis Potosí es de 1815. Este total de actividades contrasta con las 60 autorizaciones en materia de riesgo ambiental que la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental otorgó la hasta el mes de abril de 2014.

Tabla 5.1. Universo de empresas de riesgo en San Luis Potosí, SLP.

Giro económico	Número de empresas riesgosas
Ferreterías y tlapalerías	455
Tortillerías	295
Sector industrial que utiliza materiales inflamables	288
Panificadoras	272
Restaurantes	164
Laboratorios médicos	121
Hoteles	83
Gasolineras (comercio de combustibles)	80
Lavanderías y tintorerías	52
Gaseras	5
Total	1815

Fuente: DENUE, 2014.

Este análisis permite asegurar que debido al gran número de actividades riesgosas, su regulación es muy limitada. La SEGAM ha llevado a cabo campañas de información en empresas pequeñas o medianas, para informarlas sobre el cumplimiento de la normatividad en materia de riesgo; además, la tarea de dictaminar y evaluar a este gran número de actividades requeriría de esta Secretaría mayor personal e infraestructura.

Por otra parte, la definición de actividad riesgosa establecida en el Primer Listado de Actividades Riesgosas para el estado de San Luis Potosí, pierde de vista que únicamente requieren autorización en la materia aquellas actividades cuyo funcionamiento pueda ocasionar desequilibrios graves en el ambiente y accidentes que pongan en riesgo la población e infraestructura urbana.

A continuación se realiza la evaluación del cumplimiento de la autorización en materia de riesgo ambiental para el estado de San Luis Potosí, conforme a 3 giros relevantes en materia de riesgo.

5.2.3. CUMPLIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN GIROS ECONÓMICOS RELEVANTES.

Los giros económicos principales relacionados con el almacenamiento de sustancias químicas peligrosas y cuya operación corresponde a las entidades federativas son las estaciones de servicio, las empresas gaseras y las compañías de almacenamiento de combustible. La selección de estos giros económicos se realizó con base en el análisis de las actividades riesgosas reguladas en México,

debido a que estos giros se encuentran como actividades riesgosas comunes en todas las entidades federativas.

Los giros de interés para el estado de San Luis Potosí fueron recabados de las bases de datos siguientes.

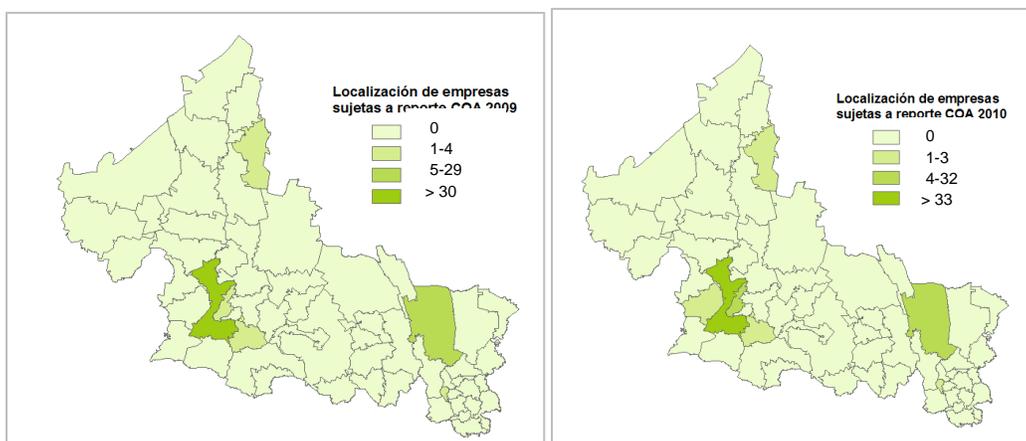
1. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2013.
2. Cédulas de operación anual de los años 2009 y 2010 de la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del estado de San Luis Potosí.
3. Bases de datos de licencias de funcionamiento de la Dirección de Comercio del Ayuntamiento de San Luis Potosí, en el año 2012.

El Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas permitió conocer que en el estado se encuentran en funcionamiento 218 estaciones de servicio con el giro de comercio al por menor de gasolina y diésel. Además, en el DENUE se identificaron las empresas con giros de comercio al por menor de combustibles para tanques estacionarios y estaciones de carburación sumando 71 unidades económicas. De este número se restaron las 27 gaseras autorizadas en materia de riesgo de orden federal, restando un total de 44 unidades económicas que en teoría requerirían autorización estatal.

El análisis de la información relacionada con 39 cédulas de operación anual del año 2009 y 45 del año 2010 que reportaron ante la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado permitió identificar los siguientes hallazgos.

- Una empresa que almacena amoníaco anhidro en una cantidad superior a la de reporte y que **no se encuentra autorizada en el ámbito federal.**
- 37 empresas de riesgo de competencia estatal. 1 que almacena sustancias tóxicas y 36 que realizan el uso de combustibles como: diésel (18), gas LP (12), gas natural (12), combustóleo (5) y coque (1). La suma de estas empresas no es 37 debido a que las empresas utilizan más de un tipo de combustible en sus instalaciones.

Es importante mencionar que las empresas que cumplen y entregan el reporte estatal de la cédula de operación anual (COA) representan una pequeña proporción del universo estatal y en su mayoría se ubican en la ciudad de San Luis Potosí, como se observa en la Figura 5.4.



Fuente: Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado de San Luis Potosí.

Figura 5.4. Localización de las empresas que reportaron COA's estatales en el año 2009 y 2010.

En el año 2009 (Figura 5.4), el 77% de las empresas de competencia estatal que entregaron este reporte estaban establecidas en el municipio de San Luis Potosí, el 13% en Ciudad Valles y el 2.5% en los municipios de Soledad de Graciano Sánchez, Zaragoza, Huehuetlán y Matehuala, respectivamente.

En el año 2010 (Figura 5.4), el 73% de las empresas que cumplieron con el reporte de la cédula de operación anual estaban ubicadas en San Luis Potosí, el 9% en Ciudad Valles, el 9% en Soledad de Graciano Sánchez y el 2% en los municipios de Zaragoza, Huehuetlán, Matehuala y Mezquitic respectivamente.

Las empresas que realizaron el trámite de la licencia de funcionamiento ante la Dirección de Comercio del Ayuntamiento de San Luis Potosí en el año 2012 suman 427, la base de datos de dicha dependencia incluye la razón social, domicilio, giro y teléfono de los establecimientos.

Los giros económicos seleccionados de esta base de datos fueron.

- Almacenamiento de productos químicos, surfactantes, resinas y solventes.
- Almacenamiento y distribución de combustibles derivados del petróleo.
- Almacenamiento y envasado de lubricantes y combustibles.
- Industrias de la pintura y aerosoles.

Estos giros corresponden a 23 empresas dentro de la ciudad de San Luis Potosí.

La información de las tres bases de datos sobre actividades de riesgo relevantes a nivel estatal se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Actividades de riesgo estatal relevantes en San Luis Potosí.

Actividad	Bases de datos		
	DENUE	COA's	Dirección de comercio
Estaciones de servicio	218		
Estaciones de carburación y comercio de gas LP	44		
Industrias que utilizan combustibles		37	
Empresas con giros de almacenamiento de combustibles.			23
Total		322	

Fuente: DENUE, 2014.

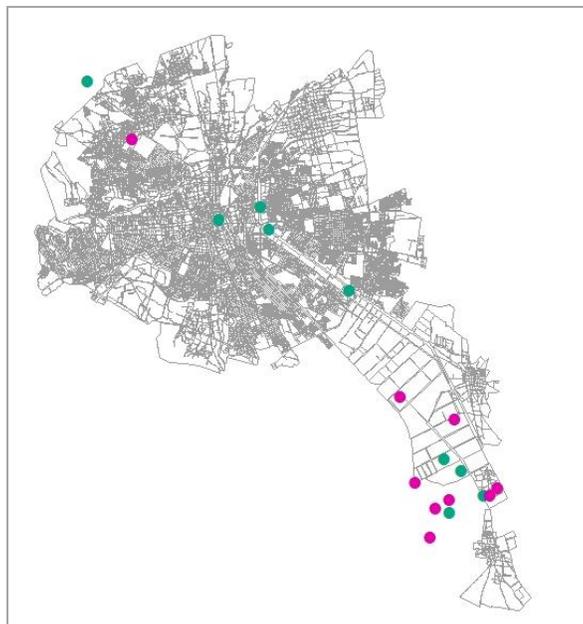
Las actividades con giros económicos relevantes en materia de riesgo para el estado son 322, cuando se compara este número con las 60 autorizaciones en la materia que fue de 60 hasta el año 2013, se observa que esta regulación aún está lejos de cumplirse.

Debido al gran número de empresas clasificadas como actividades riesgosas en el primer listado de actividades riesgosas del estado de San Luis Potosí, el cumplimiento de este instrumento no es efectivo. Lo anterior impide la regulación de las actividades de mayor relevancia en materia de riesgo.

A continuación se analiza una muestra de los estudios de riesgo y programas para la prevención de accidentes, aprobados por la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno de San Luis Potosí.

5.2.4. CALIDAD DE ESTUDIOS DE RIESGO Y PPA

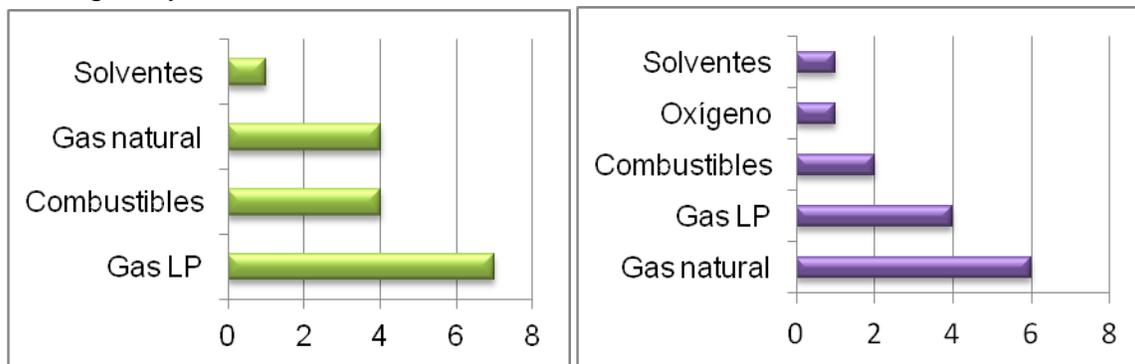
Se analizaron los datos de 29 empresas que sometieron a consideración de SEGAM sus estudios de riesgo y programas para la prevención de accidentes en los años de 2008 (15) y de 2010 (14); sólo 15 de éstas se ubican en la Zona Industrial Oriente de la capital potosina (Figura 5.5).



Fuente: Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
Figura 5.5. Localización de las empresas que sometieron a evaluación sus estudios de riesgo y programas para la prevención de accidentes ante SEGAM en los años 2008 y 2010.

La información consultada se clasificó de acuerdo con las sustancias químicas peligrosas que representan el riesgo mayor en las instalaciones y que motivaron la elaboración de los estudios de riesgo y para la prevención de accidentes, obteniéndose (Figura 5.6)

- a) En el año de 2008, el 43.7% de los estudios estuvieron relacionados con el manejo del gas LP, el 25% al uso de combustibles (principalmente en gasolineras), 25% al uso de gas natural y el 6.3% al uso de solventes.
- b) En el año de 2010, el 42.9% de los estudios se debieron al uso de gas natural, 28.6% al uso de gas LP, 14.3% al uso de combustibles y 7.1% al uso de oxígeno y solventes.



Fuente: Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
Figura 5.6. Sustancias químicas peligrosas que motivaron los estudios de riesgo y los programas para la prevención de accidentes en los años 2008 y 2010.

Por otra parte, se evaluaron las metodologías empleadas en los estudios de riesgo para la correcta identificación de peligros existentes en las instalaciones industriales y los aspectos técnicos relacionados con la determinación de las consecuencias al exterior de dichos peligros, obteniéndose los siguientes resultados.

1. Para el año 2008, 13 empresas (81.2%) demostraron una evaluación **incompleta** del Riesgo; ya que 8 no determinaron adecuadamente las consecuencias de los peligros, 3 no aplicaron correctamente las metodologías para identificación de peligros y 2 no siguieron la guía técnica de SEGAM.
2. Para el año 2010, 7 estudios demostraron una evaluación **incompleta** del riesgo; 5 no aplicaron correctamente la identificación de peligros, 1 no sigue la Guía técnica de SEGAM y 1 no determinó adecuadamente las consecuencias de los peligros.

Esta información permite afirmar que una gran proporción de los estudios de riesgo y de los programas para la prevención de accidentes de empresas que fueron autorizadas en materia de riesgo ambiental no cuentan con la calidad técnica suficiente, por lo que la identificación correcta de los peligros y la implementación de controles de prevención y operación son deficientes.

Además se identificó que algunos estudios de riesgo que siguen la Guía de la SEGAM utilizan listas de verificación, índices de riesgo (DOW y Mond) sin embargo estas metodologías no permiten identificar los escenarios de riesgo con mayores probabilidades de ocurrencia y severidad. Posteriormente estas actividades modelan el peor escenario probable de riesgo, sin embargo, las consecuencias de este escenario resultan en la determinación de un número muy amplio de comunidades urbanas expuestas y sobre las cuales no se pueden plantear planes de respuesta a emergencia.

Como consecuencia de estas limitaciones en la evaluación del riesgo, las empresas no pueden elaborar programas de contingencias apropiados para dar respuesta a las emergencias, lo que agrava las situaciones de riesgo.

Por otra parte, con la información recopilada en los estudios de riesgo y en los programas para la prevención de accidentes, relativa al manejo y a las condiciones de almacenamiento de los materiales peligrosos, se construyeron de escenarios accidentales de liberación y se aplicaron modelos para la determinación de consecuencias al exterior, para identificar las zonas de riesgo debido al manejo de materiales peligrosos en la zona.

5.2.5. ANÁLISIS DE FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS DE SEGAM.

A través de un análisis FODA se identificaron las características principales de la SEGAM en relación a su operación en materia de riesgo ambiental. De acuerdo con Talancón (2006), realizar diagnósticos en las organizaciones laborales es una condición para intervenir profesionalmente en la formulación e implantación de estrategias y su seguimiento para efectos de evaluación y control. Los resultados se muestran en la Tabla 5.3.

Las fortalezas principales de SEGAM están relacionadas con la definición de su misión, que cuenta con un edificio apropiado para realizar sus actividades y con un presupuesto anual; mantiene la vinculación con el sector industrial y con dependencias gubernamentales federales; además, a diferencia de otras entidades tiene una legislación para regular y caracterizar las actividades riesgosas.

Las deficiencias principales son: a) la falta de organización interna para la realización de sus operaciones, especialmente para el área de estudios y proyectos; b) la falta de mobiliario y software para la revisión de los estudios de riesgo; c) la falta de vinculación con organismos locales encargados de la respuesta ante emergencias; y d) la problemática relativa a la definición muy amplia de las actividades riesgosas que le corresponde regular.

Algunas oportunidades identificadas en materia de riesgo son: a) la oferta de personal altamente calificado a nivel licenciatura y posgrado en el estado; b) la existencia de un programa de capacitación interna que ofrece la SEMARNAT. Finalmente, la amenaza principal identificada tiene relación con la falta de programas estatales y municipales de ordenamiento territorial, y de planes de desarrollo adecuados, que impidan la construcción de escenarios de riesgo en las ciudades debido a las actividades riesgosas.

Tabla 5.3. Análisis FODA de SEGAM en relación al riesgo ambiental.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Tiene definida su misión, visión y política de calidad. • Recibe un presupuesto anual y tiene un espacio físico apropiado para la realización de sus funciones. • Se vincula con organismos y secretarías federales como SEMARNAT, INE; etc.; así como con ayuntamientos municipales. • Tiene un marco normativo establecido que incluye la Ley Ambiental, el Reglamento en materia de impacto y riesgo ambiental y el Listado de actividades riesgosas para San Luis Potosí. • Cuenta con un área de Estudios y Proyectos dedicada al análisis y dictaminación en materia de impacto y riesgo ambiental. • Mantiene buena vinculación con el sector industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Organización interna. La organización no fija objetivos para medir su desempeño y existe personal sin tareas asignadas. • Equipamiento. No todo el personal cuenta con el equipamiento en su lugar de trabajo que les permita realizar sus funciones. • No se cuenta con un programa de capacitación y desarrollo de habilidades del personal. • El área de estudios y proyectos no cuenta con el número de personal acorde a la carga de trabajo que reciben. • No cuentan con licencias para el uso de software de modelación de consecuencias de los accidentes químicos. • No tienen un control y resguardo seguro de los expedientes históricos de los estudios aprobados. • No existe una relación estrecha con organismos responsables de la atención y respuesta ante emergencias, como bomberos y protección civil. • El marco normativo en materia de riesgo clasifica como actividades riesgosas sujetas a regulación a un universo muy numeroso de empresas, perdiendo de vista las actividades de mayor relevancia.
Oportunidades	Amenazas.
<ul style="list-style-type: none"> • El estado cuenta con instituciones de educación superior que proveen egresados con buen nivel de profesionalización en materia de ciencias ambientales. • Existe un Programa de Fortalecimiento Ambiental de las Entidades Federativas por parte de SEMARNAT el cual contribuye al logro de los objetivos relacionados con el cuidado del medio ambiente y las metas vinculadas al desarrollo sustentable y crecimiento verde como meta fundamental de los gobiernos en sus tres órdenes. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se tiene designado un perfil para la designación del Secretario de Ecología y del Director de Estudios y Proyectos. • El rezago en la elaboración de Planes de Desarrollo Urbano y de ordenamiento territorial del ámbito municipal, ocasiona la falta de definición de la vocación del uso de suelo; • La falta de normativa respecto a las distancias de seguridad para la ubicación de las actividades riesgosas, lo cual da pie a la generación de escenarios de riesgo en las ciudades.

5.3. RESULTADOS DEL RIESGO AMBIENTAL DEBIDO A ACTIVIDADES DEL ÁMBITO ESTATAL EN SAN LUIS POTOSÍ.

Los principales hallazgos relativos a la regulación del riesgo ambiental en San Luis Potosí consisten en identificar que más del 70% de las actividades riesgosas del Estado se concentran en la zona metropolitana de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. De igual manera, es relevante que existan 19 empresas localizadas en el interior de la mancha urbana de estos municipios.

La evaluación de las actividades riesgosas mostró que la legislación actual clasifica como actividades sujetas a regulación a un universo muy numeroso de empresas y que un número muy importante de actividades de riesgo no cuenta con autorización por parte de SEGAM en esta materia.

Por otra parte, el análisis a los estudios de riesgo y programas para la prevención de accidentes puso de manifiesto que estos instrumentos se aplican únicamente a actividades nuevas que requieren autorización en materia de impacto ambiental. Lo anterior, a pesar de que la legislación del estado de San Luis Potosí también prevé que las actividades en operación puedan regularizar su situación a través del trámite de la evaluación del riesgo ambiental.

El análisis de las cédulas de operación anual ingresadas a la SEGAM puso de manifiesto la existencia de una actividad de alto riesgo ambiental que no se encuentra regulada a nivel federal.

CAPÍTULO 6. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.

6.1. ORGANIZACIÓN DE DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES PARA GESTIÓN EFECTIVA DEL RIESGO.

En relación con la vinculación de los organismos responsables de la prevención y respuesta a emergencias, se propone que todas las autorizaciones en materia de riesgo ambiental tengan un seguimiento anual por medio de un informe de seguridad, donde las empresas garanticen el funcionamiento correcto de su sistema de gestión del riesgo ambiental, por medio del control y monitoreo de los procesos, así como la operación efectiva de sus sistemas para la prevención y mitigación de los riesgos. El informe de seguridad puede servir como instrumento vinculante entre los organismos de protección civil, bomberos y las dependencias ambientales a nivel federal (SEMARNAT) y estatal (SEGAM).

El uso de un sistema de información geográfica con la ubicación de las zonas de riesgo de las empresas riesgosas sería también un mecanismo adecuado para la preparación y respuesta ante emergencias por parte de bomberos y protección civil. Además, este sistema podría contribuir a prevenir la construcción de escenarios de riesgo locales, sirviendo de base para la elaboración de planes de ordenamiento territorial al interior de los municipios al proporcionar información actualizada sobre las áreas potencialmente expuestas ante los riesgos químicos. Dicha información también podría fortalecer los atlas municipales y estatales de riesgo en materia de fenómenos químico-tecnológico.

Finalmente, se considera primordial que la normatividad ambiental responsabilice a las empresas riesgosas de llevar a cabo campañas de comunicación del riesgo, que permitan el conocimiento y la sensibilización de las comunidades urbanas potencialmente expuestas, y su participación en los planes comunitarios de respuesta ante emergencias, con la coordinación de protección civil (Figura 6.1).

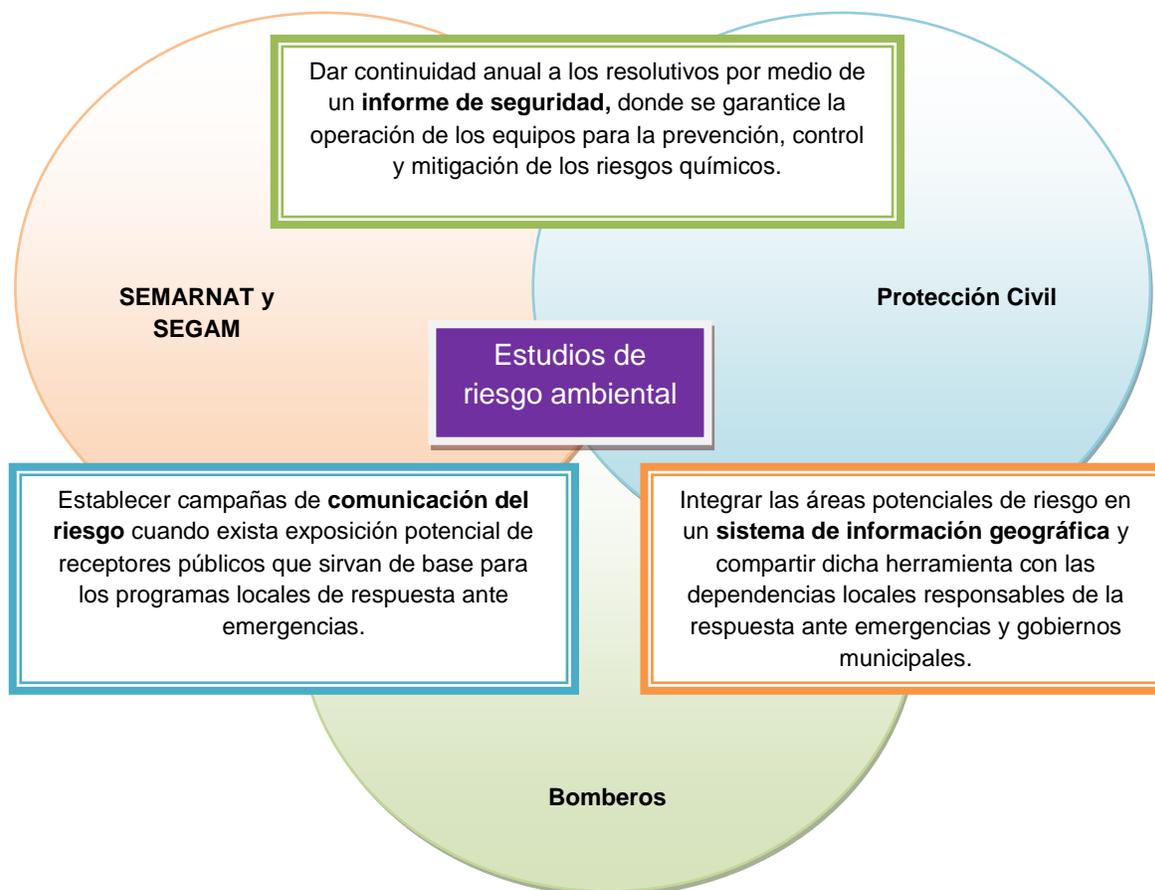


Figura 6.1. Vinculación propuesta entre organismos responsables de la prevención y respuesta ante emergencias.

6.2. RECOMENDACIONES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE RIESGO.

En el caso de las actividades de alto riesgo ambiental se plantea que la definición de las actividades sujetas a regulación se base en las categorías de peligros de las sustancias químicas establecidas en el Sistema Globalmente Armonizado (GHS). Para ello, México debe de fortalecer la aplicación y obligatoriedad de este sistema de manera que su aplicación se generalice.

La actualización de la normativa federal en materia de riesgo ambiental es de suma importancia para dar claridad y dirección a los esfuerzos de competencia estatal, ya que actualmente la gran mayoría de los estados basa su definición de actividades de riesgo mediante el sistema de exclusión con las actividades altamente riesgosas. Un nuevo reglamento federal obligaría a las entidades

federativas a regular las actividades de riesgo conforme al sistema globalmente armonizado propuesto por la ONU.

Además, sería muy positivo lograr un acuerdo en la materia entre las entidades federativas del país, a fin de homologar los parámetros de caracterización de las actividades de riesgo estatales, los criterios para la aceptación social del riesgo y los elementos de calidad mínimos necesarios en los estudios de riesgo ambiental para brindar su autorización.

Por el momento se propone que las entidades federativas que no tienen una definición clara de las actividades riesgosas sujetas a regulación y particularmente en el caso de San Luis Potosí, que tiene una definición muy amplia de las actividades riesgosas, adopten el criterio de giros económicos, sumado al criterio basado en consecuencias al exterior, normando como actividades riesgosas todas aquellas que tengan la capacidad para ocasionar impactos en el exterior de sus instalaciones, cuando sus zonas de alto riesgo por explosiones, incendios o fugas de materiales tóxicos tengan la capacidad de afectar receptores localizados en el exterior de las instalaciones.

Para el caso de San Luis Potosí, este acercamiento permitiría disminuir el número de actividades a regular, permitiendo normar sólo a aquellas que verdaderamente cuenten con el potencial para afectar a la población, la infraestructura y el ambiente.

Además, al interior del estado de San Luis Potosí se han identificado las áreas de oportunidad siguientes, en relación a la gestión del riesgo ambiental.

1. Una vez actualizado el marco normativo para la clasificación de las actividades riesgosas, es sustantivo para la SEGAM realizar una campaña de actualización y cumplimiento de requisitos legales en materia de riesgo para empresas en operación, de forma tal que éstas puedan elaborar sus estudios de riesgo y programas para la prevención de accidentes, conforme a la normativa ambiental vigente.
2. Es necesario establecer **términos de referencia** para la revisión adecuada de los estudios de riesgo y de los programas para la prevención de accidentes, de forma tal que sólo se acepten aquellos que cumplan con la suficiencia técnica y metodológica. El objetivo es mejorar la calidad de dichos estudios y por consiguiente, la prevención y preparación ante emergencias de las empresas de riesgo estatal.
3. La SEGAM debe contar con personal capacitado y entrenado en la revisión y aprobación de los estudios de riesgo, y dotar al área de estudios y

proyectos con las herramientas técnicas adecuadas para la realización de sus actividades (equipos de cómputo y software para la simulación de consecuencias al exterior).

Sin estos cambios, la aplicación de la legislación estatal en materia de riesgo ambiental seguirá siendo discrecional, sin que pueda constituirse en un instrumento que garantice la seguridad industrial, la protección civil y que contribuya a la integración de las comunidades potencialmente afectables en los planes de respuesta a emergencias.

6.3. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN EFECTIVA DEL RIESGO AMBIENTAL.

Los resultados del análisis respecto a la evaluación del riesgo ambiental en sus ámbitos federal y estatal permiten identificar áreas de oportunidad en ambos niveles de competencia.

La guía para la elaboración de los estudios de riesgo ambiental a nivel federal es también usada como referencia para el estado de San Luis Potosí en el caso de los estudios de riesgo en su modalidad de informe preliminar. Debido a lo anterior, la propuesta se realiza para ambos niveles de competencia. La propuesta relacionada con la evaluación de riesgo ambiental se muestra en la Figura 6.2, y propone los cambios propuestos para cada etapa del análisis de riesgos.

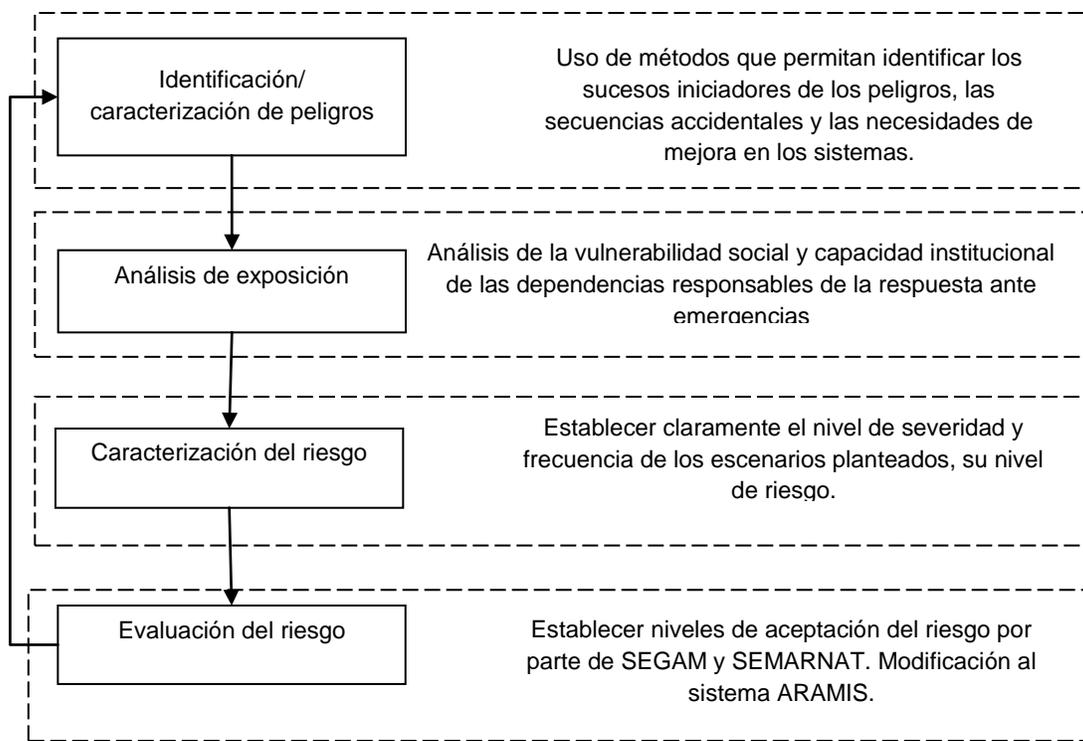


Figura 6.2. Propuesta de modificaciones para la evaluación del riesgo ambiental en México.

En la fase de identificación y caracterización de peligros se retoma a González y colaboradores (2004) que establecen que un estudio de riesgo debería permitir como mínimo.

1. Identificar los accidentes graves que podrían presentarse.
2. Mejorar la seguridad de las instalaciones, detectando aspectos en los que un cambio sencillo o la inclusión de un dispositivo de regulación o de un sistema de actuación de seguridad pueda reducir el riesgo de forma significativa.
3. Establecer el alcance de la formación que deben recibir los responsables de la operación de las instalaciones.
4. Facilitar la redacción de prácticas de operación seguras.
5. Orientar hacia las necesidades de equipos de protección individual y de las instalaciones fijas de protección.
6. Informar acerca de las carencias en materia de elementos de detección y/o alarmas.
7. Aportar la información necesaria para la planificación de las emergencias y para el establecimiento de los medios materiales y humanos necesarios para el equipo de primera intervención del accidente.

Para poder realizar una identificación correcta de los peligros es indispensable usar métodos capaces de identificar los sucesos iniciadores de los peligros, las secuencias accidentales y las necesidades de mejora de los sistemas.

Actualmente, las actividades que cumplen los requisitos para catalogarse como nivel 1, con base en la guía para la elaboración del estudio de riesgo ambiental, en los ámbitos federal y estatal, pueden hacer uso de un método comparativo (Check list) e índices de riesgo (Check list, Índice DOW, Índice Mond) en forma individual para la identificación de peligros.

Sin embargo, dichos métodos no permiten establecer los sucesos iniciadores de los accidentes, ya que, como afirma el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE, 2004), el análisis "*check list*" permite identificar los peligros existentes, pero no los escenarios accidentales asociados al mismo. De igual manera Sawyer, Livingstone & Early (1991) indican que los índices de riesgo sólo deben ser usados como herramientas preliminares de riesgo ya que su función se limita a identificar los materiales y operaciones que constituyen un peligro potencial para el personal o el proceso químico.

Debido a lo anterior, se propone que los índices de riesgo y metodologías comparativas puedan utilizarse sólo si se aplica adicionalmente algún método generalizado para la evaluación del riesgo (Análisis ¿qué pasa si?, HAZOP, HAZID, FMEA).

Adicionalmente, González y colaboradores (2004) plantean que para que los métodos de identificación de peligros puedan cumplir su función deben ser aplicados con suficiente nivel de profundidad. Los revisores de los estudios de riesgo en las dependencias gubernamentales deben tener la capacitación y experiencia para exigir el nivel de profundidad suficiente en la aplicación de las metodologías propuestas, de manera que la identificación de los peligros de las actividades de riesgo se realice en forma completa.

En relación a la etapa de análisis de la exposición se plantea que la determinación de consecuencias al exterior (debido a los escenarios de liberación de las sustancias químicas peligrosas) debería basarse principalmente en las secuencias accidentales y sucesos iniciadores, caracterizados en la fase de identificación de peligros. Lo anterior debido a que, cuando las actividades hacen uso del "*check list*" y los índices DOW y Mond, no les es posible desarrollar escenarios alternativos de liberación, por lo cual, en esta fase desarrollan el peor escenario probable de riesgo. Sin embargo, según la EPA (2009), el peor escenario, aunque

probable, puede sobreestimar el valor de las distancias de afectación, debido a lo cual deben utilizarse preferentemente las distancias obtenidas en los escenarios alternativos para la planeación, preparación y atención de emergencias.

Debido a lo anterior, se propone que en esta fase se incluya la evaluación de al menos un escenario alternativo de liberación, además del peor escenario para la identificación de consecuencias al exterior.

Además, la presente investigación propone la evaluación de la vulnerabilidad social y ambiental de los escenarios accidentales de liberación. El análisis de la vulnerabilidad social se basará en el índice de marginación social de la CONAPO en su última actualización. Mientras que para evaluar la vulnerabilidad del medio se analizará si las zonas de alto riesgo o amortiguamiento tienen el potencial para afectar áreas naturales protegidas de orden federal o estatal, así como sitios RAMSAR, conforme a las bases de datos de la CONABIO, respecto a áreas naturales protegidas nacionales, áreas naturales protegidas estatales y del Distrito Federal de México y sitios RAMSAR (en su versión más actualizada).

En cuanto a la fase de caracterización del riesgo, la guía para la elaboración del estudio de riesgo debería incluir la instrucción de evaluar el nivel de riesgo de cada escenario en relación a las variables de severidad y frecuencia, caracterizadas en forma cualitativa o cuantitativa, así como los criterios o límites de aceptación de riesgos determinados por la SEGAM y la SEMARNAT, ya que actualmente el análisis de severidad y frecuencia sólo se utiliza para la jerarquización de los escenarios de riesgo (estando aceptados también otros métodos que no dependen del análisis de estas variables, tales como criterios de peligrosidad de los materiales y/o características CETI).

Esta tesis de investigación propone realizar la caracterización del riesgo con base en los criterios cualitativos propuestos por ARAMIS (Metodología de evaluación de riesgo por accidentes en las industrias) (Delvosalle y cols., 2006).

Tabla 6.1. Nivel de frecuencia de los escenarios de riesgo.

Nivel de frecuencia	Definición cualitativa- Frecuencia de ocurrencia por año	Definición cuantitativa
F ₄	Muy baja frecuencia. Improbable que ocurra	$F \leq 10^{-4} \text{ año}^{-1}$
F ₃	Baja frecuencia: el evento crítico (para la causa analizada) puede pasar. Ha ocurrido en instalaciones similares o en la instalación (una vez cada 1000 años)	$10^{-4} \text{ año}^{-1} < F \leq 10^{-3} \text{ año}^{-1}$
F ₂	Frecuencia media: El evento crítico (para la causa analizada) puede ocurrir. Ha ocurrido en instalaciones similares o en la instalación (una vez cada 100 años)	$10^{-3} \text{ año}^{-1} < F \leq 10^{-2} \text{ año}^{-1}$
F ₁	Posible. Alta frecuencia; puede ocurrir. Ha ocurrido en la instalación (una vez durante 10 años)	$10^{-2} \text{ año}^{-1} < F \leq 10^{-1} \text{ año}^{-1}$
F ₀	Probable. Muy alta frecuencia: Ha ocurrido varias veces en la instalación.	$F \geq 10^{-1} \text{ año}^{-1}$

Fuente: Delvosalle y cols., 2006)

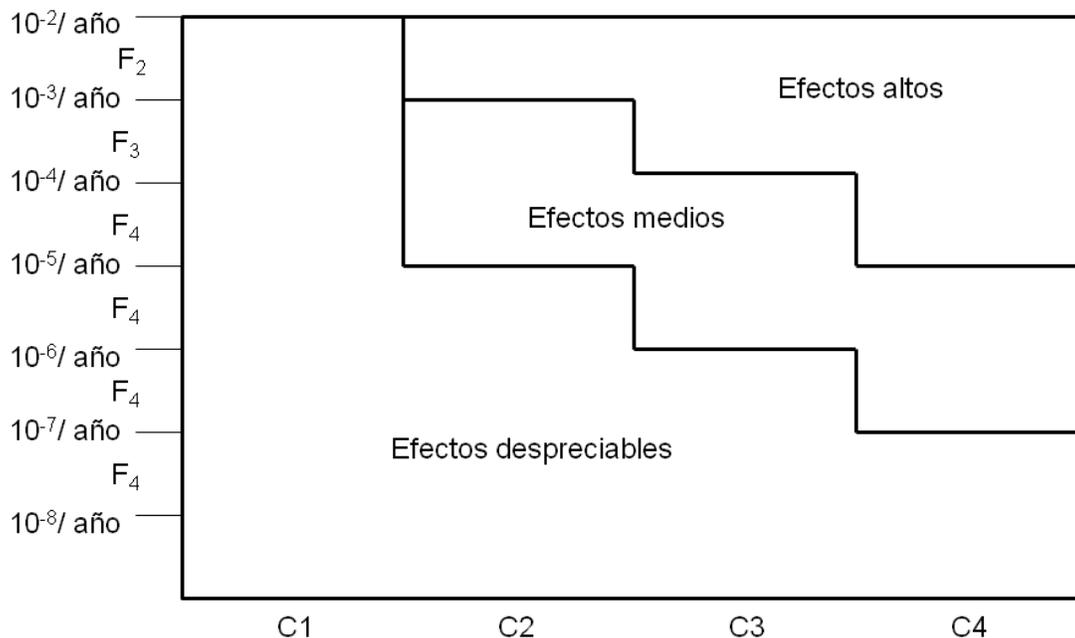
Para clasificar la severidad de los escenarios de riesgo, se propone modificar la clasificación propuesta por este sistema (Delvosalle y cols., 2006).

Tabla 6.2. Clasificación de las consecuencias de los escenarios de riesgo.

Clase de consecuencia	Efecto ambiental	Efecto en los objetivos humanos
C1	No requiere acciones.	Sin lesiones o lesiones leves no incapacitantes.
C2	Efectos serios en el ambiente que requieren intervención local.	Lesiones que conllevan la hospitalización por más de 24 horas.
C3	Efectos en el ambiente fuera de la instalación, que requieren recursos nacionales.	Lesiones irreversibles o decesos dentro de la instalación, efectos reversibles en afuera de la instalación.
C4	Efectos irreversibles en el ambiente fuera de la instalación que requieren recursos nacionales.	Efectos irreversibles o decesos fuera de la instalación.

Fuente: Delvosalle y cols., 2006.

Finalmente, el sistema ARAMIS establece como referencia la matriz de riesgo siguiente (Figura 6.3), que deberá usarse para evaluación del riesgo de los escenarios analizados.



Fuente: Delvosalle y cols., 2006

Figura 6.3. Matriz de riesgo establecida por el sistema ARAMIS.

El reporte final de los escenarios de riesgo analizados definirá el nivel de riesgo conforme a la matriz propuesta por la metodología ARAMIS (Delvosalle y cols., 2006), y además reportará los grados de vulnerabilidad social y ambiental como agravantes de este nivel.

- a) Cuando los receptores públicos exhiban grados de vulnerabilidad altos o muy altos.
- b) Cuando las áreas de riesgo tengan el potencial para afectar áreas naturales protegidas de carácter federal o estatal, así como sitios Ramsar.

El análisis de la vulnerabilidad ambiental en los planes locales de respuesta ante emergencias permitiría reconocer los ecosistemas prioritarios, expuestos ante los riesgos químicos y los recursos materiales y humanos que deberían considerarse para la protección de dichos sitios. El grado de vulnerabilidad social indicaría las comunidades prioritarias que requieren trabajar en revertir su condición de desventaja, mediante la construcción de capacidades asociadas a la preparación y respuesta ante emergencias.

A continuación se describe la metodología seguida para el análisis de las consecuencias al exterior de las estaciones de servicio que comercializan gasolina y del transporte carretero de sustancias químicas peligrosas en San Luis Potosí.

6.4. ESTUDIO DE CASO DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE PEMEX EN SAN LUIS POTOSÍ.

El análisis de riesgos de las estaciones de servicio se realizó tomando como base las especificaciones técnicas para el proyecto y construcción de las mismas, que proporciona PEMEX para sus franquiciatarios y que incluyen la obra civil, el sistema de almacenamiento, sistemas de conducción e instalaciones eléctricas (PEMEX, 2006).

Las estaciones de servicio frecuentemente comercializan tanto gasolina como diésel; sin embargo, para el análisis de consecuencias al exterior se modelaron escenarios de liberación de gasolina debido a que es más inflamable que el diésel al tener menor temperatura de ebullición y un menor punto flash.

Se identificaron los subsistemas siguientes para el manejo de gasolina.

1. Sistema de almacenamiento subterráneo.
2. Sistema de transporte a los dispensarios.
3. Recarga del combustible a los vehículos automotores.
4. Recarga del combustible a los tanques desde el autotanque.

Para identificar las fuentes de los peligros en cada subsistema se aplicó la metodología HAZOP, haciendo uso de los parámetros de operación (en conjunto con las palabras guía) que dieran como resultado desviaciones en la intención de diseño, y fueran capaces de ocasionar la pérdida de contención de la gasolina.

Posteriormente, los escenarios obtenidos en la metodología HAZOP fueron clasificados en relación a su severidad y frecuencia para obtener los de mayor relevancia. La aplicación de esta metodología también permitió identificar las salvaguardas de los diferentes sistemas, que garantizan el control de los accidentes planteados.

Las consecuencias de los accidentes seleccionados fueron analizadas utilizando el software SCRI Fuego Versión 1.4. (Dinámica Heurística, 2013a). Los criterios elegidos para la selección de los datos de entrada se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Datos de entrada utilizados en la determinación de consecuencias al exterior de las estaciones de servicio.

Dato de entrada al modelo	Consideraciones realizadas
Sustancia química	Las propiedades fisicoquímicas de las sustancias inflamables modeladas (tolueno, gas natural, isopropanol y diésel) se tomaron de la base de datos del programa de simulación SCRI fuego.
Condiciones meteorológicas	Se consideró el viento dominante del Este, con velocidad media de 3.5 m/s, cielo despejado, sin inversión térmica, una humedad atmosférica del 5% y una temperatura de 25°C.
Condiciones de la descarga:	<p>a) Cálculo de la tasa de descarga del gas LP. Para la liberación proviene de una ruptura en la tubería de alimentación del combustible a la industria, se consideran las condiciones de presión y flujo máximo del combustible, así como el diámetro de la tubería. El escenario plantea que el gas LP entra en contacto con una fuente de ignición, por lo que las consecuencias se determinan utilizando el nivel de radiación térmica del modelo de <i>jet fire</i>.</p> <p>b) Para el tolueno, isopropanol y diésel. El escenario de liberación plantea una pérdida de contención del tanque de almacenamiento de dichos combustibles y el derrame de los mismos en los diques para contención de derrames. Las consecuencias de un incendio se evalúan desde el dique para contención de derrames en un incendio tipo <i>pool fire</i>.</p>
Determinación de consecuencias al exterior	Conforme a la Guía para Elaboración de Estudios de Riesgo de SEGAM, la zona de alto riesgo para escenarios que involucran fuego se estableció a un nivel de radiación térmica de 5 kW/m ² (que ocasionaría quemaduras de segundo grado en exposiciones superiores a 60 segundos); mientras que la zona de amortiguamiento se fijó a un nivel de 1.4 kW/m ² (que provocaría dolor en exposiciones superiores a 60 segundos).

6.5. CASO DE ESTUDIO: TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS EN SAN LUIS POTOSÍ.

El análisis de los accidentes con sustancias peligrosas relativos al transporte terrestre por carretera en el estado de San Luis Potosí se realizó con base en las fuentes de información siguientes:

1. Base de datos de Emergencias Ambientales de la Subprocuraduría de Inspección Industrial de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA, 2010) para el periodo 1993-2010.
2. Consulta de fuentes impresas de comunicación en San Luis Potosí para identificar accidentes durante el transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas en el periodo 2000-2010 (Sol de San Luis, Pulso Informativo).
3. El estudio sobre vulnerabilidad en carreteras por el transporte de materiales peligrosos, publicado en 2013 por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (Mendoza, Romero, & Cuevas, 2013).

La información recopilada permitió establecer la frecuencia de los accidentes dentro del estado de San Luis Potosí, así como los tramos y carreteras con mayor número de accidentes en el periodo de estudio.

6.5.1. SIMULACIÓN DE ACCIDENTES HISTÓRICOS.

A continuación se describe el proceso de modelación de los accidentes químicos usado para representar las consecuencias de accidentes, durante el transporte de las sustancias químicas peligrosas. Este ejercicio tuvo como propósito definir la precisión de dicha herramienta en accidentes reales.

6.5.1.1. Explosión de una masa de TNT.

La cantidad de TNT en kilogramos es el único dato de entrada al modelo de sobrepresión, provocada por nubes explosivas para el evento de explosión de una masa de TNT del software SCRI Fuego Versión 3.4 (Dinámica Heurística, 2013b).

El factor de eficiencia de los explosivos que participaron en los casos analizados se muestra en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Factor de eficiencia de sustancias explosivas modeladas.

Caso	Sustancia que participa en la explosión	Factor de eficiencia
1	ANFO	0.82
2	TNT	1
3	TNT	1

Fuente: Kang y cols., (2013)

Para estos eventos, el análisis de consecuencias al exterior se realizó para un límite de sobrepresión de 1 905 kPa, que conforme a Dinámica Heurística (2008) está asociado a la formación de un cráter. El radio hasta el cual se observan niveles de sobrepresión de 1 905 kPa se comparó con el radio del cráter que se formó como resultado de las explosiones, para determinar la efectividad del modelo.

6.5.1.2. Explosión de una nube inflamable.

El análisis de escenarios accidentales incluyó también los casos de explosiones provocadas por nubes de vapor inflamable.

Este escenario también está basado en el modelo de equivalencias del trinitrotolueno; sin embargo, a diferencia de la sección anterior, el software de simulación obtiene de su base de datos el calor de combustión de la sustancia de interés, la cual se compara con el del trinitrotolueno de 4680 kJ/kg. Este escenario toma en cuenta también un factor de eficiencia de la explosión, y asume que sólo una porción del material fugado encuentra las condiciones de concentración necesarias para explotar. En los casos modelados se utilizó el factor de eficiencia recomendado para hidrocarburos del 3%. Las sustancias modeladas en este apartado y su calor de combustión se muestran en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Sustancias inflamables modeladas en el escenario de explosión de nubes de vapor inflamables.

Caso	Sustancia que participa en la explosión	Calor de combustión (kJ/kg)	Factor de eficiencia
1	Gas LP	46026	0.03
2	Gasolina	43700	0.03
3	Diésel	39700	0.03

Las consecuencias de los accidentes se analizaron considerando los niveles de afectación reportados en los medios de comunicación impresa a) 4.5 kPa para la destrucción de ventanas y b) 7 kPa para la destrucción parcial de casas (Dinámica Heurística, 2008).

6.5.1.3. Combustión desde derrame.

Para la modelación de los accidentes que involucran el derrame e incendio de sustancias inflamables, los datos de entrada utilizados fueron los siguientes:

- 1) Sustancia de interés. De la base de datos del software SCRI Modelos 4.4 se eligieron las sustancias inflamables que participaron en los accidentes históricos modelados (Dinámica Heurística, 2013b).
- 2) Parámetros de la emisión para el modelo poolfire. Para los escenarios de derrame desde un tanque de almacenamiento se incluyó el diámetro del tanque o dique circular, desde donde tiene lugar el incendio, según se indica en la Tabla 6.6.
- 3) Condiciones meteorológicas. Debido a la incapacidad de consultar datos precisos de las condiciones meteorológicas imperantes el día del evento se definieron condiciones meteorológicas críticas para estos escenarios. Se consideró una velocidad del viento de 1 m/s, una temperatura de 25°C y 15% de humedad atmosférica.

- 4) Límites de radiación térmica. Se tomaron como referencia los límites de radiación térmica de la Guía para elaboración de Estudios de Riesgo de SEMARNAT, por lo que la zona de alto riesgo se estableció al nivel de 5 kW/m² (que ocasionaría quemaduras de segundo grado en exposiciones superiores a 60 segundos) y la zona de amortiguamiento a un nivel de 1.4 kW/m² (que provocaría dolor en exposiciones superiores a 60 segundos).

Tabla 6.6. Parámetros de emisión modelados.

Caso	Sustancia involucrada en el incendio	Calor de combustión de la sustancia (kJ/kg)	Parámetro de emisión
1	Diésel	39 700	Flujo volumétrico 0.01 m ³ /s *
2	Gasolina	43 700	Flujo volumétrico 0.0038 m ³ /s**
3	Aceite quemado	40 000	Diámetro del área 18 m ²

* Conforme a volumen que se derramó (12 000 L) y duración del incendio (20 min).

** Conforme a volumen que se derramó (21 000 L) y duración del incendio (1.5 hr).

*** Conforme a diámetro de derrame reportado.

Fuente: Dinámica Heurística (2013a)

6.5.1.4. Emisión de chorro horizontal para sustancias tóxicas.

Para simular las consecuencias de los accidentes que ocasionaron fugas de amoníaco y ácido sulfúrico se utilizó el modelo de emisión de chorro horizontal. Los datos de entrada al modelo se describen a continuación.

1. Las propiedades fisicoquímicas de las sustancias modeladas fueron tomadas de la base de datos del programa SCRI Modelos 4.4 (2013b).
2. Datos de la emisión. Las características del flujo másico de las sustancias liberadas se muestra en la Tabla 6.7.
3. Condiciones metereológicas. Se consideraron condiciones ambientales medias con velocidad del viento de 2.5 m/s medidas a 10 m, una temperatura ambiente de 25°C, rugosidad del terreno de 0.4 y humedad relativa del 25%.
4. Límites de consecuencias al exterior. Se consideraron las concentraciones aéreas de la Guía para respuesta a emergencias (ERPG-1, ERPG-2 y ERPG-3, con los valores que se muestran en la Tabla 6.6. Cabe mencionar que estas distancias establecen concentraciones asociadas con determinados efectos a la salud (NOAA, 2015).
 - ERPG-1. Es la concentración aérea máxima por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.
 - ERPG-2. Es la concentración aérea máxima por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin

experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles, o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.

- ERPG-3. Es la concentración aérea máxima por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida. No obstante, pueden sufrir efectos serios o irreversibles y síntomas que impidan la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.

Tabla 6.7. Parámetros de flujo y concentraciones de interés modeladas.

Caso	Sustancia que participó en el accidente	Flujo de la sustancia liberada al ambiente(kg/s)	Concentración ERPG-1 (ppm)	Concentración ERPG-2 (ppm)	Concentración ERPG-3 (ppm)
1	Amoniaco	16.66	25	150	750
2	Amoniaco	40.5	25	150	750
3	Ácido sulfúrico	0.2583	2	10	120
4	Ácido sulfúrico	0.1363	2	10	120

Fuente: NOAA (2014).

6.5.2. ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE LIBERACIÓN EN EL TRAMO SAN LUIS POTOSÍ-SANTA MARÍA DEL RÍO.

Las consideraciones establecidas para modelar la liberación de las sustancias químicas peligrosas en los accidentes carreteros, fueron las siguientes.

- Se determinó utilizar dos tipos de unidades desde donde se realiza la liberación de los materiales peligrosos a) el camión unitario, con una capacidad de 25 000 L y b) la unidad articulada, con capacidad para 55 000 L. Estas dos unidades fueron las que mayor participación tuvieron en el análisis de accidentes durante el transporte carretero de sustancias peligrosas en San Luis Potosí, para el periodo 2006-2009.
- El porcentaje de llenado del autotank al momento de la descarga se fijó en 80%, tomando como base la NOM-012/5-SEDG-2003 específica para gas LP y que establece el requerimiento de contar con válvulas de máximo llenado calibradas al 85%.
- El tamaño del orificio de descarga se fijó con base en estudios de caso y bibliografía sobre el tema en 30 cm para unidades a presión atmosférica, como es el caso de ácido sulfúrico, gasolina, diésel y alcohol etílico, mientras que para gases licuados a presión fue de 15 cm. El tamaño menor en el orificio de descarga del amoniaco y gas LP tiene relación con las especificaciones para el diseño y construcción de auto tanques (NOM-057-SCT2/2003, NOM-012/5-SEDG-2003) los cuales incluyen (entre los cálculos del esfuerzo máximo de diseño) los esfuerzos debidos al impacto en un

accidente. El diámetro del orificio de descarga para sustancias líquidas es igual al utilizado por Mendoza, Romero y Cuevas (2013), en su determinación de consecuencias al exterior.

- d) La posición del orificio de descarga se estableció en el fondo del tanque, de manera que todo el material puede ser liberado al ambiente.

Los dos modelos de simulación utilizados para la determinación de radios de afectación debido a los accidentes en el transporte carretero de materiales peligrosos, fueron el SCRI (Dinámica Heurística, 2013a) para sustancias inflamables y el ALOHA (NOAA, 2013) para sustancias tóxicas. El libramiento de la ciudad de San Luis Potosí y la carretera próxima a Santa María del Río, localizados en la zona centro del estado, que conforme a los datos del IMT cuentan con historial de accidentes carreteros de materiales peligrosos, se eligieron como sitios de estudio.

Las condiciones meteorológicas de los sitios de estudio se seleccionaron conforme a los datos de la Comisión Nacional del Agua, modelándose las siguientes:

1. Con velocidades del viento y temperaturas mínimas.
2. Con velocidades del viento y temperaturas máximas.
3. Con datos promedio de velocidad y temperatura.
4. Con condiciones críticas e inversión térmica a una altura de 100 m.

En todas las simulaciones, la altura del anemómetro se fijó a 10 m, se consideró cielo despejado y humedad atmosférica del 5%. Los escenarios meteorológicos modelados se muestran en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Escenarios meteorológicos modelados.

Ciudad	Escenario meteorológico (velocidad viento y temperatura)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Crítico
San Luis Potosí	2.3°C	30°C	25 °C	Altura de la inversión térmica = 100 m
	1.7 m/s	5.3 m/s	3.5 m/s	
Santa María del Río	16.4°C	26.8°C	22°C	Altura de la inversión térmica = 100 m
	1.5 m/s	5 m/s	3 m/s	

6.5.2.1. Análisis de afectación de los escenarios alternativos de liberación.

Los radios de afectación de las sustancias inflamables (gasolina, diésel, gas LP e alcohol etílico) y tóxicas (amoníaco y ácido sulfúrico) fueron representados en el sistema de información geográfico Mapa Digital de escritorio versión 6.0.1 de INEGI, para conocer el número de comunidades urbanas y rurales que podrían verse afectadas si las emergencias con materiales peligrosos tuvieran lugar en el tramo carretero San Luis Potosí-Santa María del Río, San Luis Potosí.

La población potencialmente expuesta identificada se obtuvo al considerar un área buffer en ambos lados del tramo de estudio, de tal forma, que se identifican las comunidades totales que resultarían afectadas en caso de que el accidente ocurriera en cada uno de los puntos del trayecto y no para un accidente puntual dentro del sitio de estudio.

Las áreas geoestadísticas básicas (AGEB's) de INEGI fueron identificadas para las ciudades de San Luis Potosí y Santa María del Río, así como las localidades rurales con más de 2 habitantes, localizadas en la zona de estudio, haciendo uso de la información del Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI.

La población potencialmente afectable (debido a los escenarios alternativos modelados) se identifica al contabilizar el total de AGEBS urbanas y de poblaciones rurales establecidas al interior de la zona buffer representada en el sistema de información geográfica.

6.5.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL EN EL TRAMO SAN LUIS POTOSÍ - SANTA MARÍA DEL RÍO.

El escenario de derrame de ácido sulfúrico desde un transporte unitario fue seleccionado para realizar el análisis de vulnerabilidad social de la carretera federal No. 57, tramo San Luis Potosí-Santa María del Río, debido a que tiene las distancias mayores de consecuencias, con 4 km hasta el límite tóxico de 100 ppm.

La información usada para el análisis de la vulnerabilidad social fue el indicador del grado de marginación urbana de la CONAPO, en su versión 2010, éste es una medida-resumen que permite diferenciar las áreas geoestadísticas básicas urbanas del país (AGEB's), según el impacto global de las carencias que la población padece como resultado de la falta de acceso a la educación, a los servicios de salud, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes.

Este indicador de pobreza es apropiado para dar cuenta de la vulnerabilidad social debido a que (Landa, 2010):

- a) Algunos de los asentamientos de personas con recursos económicos menores tienden a ubicarse en lugares con exposición mayor a eventos peligrosos y bajo condiciones de fragilidad natural.
- b) La infraestructura de sectores con posibilidades económicas menores suele ser de mala calidad.
- c) La cobertura de servicios de estos asentamientos es inadecuada y en muchos casos inexistente; de contarse con los servicios adecuados se podrían aminorar algunos de sus impactos.
- d) Los niveles de ingresos bajos de algunas familias se afectan más por los daños derivados de algún desastre y su economía se desestabiliza.

El índice de marginación urbana es por lo tanto un indicador apropiado para el análisis de la vulnerabilidad social de los riesgos químicos, y tiene la ventaja de encontrarse desagregado a nivel local por AGEBS, para poblaciones urbanas. Este índice es a su vez, el resumen de los indicadores que se indican en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Dimensiones e indicadores que constituyen al índice de marginación urbana por AGEBS 2010

Dimensión	Indicador
Educación	% Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela % Población de 15 años o más sin educación básica completa
Salud	% Población sin derechohabiencia a servicios de salud % Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años de edad % Viviendas particulares habitadas sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica. % Viviendas particulares habitadas sin excusado con conexión de agua % Viviendas particulares habitadas sin agua entubada dentro de la vivienda % Viviendas particulares habitadas con piso de tierra. % Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
Bienes	% Viviendas particulares habitadas sin refrigerador

Fuente: CONAPO, 2010.

Finalmente, las comunidades urbanas potencialmente expuestas en el área de alto riesgo, debido al escenario de derrame de ácido sulfúrico desde un transporte unitario, fueron identificadas (al igual que su índice de marginación social de la CONAPO) para evidenciar las diferencias entre la vulnerabilidad social exhibida en San Luis Potosí y Santa María del Río.

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS AL EXTERIOR EN ACTIVIDADES RIESGOSAS Y EL TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS.

7.1. ESCENARIOS ALTERNATIVOS PARA ESTACIONES DE SERVICIO EN SAN LUIS POTOSÍ.

Las estaciones de servicio que comercializan gasolina fueron seleccionadas como ejemplo de las actividades de riesgo de competencia estatal que tienen una amplia distribución geográfica para realizar su análisis de consecuencias al exterior. Las estaciones de servicio son empresas de competencia estatal debido al almacenamiento de gasolina en cantidad inferior a la de reporte de 10 000 barriles.

7.1.1. ANÁLISIS HISTÓRICO DE EVENTOS.

Diversos medios electrónicos de comunicación fueron consultados con el objetivo de identificar accidentes relativos a las estaciones de servicio, encontrándose los eventos relevantes siguientes.

1. El 28 de agosto de 2012 se desencadenó un incendio en una gasolinera en Santiago de Cuba tras el choque de un camión estatal contra una de las bombas de gasolina. El impacto provocó un derrame de combustible y una chispa procedente de una motocicleta situada cerca del lugar del accidente encendió el líquido y causó que el fuego se propagara hasta los tanques de la estación. Este accidente ocasionó 6 decesos y 32 heridos (UNIVISIÓN, 2012).
2. El 4 de junio de 2015 ocurrió una explosión en una estación de servicio localizada en la capital de Ghana, luego de una lluvia torrencial. La inundación hizo que el diésel y la gasolina fluyeran de la gasolinera y el incendio en un comercio vecino provocó la explosión. El accidente ocasionó el deceso de 73 personas que buscaban refugio de la inundación en la estación de servicio (Figura 7.1.) (Diario Panorama, 2015).
3. El 5 de marzo de 2015 se registró un incendio en una gasolinera localizada en la comunidad de Pontevedra en España- El origen del incendio fue un desperfecto en un generador eléctrico que ocasionó el incendio de un taller y depósito de neumáticos de la gasolinera. El generador se encontraba cerca de un tanque de almacenamiento de gasolina pero la respuesta oportuna de los bomberos impidieron que el fuego alcanzara los depósitos de combustible. El incendio calcinó cinco coches y un camión cisterna y motivo la evacuación de

las viviendas aledañas y el corte en la circulación de una carretera estatal (Figura 7.1.) (Martinez, 2015).

4. El 9 de marzo de 2015 ocurrió un incendio en una gasolinera ubicada en la ciudad de Asunción, Paraguay. El accidente fue resultado de una chispa en una de las máquinas expendedoras cuando el despachador se encontraba cargando combustible a un vehículo. El incendio fue controlado debido a la intervención oportuna del cuerpo de bomberos (ABC Digital, 2015).

Además de los incendios en las propias gasolineras, se encontraron otros eventos donde incendios localizados en áreas contiguas a las estaciones de servicio ocasionaron la activación de los protocolos de evacuación en dichas instalaciones, como es el caso de un incendio en una maderería en Chihuahua, que tuvo lugar el 5 de mayo de 2015, cerca de dos gasolineras y dos gaseras (Tiempo la noticia digital, 2015).



Figura 7.1. Fotografías de los incendios en las estaciones de servicio localizadas en Ghana y España.

7.1.2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS AL EXTERIOR.

Como resultado de la jerarquización de riesgos, se obtuvieron dos escenarios relativos al derrame de gasolina durante las operaciones de recarga al autotankue y de recarga de combustible desde el dispensario (Ver Anexo 3). Estos dos escenarios fueron seleccionados para realizar el análisis de consecuencias al exterior para las estaciones de servicio.

Los escenarios planeados son genéricos para las estaciones de servicio debido a que tanto los autotankues como los dispensarios tienen características similares, por lo que los escenarios modelados pueden ser aplicables a todas las estaciones de servicio objeto de estudio.

En primer caso planteado tiene lugar al perderse la hermeticidad de la manguera flexible utilizada para el llenado de los tanques de almacenamiento desde el autotanque que contiene la gasolina. El encargado de la estación de servicio y el chofer no supervisan la descarga del producto y no siguen las indicaciones del procedimiento para la recepción y descarga de productos inflamables y combustibles con autos tanques propiedad de Pemex Refinación. El flujo de llenado es de 0.016 m³/s como resultado del accidente se produce el derrame del combustible en un periodo de 5 minutos, se considera que el combustible entra en contacto con una fuente de ignición y se produce un incendio.

En el segundo caso se produce el derrame de gasolina desde un dispensario ocasionado por un error humano o sabotaje, el combustible entra en contacto con una fuente de ignición proveniente de la energía estática, generándose el incendio con flujo de la descarga es de 0.000833 m³/s por un periodo de 5 minutos, hasta que se activan los paros de emergencia de la estación de servicio.

Las consecuencias de los escenarios planteados fueron modeladas en el software de simulación SCRI Fuego versión 1.4, obteniéndose los resultados siguientes.

Tabla 7.1. Resultados de las simulaciones para los dos escenarios de incendio de gasolina.

Escenario	Zona de alto riesgo en metros (5 kW/m ²)	Zona de amortiguamiento en metros (1.4 kW/m ²)
Incendio desde descarga de autotanque.	51.97	97.08
Incendio en dispensario	11.93	22.96

Como se observa en la Tabla 7.1., el escenario que propone un incendio desde la descarga del autotanque de gasolina plantea los radios de afectación al exterior mayores con una zona de alto riesgo de 52.0 m, a un nivel de radiación térmica superior a 5 kW/m², que es suficiente para causar daño al personal si no se protege en 20 segundos (se pueden sufrir quemaduras hasta de 2° grado si no hay protección adecuada) (Dinámica Heurística, 2008).

7.1.2.1. Comparación del análisis de riesgos con otras referencias.

La hoja de datos de seguridad de la gasolina Magna elaborada por PEMEX en el año 1998, en su revisión 5 del año 2011, menciona que en caso de un derrame grande de gasolina, se considere la evacuación inicial de por lo menos 300 metros a favor del viento u 800 metros a la redonda (PEMEX, 2011). No obstante el documento no define las consideraciones para clasificar un derrame como grande.

Esta distancia es recuperada por Domínguez y Cabrera (2012) para evaluar las viviendas expuestas ante riesgos urbanos en el reporte de Indicadores del Desarrollo para la zona metropolitana del Valle de Mérida.

7.1.2.2. Evaluación de los sistemas expuestos.

La ubicación de las estaciones de servicio y su área de alto riesgo para el escenario de incendio, desde el derrame de un autotank con un radio de 51.97 m, fueron representados en el sistema de información geográfica Mapa Digital de México para escritorio de INEGI, en su versión 6.0.1., del año 2013. Las cuatro ciudades y zonas metropolitanas con la población más numerosa fueron elegidas para realizar el análisis de la exposición ante estas actividades, identificándose los radios de afectación y las características del nivel de marginación de las comunidades, donde se localizan las estaciones de servicio (Figura 7.2).

Tabla 7.2. Localización de las estaciones de servicio conforme a grado de marginación social.

Gasolineras con grado de marginación	San Luis Potosí, SLP y Soledad de Graciano Sánchez	Matehuala	Río Verde y Ciudad Fernández	Ciudad Valles
Muy alta	1	0	1	0
Alta	3	3	4	0
Media	10	3	3	5
Baja	19	4	4	6
Muy baja	45	3	0	3
No disponible	3	1	1	0
Total	81	14	13	14

Como se observa en la Tabla 7.2., con excepción de Río Verde y Ciudad Fernández, las áreas donde se ubican las estaciones de servicio poseen en su mayoría grados de marginación bajos y muy bajos, lo cual indica una vulnerabilidad social baja ante los riesgos.

Para la zona metropolitana de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez se identificaron 65 estaciones de servicio que se localizan en su mayoría en la zona centro de la ciudad de San Luis Potosí. Como se observa en la Figura 7.2, las áreas donde se ubican las estaciones de servicio poseen grados de marginación social bajos (23.4%) y muy bajos (55.5%), en su mayoría. Además, las zonas de riesgo alto del escenario evaluado no tienen la capacidad para afectar el área natural protegida estatal del Paseo de la Presa.

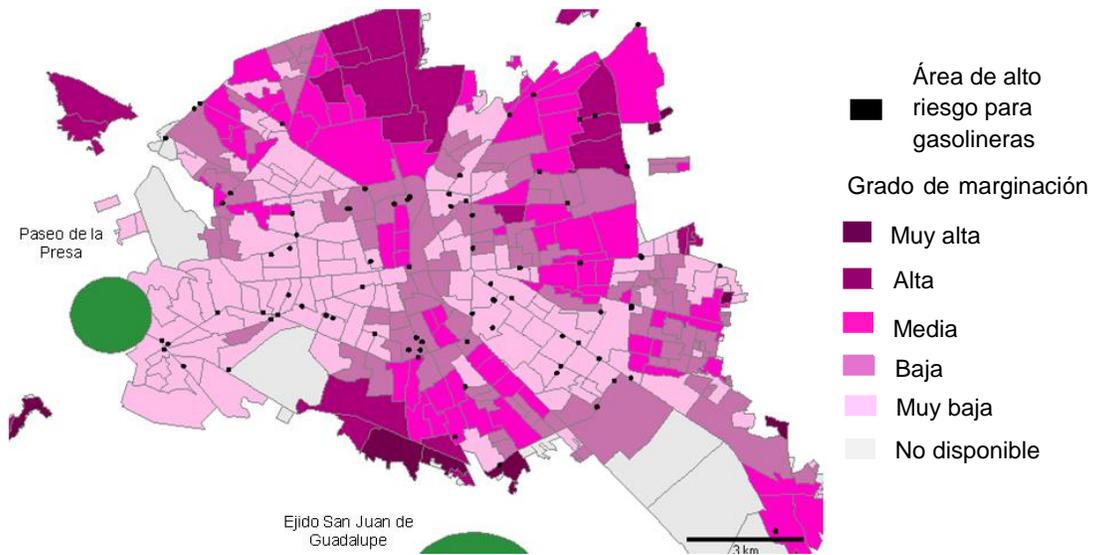


Figura 7.2. Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO, para los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

En el caso de la ciudad de Matehuala (Figura 7.3), las 14 estaciones de servicio se encuentran distribuidas en sectores con grado de desarrollo social diverso, siendo que existe el mismo porcentaje de estaciones de servicio en las áreas con marginación alta, media y muy baja (21.4%); sin embargo, el porcentaje mayor se ubica en áreas con marginación baja (28.57%).

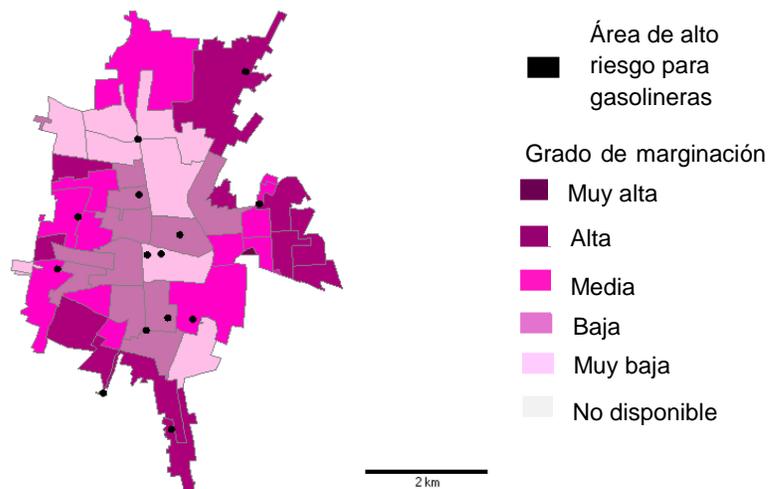


Figura 7.3. Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para el municipio de Matehuala.

En los municipios de Río Verde y Ciudad Fernández (Figura 7.4), las estaciones de servicio se agrupan en el centro del área conurbada y en áreas con marginación alta (30.7%) y baja (30.7%), en su mayoría.

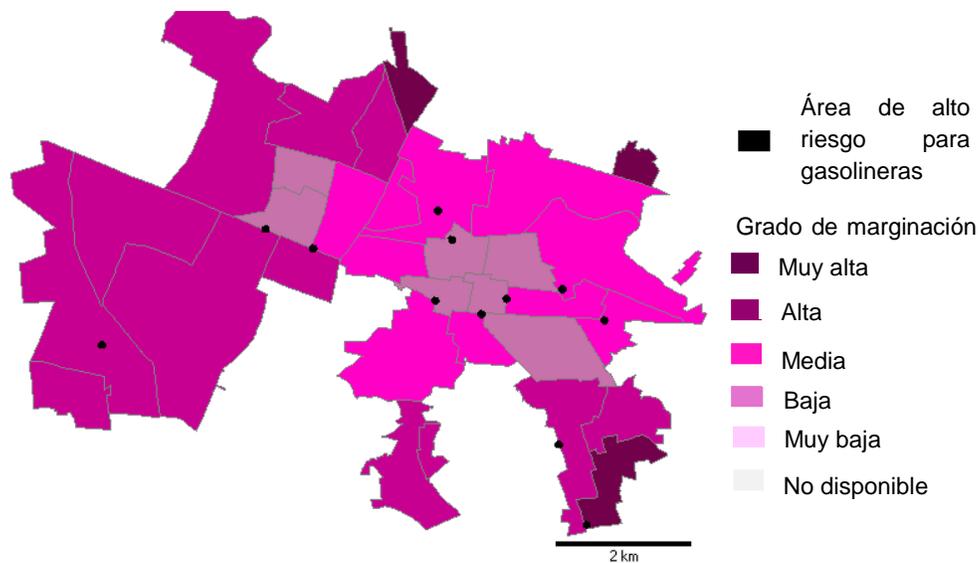


Figura 7.4. Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para los municipios de Río Verde y Ciudad Fernández.

En el caso del municipio de Ciudad Valles (Figura 7.5) también se observa una concentración mayor de las 14 estaciones de servicio en áreas con baja o muy baja marginación con el 64.2%.

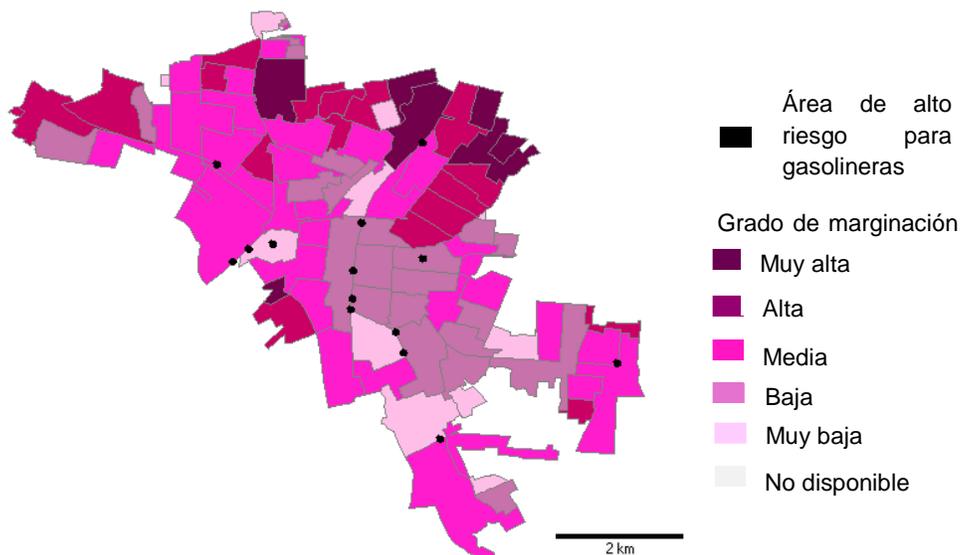


Figura 7.5. Ubicación de las áreas de alto riesgo para estaciones de servicio conforme al nivel de vulnerabilidad social de CONAPO para el municipio de Ciudad Valles.

7.1.2.3. Resultados del nivel de riesgo en las estaciones de servicio.

El escenario alternativo de liberación elegido para realizar el análisis de consecuencias al exterior donde ocurre un incendio, cuando se realiza la recarga del tanque de almacenamiento de gasolina, fue evaluado conforme a su nivel de

severidad y frecuencia, con base en la metodología ARAMIS (Delvosalle y cols., 2006); los resultados se indican en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Nivel de riesgo del escenario modelado para las estaciones de servicio.

Escenario	Frecuencia	Severidad	Nivel de riesgo
Incendio durante la recarga del tanque de almacenamiento de gasolina.	F ₂ - Frecuencia media: El evento crítico (para la causa analizada) puede ocurrir. Ha ocurrido en instalaciones similares o en la instalación (una vez cada 100 años)	C2- Efectos serios en el ambiente que requieren intervención local. Lesiones que conllevan la hospitalización por más de 24 horas.	Efectos medios.

El nivel del riesgo es de afectaciones medias al ambiente y a la salud humana. Respecto al análisis de la vulnerabilidad ambiental, los resultados de la determinación de consecuencias al exterior indican que las zonas de alto riesgo del escenario analizado no tienen el potencial para afectar áreas naturales protegidas de carácter federal o estatal. El análisis de la vulnerabilidad social indica que, en las ciudades analizadas, 12 estaciones de servicio se localizan en comunidades urbanas con alta y muy alta marginación. En estos sitios sería prioritario fortalecer las capacidades locales de percepción ante los riesgos y hacerlos partícipes de los programas comunitarios de respuesta ante emergencias, de manera que sus condiciones de marginación social no los coloquen en una situación de desventaja respecto a los riesgos químico-tecnológicos a los que se encuentran expuestos.

7.1.3. REGULACIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

7.1.3.1. Restricciones de los predios.

Las especificaciones técnicas para el proyecto y construcción de las estaciones de servicio proporcionado por PEMEX indican las restricciones siguientes para su ubicación.

1. El área de despacho de combustible se debe ubicar a una distancia de 15 metros, medidos a partir del eje vertical del dispensario con respecto a los lugares de reunión pública, como se indica en el artículo 518, secciones 1 y 2 de la NOM-001-SEDE-1999, del 27 de septiembre de 1999, así como del Sistema de Transporte Colectivo (Metro) o cualquier otro sistema de transporte electrificado en cualquier parte del territorio nacional, siempre y cuando la autoridad competente no imponga otro ordenamiento.
2. El predio debe localizarse a una distancia de 100 metros con respecto a plantas de almacenamiento y distribución de gas LP, tomando como referencia

la ubicación de los tanques de almacenamiento localizados dentro de las plantas de gas al límite del predio propuesto para la estación de servicio.

3. El predio debe ubicarse a una distancia de 30 metros con respecto a líneas de alta tensión, vías férreas y ductos que transportan productos derivados del petróleo; dicha distancia se debe medir tomando como referencia la ubicación de los tanques de almacenamiento de combustibles de la estación de servicio a los elementos de restricción señalados.
4. Los puntos de descarga de las tuberías de venteo deben localizarse fuera de edificios, puertas, ventanas o construcciones, a 4 metros sobre el nivel del piso, a no menos de 3 metros de puertas o ventanas y a no menos de 8 metros de aires acondicionados.
5. En las carreteras, las obras relativas a accesos al predio se deben ubicar a una distancia de 100 metros de cruces, entronques y pasos superiores e inferiores, así como a más de 150 metros de zonas de curvas, de acuerdo a lo señalado en el artículo 13 del Reglamento para el Aprovechamiento del Derecho de Vía de las Carreteras Federales y Zonas Aledañas, del 5 de febrero de 1992 y sus reformas del 8 de agosto del 2000.

Para el estado de San Luis Potosí, el Plan del Centro de población estratégico de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez en su proyecto de actualización del año 2003 identifica la necesidad de contar con análisis de riesgos, áreas de afectación para gasolineras y gaseras e inventarios de estas actividades en las nuevas áreas urbanas (H. Ayuntamiento de San Luis Potosí, 2003). Dicho documento establece las condiciones siguientes para el establecimiento de estaciones de servicio.

1. Se requiere tener acceso y salida de vehículos de abastecimiento por una vialidad secundaria.
2. Realizar un estudio de vialidad.
3. Contar con áreas de ascenso y descenso de pasajeros fuera de la vía pública.
4. Realizar estudio de impacto urbano en los términos de la LDU.
5. Toda actividad del uso del suelo deberá realizarse dentro del predio.
6. Ubicarse en la cabecera de la manzana o esquina.
7. Realizar un estudio de imagen urbana.

Además, las normas de uso de suelo señalan que las estaciones de servicio tienen un uso permitido en zonas con vocación de corredor regional, corredor comercial, comedor distrital y de servicios para la industria, siendo que la instalación en cualquier otra zona requiere un dictamen urbano para su autorización.

7.1.3.2. Manual de estaciones de servicio de Pemex.

El manual de operaciones de la franquicia PEMEX en su versión 2008-1 incluye una serie de procedimientos aplicables a la seguridad de las operaciones en las estaciones de servicio.

En el apartado de operación, las estaciones de servicio deben apegarse a procedimientos de seguridad para las acciones relacionadas con el manejo de combustibles como en el caso del procedimiento para la recepción y descarga de productos inflamables y combustibles con auto tanques propiedad de Pemex Refinación y para el desarrollo de las actividades de recepción y descarga de productos inflamables y combustibles.

La sección de protección ambiental establece que los tanques de almacenamiento deben someterse a pruebas que aseguren su hermeticidad con una periodicidad semestral, mediante laboratorios certificados ante la EMA. De igual forma, para garantizar su hermeticidad, las tuberías deben ser evaluadas una vez por año (con sistema móvil), y cada 5 años (con sistema fijo).

7.1.3.3. Visitas comerciales de supervisión técnica por tercerías.

A través de empresas especializadas denominadas tercerías, Pemex Refinación supervisa los aspectos de seguridad e imagen de cada estación de servicio mediante 3 o 4 visitas comerciales de supervisión técnica por año. Las compañías encargadas de dicha supervisión son contratadas mediante procesos de licitación pública internacional.

El objetivo de las visitas es constatar que las estaciones de servicio se encuentran operando en las condiciones máximas de seguridad, preservando la Seguridad, la Ecología, manteniendo en condiciones óptimas su imagen y proporcionando un servicio de excelencia al cliente.

En la Supervisión Técnica de Mantenimiento se determinará el grado de conservación de las instalaciones de la estación de servicio con respecto a lo que indica el Capítulo 7 “Manual de Operación, Mantenimiento, Seguridad y Protección al Ambiente”. La identificación de los elementos a supervisar del mantenimiento se basa en las Especificaciones Técnicas para Proyecto y Construcción de Estaciones de Servicio, de acuerdo a las diferentes versiones; así como en las disposiciones de las instancias competentes, conforme a los planos revisados por

Pemex Refinación y autorizados por las Dependencias de la Administración Pública.

Los aspectos de seguridad que se verifican en las visitas comerciales y de supervisión técnica se muestran en el Anexo 2.

7.1.3.4. PROYECTO DE NORMA PROY-NOM-124-ECOL-1999.

El proyecto de norma Oficial Mexicana PROY-NOM-124-ECOL-1999, que establecía las especificaciones de protección ambiental para el diseño, construcción, operación, seguridad y mantenimiento de los diferentes tipos de estaciones de servicio nunca fue aprobado; sin embargo, muchas de sus especificaciones técnicas fueron incluidas en los requerimientos para las nuevas estaciones de servicio de PEMEX.

Este proyecto de norma incorporaba dentro de los criterios para la ubicación de las estaciones de servicio los elementos siguientes que no se incluyen en las especificaciones para las estaciones de servicio:

1. El predio debe estar a una distancia de resguardo mínima de 100 metros con respecto a actividades clasificadas de alto riesgo, tomando como referencia al Primer y Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas, publicados en el Diario Oficial de la Federación, el 28 de marzo de 1990 y el 4 de mayo de 1992, respectivamente.

La distancia respecto a Plantas de Almacenamiento y Distribución de Gas L.P., se tomará desde los tanques de almacenamiento localizados dentro de dicha planta de gas, hacia el límite del predio propuesto para la estación de servicio.

2. Los depósitos subterráneos de gasolinas y diésel deben estar a una distancia no menor de 30 metros de lugares de concentración pública en general.

El proyecto de norma establecía que la Secretaría de Energía sería la encargada de acreditar a personas físicas o morales como Unidad Verificadora de Proyecto, Construcción y Mantenimiento de Estaciones de Servicio, de esta manera serían unidades verificadoras las encargadas de verificar el cumplimiento cabal de esta norma en lugar del empleo de tercerías como se realiza actualmente.

7.1.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS AL EXTERIOR PARA ESTACIONES DE SERVICIO.

El análisis de consecuencias al exterior en estaciones de servicio del estado de San Luis Potosí permitió identificar que dichas actividades se localizan al interior de la mancha urbana y en zonas con nivel socioeconómico alto, por lo cual las características de la población potencialmente expuesta a los riesgos químicos generados por estaciones de servicio, difiere considerablemente de las características que se observan en las comunidades expuestas a riesgos químicos provenientes de zonas industriales.

El potencial de afectación de estas empresas es de gran relevancia a nivel municipal, debido a que es en este orden donde se realizan los programas de regulación y uso de suelo que norman la instalación de las unidades de servicio, por lo cual se debe buscar la exposición más baja de las comunidades urbanas ante dichos riesgos.

La evaluación del potencial de consecuencias al exterior en las estaciones de servicio (debido al accidente de derrame e incendio de gasolina durante la recarga del tanque de almacenamiento) dio como resultado un radio de afectación de 52 m para la zona de riesgo alto. En un escenario accidental como el descrito anteriormente y de acuerdo con las especificaciones técnicas para el establecimiento de estaciones de servicio de PEMEX, la infraestructura siguiente y puntos de interés resultarían afectados con un nivel de radiación térmica de 5 kW/m², asociado con quemaduras de segundo grado ante exposiciones de 40 segundos:

- a) Los lugares de reunión pública que tienen una distancia de seguridad de 15 m desde los ejes verticales de los dispensarios.
- b) Las líneas de alta tensión, vías férreas y ductos que transportan productos derivados del petróleo, los cuales tienen una distancia de separación de 30 m desde los tanques de almacenamiento.

La única distancia de seguridad que quedaría fuera de la zona de alto riesgo para el escenario accidental planteado son los 100 metros de seguridad para el establecimiento de plantas de almacenamiento y distribución de gas L.P.

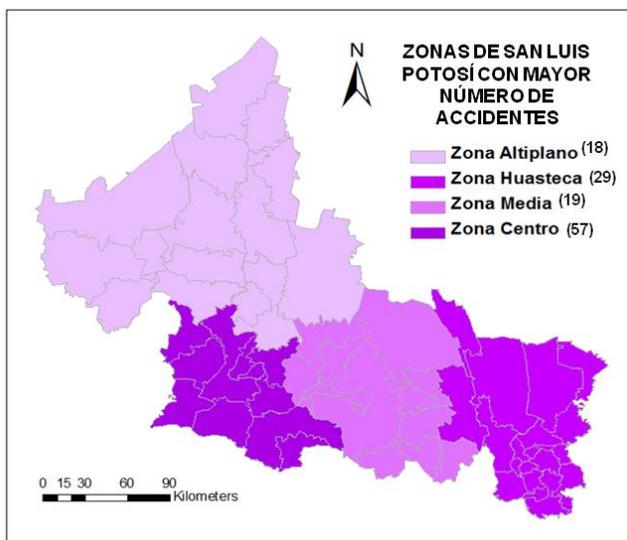
7.2. CASO DE ESTUDIO: TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN SAN LUIS POTOSÍ.

7.2.1. ANÁLISIS DE EMERGENCIAS AMBIENTALES EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS.

Para el periodo 1993-2010, la Subprocuraduría de Inspección Industrial de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA, 2010), tiene registro de 161 emergencias en el estado de San Luis Potosí, relacionadas con el transporte de materiales y residuos peligrosos. Este hecho ubica al estado en el lugar número 13 a nivel nacional.

Conforme a la PROFEPA, en el periodo 2000-2010 existe registro de 145 accidentes ambientales en el estado, 96,5% de los cuales ocurrieron durante el transporte de los materiales y residuos peligrosos; en su mayoría, durante su traslado por carreteras (84,83%). La emergencia más frecuente, relacionada con los accidentes en el transporte carretero fue el derrame los materiales peligrosos con el 93,1% de los casos.

De la información analizada, se estableció que la localización de los eventos en las zonas del estado fue la siguiente: 46,3% en la Zona Centro, 23,6% en la Zona Huasteca, 15,5% en la Zona Media y 14,6% en la Zona Altiplano (Figura 7.6). Los municipios con mayor número de accidentes ambientales son San Luis Potosí, Villa de Reyes, Rio Verde, Ciudad Valles y Tamasopo.

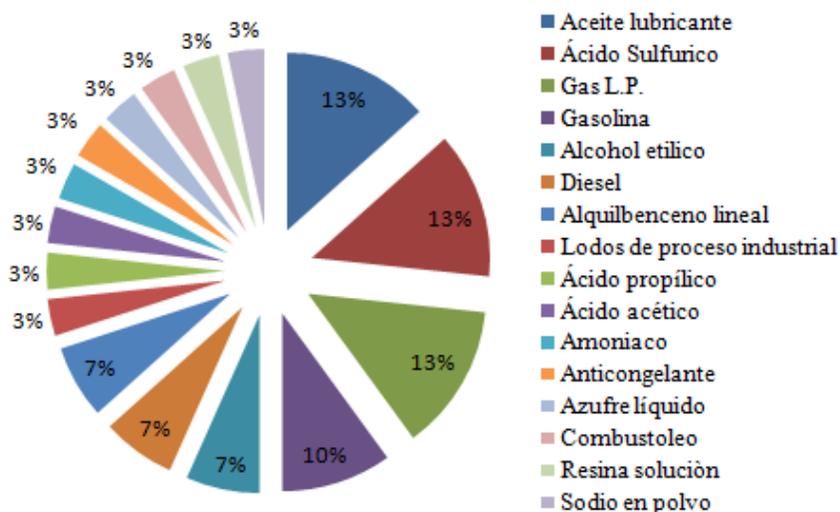


Fuente: PROFEPA, 2010.

Figura 7.6. Distribución de los accidentes ambientales dentro de las zonas del estado de San Luis Potosí (2000-2010).

Para el periodo 2000-2010 la base de datos de PROFEPA se amplió con información de las fuentes de comunicación impresa en la ciudad de San Luis Potosí; así se identificaron otros 40 accidentes que involucraron el transporte por carretera de materiales peligrosos, la mayoría de los cuales ocurrieron en la zona centro del estado (Figura 7.8).

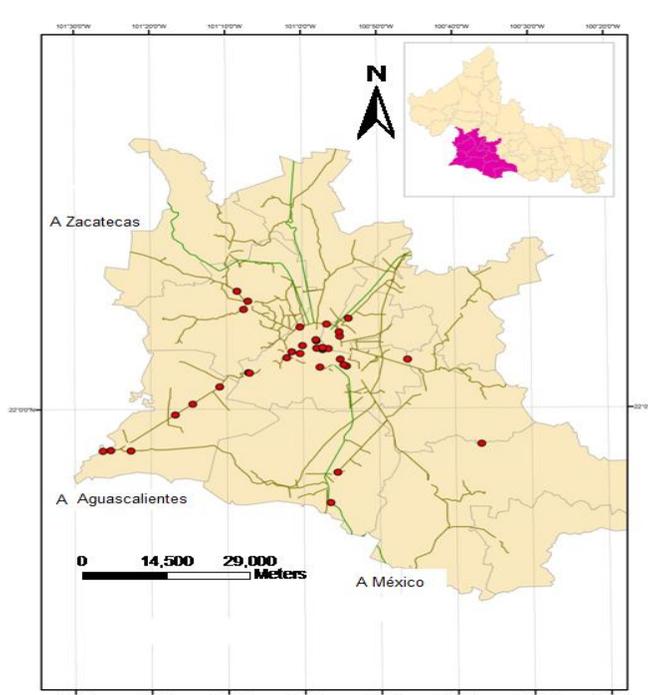
Los materiales peligrosos que participaron en el mayor porcentaje de los eventos registrados fueron el aceite lubricante, el ácido sulfúrico, el gas L.P. y la gasolina, como se observa en la Figura 7.7.



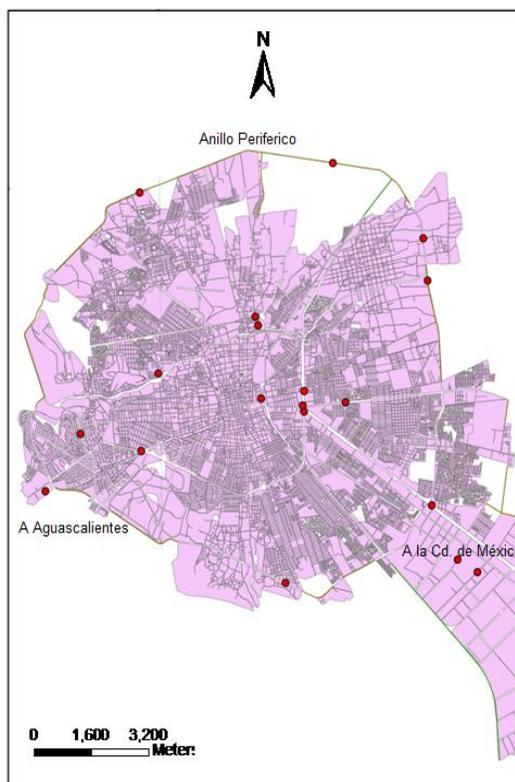
Fuente: PROFEPA, 2010 y medios impresos de comunicación.

Figura 7.7. Materiales peligrosos involucrados en las emergencias ambientales del periodo 2000-2010. Elaboración propia a partir de PROFEPA, 2011 y fuentes de comunicación impresas.

Los resultados del análisis de la información recopilada indican que las carreteras federales con un número mayor de emergencias ambientales fueron la No. 80, 57 y 49, respectivamente. Por otra parte, el 48% de las emergencias evaluadas tuvo lugar dentro de la ciudad de San Luis Potosí (Figura 7.9), mientras que el 52% se registró en los tramos carreteros cercanos a la ciudad y que forman parte de las carreteras federales 49 (Zacatecas), 57 (Ciudad de México) y 80 (Guadalajara).



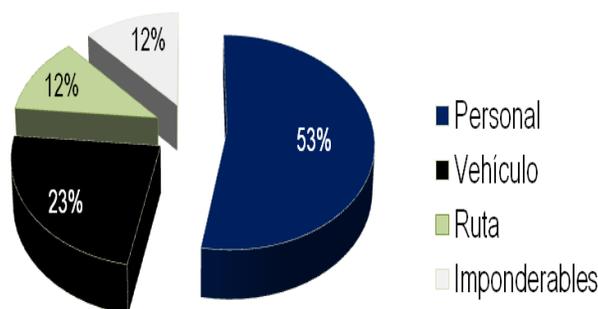
Fuente: PROFEPA, 2010 y medios impresos de comunicación.
Figura 7.8. Ubicación de accidentes en la Zona Centro del estado.



Fuente: PROFEPA, 2010 y medios impresos de comunicación.
Figura 7.9. Ubicación de accidentes en la ciudad de San Luis Potosí.

En los accidentes en carretera que se obtuvieron a través de las fuentes de comunicación impresa se determinaron las causas de los mismos, a partir de las categorías utilizadas en la Metodología del Índice de Riesgo por transporte de gas licuado de petróleo (Atamoros, Fernández, Cruz, & Durán, 2009), debido a que la base de datos de la PROFEPA no incluye esta información.

El 46% de los accidentes ocurridos en la Zona Centro del estado tuvo como causas principales las atribuibles al conductor de la unidad y al estado del vehículo (Figura 7.10).



Fuente: Medios impresos de comunicación.

Figura 7.10. Causas principales de los accidentes analizados.

Por lo que se refiere a los accidentes carreteros causados por el personal, se determinó que el 89% de ellos se debió a la falta de capacitación de los operarios, y el 11% restante a la falta de supervisión de los mismos.

En relación a las causas atribuidas al vehículo, el 75% de los accidentes se ocasionó por fallas en los sistemas mecánico y eléctrico y el 25% por errores en el sistema de almacenamiento del material.

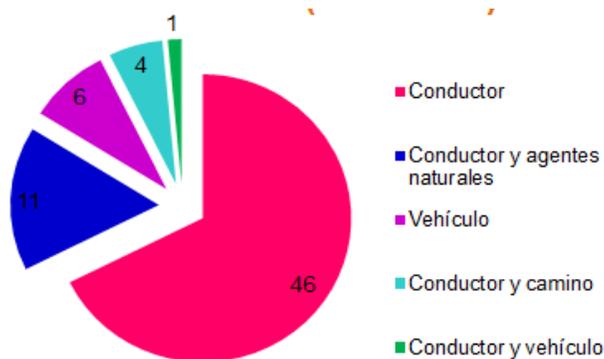
7.2.2. ESTUDIO SOBRE VULNERABILIDAD EN CARRETERAS FEDERALES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) publicó en 2013 su estudio sobre vulnerabilidad en carreteras por el transporte de materiales peligrosos (Mendoza, Romero, & Cuevas, 2013), en el cual en el periodo 2006-2009 ubica a San Luis Potosí como la tercera entidad del país con el mayor número de accidentes con materiales y residuos peligrosos, con un total de 69 eventos registrados. Estos sucesos ocasionaron la muerte de 12 personas, lesiones a otras 31 y pérdidas materiales estimadas en más de 12 millones de pesos.

Se solicitó información detallada al IMT sobre los 69 accidentes reportados en su publicación, del análisis de ésta se identificó que el año con frecuencia mayor de accidentes con materiales y residuos peligrosos fue el 2009 con 25 eventos, seguido del 2007 con 17, el 2006 con 14 y el 2008 con 13.

El transporte articulado fue el tipo de vehículo que estuvo involucrado en el mayor número de accidentes con 37; las unidades doble articuladas continúan la lista con 17, los camiones con 13 y las pick up con 2.

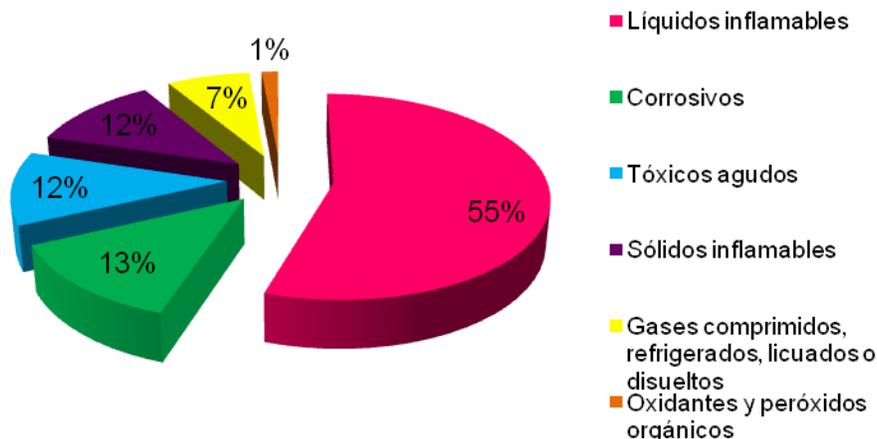
Las causas de los accidentes más frecuentes se debieron a errores del conductor, seguidas de aquellas que involucran tanto al conductor como a los agentes naturales, continúan las causas atribuibles al vehículo y finalmente las que involucran al conductor y al camino, así como al conductor y al vehículo (Figura 7.11.)



Fuente: Mendoza, Romero, & Cuevas, 2013.

Figura 7.11. Causas de los accidentes con materiales peligrosos en San Luis Potosí (2007-2009).

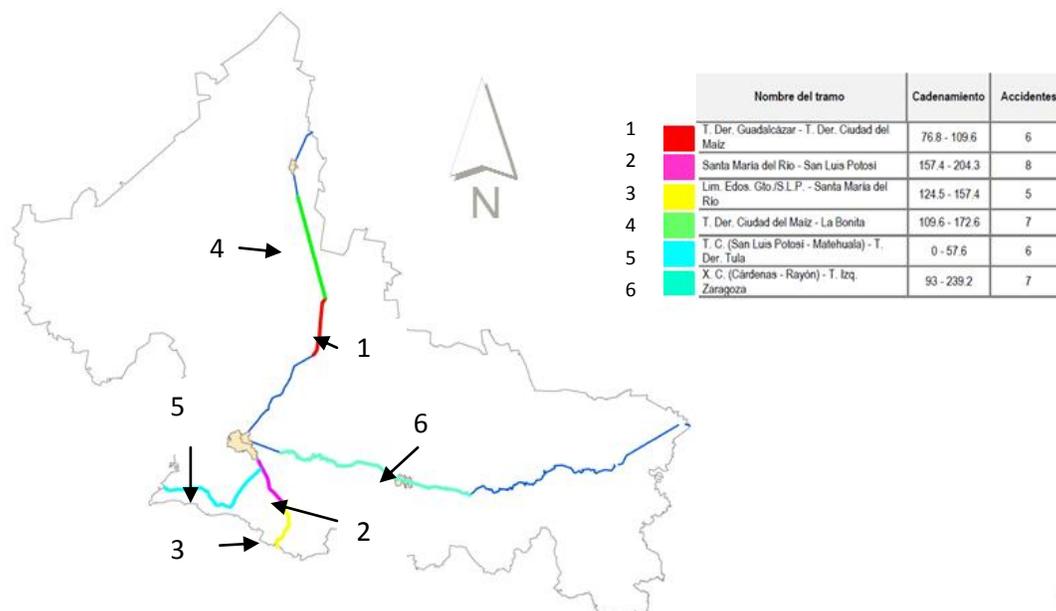
Los materiales y residuos peligrosos constituidos por líquidos inflamables (como aceites, combustóleo, gasolina, tequila, diésel y pintura) fueron los que con frecuencia mayor se vieron involucrados en accidentes (Figura 7.12).



Fuente: Mendoza, Romero, & Cuevas, 2013.

Figura 7.12. Materiales peligrosos que participaron en accidentes en San Luis Potosí (2007-2009).

En relación a las carreteras de la República Mexicana con mayor siniestralidad, la publicación identifica a la carretera federal no. 57 como la que presenta el número mayor de accidentes. Para periodo 2006-2009, en el estudio de San Luis Potosí se identificaron 3 tramos carreteros y un libramiento con un mayor número de accidentes en el transporte de materiales peligrosos. Dos tramos se localizan en la zona norte del estado, en los sectores de Matehuala-Salttillo (con 11 accidentes) y de San Luis Potosí-Matehuala (con 22 eventos). Mientras que los dos sitios que se ubican en la Zona Centro del estado son el Libramiento San Luis Potosí (3 accidentes) y el tramo Querétaro-San Luis Potosí (26 accidentes). La publicación también identifica 6 tramos carreteros que reportan más de 5 accidentes en el estado de San Luis Potosí (Figura 7.13).



Fuente: Mendoza, Romero, & Cuevas, 2013.

Figura 7.13. Tramos carreteros que reportaron cinco o más accidentes con materiales y residuos peligrosos en el periodo 2006-2009.

El tramo Santa María del Río-San Luis Potosí, en la Zona Centro del estado, observó el número mayor de accidentes con 8, por lo cual fue elegido como sitio de estudio de la presente investigación.

7.2.3. SIMULACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS AL EXTERIOR EN ACCIDENTES HISTÓRICOS OCURRIDOS DURANTE EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS.

Las consecuencias al exterior de una selección de accidentes históricos relevantes en el transporte terrestre de materiales peligrosos se determinó haciendo uso de modelos de simulación, para comprobar la eficacia de los mismos, en relación con las consecuencias observadas en los accidentes.

7.2.3.1. Modelo de explosión de una masa de TNT.

A continuación se describen los accidentes químicos modelados que involucran explosiones de fase condensada y los resultados obtenidos mediante el modelo de equivalencias del TNT.

1. Explosión de ANFO (Ammonium nitrate- fuel oil) en Monclova, Coahuila. La explosión de una carga de nitrato de amonio/diésel, tuvo lugar el 9 de septiembre de 2007 en el kilómetro No. 38 de la carretera Monclova-San

Pedro, ejido Cedemanía del municipio de Nadadores en Coahuila. El accidente se ocasionó por el impacto de una camioneta guiada por un conductor ebrio, con el camión que transportaba 25 toneladas del explosivo. Las consecuencias del accidente fueron 28 decesos, 131 heridos, la formación de un cráter de 25 metros de diámetro por 2.5 metros de profundidad. Este accidente ocurrió un domingo por la noche en una carretera que era utilizada por la comunidad de Cedemanía para acudir a los balnearios de la zona. La noche del accidente, el camino se encontraba lleno de visitantes que regresaban a sus hogares, por lo que el sistema afectable se vio magnificado al ocurrir el choque, debido a la gran cantidad de personas que se acercaron para observar el suceso, sin saber que el incendio de la carga, conllevarían a una explosión. Debido a lo anterior, el número de decesos y personas heridas aumentó (Fernández, 2007; PROCESO, 2007; CNDH, 2008).

2. Atentado en carretera.- El 31 de mayo de 2014 en la Vía Panamericana de Quilichao, Colombia ocurrió una explosión causada por una guerrilla local, que ocasionó la detonación de entre 80 kg y 100 kg de explosivo, el cual fue detonado desde una alcantarilla, con el objetivo de causar la interrupción de dicha vía de comunicación. El atentado formó un cráter de 10 m y la interrupción de la circulación por 3 días (Diario el Pueblo, 2014).
3. Explosión nuclear en Nevada.- Como último estudio de caso se analizaron los datos de las “pruebas nucleares Sedan” realizadas por el gobierno estadounidense, en el estado de Nevada, el 6 de Julio de 1962. Dicho proyecto estuvo encaminado a aprovechar las explosiones nucleares para la construcción de obras civiles de gran envergadura, para ello detonaron la cantidad de 104 kilotonnes de TNT en el sitio de la prueba. Los resultados fueron la formación de un cráter de 390 m de diámetro y 100 m de profundidad, así como el desplazamiento de 12 millones de toneladas de tierra (WHE, 2014). Aunque este caso no es un accidente carretero, se decidió utilizarlo para poder comprobar la efectividad del modelo de simulación, debido a la precisión en los datos de las pruebas realizadas.

Los resultados de las simulaciones a los estudios de caso realizados se muestran en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Resultados de simulación del modelo de equivalencias del TNT.

Caso	Sustancia que participa en la explosión	Peso (kg)	Peso equivalente de TNT (kg)	Diámetro del cráter modelado (m)	Diámetro medido del cráter (m)
1	ANFO	25 000	20500	23.20	25
3	TNT	100	100	3.93	5
4	TNT	104 000 000	104 000 000	398.66	390

Fuente: CNDH, 2008; Diario el Pueblo, 2014; WHE, 2014

En la Tabla 7.4 puede observarse que los resultados de las simulaciones realizadas con el modelo de equivalencias del TNT son muy certeros; entre otras, debido a las razones siguientes:

1. Los datos de entrada al modelo son mínimos, ya que únicamente se requiere el peso del material que participa en la explosión, por lo que no existen otras variables que puedan modificar los datos de salida.
2. El modelo es ampliamente usado y brinda datos de salida precisos ya que para la gran mayoría de las sustancias explosivas existen datos comprobados de su equivalencia al TNT y por tanto las consecuencias equiparables con este explosivo.
3. Los escenarios modelados también tuvieron correspondencia con las consecuencias reportadas, al existir una variable física a medir, como es el caso del diámetro del cráter, que fue fácilmente identificable en las fuentes de información consultadas así como el peso del material que participó en la explosión.

7.2.3.2. Sobrepresión provocada por nubes explosivas.

Los tres casos analizados se mencionan a continuación.

1. Explosión de una pipa de gas LP en la autopista México-Pachuca.- Este accidente tuvo lugar el 7 de mayo de 2013, en el kilómetro 14 de la autopista federal México-Pachuca, en el Estado de México; el tipo de unidad que participó en el accidente fue una pipa de doble remolque, con 35 mil litros c/u de gas LP. El motivo del accidente fue el exceso de velocidad de la pipa y sus consecuencias fueron el deceso de 22 personas, 31 heridos y 45 domicilios dañados (Salinas, 2013; CNN, 2013).
2. Explosión de pipa de gasolina en Cuautla, Morelos.- El 24 de octubre de 2010 ocurrió el accidente en la carretera federal México-Oaxaca, a la altura del distribuidor Vial Oriente en Cuautla, Morelos, en el que participó una pipa de gasolina Magna de 30 000 L de capacidad. El exceso de velocidad ocasionó que el conductor perdiera el control de la unidad y que ésta cayera desde el segundo piso del distribuidor vial. Los daños del accidente fueron el deceso

del conductor, cuatro lesionados, 16 negocios y 9 domicilios dañados (Miranda, 2010; La Unión de Morelos, 2010).

3. Explosión de una pipa de diésel en Villahermosa Tabasco.- El 15 de mayo de 2014 en el kilómetro 105 de la carretera Ciudad del Carmen-Villahermosa, en Tabasco, ocurrió el accidente de una pipa con 45 000 L de diésel, misma que se impactó de frente con un autobús de pasajeros de la empresa ADO, teniendo como resultado el deceso de 10 personas y 18 heridos.

Tabla 7.5. Resultados del modelo de sobrepresión de nubes explosivas.

Caso	Sustancia que participa en la explosión	Peso (kg)	Distancia simulada (m)	Distancia reportada en medios informativos (m)
1	Gas LP	15 086	499.43	500
2	Gasolina	10 000	251	>200
3	Diésel	30 600	600 m	No se reportó

De la evaluación de los resultados de la modelación de explosiones por nubes de vapor inflamable se puede decir que el modelo identifica de forma precisa la distancia de afectación, en los casos siguientes:

- a) cuando los datos de entrada son precisos,
- b) cuando el modelo se usa dentro de los rangos de aplicación y
- c) cuando existen reportes detallados de las consecuencias para poder establecer una comparación.

Para los casos 2 y 3 no es posible realizar una evaluación cuantitativa debido a la falta de información sobre las consecuencias de los accidentes (Tabla 7.5).

7.2.3.3. Modelo de combustión desde derrame.

El modelo de combustión desde derrame se utilizó para la modelación de 3 escenarios que incluyen el derrame e incendio posterior de sustancias inflamables, como se describe a continuación.

1. Incendio de pipa de diésel en fraccionamiento Carrizales de Tabasco. Este accidente tuvo lugar el 11 de diciembre de 2011; se produjo por la pérdida de control de una pipa con 20 000 L de diésel, que se salió de la vía de alta velocidad e impactó contra las casas habitación del fraccionamiento, ocasionando el derrame e incendio del combustible. El accidente resultó en el deceso de 3 personas, 3 heridos y el incendio de 7 casas habitación de la comunidad (Notimex, 2011; Guzmán, 2011).
2. Incendio de pipa de gasolina en Colima. El 12 de mayo de 2014 ocurrió la volcadura de una pipa que transportaba 35 000 L de gasolina en la autopista

Colima-Guadalajara, a la altura de la comunidad el Trapiche. El reporte indica que alrededor del 60% del contenido de la pipa participó en el incendio, que causó una persona lesionada, dos casas de campo quemadas y el cierre de la circulación en esa vía de comunicación por dos horas (Aquino, 2014; Diario de Colima, 2014).

3. Incendio de aceite quemado en Guerrero. El 5 de marzo de 2013 ocurrió la volcadura, derrame e incendio de aceite quemado, desde una pipa con capacidad para 25 000 L en la autopista del sol, a la altura del kilómetro 326. Las afectaciones del accidente fueron una persona herida, el incendio de 1 ha del bosque aledaño a la autopista y la interrupción de la vía de comunicación por 24 horas (OEM, 2013; GF, 2013).

Tabla 7.6. Resultado del modelo de combustión desde derrame.

Caso	Sustancia involucrada en el incendio	Peso (kg)	Calor de combustión de la sustancia(kJ/kg)	Distancia simulada (m) zona de alto riesgo
1	Diésel	12 000	39 700	30
2	Gasolina	14 900	43 700	51.34
3	Aceite quemado	23 250	40 000	46.76

Los resultados de la simulación para los escenarios de combustión desde derrame no pudieron compararse con las afectaciones reales debido a que una vez que se inician los incendios, existen condiciones diferentes que influyen en las afectaciones finales del suceso, tales como la velocidad y dirección del viento, así como el sitio donde el mismo tiene lugar y su capacidad para propagarse. Siendo que éstas últimas variables no pueden incorporarse al modelo de simulación que únicamente calcula las consecuencias del incidente en base a la tasa de combustión de la sustancia química (Tabla 7.6).

7.2.3.4. Modelo de emisión de chorro horizontal.

El modelo de emisión de chorro horizontal se utilizó en la simulación de accidentes que involucran el transporte de sustancias tóxicas. Las distancias de aislamiento proporcionadas por la Guía para Respuesta a Emergencias (GRE, 2012) se utilizaron como medio de comparación para la determinación de consecuencias al exterior. Los escenarios accidentales y las consecuencias analizadas se describen a continuación.

1. Fuga de amoniaco desde ducto en Istmo de Tehuantepec.- Como consecuencia de una perforación accidental durante la ampliación de la carretera Transístmica en la Zona rural del Istmo de Tehuntepec, cerca de los poblados de Chivaniza y Campo Nuevo en Oaxaca, el 20 de Agosto de 2010,

- ocurrió una fuga de amoniaco desde un ducto de transporte con diámetro de 10 pulgadas. Los resultados de este accidente fueron 9 personas muertas, 40 intoxicados y la evacuación de 1 200 personas.
2. Fuga de amoniaco desde carrotanque en Sinaloa. El accidente tuvo lugar el 25 de agosto de 2006, en el ejido el Bariómetro, en la espuela del ferrocarril de la empresa Fertilizantes Agrícolas, en Navolato, Sinaloa. El carro tanque con capacidad de 38 000 L sufrió una fisura en las costuras de 20 cm de largo que provocó la liberación del material. En este accidente se activó el protocolo municipal para dar respuesta a accidentes químicos, y personal de bomberos roció agua sobre el carro tanque para evitar la liberación del gas, se controló la fuga y se procedió a realizar el trasvase del material, sin embargo, el amoniaco liberado ocasionó el deceso de 2 personas, 58 personas intoxicadas y 800 familias desalojadas.
 3. Derrame de ácido sulfúrico en Salamanca, Guanajuato.- El accidente ocurrió el 2 de mayo de 2014 en la carretera libre Celaya-Salamanca, a la altura de la comunidad de “Valtierrilla” en Salamanca, Guanajuato. El choque por alcance entre dos pipas dañó la válvula de descarga de una de las unidades, con capacidad para 22 000 L. Los daños del incidente fueron una persona lesionada y la interrupción de la circulación por más de dos horas.
 4. Derrame de ácido sulfúrico en San Luis Potosí.- El 17 de octubre de 2006 ocurrió la volcadura de la pipa articulada en la Glorieta de la Familia, en San Luis Potosí. El exceso de velocidad ocasionó el derrame de 16 000 L de ácido sulfúrico, causando daños materiales por más de 1.5 millones de pesos.

Tabla 7.7. Resultado del modelo de chorro horizontal.

Caso	Sustancia que participó en el accidente	Distancia de la nube tóxica (km)	Distancia GRE 2012 (km)
1	Amoniaco	2.8	2.3
2	Amoniaco	4.33	2.3
3	Ácido sulfúrico	0.57	0.4
4	Ácido sulfúrico	0.43	0.4

De los resultados obtenidos de la evaluación de las consecuencias al exterior (Tabla 7.7) debido a la liberación de sustancias tóxicas al ambiente a partir del modelo de chorro horizontal, se puede concluir lo siguiente:

1. Este modelo requiere múltiples variables de entrada (tales como la tasa de liberación de la sustancia, el tiempo que dura la emisión, así como las condiciones metereológicas del sitio) en comparación con otros modelos, lo que aumenta la necesidad de datos precisos de entrada para obtener resultados confiables.

2. En los escenarios modelados, los datos de entrada provienen de diversas fuentes, lo cual aumenta la incertidumbre respecto a los resultados obtenidos ya que a) las fuentes de comunicación no proporcionan la información a detalle del accidente y únicamente se puede conocer la cantidad estimada que participó en los eventos, asumiéndose otras variables tales como la duración de la emisión y b) los datos de las estaciones meteorológicas consultadas para integrarse a las modelaciones pueden no ser representativas del escenario, debido a que son promedio diarios y en ocasiones se localizan a distancias grandes de los sitios de interés.
3. Dado la gran incertidumbre en los datos de entrada se considera que los resultados obtenidos son favorables tomando como base los radios de aislamiento reportados en la Guía para respuesta a Emergencias en el transporte.

7.2.4. MODELACIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS.

Los resultados de la modelación de consecuencias al exterior en el transporte de materiales peligrosos, mostraron que:

1. Para los escenarios de liberación que involucran líquidos inflamables, no existió diferencia en relación a las condiciones meteorológicas modeladas. Lo anterior se explica al considerar que el caso modelado correspondiente a la combustión de hidrocarburos desde su derrame depende poco de las condiciones meteorológicas para la determinación de las consecuencias.
2. Los radios de afectación fueron similares, si la descarga provenía de una unidad articulada o de un camión, debido a que en ambos casos el tamaño del orificio de descarga es igual y por lo tanto, lo es la tasa de descarga del material inflamable.
3. Los mayores radios de consecuencias al exterior se obtuvieron para la liberación de gas LP desde el transporte articulado y unitario en donde la zona de alto riesgo es de 163 m de diámetro.

Los resultados de las áreas de afectación por radiación térmica se muestran en la Tabla 7.8 para las ciudades de San Luis Potosí y Santa María del Río.

A diferencia de las sustancias inflamables, la modelación de sustancias tóxicas como el amoniaco y el ácido sulfúrico, se obtuvo lo siguiente (Tabla 7.9).

1. Las distancias de afectación se ven afectadas dependiendo si se trata de unidades articuladas o de vehículos unitarios y respecto a las condiciones meteorológicas modeladas. Lo anterior debido a que el escenario de

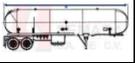
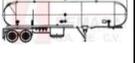
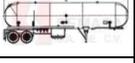
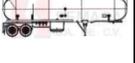
evaporación de un derrame tóxico, si está determinado por las condiciones meteorológicas dominantes para la dispersión de los materiales en la atmósfera.

2. Las mayores distancias de consecuencias al exterior se observan en unidades articuladas y con el escenario meteorológico crítico, siendo el ácido sulfúrico el material que muestra la distancia mayor de afectación para estas condiciones con 8.8 km para la zona de alto riesgo.
3. Una proporción considerable de escenarios modelados obtuvieron distancias mayores de consecuencias al exterior del rango superior de funcionamiento del modelo que es de 10 km.

Tabla 7.8. Radios de afectación modelados para sustancias inflamables.

Ciudad donde tiene lugar el accidente	Sustancia liberada/ Modelo utilizado	Tipo de unidad siniestrada	Nivel de radiación térmica	Radio de afectación modelado (m)
San Luis Potosí	Gasolina Escenario: combustión desde derrame.	Unitario y articulado	10 kW/m ²	93 m
			2 kW/m ²	209 m
	Diésel Escenario: combustión desde derrame.	Unitario y articulado	10 kW/m ²	96 m
			2 kW/m ²	214 m
	Gas LP Escenario Jet fire desde fuga de 15 cm de diámetro	Unitario y articulado	10 kW/m ²	163 m
			2 kW/m ²	357 m
	Alcohol etílico Escenario: combustión desde derrame	Unitario	10 kW/m ²	56 m
			2 kW/m ²	175 m
		Articulado	10 kW/m ²	58 m
			2 kW/m ²	121 m
Santa María del Río	Gasolina Escenario: combustión desde derrame.	Unitario y articulado	10 kW/m ²	95 m
			2 kW/m ²	213 m
	Diésel Escenario: combustión desde derrame.	Unitario y articulado	10 kW/m ²	91 m
			2 kW/m ²	203 m
	Gas LP Escenario: Jet fire desde fuga de 15 cm de diámetro	Unitario y articulado	10 kW/m ²	149 m
			2 kW/m ²	330 m
	Alcohol etílico Escenario: combustión desde derrame	Unitario	10 kW/m ²	52 m
			2 kW/m ²	108 m
		Articulado	10 kW/m ²	56 m
			2 kW/m ²	116 m

Tabla 7.9. Radios de afectación modelados para sustancias tóxicas.

Ciudad donde tiene lugar el accidente	Sustancia liberada/ Modelo utilizado	Tipo de unidad siniestrada	Nivel de concentración	Distancia de afectación (km) para cada condición meteorológica			
				Mínima	Máxima	Promedio	Crítica
San Luis Potosí	Ácido Sulfúrico /Evaporación de un derrame tóxico.	Unitario 	100 ppm	4.8	4.1	3.9	6
			30 ppm	7.3	6.5	6.1	9.5
			0.1 ppm	> 10	> 10	>10	> 10
		Articulado 	100 ppm	8.1	5.5	5.5	8.8
			30 ppm	> 10	8.6	8.5	> 10
			0.1 ppm	> 10	> 10	> 10	> 10
	Amoniaco /Evaporación de un derrame tóxico.	Unitario 	750 ppm	2.8	2.4	2	3.2
			150 ppm	4.9	4.4	4	6
			25 ppm	9.2	8.9	8	> 10
		Articulado 	750 ppm	3.9	3.2	3.1	4.4
			150 ppm	6.8	6.1	5.7	8
			25 ppm	>10	9.6	9.6	> 10
Santa María del Río	Ácido Sulfúrico /Evaporación de un derrame tóxico.	Unitario 	100 ppm	5.5	4.2	4	5.9
			30 ppm	8.4	6.8	6.3	9.1
			0.1 ppm	> 10	> 10	> 10	> 10
		Articulado 	100 ppm	8	5.7	6.9	8.3
			30 ppm	> 10	9.1	> 10	> 10
			0.1 ppm	> 10	> 10	> 10	> 10
	Amoniaco /Evaporación de un derrame tóxico.	Unitario 	750 ppm	3.1	2.4	2.2	3.1
			150 ppm	5.5	4.6	4	5.9
			25 ppm	> 10	9.5	8	> 10
		Articulado 	750 ppm	4.2	3.1	3	4.4
			150 ppm	7.4	6	5	8.1
			25 ppm	> 10	> 10	> 10	> 10

Las áreas de alto riesgo obtenidas son consistentes con la Guía para respuesta a emergencias (USDOT, 2012) ya que las distancias de aislamiento en caso de derrames de ácido sulfúrico desde autotanque varía de 2.9 a 5.7 Km dependiendo si se trata de derrames de día o de noche; para el amoniaco las distancias varían de 0.3 a 2.6 Km dependiendo de las condiciones meteorológicas.

7.2.5. ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE LOS ESCENARIOS MODELADOS EN LA CARRETERA FEDERAL NO. 57 TRAMO SAN LUIS POTOSÍ-SANTA MARÍA DEL RÍO.

La identificación de los escenarios potenciales de afectación de los escenarios modelados se describe a continuación.

7.2.5.1. Afectaciones por sustancias inflamables.

La modelación de las consecuencias al exterior debido a los accidentes que involucran la gasolina y el diésel tuvo como resultado distancias muy similares de afectación. Por lo cual se promediaron las distancias obtenidas para la zona de alto riesgo de ambos escenarios. De igual forma dado que la zona de estudio se localiza en la carretera federal No. 57 en el San Luis Potosí-Santa María del Río, de los datos de velocidad del viento y temperatura medidos por las estaciones meteorológicas de San Luis Potosí y Santa María del Río se calcularon los datos promedio, los cuales se utilizaron como información de entrada al sistema. Como resultado se obtuvo un radio de afectación de 94m el cual fue identificado en el sistema de información geográfica como buffer del tramo estudiado (Figura 7.14).

Posteriormente, las localidades rurales con más de 2 habitantes localizadas al interior de la zona de alto riesgo fueron identificadas haciendo uso de la información del Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI, obteniéndose que un total de 14 localidades se ubican dentro de ésta zona para los escenarios de derrame y combustión de gasolina y diésel, siendo el total de población rural potencialmente expuesta a una radiación térmica de 10 kW/m^2 de 638 personas.

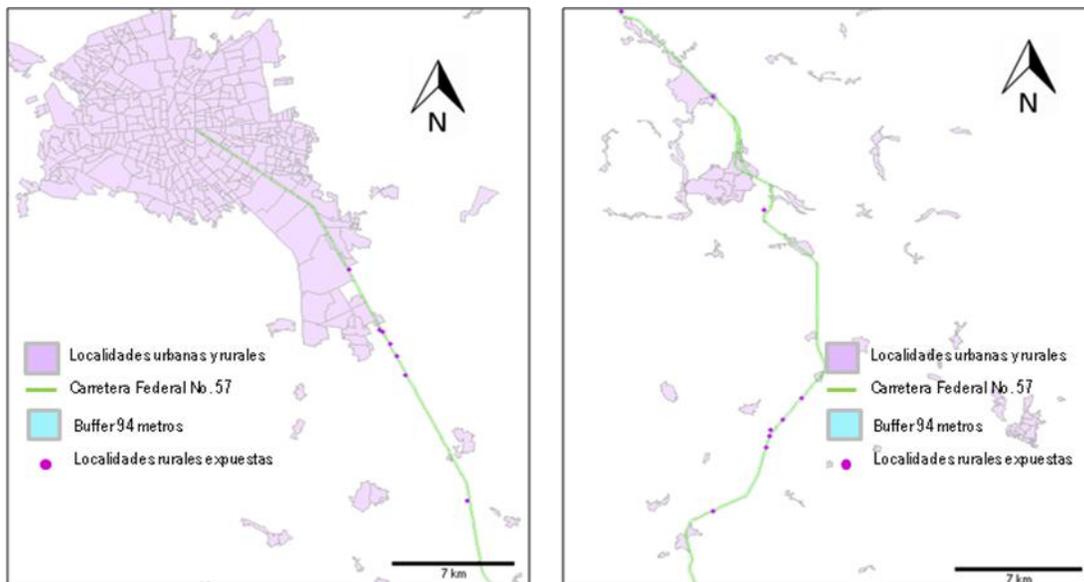


Figura 7.14. Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de combustión de gasolina y diésel.

El radio de afectación obtenido para la zona de alto riesgo (10 k/m^2) del escenario que implica la liberación del combustible desde un orificio de 15 cm de diámetro y que provoca un incendio tipo jet fue de 155m. Este radio fue representado en el SIG para identificar a la población potencialmente afectable para este caso (Figura 7.15).

En este caso, el número de comunidades rurales con más de 2 habitantes que se localizan dentro del área de alto riesgo para el modelo de fuego tipo jet causado por la fuga de gas LP y que podrían verían afectadas debido a la radiación térmica de 10 kW/m^2 en el tramo estudiado es de 16, siendo el total de personas expuestas 789.

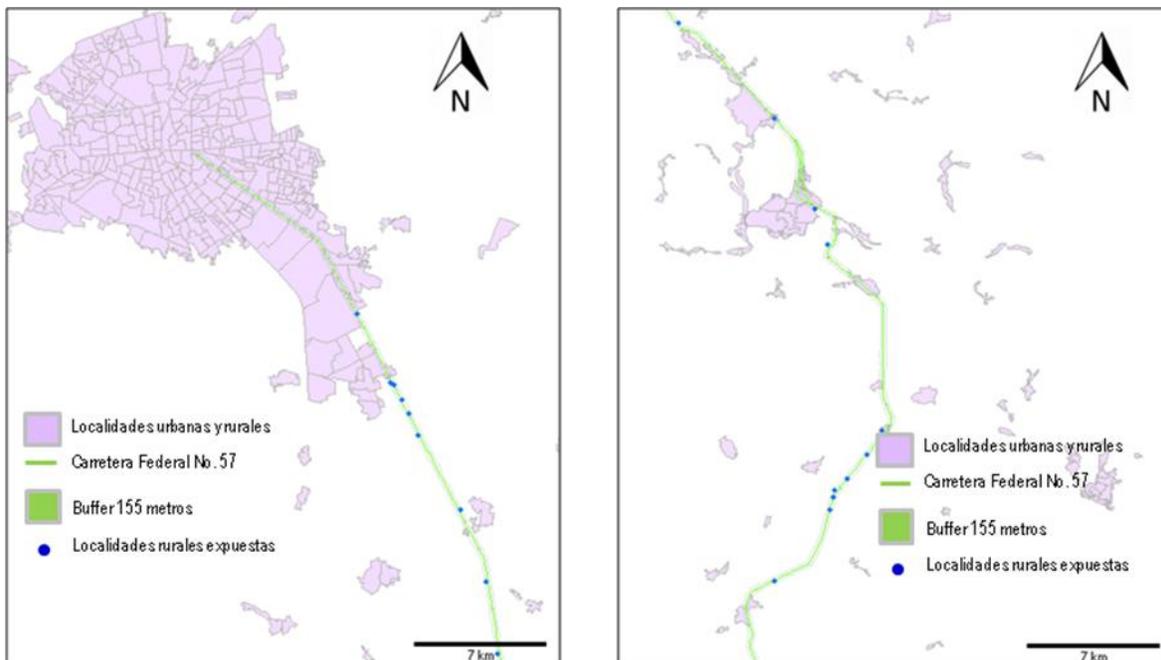


Figura 7.15. Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de combustión de gas LP.

Cabe mencionar que en la identificación de los sistemas expuestos ante los escenarios de liberación de gasolina, diésel y gas LP no se identificaron las comunidades urbanas expuestas, debido a que en estos casos las áreas de consecuencias no incluían por completo alguna área geostadística básica que permitiera contabilizar dicha población. Siendo que para los escenarios relativos a las afectaciones por sustancias tóxicas si fue posible contabilizar la población urbana expuesta.

7.2.5.2. Afectaciones por sustancias tóxicas.

Para el caso de accidentes carreteros que involucraron el derrame de ácido sulfúrico desde un orificio de 30 cm para unidades de transporte unitario, las zonas de alto riesgo (100 ppm) de los escenarios de afectación potencial tuvieron una distancia de 4 km conforme al escenario de evaporación de un derrame tóxico de ácido sulfúrico.

Para este escenario, el número de comunidades rurales potencialmente afectados sería de 119 con un total de población expuesta de 25 612 personas en el área rural (Figura 7.16), además de 598 737 personas de comunidades urbanas de San Luis Potosí y 13 099 personas de las comunidades urbanas de Santa María del Río.

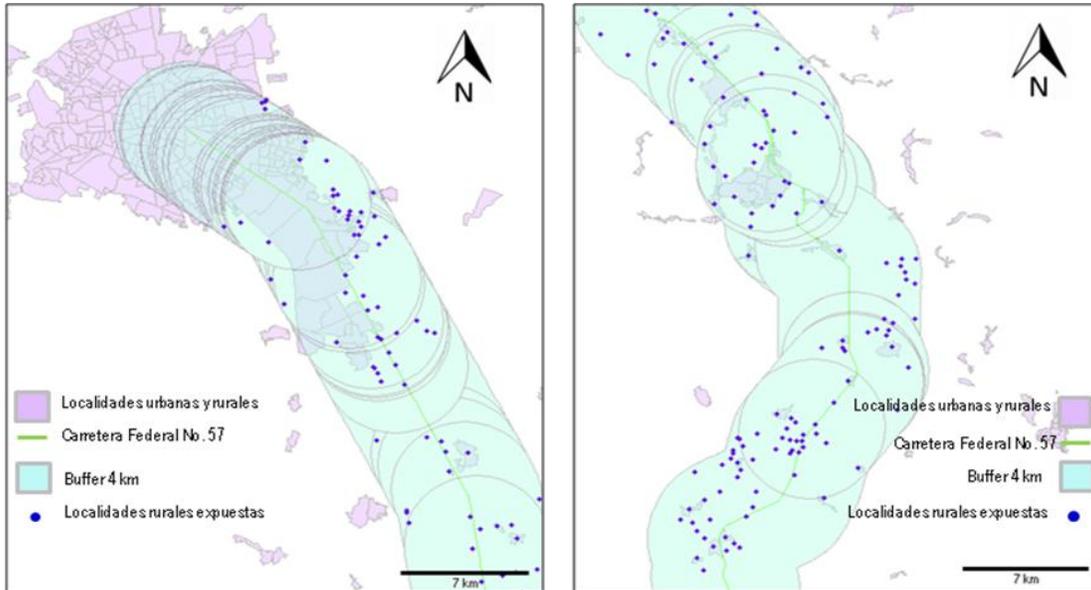


Figura 7.16. Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de derrame de ácido sulfúrico en accidentes con transportes unitarios.

Para el caso de accidentes con transporte articulado de ácido sulfúrico, el radio de afectación modelados para la zona de alto riesgo (100 ppm) fue de 5.5 km, dando como resultado un total de 172 comunidades rurales potencialmente afectadas y 31 797 personas potencialmente expuestas en las comunidades vecinas al tramo San Luis Potosí- Santa María del Río de la carretera federal No. 57 (Figura 7.17). En cuanto a las comunidades urbanas se identificaron 755 237 personas expuestas en San Luis Potosí y 13 099 personas en Santa María del Río.

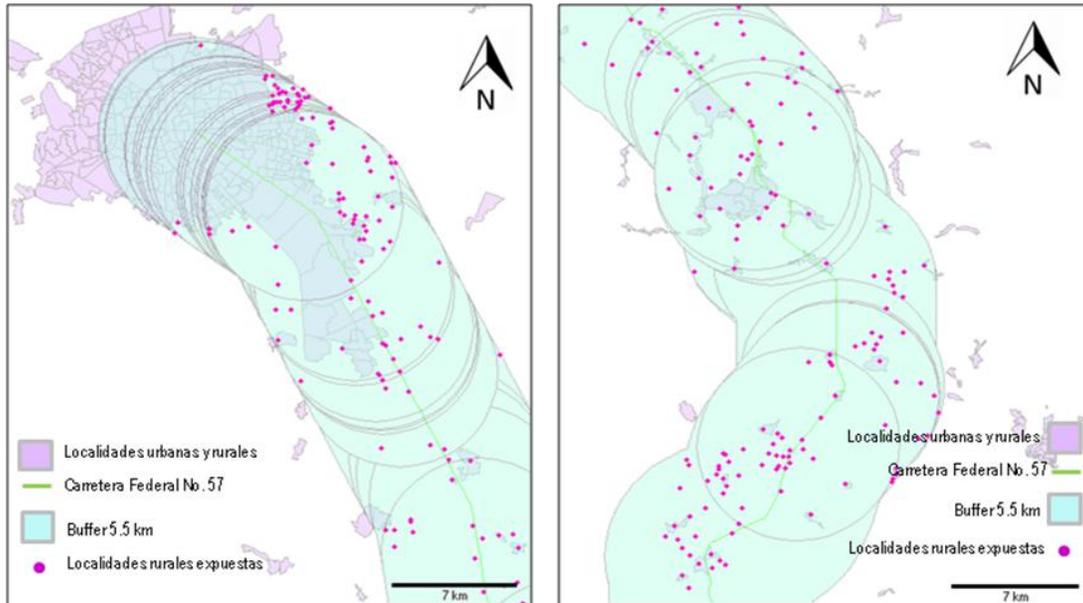


Figura 7.17. Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de derrame de ácido sulfúrico en accidentes con transportes articulados.

Para el escenario accidental que involucra la liberación de amoniaco desde un orificio de 15 cm en accidentes con transportes unitarios, se tiene un radio de afectación de 2.2 km para la zona de alto riesgo (750 ppm) (Figura 7.18).

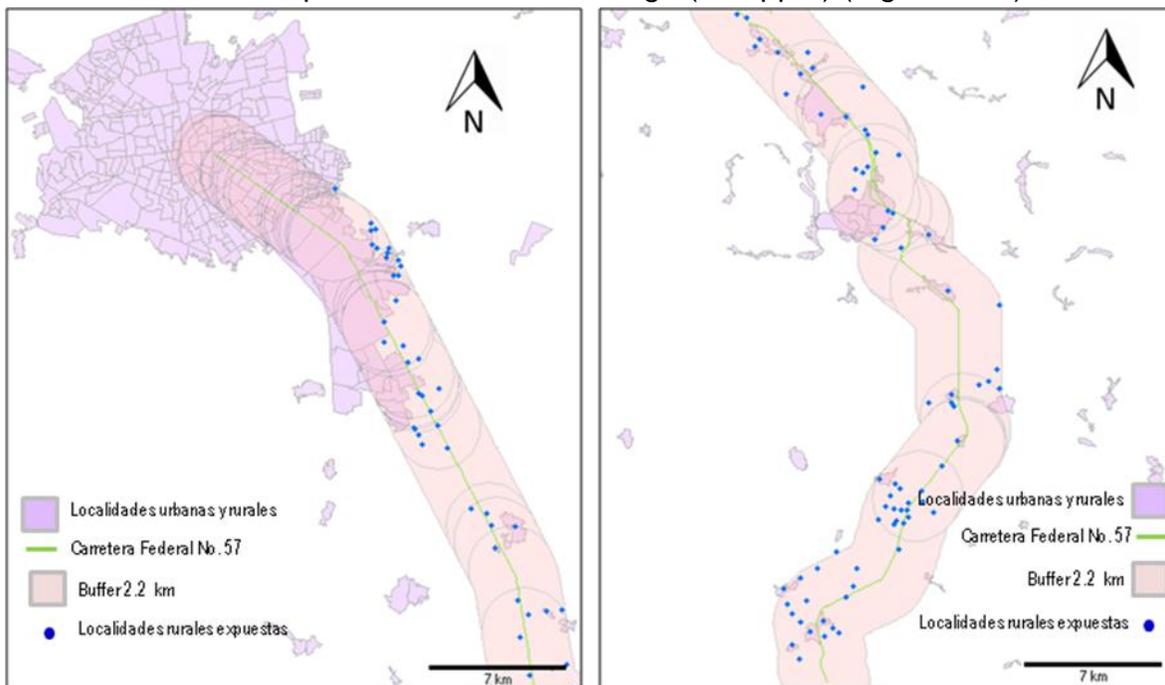


Figura 7.18. Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de fuga de amoniaco en accidentes con transportes unitarios.

En este escenario, el número de localidades rurales expuestas es de 71, con un total de población rural expuesta de 14 236 personas. La población urbana expuesta en San Luis Potosí es de 309 636 y en Santa María del Río es de 9 999 personas.

Para el caso de accidentes que involucran transporte unitario de carga con condiciones meteorológicas críticas y transporte articulado con condiciones meteorológicas promedio, los modelos de simulación obtienen como resultado un radio de afectación de 3 km en ambos casos, para las condiciones meteorológicas promedio de San Luis Potosí y Santa María del Río. El análisis de afectación potencial por estos escenarios, muestra que se expondrían un total de 88 comunidades rurales y 19 122 personas (Figuras 7.19). El número de personas expuestas en las comunidades urbanas de Santa María del Río es de 13 099 y 447 002 en San Luis Potosí.

Finalmente, en el caso de unidades articuladas de ácido sulfúrico, con condiciones meteorológicas críticas, tiene como resultado un radio de afectación de 4.4 km, mismo que afectaría 128 poblaciones rurales y un total de 26 066 personas

(Figura 7.20). Las personas potencialmente afectadas en San Luis Potosí dentro del área urbana suman 669 414, mientras que en Santa María del Río existen 13 099 personas potencialmente expuestas a este escenario.

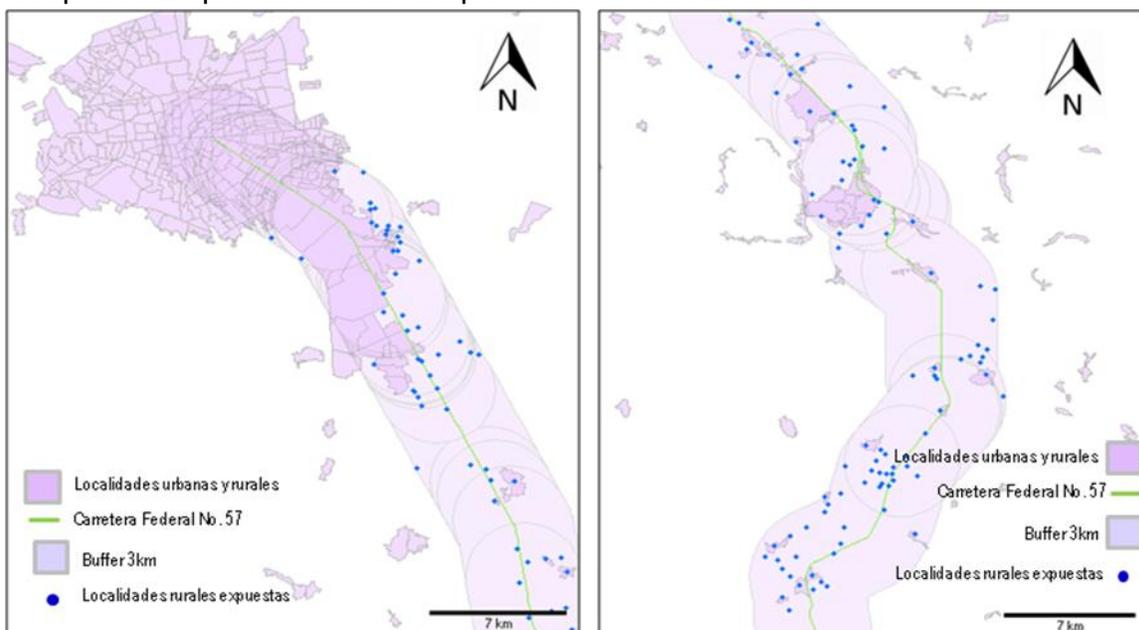


Figura 7.19. Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de fuga de amoníaco en accidentes con transporte unitario y condiciones críticas; y transporte articulado con condiciones promedio.

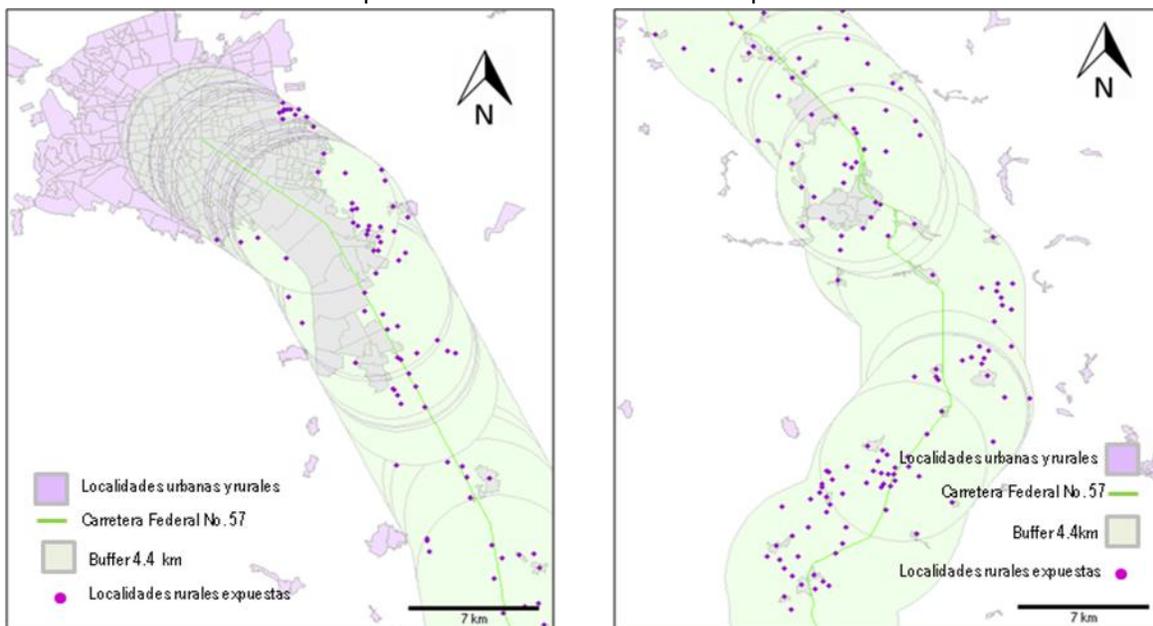
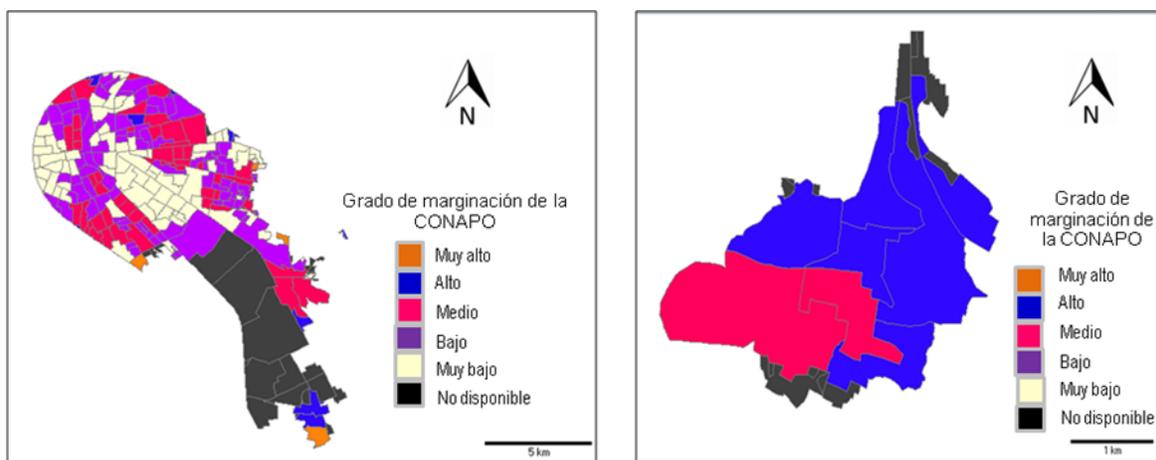


Figura 7.20. . Identificación de las comunidades rurales potencialmente afectables para los escenarios de fuga de amoníaco en accidentes con transporte articulado y condiciones críticas.

7.2.6. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL.

El grado de marginación social de la CONAPO se identificó en los AGEBS de las comunidades urbanas de San Luis Potosí y Santa María del Río potencialmente expuestas al escenario de derrame de ácido sulfúrico desde un transporte unitario. Dichas comunidades y el grado de marginación que exhiben se muestran en la Figura 7.21.



Fuente: CONAPO, 2010.

Figura 7.21. Grado de marginación urbana de la CONAPO 2010 de las comunidades expuestas ante riesgos químicos 1) San Luis Potosí y 2) Santa María del Río.

Como se observa en la Figura 6.21, las comunidades expuestas ante riesgos químicos de la ciudad de San Luis Potosí muestran grados de marginación social muy bajos, bajos y medios principalmente; sin embargo, en la ciudad de Santa María del Río tienen grados de marginación alto y medio por lo cual esta última se encuentra en mayor desventaja frente a accidentes de origen químico, debido a las desventajas sociales de la comunidad en temas de educación, salud, vivienda y bienes para poder anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse de un desastre (Blaikie, 1996).

7.2.7. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL.

Los escenarios de afectación del tramo San Luis Potosí-Santa María del Río fueron representados en el sistema de información geográfica Mapa Digital de escritorio para conocer si alguna de las sustancias químicas cuenta con el potencial para causar afectaciones en áreas naturales protegidas de carácter federal o estatal.

La Figura 7.22 muestra que únicamente el escenario de liberación de ácido sulfúrico desde un autotransporte articulado; tiene una zona de riesgo alto con capacidad para afectar áreas naturales protegidas y sitios de interés ambiental como lo es el área natural protegida de carácter estatal del Ejido de San Juan de Guadalupe, así como el área natural protegida federal de Gogorrón.

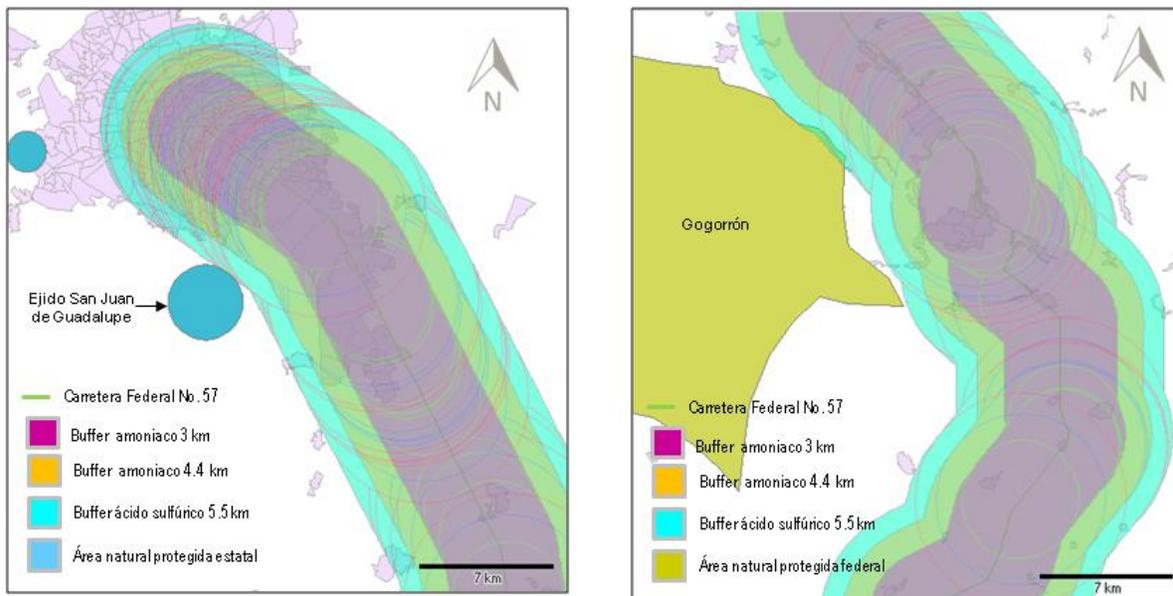


Figura 7.22. Zonas de alto riesgo con mayores radios de afectación de la liberación de amoníaco, ácido sulfúrico y su potencial de afectación en áreas naturales protegidas.

7.3. RESULTADOS DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN SAN LUIS POTOSÍ.

La realización del estudio de caso relativo al riesgo ambiental en el transporte carretero de materiales peligrosos en el estado de San Luis Potosí puso de manifiesto la falta de información fidedigna, relativa a los accidentes con materiales peligrosos en el país, la cual se encuentra fragmentada en las bases de datos de diversas dependencias. En el caso de la base de datos de PROFEPA, ésta carece de información relativa a las causas y consecuencias de los accidentes, encontrándose además que no se reportan todos los eventos de relevancia en el tema. Por lo que se refiere a la base de datos del Instituto Mexicano del Transporte, ésta sí cuenta con información suficiente de los eventos; sin embargo, dejó de actualizarse en el año 2009.

Los resultados del análisis de consecuencias al exterior debido al transporte de sustancias peligrosas en el tramo San Luis Potosí- Santa María del Río dio como

resultado el establecimiento de zonas de alto riesgo para sustancias inflamables (gasolina, diésel y Gas L.P.) con distancias que van de 94 a 155 m, en las cuales se observaría un nivel de radiación térmica (5 kW/m^2), asociado a quemaduras de segundo grado ante exposiciones de 40 segundos. De igual manera, la zona de alto riesgo para las sustancias tóxicas (amoníaco, ácido sulfúrico) observaría concentraciones aéreas inmediatamente peligrosas para la vida y la salud en distancias que van de 2.2 a 5.5 km.

Cuando se comparan estas distancias con las zonas de seguridad establecidas en la legislación mexicana, se observa que estas últimas son reducidas y no protegen del establecimiento de sistemas afectables ante los riesgos químicos. Ya que el derecho de vía fija una distancia de al menos 20 metros a cada lado del eje del camino conforme a la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal. Mientras que la Ley de Vías Generales de Comunicación establece una distancia de seguridad de 100 metros para el establecimiento de trabajos de explotación de canteras u obras que requieran el empleo de explosivos o de gases nocivos, así como de toda clase de construcciones, e instalaciones de anuncios en cruceros.

En relación con la vulnerabilidad social y ambiental de los escenarios analizados, se obtuvo que únicamente el escenario de liberación de ácido sulfúrico desde transporte articulado tiene el potencial para causar afectaciones en áreas naturales protegidas de orden federal y estatal como lo son el Ejido de San Juan de Guadalupe y Gogorrón. Los escenarios de liberación de amoníaco y ácido sulfúrico tienen el potencial para afectar comunidades con grados de marginación altos y muy altos, localizados en su mayoría en el municipio de Santa María del Río.

En el caso de estudio analizado se encuentran presentes las tres variables que conforman los escenarios de riesgo, por un lado las amenazas de origen químico, así como la exposición y vulnerabilidad de las poblaciones expuestas. En relación a la vulnerabilidad de los asentamientos expuestos se corroboró que las comunidades urbanas localizadas en Santa María del Río tienen un índice mayor de marginación social y por lo tanto son más vulnerables ante los peligros que las de San Luis Potosí. Lo anterior muestra cómo las variables sociales inciden en un escenario de riesgo y ejemplifica que el riesgo adquiere niveles superiores en las comunidades con vulnerabilidad mayor.

CAPÍTULO 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Actividades altamente riesgosas

Los resultados de la investigación identifican que uno de los problemas principales, asociados a la regulación de las actividades altamente riesgosas en México es la falta de actualización (desde hace 25 y 30 años), de las sustancias que clasifican dichas actividades. Esta problemática se explica cuando se toma en cuenta que México es el único país que no cuenta con una legislación completa y homologada para el control de las sustancias químicas, entre los países miembros de la OCDE (Cedillo y cols., 2012).

El análisis de las regulaciones internacionales principales para la prevención de los riesgos químicos indica que en Europa la normativa para regular las actividades de riesgo se basa en las categorías establecidas en el Sistema Globalmente Armonizado (GHS) de la ONU. Esta investigación propone que en México se debería trabajar en la implementación obligatoria de este sistema, de forma que su clasificación sirviera de base para la categorización de las actividades altamente riesgosas.

El GHS puede ser usado para la construcción de un programa de seguridad química a nivel nacional o regional (Winder, Azzi & Wagner, 2005), ya que provee infraestructura para un enfoque globalizado y consistente de clasificación de las sustancias químicas, así como la definición y clasificación de peligros químicos y su comunicación por medio de etiquetas y hojas de datos de seguridad (DHA, 2000).

La investigación también pone de manifiesto que en México no existe una vinculación real entre los estudios de riesgo y los programas para la prevención de accidentes, con campañas de comunicación de los riesgos a nivel local; de manera que cuando exista exposición potencial a receptores públicos, éstos se encuentren informados de dichos riesgos. Como lo manifiesta Pacheco (2014), en México el derecho de la sociedad a la información es una idea de reciente consolidación; sin embargo, Estados Unidos de América cuenta desde 1966 con instrumentos de política ambiental que permiten al ciudadano ejercer su derecho a saber qué riesgos ambientales afronta.

Coincidimos entonces con Varady, Romero y Hankins (2001) cuando indican que México carece de información precisa y confiable sobre las cantidades y tipos de

materiales peligrosos generados en las diferentes regiones y por diversos sectores económicos, además de que la información sobre materiales peligrosos sigue sin estar disponible para el público, y los mecanismos de participación social son limitados en la práctica.

Otro problema fundamental es la falta de información para las autoridades responsables de la respuesta ante accidentes químicos, respecto a las actividades riesgosas reguladas en los ámbitos federal y estatal. Por lo cual se requiere mejorar los mecanismos de comunicación entre las autoridades de los diferentes órdenes de gobierno y los grupos de respuesta a emergencias locales, con la finalidad de actuar de manera oportuna (Sarmiento, Ortiz y Álvarez, 2003).

Igualmente, las actividades que obtienen autorización en materia de riesgo ambiental no están obligadas a garantizar la seguridad de sus operaciones mediante informes de seguridad donde se muestre que operan de manera efectiva sus barreras de prevención, y protección ante los riesgos. Esta situación es especialmente importante para países en vías de desarrollo debido a que frecuentemente las actividades de riesgo no cuentan con recursos para un comportamiento de seguridad proactivo, por lo que se requiere de lineamientos que guíen la operación de dichas actividades (Gerbec & Kontić, 2009).

Otro aspecto importante en México es la necesidad de contar con un organismo independiente, capaz de realizar investigaciones de los accidentes químico-tecnológicos más relevantes y emitir recomendaciones públicas a las dependencias gubernamentales encargadas de la regulación de las actividades riesgosas. Si bien, hasta ahora se han creado comisiones especiales encargadas de la investigación de accidentes con altos costos humanos o ambientales, sus resultados no son públicos y no se desprenden recomendaciones vinculadas a una regulación mejor de dichas actividades.

Como afirma Sarmiento, Ortiz y Álvarez (2003), México debe contar con un marco regulatorio que fomente la adopción de medidas de prevención de accidentes, así como la documentación e investigación de los mismos, de manera que se pueda compartir la información de las causas raíz que los originaron, y desarrollar estrategias que impidan su repetición.

Actividades riesgosas

La regulación del riesgo ambiental al interior de las entidades federativas muestra grados de avance y aplicación diversos, comenzando por la definición de las actividades riesgosas sujetas a regulación. Enrique Provencio (2004) establece que la integración administrativa para la gestión estatal no prosperó, debido a que el gran avance que se registró en las entidades federativas, a partir de leyes estatales de medio ambiente como consecuencia de la LGEEPA y su modelo de competencias, no tuvo continuidad con un desarrollo institucional sistemático, incluyendo la descentralización funcional y de recursos.

En el estado de San Luis Potosí existe un marco normativo que identifica como riesgosas a una cantidad muy numerosa de actividades, de las cuales hasta el momento sólo 60 empresas se han regulado. Al interior de la SEGAM existen deficiencias relacionadas con la revisión y aprobación de las actividades riesgosas que son consecuencia de la falta de capacitación y de recursos materiales al interior de la Dirección de Estudios y Proyectos.

El Programa de Desarrollo Institucional y Ambiental (PIDA) de SEMARNAT (2014) identifica que los gobiernos estatales aún no cuentan con una estructura ambiental fortalecida para la gestión ambiental, por lo cual asigna recursos para el fortalecimiento institucional estatal, para la realización de estudios, capacitación al personal y la adquisición de equipo y mobiliario necesario para la gestión ambiental. Sin embargo, es de resaltar que dentro de las materias apoyadas por este programa no se encuentra el riesgo ambiental.

La regulación de las actividades riesgosas es de importancia especial debido a que en las últimas décadas, en México ha habido un proceso de crecimiento de la población en zonas urbanas, aunado a un crecimiento industrial; sin embargo, el crecimiento de los centros de población ha sido generalmente en forma desordenada, sin ninguna planeación ni respetando las disposiciones y regulaciones sobre uso de suelo, zonas de reserva ecológica, zonas vulnerables a ciertos fenómenos naturales y demás consideraciones establecidas en los programas de desarrollo urbano (Arcos y cols., 2007).

El Plan de Estatal de Desarrollo 2009-2015 de San Luis Potosí establece que el rezago en la elaboración de Planes de Desarrollo Urbano del ámbito municipal es superior al 75 por ciento (COPLADE, 2012). Sin embargo, aun para los municipios que cuentan con un plan de desarrollo es indispensable contar con información

fidedigna relativa a los riesgos químico- tecnológicos para poder evitar la exposición de comunidades urbanas por medio de la regulación del uso de suelo.

La presente investigación pone de manifiesto la existencia de 19 empresas de alto riesgo ubicadas en el interior de la mancha urbana, sin que hasta el momento existan planes para su reubicación. Lo anterior a pesar de que el Plan del Centro de Población establece la necesidad de reubicar PEMEX, Cascade Cadrige Internacional y otras industrias peligrosas que presentan esta situación. (H. Ayuntamiento de San Luis Potosí, 2003).

El análisis de las actividades de alto riesgo y de las actividades riesgosas del ámbito estatal, en el contexto local, es de gran importancia para definir los escenarios de riesgo que se generan debido a la operación de dichas actividades, por lo que debe ser la base para la adopción de medidas de prevención y respuesta ante emergencias, por parte de autoridades e instituciones locales.

Propuesta metodológica.

En esta investigación se establece una propuesta para la evaluación eficaz del riesgo ambiental, basado en metodologías generalizadas para la evaluación del riesgo ambiental, capaces de identificar los sucesos iniciadores de los peligros, las secuencias accidentales y las necesidades de mejora de los sistemas.

Los resultados de la identificación correcta de sucesos iniciadores de los accidentes deberían servir de base para la construcción de escenarios alternativos de liberación. Se propone la caracterización del riesgo de los escenarios de mayor importancia con base en la “Metodología de evaluación de riesgo por accidentes en las industrias, ARAMIS” (Delvosalle y cols., 2006). Además se propone el análisis de la vulnerabilidad social y ambiental de los escenarios evaluados que representarían agravantes del nivel de riesgo evaluado cuando los receptores públicos exhiban grados de vulnerabilidad altos o muy altos, y cuando las áreas de riesgo tengan el potencial para afectar áreas naturales protegidas de carácter federal o estatal, así como sitios Ramsar.

No obstante, como afirma Ojeda (2007), la aplicación de la ley en materia ambiental en México puede ser muy problemática debido a que los funcionarios no están preparados para hacer cumplir las leyes, ya sea por desconocimiento o porque no reciben suficiente preparación, habilidades o capacitación en su aplicación; además de que su aplicación es muy cara y muchas veces requiere de expertos y apoyo técnico o científico.

El análisis de exposición potencial para gasolineras en San Luis Potosí es importante debido a que los resultados muestran que son las áreas con baja y muy baja marginación las que tienen un potencial mayor de afectación, lo cual indica una baja vulnerabilidad de las comunidades urbanas, en contraste con los riesgos químicos asociados a áreas industriales, en donde los resultados demuestran que las comunidades con mayor potencial de afectación tienen grados de vulnerabilidad mayores. Lo anterior ha sido investigado tanto para la zona industrial oriente de la ciudad de San Luis Potosí (Ortega, Ávila, Briones, Razo, & Medina, 2014) como a nivel internacional, en relación a la inequidad ambiental ante industrias de riesgo (Bolin, y otros, 2000; Daniels & Friedman, 1999; Fricker & Hengartner, 2001).

Los resultados del análisis de consecuencias al exterior en la liberación de sustancias químicas en el transporte por carretera, indican que la liberación de amoníaco y ácido sulfúrico desde cualquier tipo de transporte tiene potencial para ocasionar afectaciones en comunidades con alta y muy alta marginación, localizadas, en su mayoría, en el municipio de Santa María del Río. Además, sólo en el caso de la liberación de ácido sulfúrico desde transporte articulado se observan consecuencias capaces de afectar áreas naturales protegidas de orden federal y estatal; por lo que es el escenario que tiene agravantes mayores en su nivel de consecuencias.

Escenarios alternativos de liberación de sustancias peligrosas en actividades riesgosas.

El Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez (H. Ayuntamiento de San Luis Potosí, 2003), hace patente la falta de información sobre los fenómenos químico tecnológicos, ya que propone no autorizar fraccionamientos nuevos dentro del área de influencia de industrias o fábricas ya establecidas; sin embargo, menciona la necesidad de contar con un inventario de industrias dentro del anillo periférico, así como inventarios¹, análisis de riesgo, y áreas de afectación de gasolineras y gaseras.

El resultado de la modelación de la zona de alto riesgo del escenario de incendio durante la recarga del tanque de almacenamiento de gasolina dio como resultado un radio mayor a las distancias de seguridad establecidas en las especificaciones

¹ Un inventario de riesgo es la herramienta básica a nivel local para evaluar las fuentes potenciales de riesgo químico y la totalidad de escenarios alternativos de liberación (Ortega, Ávila, Briones, Razo, & Medina, 2014)

técnicas para el establecimiento de estaciones de servicio de PEMEX, en los casos de la ubicación de lugares de reunión pública y líneas de alta tensión, vías férreas y ductos que transportan productos derivados del petróleo. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la regulación municipal para la instalación de estas actividades en los planes de ordenamiento territorial.

Las limitaciones de los escenarios alternativos utilizados en la presente investigación son las incertidumbres debidas al modelo de simulación, donde las condiciones meteorológicas modeladas pueden variar las distancias estimadas, teniendo en consideración que las condiciones (estabilidad, velocidad del viento y rugosidad del terreno) no permanecen constantes a través del tiempo (EPA, 2009). Además se debe tomar en cuenta que el escenario modelado toma en consideración condiciones más probables de liberación y menos conservadoras; sin embargo, las distancias son menores al peor caso probable que podría presentarse con las sustancias estudiadas.

Transporte carretero y evaluación de consecuencias al exterior en el tramo San Luis Potosí- Santa María del Río.

La investigación realizada para caracterizar los accidentes en el transporte terrestre de sustancias peligrosas favorece el reconocimiento de la falta de un registro actualizado para la investigación de dichos eventos, que permita profundizar sobre sus aspectos principales. Ya que como afirma Rivera (2002), dentro del marco legal que regula el transporte de materiales peligrosos no existe una disposición que obligue al transportista o expedidor a elaborar y entregar a las autoridades correspondientes un reporte detallado sobre accidentes e incidentes; ya que el Manifiesto para casos de derrame de residuos peligrosos por accidente que establece la SEMARNAT no es apropiado para la investigación de incidentes en el transporte terrestre (Rivera, 2002).

Por lo anterior, en las bases de datos gubernamentales no existen datos para sustentar una evaluación cuantitativa del riesgo debido al transporte de materiales y residuos peligrosos, ya que no se dispone de información suficiente sobre accidentes y el volumen de tráfico en el transporte de materiales y residuos peligrosos (Rivera, 2002).

El potencial de afectación de los escenarios modelados justifica las acciones encaminadas a modificar las distintas variables que conforman los escenarios de riesgo, mediante la regulación de las actividades de transporte en donde se

asegure: 1) la integridad mecánica de las unidades, 2) la vigilancia respecto a su velocidad máxima, 3) la capacitación de los conductores, y 4) los volúmenes máximos de sustancias químicas peligrosas que pueden ser transportados.

Los asentamientos rurales no se incluyen en el índice de marginación urbana pero se esperaría una vulnerabilidad mayor de éstos ante los escenarios accidentales, debido a sus condiciones de pobreza. El gran número de comunidades expuestas es también de importancia dada su gran dispersión geográfica y la gran capacidad logística que se requeriría en caso de un accidente para la implementación de un plan de protección de la población civil, lo cual denota la necesidad de fortalecer las capacidades locales y de implementar y practicar ejercicios de evacuación, que permitan a estas comunidades mejorar su nivel de preparación ante las emergencias químicas.

Trabajo futuro.

La base de datos de actividades altamente riesgosas y de actividades riesgosas de orden estatal, debe ser la base para nuevas investigaciones donde se identifiquen escenarios de riesgo químico, ocasionados por estas actividades, para implementar actividades de comunicación de riesgos, así como de prevención y respuesta ante accidentes, y donde se caractericen actividades de alto riesgo que no se encuentren reguladas.

Del mismo modo, las dependencias gubernamentales responsables de la respuesta ante las emergencias químicas deberían retomar los resultados del análisis de consecuencias al exterior de los materiales peligrosos, a fin de realizar una planeación adecuada de la respuesta ante emergencias de estos eventos, de manera que se asegure su disponibilidad en cantidad y localización para su utilización expedita en estos eventos.

Finalmente, sería de gran importancia el desarrollo de un índice que evalúe la capacidad de los organismos municipales encargados de la respuesta ante emergencias químicas, para poder contextualizar los planes externos de respuesta ante emergencias de las actividades de riesgo.

CONCLUSIONES.

Evaluación del riesgo ambiental en México.

El análisis y la comparativa del instrumento normativo utilizado en México para la evaluación del riesgo ambiental muestra áreas de oportunidad importantes frente a otros instrumentos destinados a la prevención de los accidentes industriales a nivel internacional, como es la regulación de la peligrosidad de las sustancias químicas con base en el Sistema Globalmente Armonizado (GHS) de la ONU.

El objetivo general de esta investigación fue completado con la realización de una propuesta metodológica para evaluar de riesgo ambiental con base en métodos generalizados para la evaluación del riesgo y la caracterización del nivel de riesgo conforme a la metodología ARAMIS. Además se propuso el análisis de la vulnerabilidad social de los receptores públicos de los escenarios de riesgo, así como la vulnerabilidad ambiental de los sitios potencialmente afectables como agravantes del nivel de riesgo.

Esta tesis establece una propuesta para la gestión efectiva del riesgo ambiental que vincula los estudios de riesgo con los programas de ordenamiento territorial y los planes locales de respuesta ante emergencias, por medio del uso de un sistema de información geográfica con la ubicación de las zonas de riesgo de las empresas riesgosas. Se propone también un informe anual de la seguridad en las empresas de riesgo y la obligatoriedad de realizar campañas de comunicación de riesgos por parte de las empresas riesgosas, cuando tengan el potencial de afectar receptores públicos como resultado de sus actividades.

En el ámbito estatal, la situación regulatoria de las empresas de riesgo estatal es también incompleta, ya que cada estado aplica criterios diferentes para definir las actividades riesgosas. Además, en muchos estados, la evaluación del riesgo ambiental se enfoca únicamente en actividades nuevas, sin que se garantice el cumplimiento de este requisito para empresas en funcionamiento.

Por otra parte, la mayoría de los estados basan su definición de las actividades riesgosas en los listados federales que clasifican las actividades altamente riesgosas; a pesar de que éstos no han sido actualizados desde hace 23 y 25 años, respectivamente.

A fin de contar con un marco normativo útil de las actividades de riesgo estatales, se deberían definir criterios básicos para la clasificación de las competencias de estas actividades en los ámbitos estatal y municipal.

CASO DE ESTUDIO: SAN LUIS POTOSÍ.

El análisis de la evaluación del riesgo ambiental en el estado de San Luis Potosí, muestra que la mayor parte de las actividades de riesgo ambiental alto se ubican en la capital del estado, y que algunas de éstas se encuentran en el interior de la mancha urbana, sin que hasta el momento existan planes de implementar programas de desconcentración de actividades peligrosas, para disminuir la exposición potencial de la población.

En el caso del riesgo de orden estatal, las actividades reguladas son pocas, debido al gran universo de empresas que se clasifican como riesgosas. Los estudios de riesgo y los programas para la prevención de accidentes analizados muestran la falta de capacidades institucionales de SEGAM para requerir, evaluar y, en su caso, aprobar estudios y programas de calidad.

TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES PELIGROSOS.

El análisis de bases de datos referentes al transporte terrestre de materiales peligrosos, muestra la relevancia de este tema para el estado de San Luis Potosí, debido al número alto de incidentes, que lo coloca en los primeros lugares a nivel nacional.

La investigación mostró la falta de un instrumento institucional capaz de brindar certidumbre respecto de los accidentes con materiales peligrosos en las carreteras del país, ya que la base de datos de SEMARNAT no incluye a todos los accidentes relevantes, y la base de datos del Instituto Mexicano del Transporte no se encuentra actualizada. La falta de información y registro del seguimiento de estos accidentes dificulta las investigaciones en el área.

El análisis de casos de accidentes con materiales peligrosos en el tramo San Luis Potosí-Santa María del Río, mostró la capacidad que tienen estos eventos para ocasionar daños. Debido a las características de densidad poblacional, los accidentes con materiales peligrosos exponen a poblaciones rurales dispersas que

muchas veces se encuentran en condiciones de desventaja y vulnerabilidad, al no saber cómo responder ante eventos de esta magnitud.

La investigación permitió reconocer que dentro de las comunidades urbanas estudiadas, las de Santa María del Río mostraron un nivel de vulnerabilidad social mayor. Los resultados destacan la importancia de que los organismos municipales centren sus esfuerzos en la creación de planes municipales para la identificación y respuesta a emergencias que les permitan estar preparados ante este tipo de eventos.

REFERENCIAS

- ABC Digital. (2015, 9 de marzo). *Susto ante incendio en gasolinera*. Obtenido de ABC Digital: <http://www.abc.com.py/nacionales/incendio-afecta-parte-de-estacion-de-sevicio-1343826.html>
- Akgün, V., Erkut, E., & Batta, R. (2000). On Finding Dissimilar Paths, . *European Journal of Operational Research*, 232-246.
- Allanou, R., Hansen, B. g., & Van der Bilt, Y. (2003). Public Availability of Data on EU High Production Volume Chemicals. Part 1. *Chimica Oggi/Chemistry Today*, 91-95.
- Altamoros, L., Fernández, G., Cruz, M., & Durán, C. (2009). Desarrollo de un índice específico para el cálculo del riesgo por el transporte de gas licuado de petróleo, GLP, en la zona metropolitana de la Ciudad de México. *Memorias del Quinto Seminario Internacional de Expertos en el Tratamiento de Efluentes y Residuos Industriales*, (págs. 450-456). México.
- Aquino, M (2014, 12 de mayo). Controlan incendio en carretera a Colima. Obtenido de Reforma <http://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=229948&urlredirect=http://www.reforma.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=229948>
- Arcos, M., Serrano., Izcapa, C., Bernabé, L., Rivera, R., Bravo, E. (2007). Riesgos químicos. Serie Fascículos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. México.
- ASC. (2011). *Database counter*. Recuperado el 1 de diciembre de 2014, de American Chemical Society: <http://www.cas.org/content/counter>
- Asfahl, R. (2000). *Seguridad Industrial y Salud*. México: Prentice Hall.
- ATSDR. (2009). *Glosary of therms. Agency for Toxic Sibstances and Disease Registry*. Recuperado el 23 de mayo de 2014, de <http://www.atsdr.cdc.gov/glossary.html> 23/05/2014
- Belke, J. C (2000). Chemical accident risks in U.S. industry - A preliminary analysis of accident risk data from U.S. hazardous chemical facilities. Environmental Protection Agency. Washington.
- Belke, J. D. (2005). The post-Bhopal and post-9/11 transformations in chemical emergency prevention and response policy in the United States. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(1), 375-379.
- Blaikie, P. (1996). *At Risk. Red de estudios sociales en Prevención de Desastres en América Latina*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- Bolin, B., Matranga, E., Hackett, E., Sadalla, E. P., Brewer, D., & Sicotte, D. (2000). Environmental equity in a sunbelt city: the spatial distribution of toxic hazards in Phoenix, Arizona. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 11(1), 11-24.
- Borek, A., Parlikad, A., Webb, J., & Woodall, P. (2014). Introduction to enterprise risk management. En A. Borek, A. Parlikad, J. Webb, & P. Woodall, *Total Information Risk Management* (págs. 47-56). Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- Boulmakoul, A., Laurini, R., Servigne, S., & Idrissi., M. (1999). First specifications of a telegeomonitoring system for the transportation of hazardous materials. *Computers, Environment and Urban Systems*, 23(4), 259-270.
- Cámara de Diputados. (2013). *Histórico comunicación social. LXII Legislatura*. Obtenido de Boletín N°. 2772 Son responsabilidad de la SCT accidentes con materiales peligrosos en carreteras: González Betancourt: <http://www3.diputados.gob.mx/camara/content/view/full/183789>
- Caramia, M., Giordani, S., & Iovanella, A. (2010). On the selection of k routes in multiobjective hazmat route planning. *IMA Journal Of Management Mathematics*, 21(3), 239-251.
- Cardona, O. D. (2003). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo*. Recuperado el 11 de agosto de 2014, de Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.
- Carol, S. V., & Casal, J. (2002). Study of the severity of industrial accidents with hazardous substances by historical analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(6), 517-524.
- Carol, S., Vilchez, J., & Casal, J. (2000). Updating the economic cost of large-scale industrial accidents: Application to the historical analysis of accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 13(1), 49-55.
- Carson, P., & Mumford, C. (2002). *Hazardous Chemicals Handbook*. Woburn: Butterworth- Heinemann. .
- Casal, J., & Darbra, R.-M. (2013). Analysis of Past Accidents and Relevant Case-Histories. En G. Reniers, & V. Cozzani, *Domino Effects in the Process Industries*. (págs. 12-29). Waltham: Elsevier.
- Casal, J., Montiel, H., Planas, E., & Vilchez, A. (1999). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Barcelona: Ediciones UPC.

-
- Casal, J., & Vílchez, J. (2010). El riesgo químico y el territorio. *Revista Catalana de Seguretat Pública*, noviembre 2010 (1), 127-152.
- Castro, R., & Arcos, P. (1998). El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. *Revista Española de Salud pública*, 72(6), 481-500.
- CCSO. (1997). *Líquidos combustibles e inflamables, riesgos*. Recuperado el 2 de febrero de 2015, de Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional: <http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/flammable/flam.html>
- Cedillo, L., Gavilán, A., Martínez, M., Romero, T. (2012). Inventario Nacional de Sustancias Químicas. Base 2009. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Center for Chemical Process Safety. (2008). *Guidelines for Chemical Transportation Safety, Security, and Risk Management*. Hoboken: Wiley.
- CERESIS (2001). Centro Regional de Sismología para América del Sur. Tecnologías de información y comunicación en desastres. Obtenido de: <http://www.ceresis.org/cursos/pvaldivia/curso/uploads/1RiesgSegEmerg.html>
- Chakrabarti, U., & Parikh, J. (2009). Capacity Building for Hazmat Transport Emergency Preparedness: 'Hotspot Impact Zone' Mapping from Flammable and Toxic Releases. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 3(6), 802-810.
- Chakrabarti, U., & Parikh, J. (2011). Route risk evaluation on class-2 hazmat transportation. *Process Safety & Environmental Protection: Transactions Of The Institution Of Chemical Engineers*, 248-260.
- Cheremisinoff, N., & Graffia, M. (1995). *Environmental and Health & Safety Management- A Guide to Compliance*. Park Ridge, N.J: Noyes Publications.
- Chemical Safety Board. (2002). *Hazard investigation—improving reactive hazard management*. Recuperado el 15 de octubre de 2014, de U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board: <http://www.csb.gov/investigations/detail.aspx?SID561..>
- CNDH (2008). Recomendación 57/2008 del 28 de noviembre de 2008 Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Obtenido de: http://www.cndh.org.mx/sites/all/fuentes/documentos/Recomendaciones/2008/REC_2008_057.pdf
- CNN, (2013, 7 de mayo). La explosión de una pipa de gas causa 23 muertos en el Estado de México. Obtenido de CNN México: <http://mexico.cnn.com/nacional/2013/05/07/explosion-pipa-gas-ecatepec-estado-de-mexico>
- CONAPO (2010). Índice de marginación urbana 2010. Base AGEB urbanas y población. Consejo Nacional de Población.
- CONEVAL (2012). Consejo Nacional de Evaluación de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Informe de Pobreza en México 2012. Obtenido de CONEVAL: http://www.coneval.gob.mx/Informes/Pobreza/Informe%20de%20Pobreza%20en%20Mexico%202012/Informe%20de%20pobreza%20en%20M%C3%A9xico%202012_131025.pdf
- COPLADE (2012). Actualización del Plan Estatal de Desarrollo del Estado de San Luis Potosí 2009-2015. Coordinación General del Comité de Planeación del Desarrollo. San Luis Potosí, México:
- Cortinas, C. (1997). Introducción a la gestión de las sustancias químicas que se encuentran en el comercio. En A. Frías, *Seminario sobre gestión ambiental racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria* (págs. 13-23). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Cortinas C. (2000). *Características de peligrosidad ambiental de plaguicidas*. Instituto Nacional de Ecología. México
- Cortinas, C., & Pérez, C. (1999). *Promoción de la prevención de accidentes químicos*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Covan, J. (1995). *Safety Engineering*. New York, USA.: Editorial Wiley.
- CRAIM. (2006). *Las barreras de seguridad y el nudo de mariposa. Publicación de divulgación técnica*. Recuperado el 20 de enero de 2015, de Consejo para la prevención de los Accidentes Industriales mayores: http://www.craim.ca/fr/centre-de-ressources/tous-les-documents/nos-publications/doc_details/88-dvt-3-les-barrieres-de-securite-et-le-noeud-papillon
- CRF (2000). 40 CFR 38.130. Código de regulaciones federales de Estados Unidos de Norteamérica No. 68.130. List of substances.

-
- Dalle, M., Romano, D., & Vega, M. (2009). *Estudio sobre la situación de la gestión del riesgo de las sustancias químicas por parte de las Administraciones Públicas en España*. Madrid: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
- Daniels, G., & Friedman, S. (Junio de 1999). Spatial Inequality and the distribution of Industrial Toxic Releases: Evidence from the 1990 TRI. *Social science quarterly*, 80(2), 244-261.
- De Sousa, M., & De Freitas, C. (2003). Vulnerability and industrial hazards in industrializing countries: an integrative approach. *Futures*, 35(7), 717-736.
- DeLissi, S. M. (2006). *Hazardous materials incidents: surviving the initial response*. Oklahoma, USA.: Pen Well Corporation.
- Dell'Olmo, P., Gentili, M., & Scozzari, A. (2005). On finding dissimilar Pareto-optimal paths. *European Journal of Operational Research*, 70-82.
- Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., Debray, B. (2006). ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Hazardous Materials* 130 (3) 200-219.
- DENUE (2014). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- DGPCE (2013). Comparativa entre directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la directiva 96/82/CE. Dirección General de Protección Civil y Emergencias de España. Obtenido de: <http://www.proteccioncivil.org/documents/11803/0/Comparativa+Directivas+SEVESO+III-SEVESO+II>
- DHA (2000). Reform of Public Health and Safety Regulation: an Information Paper Overview of Existing Regulatory Arrangements. Regulatory Reform Taskforce. Department of Health and Ageing, Canberra, Australia, 2000.
- Diario de Colima (2014, 12 de mayo). Se incendia pipa en la autopista. Obtenido de Diario de Colima: <http://www.diariodecolima.com/2014/05/12/se-incendia-pipa-en-la-autopista/>
- Diario el Pueblo, (2014, 1 de abril). Fuerte explosión en la vía Panamericana causa cierre temporal . Obtenido de El Pueblo: <http://elpueblo.com.co/fuerte-explosion-en-la-via-panamerica-causa-cierre-temporal/>
- Diario Panorama. (2015, 4 de junio). Ghana: al menos 73 muertos al explotar una estación de servicio. Obtenido de Diario Panorama: http://www.diariopanorama.com/seccion/mundo_17/ghana-al-menos-73-muertos-al-explotar-una-estacion-de-servicio_a_199501
- Dinámica Heurística. (2008). Curso de Análisis de riesgos en los procesos. México: Dinámica Heurística.
- Dinámica Heurística. (2013a). SCRI Fuego Versión 1.4. Agosto de 2014.
- Dinámica Heurística. (2013b). SCRI Modelos Versión 4.4. Abril de 2014.
- DOE. (2004). *DOE Handbook. Chemical Process Hazard Analysis*. Washington DC.: Department of Energy, United States of America.
- Domínguez, M., & Cabrera, A. (2012). 21. Riesgos urbanos. En M. Domínguez, & A. (García, Indicadores de desarrollo. Zona metropolitana de Mérida. Reporte 2012 (págs. 145-150). Mexico: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida.
- Eckerman, I. (2011). Bhopal Gas Catastrophe 1984: Causes and Consequences. En J. Nriagu, *Encyclopedia of Environmental Health* (págs. 302-316). Elsevier.
- El Sol de San Luis. (8 de octubre de 2013). Confirmado: San Luis 3a. mejor ciudad para invertir. *El Sol de San Luis*, pág. <http://www.oem.com.mx/elsoldesanluis/notas/n3149655.htm>.
- EPA (2009). *Risk management program guidance for offsite consequences analysis*". *PMP series. Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office United States Environmental Protection Agency. March, 2009*
- EPA. (2011). *Hazardous Substances and Hazardous Waste*. Recuperado el 20 de octubre de 2014, de Environmental Protection Agency: http://www.epa.gov/superfund/students/clas_act/haz-ed/ff_01.htm
- EPA (2013). *25 Years of EPCRA*. Recuperado el 2014 de octubre de 6, de U.S. Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/oem/content/epcra/epcra25.htm>.
- ETN. (2002). *Extoxnet Glossary*. Recuperado el 21 de enero de 2015, de Extension Toxicology Network: <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/TIB/extoxnetglossary.html>
- Fernández, H (2007, 10 de septiembre). Mueren 23 por explosión de camión en Coahuila; tres eran periodistas. Obtenido de El universal- estados: <http://www.eluniversal.com.mx/notas/448124.html>

-
- Fernández, M. (1996). *Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*. Recuperado el 15 de febrero de 2010, de Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina: http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_Intro_ene-7-2003.pdf
- Fiedler, H., Abad, E., Van Bavel, B., & Bogdal, C. (2013). The need for capacity building and first results for the Stockholm Convention Global Monitoring Plan. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 46(1), 72-84.
- Floyd, P. (2006). Future Perspectives in Risk assessment of Chemicals. En R. Harrison, & R. Hester, *Chemicals in the Environment: Assessing and Managing* (págs. 45-64). Cambridge: The royal society of Chemistry.
- Frank, W., Thill, J., & Batta, R. (2000). Spatial Decision Support System for Hazardous Material Truck Routing. *Transportation Research*, 8(1-6), 337-359.
- Fricker, R., & Hengartner, N. (2001). Environmental equity and the distribution of toxic release inventory and other environmentally undesirable sites in metropolitan New York City. *Environmental and Ecological Statistics*, 8(1), 33-52.
- Gabarrell, J. (2008). Capítulo 12. Seguridad industrial. En P. Andres, & R. Rodríguez, *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en américa latina* (págs. 303-319). Girona: Documenta Universitaria.
- García, N., Marín, R., Méndez, K. (2006). Vulnerabilidad social en Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. México.
- Garrod, J. (2006). The current regulation of environmental Chemicals. En R. Hester, & R. Harrison, *Chemicals in the Environment, assessing and managing the risk* (págs. 1-20). Cambridge, UK: RSC Publishing.
- Gelman, M. (2003). Desastres y su control: una experiencia en desarrollo de la investigación interdisciplinaria. En J. Acosta, *Ingeniería de Sistemas*. (págs. 1-16). México: Alfaomega.
- Gerbec, M. (2008). On the process and implications of drawing up and running a security plan according to ADR in an SME-type company. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(6), 604-612.
- Gerbec, M., Kontic, B. (2009). Implementation of the Seveso II Directive in Slovenia: Survey of implementation and opinions of operators regarding its safety benefits. *Safety Science* 47 (4) 561–568.
- GF (2013, 5 de Marzo). Vuelca pipa y provoca incendio en la Autopista del Sol. Obtenido de Grupo Fórmula: <http://www.radioformula.com.mx/notas.asp?Idn=308411>
- Godduhn, A., & Duffy, L. (2003). Multi-generation health risks of persistent organic pollution in the far north: use of the precautionary approach in the Stockholm Convention. *Environmental Science & Policy*, 6(1), 341–353.
- González, E., Miñana, A., Ruiz, J., Garcés, A. (2004). Análisis del riesgo en los establecimientos afectados del nivel inferior (En el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (Seveso II)). Universidad de Murcia. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior. España.
- González, F., Miñana, A., Ruíz, C., & Garcés, V. (2004). *Análisis del Riesgo en los establecimientos afectados de Nivel inferior (en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (Seveso II))*. Murcia, España: Dirección General de Protección Civil y Emergencias Ministerio del Interior. Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia.
- Guan, Y., & Kwok, Y. (2009). *Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering - Theory, Modelling and Practice*. London: Butterworth-Heinemann.
- Guevara, O., Quaas, W., & Fernández, V. (2004). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. México. D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación.
- Guzmán, A. (2011, 11 de noviembre). Identifican a los tres muertos en explosión de una pipa en Tabasco. Obtenido de Proceso: <http://www.proceso.com.mx/?p=287744>.
- H. Ayuntamiento de San Luis Potosí. (2003). Plan del centro de población estratégico San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. San Luis Potosí: H. Ayuntamiento de San Luis Potosí.
- Hasan, M. (2010). A Framework for Intelligent Decision Support System for Traffic Congestion Management System. *Engineering*, 2(4), 270-289.
- He, G., Zhang, L., Lu, Y., & Mol, A. (2011). Managing major chemical accidents in China: Towards effective risk information. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1-3), 171–181.
- Hernández, M. (2006). Sustancias peligrosas, riesgo y salud en México. Marco normativo. En D. Cienfuegos, & M. y Macías, *Estudios en homenaje a Marcia Muñoz de Alba Medrano. Bioderecho, tecnología, salud y derecho genómico* (págs. 21-68). México: UNAM, Instituto de Investigaciones Jurídicas.

-
- IPCS. (2004). *Descriptions of selected key generic terms used in chemical hazard/risk assessment*. Recuperado el 1 de octubre de 2011, de The International Programme on Chemical Safety: http://www.who.int/pcs/publications/methods/harmonization/definitions_terms/en/
- IPCS. (1 de octubre de 2004). *Descriptions of selected key generic terms used in chemical hazard/risk assessment*. Recuperado el 24 de noviembre de 2014, de The International Programme on Chemical Safety: http://www.who.int/pcs/publications/methods/harmonization/definitions_terms/en/
- ISO. (2009). *ISO Guide 73:2009—Risk Management—Vocabulary*. Recuperado el 25 de noviembre de 2014, de International Organization for Standardization: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44651.
- ISO (2011)International Organization for Standardization., & International Electrotechnical Commission. Risk management — Risk assessment techniques [IEC/FDIS 31010].
- Ize, I. (2003). La evaluación del riesgo por sustancias tóxicas. *Gaceta Ecológica* 69, Instituto Nacional de Ecología. , 45-56.
- Kang, Y. (2011). Value-at-Risk Models for Hazardous Material Transportation. *Annals of Operations Research*, 222(1), 361-386.
- Kara, B., & Verter, V. (2004). Designing a Road Network for Hazardous Materials Transportation. *Transportation Science*, 38(2), 188-196.
- Kara, B., Erkut, E., & Verter, V. (2003). Accurate calculation of hazardous materials risks. *Operation Research Letters*, 31(4), 285-292.
- Kaya, Y. (2012). Waste Trade and the Effectiveness of the Legal Arrangements for Tranfortier Movement of Hazardous Wastes. *Paradoks Economics, Sociology and Policy Journal*. , 8(2), 63-82.
- Kang, D., Lehman, R., Carragee, E. (2013) Wartime spine injuries: understanding the improvised explosive device and biophysics of blast trauma. *The Spine Journal*, 12(9), 849-857.
- Khan, F., & Abbasi, S. (1999). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(5), 361-378.
- Kourniotis, S., Kiranoudis, C., & Markatos, N. (2000). Statistical analysis of domino chemical accidents. *Journal of Hazardous Materials*, 71(1-3), 239–252.
- Kriesel, W., Terrence, C., & Keeler, A. (1996). Neighborhood exposure to toxic releases: are they racial inequities? *Growth and Change*, 27(1), 479-499.
- La Unión de Morelos, 2010. Un muerto deja explosión de pipa cargada de gasolina. Obtenido de La Unión de Morelos: <http://www.launion.com.mx/morelos/cuautla/noticias/13120-un-muerto-deja-explosi%C3%B3n-de-pipa-cargada-de-gasolina.html>
- Landa, R. Á. (2010). *Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe*. México, D.F.: British Council, PNUD México, Cátedra UNESCO-IMTA, FLACSO México.
- LGEEPA (2015). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988, última reforma publicada el 9 de enero de 2015.
- LGPC. (2012). *Ley General de Protección Civil*. México: Diario Oficial de la Federación, 6 de junio de 2012.
- Mannan, S. (2005). *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*. London: Butterworth Heinemann.
- Marcotte, P., Mercier, A., Savard, G., & Verter, V. (2009). Toll Policies for Mitigating Hazardous Materials Transport Risk. *Transportation Science*, 43(2), 228-243.
- Martinez, F. (2015, 5 de marzo). Un voraz incendio en la gasolinera de Placeres obliga a desalojar las casas y cierra la PO-546. Obtenido de Faro de Vigo: <http://www.farodevigo.es/portada-pontevedra/2015/03/05/voraz-incendio-gasolinera-placeres-obliga/1196054.html>
- Martínez, R., Ordóñez, C., & Taboada, J. (2003). A Conceptual Model for Analyzing the Risks Involved in the Transportation of Hazardous Goods: Implementation in a Geographic Information System. *Human & Ecological Risk Assessment*, 857-873.
- MAYPA. (31 de agosto de 2000). *Sirviendo para la protección del Ambiente*. Obtenido de MIR - Proyecto de Reglamento de Materiales y Residuos Peligrosos y Actividades Altamente Riesgosas : http://www.maypa.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=86:mir-proyecto-de-reglamento-de-materiales-y-residuos-peligrosos-y-actividades-altamente-riesgosas-&catid=39:reglamentos&Itemid=94
- McCann, R. (2014). Towards COMAH 2015. *TCE: The Chemical Engineer, Jul/Aug2014(877/878)*, 30-33.

-
- McDorman, T. (2004). The Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade: Some Legal Notes. *Review of European Community & International Environmental Law*, 187-200.
- Mendoza, J., Romero, L., & Cuevas, A. (2013). *Vulnerabilidad de las carreteras por el transporte de materiales y residuos peligrosos*. México, D.F.: Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Miranda, J. (2010, 24 de octubre). Un muerto tras estallar pipa en Cuernavaca. Obtenido de El Universal: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=15
- Modarres, M. (2006). *Risk analysis in engineering. Techniques, tolos, and trends*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Muñoz, E., Torres, L., Zepeda, O., Andrade, E., & López, L. (2006). Estimación simplificada de la amenaza por Incendios forestales. En T. Sánchez, & C. Gutiérrez, *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos* (págs. 147-178). México, D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- Muñoz, F. (2013). Estudio comparativo de la normativa vigente sobre accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. Ejemplo práctico de aplicación. Titulación: máster en prevención de riesgos laborales. Especialidad en seguridad. Universidad de Murcia. Universidad Politécnica de Cartagena. Septiembre de 2013.
- Myers, R., Cramer, J., & Hessian, R. (1991). Risk Management Programs. En H. Greenberg, & J. Cramer, *Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry* (págs. 1-14). New York: Stone and Webster Engineering Corporation.
- NFPA. (2012). Flammable and combustible liquids code 30. Quincy: National Fire Protection Organization. .
- NOAA (2013). ALOHA Versión 5.4.4. Areal Locations of Hazardous Atmosphere. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- NOAA (2014) CAMEO Chemicals version 2.4.1 rev 3. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://cameochemicals.noaa.gov/search/simple>
- NOAA (2015). Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs). Office of Response and Restoration. Obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration: <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/emergency-response-planning-guidelines-erpgs.html>
- NOM-005-STPS-1998. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Diario Oficial de la Federación, 2 de febrero de 1999.
- NOM-018-STPS-2000. , Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación, 27 de octubre de 2000.
- NOTIMEX (2011, 11 de noviembre). PGJE investiga explosion de pipa en Tabasco. Obtenido de El Universal, estados: <http://www.eluniversal.com.mx/notas/808262.html>
- NRC. (2003). *Tracking and Predicting the Atmospheric Dispersion of Hazardous Material Releases*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- OECD (2015). Estudios económicos de la OCDE México. Enero 2015. Visión General. Obtenido de OECD: www.oecd.org/economy/.../Mexico-Overview-2015%20Spanish.pdf.
- OECD. (2009). *The 2007 OECD List of high production volume chemicals. Enviromental, health and safety publications. Series of testing and assessment no. 112*. Paris: Organisation for economic co-operation and development.
- OECD. (1997). *OCDE, 1997. Organisation for Economic Co-Operation and development. Road Transport Research Road Safety Principles and Models: Review of Descriptive, Predictive, Risk and Accident Consequence Models*. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development.
- OEM (2013, 6 de marzo). Vuelca pipa en la autopista del Sol. Obtenido de Organización Editorial Mexicana: <http://www.oem.com.mx/laprensa/notas/n2902516.htm>
- Oggero, A., Darbra, R., Muñoz, M., Planas, E., & Casal, J. (2006). A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1-3), 1-7.
- OIT. (1991). *Prevención de accidentes industriales mayores*. Ginebra, Suiza. : Oficina Internacional del Trabajo.
- Ojeda, R. (2007). Environmental Justice in Mexico – Hopes and Disappointments – environmental policy and law, 37(2–3). 142-176.

-
- Oltmanns, J., Bunke, D., Jenseit, W., & Heidorn, C. (2014). The impact of REACH on classification for human health hazards. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 70(2), 474-481.
- OMS. (2002). *Informe sobre la salud en el mundo 2002. Reducir los riesgos y promover una vida sana*. Recuperado el 24 de septiembre de 2014, de Organización Mundial de la Salud. Percepción de los riesgos: <http://www.who.int/whr/2002/en/Chapter3S.pdf>
- OPS. (2000). *Desastres: una visión periodística*. Caracas: Ministerio de Salud y Desarrollo Social de Carácas Venezuela y Organización Panamericana de la Salud. .
- Ortega, C., Ávila, A., Briones, R., Razo, I., & Medina, R. (2014). Differences in the risk profiles and risk perception of flammable liquid hazards in San Luis Potosi, Mexico. *Case Studies in Fire Safety*, II(I), 37-44.
- OSHA (2014). Occupational Safety and Health Administration. Flammable and Combustible Liquids 29 CFR 1910.106. Obtenido de: https://www.osha.gov/dte/library/flammable_liquids/flammable_liquids.html.
- Pacheco, R. (2007). El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en México: un balance hacia el futuro en: *Saber a Saber: Balance y perspectivas cívicas*. Fox, J., Haight, L., Hofbauer, H., Sánchez, T. (coord.). Fundar, Centro de Análisis e Investigación, A.C. México.
- Perrez, F. (2006). The Strategic Approach to International Chemicals Management: Lost Opportunity or Foundation for a Brave New World? *Review of European Community & International Environmental Law*, 15(3), 245-257.
- PHMSA. (2013). *Global Harmonization of Hazard Classification and Labeling Systems*. Recuperado el 12 de enero de 2015, de Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.
- PLAAR (1990). Primer listado de actividades altamente riesgosas. Diario Oficial de la Federación, 29 de marzo de 1990.
- PLAFEST (2004). Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos. Diario Oficial de la Federación, 28 de diciembre de 2004.
- PEMEX. (2006). Especificaciones Técnicas para proyecto y construcción de Estaciones de Servicio. Obtenido de http://www.ref.pemex.com/files/content/02franquicia/EspTecnicas/2006/EspTecnicas2006_VtaPub.pdf
- PEMEX. (2008). Reporte de visita comercial de supervisión técnica de mantenimiento. Obtenido de [Petróleos mexicanos: http://www.ref.pemex.com/files/content/02franquicia/imagenes/Cap6_Anexo3.pdf](http://www.ref.pemex.com/files/content/02franquicia/imagenes/Cap6_Anexo3.pdf)
- PEMEX. (2011). Hoja de datos de seguridad. Obtenido de [Petróleos mexicanos: http://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-107%20Pemex%20Magna.pdf](http://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-107%20Pemex%20Magna.pdf)
- Porter, S., & Wettig, J. (1999). Policy issues on the control of major accident hazards and the new Seveso II directive. *Journal of Hazardous Materials*, 65(1-2), 1-4.
- Prinos, P., & Galiatsatou, P. (2010). Coastal Flooding: Analysis and Assessment of Risk. En Y. Kim, *Handbook of Coastal and Ocean Engineering* (pág. 1192). Los Angeles, CA: World Scientific Publishing Company.
- PROCESO (2007, 11 de septiembre). Explota un camión en Coahuila; 28 muertos y 250 heridos. Obtenido de PROCESO: <http://www.proceso.com.mx/?p=211084>.
- PROFEPA. (2010). *Información Detallada de emergencias Ocurridas en el Transporte de Materiales Peligrosos en el Estado de San Luis Potosí. (Periodo 2000-2010)*. México, D.F.: Oficio PFFPA/3/8C.17.2/0107/11 con fecha 24 de Febrero de 2011.
- Provencio, E. (2004) Política y gestión ambiental contemporánea en México, *Economía Informa*, núm. 328, julio-agosto, pp. 5-24.
- Prüss-Ustün, A., Vickers, C., Haefliger, P., & Bertollini, R. (2011). Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review. *Environmental Health*, 10(1), 1-15.
- Rechkoskaa, G., Rechkoskia, R., & Georgioska, M. (2012). Transport of dangerous substances in the Republic of Macedonia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 44(1), 289-300.
- Rivera, R. (2002). Metodologías para la evaluación del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de Gobernación. México.
- Rosenfeld, P., & Feng, L. (2011). *Risks of Hazardous Wastes*. Oxford: William Andrew.
- RTTMRP (2006). Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos. Diario Oficial de la Federación, 7 de abril de 1993, última reforma publicada el 28 de diciembre de 2006.

-
- Salinas, J (8 de mayo de 2013). 22 muertos y 31 heridos. Obtenido de La Jornada: <http://www.jornada.unam.mx/2013/05/08/politica/002n1pol>
- Sand, P. (1992). The Effectiveness of International Environmental Agreements. En B. Baker, *The American Journal of International Law* (págs. 198-200). Cambridge: Grotius Publications.
- Santamaría, R., & Braña, A. (1998). *Risk Analysis and Reduction in the Chemical Process Industry*. London, UK: Blackie Academic & Professional. Thompson Science.
- Sawyer, M., Livingston, M., Early, W. (1999). Screening Analysis Techniques, en Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry. Greenberg, H., Cramer, J (editors). Van Nostrand and Reinhold. New York.
- SBC. (2008). *The Basel Convention At a Glance*. Recuperado el 3 de octubre de 2011, de Secretary of Basel Convention: http://www.basel.int/convention/bc_glance.pdf
- Scruggs, C., Ortolano, L., Wilson, M., & Schwarzman, M. (2015). Effect of company size on potential for REACH compliance and selection of safer chemicals. *Environmental Science & Policy*, 45(1), 79–91.
- SE (2013). Secretaría de Economía. Fortalezas de México. Obtenido de Pro México: <http://www.promexico.gob.mx/es/mx/fortalezas-mexico>
- SEDECO. (2010a). *Directorio de empresas que operan en Zonas y Parques Industriales de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: Secretaría de Desarrollo Económico. Gobierno del estado de San Luis Potosí 2010-2015.
- SEDECO. (2010b). *Perfiles Industriales*. San Luis Potosí: Secretaría de Desarrollo Económico. Gobierno del estado de San Luis Potosí 2010-2015.
- SEMARNAT. (2013). *Materiales y Actividades Riesgosas*. Recuperado el 21 de noviembre de 2014, de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/materialesactividades>
- SEMARNAT. (2014a). *Peligrosidad de las sustancias químicas*. Recuperado el 24 de noviembre de 2014, de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGGIMAR/Guia/07-015AD/peligrosidad.pdf>
- SEMARNAT (2014b). Padrón de empresas AAR y padrón de empresas con PPA aprobados. Respuesta a la solicitud publica de información con folio 0001600176014. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SLAAR (1992). Segundo listado de actividades altamente riesgosas. Diario Oficial de la Federación, 4 de mayo de 1992.
- SNA (2007). Servicio Nacional de Aduanas de Chile. El proceso de gestión de riesgo. Obtenido de: http://www.aduana.cl/aduana/site/artic/20070228/asocfile/20070228130834/asocfile12005091616182_2.pdf
- Tiempo la noticia digital. (2015, 5 de mayo). Evacuan gasolinera, tres gaseras alrededor de incendio de maderería. Obtenido de Tiempo la noticia digital: http://www.tiempo.com.mx/_notas/2197800
- TNO (1992). Methods for the determination of possible damage. The Hague: The Netherlands Organization of Applied Scientific Research.
- TNO (2005). Methods for the calculation of physical effects. The Hague: The Netherlands Organization of Applied Scientific Research.
- UE (2012). 2012/18/UE Relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE. Diario Oficial de la Unión Europea, 27 de Julio de 2012UN/ISDR. (2004). *Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives*, . Geneva: United Nations/International Strategy for Disaster Reduction.
- UNEP (2004). Los convenios sobre productos químicos y desechos peligrosos. Obtenido de Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal: <http://archive.basel.int/pub/threeConventions-s.pdf>
- UNEP (2007). *Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional*. Obtenido de: http://www.saicm.org/images/saicm_documents/saicm%20texts/SAICM_publication_SPA.pdf
- UNEP (2010). *Status of ratifications. The Rotterdam Convention*. Recuperado el 1 de diciembre de 2014, de Secretariat of the Rotterdam Convention - United Nations Environmental Programme.: UNEP. 2010. Status of ratifications. The Rotterdam Convention. 2010. Secretariat of the Rotterdam Convention – United Nations Environmental Programme. Disponible en <http://www.pic.int/Countries/Statusofratifications/tabid/1072/language/en-US/Default.aspx>

-
- UNEP (2014a). *Persistent Organic Pollutants*. Recuperado el diciembre de 2014, de United Nations Environmental Programme.: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/UNEPsWork/PersistentOrganicPollutantsPOPs/tabid/296/Default.aspx>
- UNEP (2014b). *Strategic Approach to International Chemicals Management*. Recuperado el 1 de diciembre de 2014, de United Nations Environmental Programme: http://www.saicm.org/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=474
- UNITAR (2010). *Guía de apoyo al Libro Moradodel SGA. Comprendiendoel Sistema Globalmente Armonizadode Clasificación y Etiquetadode Productos Químicos (SGA)*. Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones. Suiza. Junio de 2010.
- UNIVISIÓN. (7 de septiembre de 2012). Murieron seis de los 32 heridos por incendio de gasolinera en el este de Cuba. Obtenido de Univisión noticias: <http://noticias.univision.com/article/1247538/2012-09-07/america-latina/cuba/fallecen-seis-de-los-32-heridos-incendio-gasolinera-cuba>
- USDOT (2012). *Guía de respuesta en caso de emergencia 2012*. Departamento de Transporte de estados Unidos de Norteamérica.
- USDOT. (2014). *How to Comply with Federal Hazardous Materials Regulations*. Recuperado el 20 de enero de 2015, de United States Department of Transportation: <http://www.fmcsa.dot.gov/regulations/hazardous-materials/how-comply-federal-hazardous-materials-regulations>
- Vallero, D. (2003). *Engineering the Risks of Hazardous Wastes*. Oxford: Butterworth–Heinemann.
- Van der Kolk, J. 2. (2014). Import/Export of Hazardous Chemicals. Reference Module in Biomedical Sciences. En P. Wexler, *Encyclopedia of Toxicology* (3 ed., págs. 821–822). Amsterdam: Academic Press.
- Varady, R., Romero, P., Hankins, K. (2001). Managing hazardous materials along the US-México Border. *Environment*. 43(10). 22-36p.
- Vidal, P., García, J., & Romano, C. (2004). Metodología para la aplicación de la normativa para el transporte de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2003). *VIII Congreso de Ingeniería de Organización* (págs. 765-774). Leganés: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización.
- Winder, C., Azzi, R., Wagner, D. (2005). The development of the globally harmonized system (GHS) of classification and labelling of hazardous chemicals. *Journal of Hazardous Materials A125* (2005) 29–44.
- Vinnem, J. (2007). *Methodology for Quantified Risk Assessment en Offshore Risk Assessment Principles, Modelling and Applications of QRA Studies*. London: Springer .
- Watts, M., & Bohle, H. (1993). The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*, 17(1), 14-67.
- WHE (2014). Sedan Crater. World Heritage Encyclopedia. Obtenido de: <http://www.worldheritage.org/Find/sedan%20crater>
- Zhang, W., & Han, Y. (2013). Analysis of Leakage and Diffusion of Hazardous Chemicals Based on 3D Scene. *Advanced Materials Research*, 716, 482-484.

ANEXO 1.Características de las metodologías para la evaluación de riesgos (ISO, 2011).

Type of risk assessment technique	Description	Relevance of influencing factors			Can provide Quantitative output
		Resources and capability	Nature and degree of uncertainty	Complexity	
LOOK-UP METHODS					
Check-lists	A simple form of risk identification. A technique which provides a listing of typical uncertainties which need to be considered. Users refer to a previously developed list, codes or standards	Low	Low	Low	No
Preliminary hazard analysis	A simple inductive method of analysis whose objective is to identify the hazards and hazardous situations and events that can cause harm for a given activity, facility or system	Low	High	Medium	No
SUPPORTING METHODS					
Structured Interview and brainstorming	A means of collecting a broad set of ideas and evaluation, ranking them by a team. Brainstorming may be stimulated by prompts or by one-on-one and one-on-many interview techniques	Low	Low	Low	No
Delphi technique	A means of combining expert opinions that may support the source and influence identification, probability and consequence estimation and risk evaluation. It is a collaborative technique for building consensus among experts. Involving independent analysis and voting by experts	Medium	Medium	Medium	No
SWIFT Structured "what-if")	A system for prompting a team to identify risks. Normally used within a facilitated workshop. Normally linked to a risk analysis and evaluation technique	Medium	Medium	Any	No
Human reliability analysis (HRA)	Human reliability assessment (HRA) deals with the impact of humans on system performance and can be used to evaluate human error influences on the system	Medium	Medium	Medium	Yes
SCENARIO ANALYSIS					
Root cause analysis (single loss analysis)	A single loss that has occurred is analysed in order to understand contributory causes and how the system or process can be improved to avoid such future losses. The analysis shall consider what controls were in place at the time the loss occurred and how controls might be improved	Medium	Low	Medium	No

Fuente: ISO (2011).

Type of risk assessment technique	Description	Relevance of influencing factors			Can provide Quantitative output
		Resources and capability	Nature and degree of uncertainty	Complexity	
Scenario analysis	Possible future scenarios are identified through imagination or extrapolation from the present and different risks considered assuming each of these scenarios might occur. This can be done formally or informally qualitatively or quantitatively	Medium	High	Medium	No
Toxicological risk assessment	Hazards are identified and analysed and possible pathways by which a specified target might be exposed to the hazard are identified. Information on the level of exposure and the nature of harm caused by a given level of exposure are combined to give a measure of the probability that the specified harm will occur	High	High	Medium	Yes
Business impact analysis	Provides an analysis of how key disruption risks could affect an organization's operations and identifies and quantifies the capabilities that would be required to manage it	Medium	Medium	Medium	No
Fault tree analysis	A technique which starts with the undesired event (top event) and determines all the ways in which it could occur. These are displayed graphically in a logical tree diagram. Once the fault tree has been developed, consideration should be given to ways of reducing or eliminating potential causes / sources	High	High	Medium	Yes
Event tree analysis	Using inductive reasoning to translate probabilities of different initiating events into possible outcomes	Medium	Medium	Medium	Yes
Cause/ consequence analysis	A combination of fault and event tree analysis that allows inclusion of time delays. Both causes and consequences of an initiating event are considered	High	Medium	High	Yes
Cause-and-effect analysis	An effect can have a number of contributory factors which may be grouped into different categories. Contributory factors are identified often through brainstorming and displayed in a tree structure or fishbone diagram	Low	Low	Medium	No

Fuente: ISO (2011).

Example type of risk assessment method and technique	Description	Relevance of influencing factors			Quantitative output possible?
FUNCTION ANALYSIS					
FMEA and FMECA	<p>FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) is a technique which identifies failure modes and mechanisms, and their effects.</p> <p>There are several types of FMEA: Design (or product) FMEA which is used for components and products, System FMEA which is used for systems, Process FMEA which is used for manufacturing and assembly processes, Service FMEA and Software FMEA.</p> <p>FMEA may be followed by a criticality analysis which defines the significance of each failure mode, qualitatively, semi-qualitatively, or quantitatively (FMECA). The criticality analysis may be based on the probability that the failure mode will result in system failure, or the level of risk associated with the failure mode, or a risk priority number</p>	Medium	Medium	Medium	Yes
Reliability-centred maintenance	<p>A method to identify the policies that should be implemented to manage failures so as to efficiently and effectively achieve the required safety, availability and economy of operation for all types of equipment</p>	Medium	Medium	Medium	Yes
Sneak analysis (Sneak circuit analysis)	<p>A methodology for identifying design errors. A sneak condition is a latent hardware, software, or integrated condition that may cause an unwanted event to occur or may inhibit a desired event and is not caused by component failure. These conditions are characterized by their random nature and ability to escape detection during the most rigorous of standardized system tests. Sneak conditions can cause improper operation, loss of system availability, program delays, or even death or injury to personnel</p>	Medium	Medium	Medium	No
HAZOP Hazard and operability studies	<p>A general process of risk identification to define possible deviations from the expected or intended performance. It uses a guideword based system.</p> <p>The criticalities of the deviations are assessed</p>	Medium	High	High	No
HACCP Hazard analysis and critical control points	<p>A systematic, proactive, and preventive system for assuring product quality, reliability and safety of processes by measuring and monitoring specific characteristics which are required to be within defined limits</p>	Medium	Medium	Medium	No

Fuente: ISO (2011).

Example type of risk assessment method and technique	Description	Relevance of influencing factors			Quantitative output possible?
CONTROLS ASSESSMENT					
LOPA (Layers of protection analysis)	(May also be called barrier analysis). It allows controls and their effectiveness to be evaluated	Medium	Medium	Medium	Yes
Bow tie analysis	A simple diagrammatic way of describing and analysing the pathways of a risk from hazards to outcomes and reviewing controls. It can be considered to be a combination of the logic of a fault tree analysing the cause of an event (represented by the knot of a bow tie) and an event tree analysing the consequences	Medium	High	Medium	Yes
STATISTICAL METHODS					
Markov analysis	Markov analysis, sometimes called <i>State-space</i> analysis, is commonly used in the analysis of repairable complex systems that can exist in multiple states, including various degraded states	High	Low	High	Yes
Monte-Carlo analysis	Monte Carlo simulation is used to establish the aggregate variation in a system resulting from variations in the system, for a number of inputs, where each input has a defined distribution and the inputs are related to the output via defined relationships. The analysis can be used for a specific model where the interactions of the various inputs can be mathematically defined. The inputs can be based upon a variety of distribution types according to the nature of the uncertainty they are intended to represent. For risk assessment, triangular distributions or beta distributions are commonly used	High	Low	High	Yes
Bayesian analysis	A statistical procedure which utilizes prior distribution data to assess the probability of the result. Bayesian analysis depends upon the accuracy of the prior distribution to deduce an accurate result. Bayesian belief networks model cause-and-effect in a variety of domains by capturing probabilistic relationships of variable inputs to derive a result	High	Low	High	Yes

Fuente: ISO (2011).

		PRODUCTO		CANTIDAD	SI	NO	N/A	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES
								BIEN	MAL	N/A	
E001	VÁLVULAS DE CORTE RÁPIDO (SHUT-OFF) EN DISPENSARIOS	MAGNA									
		PREMIUM									
		DIESEL									
E002	VALVULA DE CORTE RÁPIDO EN MANGUERAS DE DISPENSARIOS	MAGNA									
		PREMIUM									
		DIESEL									
E003	SELLOS "EYS"	DISPENSARIOS	MAGNA								ESPACIO EN BLANCO
			PREMIUM								
			DIESEL								
	BOMBA SUMERGIBLE	MAGNA									
		PREMIUM									
		DIESEL									
TABLERO PRINCIPAL											
EN CAMBIO DE LIMITE DE AREAS CLASIFICADAS											
E004	CASAS DE CONEXIÓN A PRUEBA DE EXPLOSIÓN	BOMBAS									
		CUARTO DE MÁQUINAS									
		ÁREA DE DESPACHO									
E005	TUBERÍA CONDUIT INT. PARED GRUESA CRO.#0	BOMBAS									
		CUARTO DE MÁQUINAS									
		ÁREA DE DESPACHO									
E006	CORRE FLEXIBLE A PRUEBA DE EXPLOSIÓN	DISPENSARIOS									
		BOMBAS SUMERGIBLES									
E007	INTERRUPTOR ELÉCTRICO DE EMERGENCIA	UBICACIÓN		CANTIDAD	SI	NO	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES	
		ÁREA DE DESPACHO					BIEN	MAL	N/A		
		FACHADA DE OFICINA									
		INTERIOR DE OFICINA									
		ÁREA DE ALMACENAMIENTO									

SEÑALAMIENTOS		RESTRICTIVOS				PREVENTIVOS		CUMPLE		OBSERVACIONES	
		SR-1	SR-2	SR-3	SR-4	SP-1	SP-2	SI	NO		
E008	DISEÑO, TEXTO COLOR CORRECTOS	SI									
		NO									
	UBICACION CORRECTA	SI									
		NO									
CON SOPORTE	SI										
	NO										
E012	SISTEMA DE PRESIÓN POSITIVA	UBICACIÓN	TIPO	MARCA	MODELO	SERIE	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES	
							BIEN	MAL	N/A		
E009	TIERRA FISICA	CANTIDAD	CUMPLE		OBSERVACIONES						
			SI	NO							
	MOTORES										
	BOMBAS SUMERGIBLES										
	ESTRUCTURAS										
	CUERPO DISPENSARIOS										
	DESCARGA AUTOTANQUE										
GAB. METALICO TABLERO											
E010	EXTINTORES	UBICACIÓN	CANTIDAD	SI	NO	OBSERVACIONES					
		ÁREA DESP.	GASOLINA								
			DIESEL								
		ALMACENAMIENTO									
	OPCINAS										
E011	SEGUIMIENTO	CUMPLE		OBSERVACIONES							
		SI	NO								
	BITÁCORA DE OPERACIÓN Y/O MANTENIMIENTO										
E013	PROGRAMA INTERNO DE PROTECCIÓN CIVIL	No. OFICIO		FECHA OFICIO		AUTORIDAD QUE SANCIONA		OBSERVACIONES			

TANQUES (CLAVE TIPO TANQUE)	No.		ANTIGÜEDAD		TIPO	CAP. LITROS	PRODUCTO	LOCALIZADO				PRUEBA DE HERMETICIDAD		FECHA COMPR. CAMBIO	FECHA INSTA- LACIÓN	FABRICANTE O MARCA	MODELO	CUMPLE		OBSERVACIONES		
	AÑOS	MESES	RN	RC				S	SC	CIA	FECHA	SI	NO									
C001 A= ACERO A.P= ACERO / FIB. VID. RP= FIB. VID. FIB. VID. A.P.A= ACERO / POLIET. ALTA DENSIDAD A.A= ACERO / ACERO O.TROS FN= PESA NATURAL FC= PESA CONCRETO S= SUPERFICIAL SC= SUPERFICIAL CONFINADO																						
C024	CONECTORIS RÁPIDOS DE MANOBRAS DE DESCARGA		No.	TIPO	MARCA	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO																
C025	CODOS DE DESCARGA																					
C002	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE VAPORES EN TANQUES		VENTOSAS				TUBERÍAS DE TANQUES A DISP.		TAPA CIERRE HERMÉTICO		TIPO			VÁLVULA DE SOBRELLENADO		RECUPERACIÓN		ESPACIO EN BLANCO		OBSERVACIONES		
			AF	VVP	ALT. DIS. POS. BBO.	SI	NO	SI	NO	BAL.	ASS	N/A	SI	NO	2P	COMX	N/A					
			SI	NO	NA	SI	NO	NA	SI	NO												
C003	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE VAPORES EN DISPENSARIOS		TUBERÍAS		MANOBRAS		PESTOLAS		B. VACIO		SHUT-OFF		ESPACIO EN BLANCO		OBSERVACIONES							
			SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO										
C023	ALARMA DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN VAPORES		No.	DISPENSARIOS			TANQUES			ESPACIO EN BLANCO		OBSERVACIONES										
			BREN	MAL	NA	BREN	MAL	NA														
C004	TUBERÍAS		No.	PRODUCTO		ACERO SENC.		DOBLE		ANTIGÜEDAD		PRUEBAS HERMETICIDAD		FECHA COMPR. CAMBIO	FECHA INSTA-LACIÓN	FABRICANTE O MARCA	CUMPLE					

		SUBDIRECCIÓN COMERCIAL GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES					ECOLOGÍA 5 de 12				
		Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento					FECHA _____ ED _____ ()				
C005	DETECCIÓN DE FUGAS, SISTEMA DE PRESIÓN A LA DESCARGA DE LA BOMBA	SI	NO	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO BIEN MAL N/A			OBSERVACIONES				
		ESPACIO EN BLANCO									
C006	POZOS DE OBSERVACIÓN Y MONITOREO										
C007	SISTEMA DE MONITOREO EN ESPACIO ANULAR										
C008	SISTEMA DE MEDICIÓN										
C009	POZO DE ABSORCIÓN			ESPACIO EN BLANCO							
C010	ARENERO Y TRAMPA DE GRASAS										
C018	FOSA SÉPTICA PARA DRENAJE SANITARIO										
C011	SISTEMA DE RECICLADO DE AGUA										
C012	CONTENEDORES EN BOMBA SUMERGIBLE Y ACCESORIOS										
C019	CONTENEDORES EN DISPENSARIOS										
C020	SENSORES										
C013	REGISTROS CON ARENA EN BOMBAS SUMERGIBLES										
C021	REGISTROS CON ARENA EN DISPENSARIOS										
C014	DRENAJE ACEITOSO CON REGISTROS	A. DESPACHO		A. ALMACENAMIENTO		OBSERVACIONES					
		SI	NO	SI	NO						
C015	TRAMPA DE COMBUSTIBLES	SI	NO	OBSERVACIONES							
C016	CERTIFICADO DE LIMPIEZA ECOLÓGICA	No.:	FECHA:	No.:	FECHA:	No.:	FECHA:	No.:	FECHA:	SI	NO
	NOMBRE DE LA EMPRESA										
C017	MANIFIESTO MANEJO Y DISP. RESIDUOS	No.:	FECHA:	No.:	FECHA:	No.:	FECHA:	No.:	FECHA:	SI	NO
	NOMBRE DE LA EMPRESA										
C022	FECHA ÚLTIMO DRENADO DE TANQUES	FECHA:					OBSERVACIONES:				

 SUBDIRECCIÓN COMERCIAL GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento														IMAGEN 6 de 12				
														FECHA _____ ED _____ ()				
M001	<i>FALDÓN PERIMETRAL Y GABINETE EN ZONA DIESEL</i>	TECH. No.	LONA AHULADA	ACRILICO	MATERIAL OPACO		LOGOTIPO	ESTADO		ILUMINACIÓN		CUMPLE		OBSERVACIONES				
					LAMINA	LAMINA DE ALUMINIO	No. CARAS	B	M	BIEN	MAL	SI	NO					
M002	<i>ANUNCIO INDEPENDIENTE</i>	ESTADO		ILUMINACIÓN		TABLETAS			CUMPLE		OBSERVACIONES:							
		B	M	BIEN	MAL	PEMEX GASOLINA	PEMEX FSD/M	PEMEX DIESEL	No. E.S.	SI		NO						
M003	<i>PUBLICIDAD EN AREAS DE DESPACHO, Y/O ANUNCIO INDEPENDIENTE DE ACUERDO A ESPECIFICACIONES</i>	SI	NO	OBSERVACIONES:														
M009	<i>MEDIOS PUBLICITARIOS EN DISPENSARIOS Y/O BARDAS DE ACUERDO A ESPECIFICACIONES</i>	SI	NO	TIPO DE MEDIOS	COMPANIA DE MEDIOS PUBLICITARIOS	UBICACIÓN FISICA DE LOS MEDIOS	No. DE MEDIOS PUBLICITARIOS INSTALADOS	No. DE MEDIOS PUBLICITARIOS EN OPERACIÓN	MEDIOS PUBLICITARIOS EN LUGARES AUTORIZADOS		DIMENSIONES AUTORIZADOS DE LOS MEDIOS PUBLICITARIOS		ESTADO FISICO DE LOS MEDIOS PUBLICITARIOS		DOCUMENTACIÓN DE AUTORIZACIÓN COMPLETA	CUMPLE		
										B	M	B	M	B	M		SI	NO
		OBSERVACIONES:																
M004	<i>VENTA DE PRODUCTOS EN AREAS DE DESPACHO DE ACUERDO A ESPECIFICACIONES</i>	SI	NO	OBSERVACIONES:														
M005	<i>PINTURA</i>	ZONA		ESTADO		CUMPLE		OBSERVACIONES:										
				B	M	SI	NO											
		MODULOS DE GASOLINA						OBSERVACIONES:										
		MODULOS DE DIESEL																
		PATIOS																
		ALMACENAMIENTO																
OFICINAS																		

CLAVE		S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	CUMPLE		OBSERVACIONES
		1	2	3	4	5	6	7	8	SI	NO		
M006	SEÑALAMIENTOS INFORMATIVOS	UBICACIÓN ADECUADA	SI										
			NO										
		DISEÑO COLOR TEXTO DIMENSIÓN	BIEN										
MAL													
M007	ÁREAS VERDES	TIPO	ADECUADA		CUMPLE		OBSERVACIONES						
			SI	NO	SI	NO							
		PASTO											
		PLANTA											
		ÁRBOL											
		JARDINERA											
M008	ILUMINACIÓN (CLAVE DE ILUMINACIÓN) M.M. - MALLAS METÁLICAS A.M. - ADITIVO METÁLICO F.M. - FAVOR DE MERCURIO P. - FLUORESCENTE I. - INCANDESCENTE R. - HALÓGENO O. - OTRO (ESPECIFICAR)	ZONA	TIPO	CUMPLE		PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES				
SI				NO	BIEN	MAL	N/A						
GASOLINAS													
DIESEL													
ALMACENAMIENTO													
PANTOS													
OFICINAS													
SANTARIOS													
CUARTO DE MÁQUINAS													
NEGOCIOS COMPLEMENTARIOS													

 PEMEX REFINACIÓN		SUBDIRECCIÓN COMERCIAL GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES										SERVICIO 8 de 12		
		Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento												
		FECHA _____ EO _____ ()												
V001	SUMINISTRO	ZONA GASOLINAS			ZONA DIESEL			ZONA ESPECIFICA			PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES
		No	Buena	Mala	No	Buena	Mala	No	Buena	Mala	BIEN	MAL	NA	
	AGUA													
	AIRE													
V010	COMPRESOR DE AIRE	CANTIDAD	UBICACIÓN	MARCA	MÓDULO	No. SERIE	TIPO	CAPACIDAD ALMACENAMIENTO	MOTOR HP	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES	
V012	SISTEMA HIDRONEUMÁTICO									BIEN	MAL	NA		
V002	EXHIBIDOR DE ACEITE COMPLETO	ZONA GASOLINAS			ZONA DIESEL			ZONA ESPECIFICA			OBSERVACIONES			
		No	Buena	Mala	No	Buena	Mala	No	Buena	Mala				
V003	UNIFORMES Y CALZADO	COMPLETO		DE ALGODÓN		CALZADO		LIMPIOS		ESTADO		OBSERVACIONES		
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO			
	TIEMPO PROMEDIO DE ATENCIÓN POR VEHICULO	MINUTOS												
V004	PROGRAMA DE ATENCIÓN AL PÚBLICO (NOTA, LIMPIEZA PARQUEADAS, SERVICIOS AUXILIARES, ETC.)	SI	NO											
V005	PISOS	TIPO		BUENO	MALO	OBSERVACIONES								
	ZONA DE DESPACHO													
	ZONA DE TANQUES													
	CIRCULACIÓN													
	ACCESOS													
V006	LIMPIEZA	BUENA	MALA	OBSERVACIONES										
	ÁREA DE DESPACHO													
	DISPENSARIOS													
	CIRCULACIÓN													
	ALMACENAMIENTO													
	FACHADA EDIFICIO													
	BARDA COLINDANCIAS													

		SUBDIRECCIÓN COMERCIAL GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES										SERVICIO 9 de 12										
		Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento																				
SANITARIOS		HOMBRES		MUJERES		EMPLEADOS		PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES											
		COMPL.	LIMPIO	COMPL.	LIMPIO	COMPL.	LIMPIO	BIEN	MAL	N/A												
V007	MUEBLES																					
	ACCESORIOS																					
	RECUBRIMIENTOS							ESPACIO EN BLANCO														
	MATERIALES DE CONSUMO																					
V008	AMBULANTAJE ESTACION DE SERVICIO																					
DEPÓSITO No	PRODUCTO								SD*	CR**	ANTIGÜEDAD		FECHA DE INSTALACION	MARCA	MODELO	No. DE SERIE	ESTADO	FILTRO	CALCOMANÍAS			ACRILICO
	4		2		1		AÑOS	MESES			BM	BM							PEMEX MACNA	PEMEX PREMIUM	PEMEX DIESEL	
	PM	MM	MM	MD	DD	M																
V009																						
V011	DEPÓSITO No	VALVULA DE DIAFRAGMA ACTUADA POR SOLENOIDE ESTADO			PISTOLAS DE DESPACHO ESTADO			PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO			OBSERVACIONES											
V013		BUENO	MALO	N/A	BUENO	MALO	N/A	BIEN	MAL	N/A												

 PEMEX REFINACIÓN	<i>SUBDIRECCIÓN COMERCIAL</i> <i>GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL</i> <i>SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES</i> Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento	GENERALES 10 de 12
<i>FECHA</i> _____ <i>Ed</i> _____ ()		
(G021) Croquis de la Estación de Servicio		



PEMEX
REFINACIÓN

*SUBDIRECCIÓN COMERCIAL
GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL
SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES*

GENERALES
11 de 12

Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento

G022 MEDIO DE PAGO.

Indicar los medios de pago utilizados:
 Contado () Crédito propio () Tarjeta de crédito () Tarjeta de débito () Vale electrónico () Monedero electrónico () Otro () Especificar _____
 Si cuenta con tarjeta bancaria, indicar lo siguiente: Operador del medio de pago: _____ Banco emisor: _____
 Indicar si tiene tarjeta propia: SI () NO () Indique el nombre: _____
 Cuenta con terminal de pago electrónico: SI () NO ()
 Se localiza dentro del área de despacho: SI () NO ()
 En que parte del módulo de abastecimiento se encuentra: En los dispensarios () Fijo en pedestal () Portátil ()
 Cuántas terminales tiene: _____ Cuántos módulos de abastecimiento tiene: _____

G023 SISTEMA DE CONTROL VOLUMÉTRICO.

Fecha de instalación	Desarrollador	Nombre del sistema	Se encuentra funcionando	Sistema operativo
			SI () NO ()	

Conexión al sistema de medición: () Cable serial () Cable estructurado
Conexión con los dispensarios: () Cable serial () Cable estructurado
Conexión con las impresoras de comprobantes fiscales: () Cable serial () Cable estructurado () Inalámbrico.
 Cuenta con alarma visual de acceso a la Unidad de Control: SI () NO ()
 La alarma registra los intentos de acceso ilegal: SI () NO ()
 Cuenta con conexiones USB 2.0: SI () NO ()
 Versión _____
 Que base de datos relacional utiliza: No tiene () Microsoft Access () MySQL () Microsoft SQL () Foxpro () Oracle () Informix () DB2 () Pervasive SQL ()
 Sybase () ADABAS () IDMS () Otro () especifique _____ Indique la versión: _____

Internet
 ¿La Estación de Servicio cuenta con el servicio de Internet? SI () NO ()
 De ser afirmativa la respuesta, indicar lo siguiente:
 Proveedor del servicio: _____
 Tipo de conexión: () telefónica () ADSL () Celular () Satelital
 Velocidad de conexión: _____ Kbps

Impresoras de tickets de control volumétrico
 Cuenta con impresora de control volumétrico: SI () NO ()
 Se localiza dentro del área de despacho: SI () NO ()
 En que parte del módulo de abastecimiento se encuentra: En los dispensarios () Fijo en pedestal () Portátil ()
 Cuántas impresoras tiene: _____

		SUBDIRECCIÓN COMERCIAL GERENCIA DE COORDINACIÓN COMERCIAL SUBGERENCIA DE SERVICIO TÉCNICO A CLIENTES			GENERALES 12 de 12
Reporte de Visita Comercial de Supervisión Técnica de Mantenimiento					
FECHA _____ E0 _____ ()					
G024 SERVICIOS COMPLEMENTARIOS					
No.	Servicio Complementario	Marca o Nombre Comercial	Método de Operación P= Propio C= Renta CC= Contrato Comercial (senale ingreso)	Forma de Operación A= Autoservicio D = Con dependientes O = Otros	Superficie (M ²)
1	Áreas de descanso				
2	Artesanías				
3	Banco				
4	Cajero Automático				
5	Cambio de Aceite				
6	Comida Rápida				
7	Correo				
8	Corresponsalia Bancaria				
9	Farmacia				
10	Hielo/Agua				
11	Hotel				
12	Lavado de Autos				
13	Lavandería/Tintorería				
14	Llantas (talachas)				
15	Máquina Refrescos/Botanas				
16	Mensajería / Paquetería				
17	Pago de Servicio				
18	Prótesis				
19	Refacciones				
20	Regaderas				
21	Restaurante				
22	Servicio de Internet				
23	Taller Mecánico				
24	Venta de Teléfonos y accesorios				
25	Teléfono Público				
26	Tienda de conveniencia				
27	Transferencia de dinero				
28	Venta de boletos				
29	Otros (Especificar)				

ANEXO 3. HAZOP ESTACIÓN DE SERVICIO.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Flujo

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Flujo	Falla en el sistema de recarga desde el autotanque	HUM, EQP, EXT	Derrame de gasolina en el área de recarga de combustible, con el riesgo de incendio, debido a la sobrepresión en la línea de conducción.	OPE, AMB, PER	3	1	4	Medidor de flujo en el autotanque.	<ul style="list-style-type: none"> Supervisar las actividades del personal que realiza la recarga del tanque de gasolina.
Menos	Flujo	Avería en el sistema de bombeo desde el autotanque	EQP, PRV, EXT	El llenado del autotanque toma más tiempo del programado	OPE	4	2	6	Medidor de flujo en el autotanque.	<ul style="list-style-type: none"> Verificar las condiciones de operación de la compañía que realiza la recarga al tanque de almacenamiento.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Flujo

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Flujo	Falla en el sistema de bombeo o de transporte de la gasolina desde el autotanque.	EXT, EQP, PRV	No se realiza la recarga del combustible al autotanque, lo que origina pérdidas en la producción.	OPE	4	2	6	Medidor de flujo en el autotanque.	<ul style="list-style-type: none"> Realizar la supervisión de la empresa que realiza la recarga del tanque de gasolina.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Hermeticidad

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Hermeticidad	Falla en la instalación del sistema de recarga de combustible	HUM, EQP	Derrame de combustible.	OPE, AMB, PER	3	2	5	Capacitación y experiencia del personal encargado de la recarga al tanque.	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisar al personal que realiza la recarga al tanque para almacenamiento . • Realizar la capacitación anual al personal que labora en la empresa encargado de supervisar la recarga del tanque .
		Falla en los materiales de la tubería que conduce el combustible	EQP	Derrame de combustible.	OPE, AMB, PER	2	1	3	Válvulas de emergencia y cierre en el auto tanque.	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el buen estado de los dispositivos de seguridad en el auto tanque que brindan servicio a la empresa.
		Arranque de la pipa mientras se realiza la recarga del combustible.	HUM, EQP, EXT	Ruptura de las tuberías de conducción del combustible.	OPE, AMB, PER	2	2	4	Válvulas de emergencia y cierre en el auto tanque. Procedimiento para la realización de recarga en el tanque de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar la capacitación anual al personal que labora en la empresa encargado de supervisar la recarga del tanque.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Hermeticidad

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Hermeticidad	Ruptura de la tubería que alimenta al tanque de almacenamiento.	HUM, EQP	Derrame de combustible en el área de almacenamiento.	OPE, AMB,PER	2	2	4	Charola para contención de derrames en el área de almacenamiento de gasolina.	<ul style="list-style-type: none"> Pruebas destructivas que garantizan la hermeticidad de las tuberías en el sistema de recarga del tanque para gasolina.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Tierras físicas

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Tierras Físicas	Falla en la instalación del Sistema de Tierras Físicas del autotanque al realizar la recarga del tanque de almacenamiento	HUM	Energía estática que puede ocasionar una chispa durante la recarga al tanque de almacenamiento.	AMB,PER	3	2	5	Capacitación y experiencia del personal encargado de la recarga al auto tanque.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar la verificación anual del sistema de tierras físicas para comprobar que se encuentra operando en forma óptima. • Realizar la capacitación anual al personal que labora en la empresa encargado de supervisar la recarga del tanque.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Nivel.

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Nivel	El operador que realiza la recarga al tanque de almacenamiento no se percata del nivel del tanque y continúa descargando el combustible.	HUM	Derrame del combustible e incendio si existe una fuente de ignición cercana.	AMB,PER	3	2	5	<p>Capacitación y experiencia del personal encargado de la recarga al auto tanque.</p> <p>Procedimiento de recarga al tanque para almacenamiento de gasolina en el que se menciona no rebasar el nivel de 80% del combustible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Indicar en la zona de recarga al tanque de almacenamiento de gasolina, la prohibición de fumar y realizar trabajos en caliente para evitar fuentes de ignición.

Nodo/Paso: 1.- SISTEMA DE RECARGA DEL TANQUE.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Corrosión

Intención: RECARGA DE COMBUSTIBLE AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Corrosión	Presencia de corrosión en las tuberías y accesorios para recarga de combustible.	EQP	Potencial de sobrepresión en la línea de llenado, causando la ruptura de la misma. Potencial de derrame e incendio.	AMB, PER. OPE	3	2	5	Programas de mantenimiento preventivo a líneas de alimentación y accesorios del tanque de almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo de la empresa.

Nodo/Paso: 2.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Venteo

Intención: ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Venteo	Falla en el sistema de venteo del tanque de almacenamiento.	EQP	Potencial de sobrepresión en el tanque de almacenamiento, debido a la falta de venteo en el tanque, en caso de sobrellenado o aumento en la temperatura del tanque.	AMB,PER	3	3	6	Sistema de venteo atmosférico del tanque de almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> Supervisar periódicamente el funcionamiento del sistema de venteo del tanque de gasolina.

Nodo/Paso: 2.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Corrosión

Intención: ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Corrosión	Corrosión interna del tanque por condiciones del medio ambiente y humedad, así como erosión interna por condiciones normales de operación	EQP	Desgaste del cuerpo del tanque, pudiendo existir una ruptura con fuga del material.	AMB,PER. OPE	3	2	5	<p>Garantía del fabricante del tanque contra corrosión.</p> <p>Pruebas de ultrasonido y líquidos penetrantes para garantizar la hermeticidad de las soldaduras.</p> <p>Sensor detector de fugas y detector mecánico de fugas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Realizar la prueba de hermeticidad del tanque. Incluir el sistema de detección de fugas en el programa de mantenimiento preventivo de la empresa.

Nodo/Paso: 2.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Nivel

Intención: ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Nivel	Sobrellenado del tanque de almacenamiento	HUM	Cualquier aumento en la temperatura origina una sobrepresión en el tanque debido a que los gases no tienen espacio para la expansión.	AMB,PER	3	2	5	Medidor de nivel en el tanque.	<ul style="list-style-type: none"> Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo que incluye al medidor de nivel del tanque para almacenamiento de gasolina.
Menos	Nivel	Falla en el sistema de medición del nivel de llenado del tanque de almacenamiento.	EQP	Falla en el suministro de gasolina a la estación de autoabasto de combustible.	AMB,PER	4	1	5	Medidor de nivel en el tanque.	<ul style="list-style-type: none"> Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo que incluye al medidor de nivel del tanque para almacenamiento de gasolina. Dar seguimiento a los procedimientos para respuesta ante emergencias.

Nodo/Paso: 2.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Temperatura

Intención: ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Mas	Temperatura	Factores meteorológicos o realización de trabajos en caliente en los alrededores del tanque para almacenamiento de gasolina.	HUM, EXT	Potencial de sobrepresión por acumulación de vapores volátiles en el interior del tanque, provocando la ruptura y explosión del mismo. Causando fallas en el suministro de gasolina al generador de energía eléctrica.	AMB,PER, OPE	1	2	3	Sistema de venteo del tanque para evitar sobrepresión del mismo.	<ul style="list-style-type: none"> Señalización del área de almacenamiento de gasolina y procedimiento que impida la realización de actividades que involucren fumar, soldar, calentar, etc., cerca del tanque de almacenamiento.

Nodo/Paso: 2.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINA.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Hermeticidad

Intención: ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Hermeticidad	Falla en la hermeticidad del tanque para almacenamiento de gasolina, debido a la falta de mantenimiento o accidentes que ocasionen golpes y ruptura en el tanque.	HUM, EXT	Derrame de gasolina y potencial de incendio en contacto con una fuente de ignición.	AMB,PER, OPE	2	2	4	Charola para contención de derrames. Pruebas de ultrasonido y líquidos penetrantes para garantizar la hermeticidad de las soldaduras.	<ul style="list-style-type: none"> Realizar pruebas no destructivas para verificar la hermeticidad del tanque de almacenamiento. Supervisar las tareas que se realizan en las áreas aledañas al tanque de almacenamiento para evitar accidentes.

Nodo/Paso: 3.- SISTEMA DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Presión.

Intención: TRANSPORTE DE GASOLINA HASTA LOS DISPENSARIOS.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Presión	Falla en la bomba de descarga hacia las tuberías del producto, generando una sobrepresión del combustible.	EQP	Ruptura de las líneas de conducción del combustible del tanque de almacenamiento al generador.	AMB,PER	3	2	5	Tubería de conducción de doble pared. Sistema de detección automático de fugas. Programa de mantenimiento preventivo de la empresa, que incluye al sistema de bombeo de gasolina.	<ul style="list-style-type: none"> Brindar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo.
Menos	Presión	Falla en la bomba sumergible hacia las tuberías del producto, generando una menor presión en las tuberías de conducción.	EQP	Falta de suministro de gasolina a los dispensarios.	OPE	4	3	7	Programa de mantenimiento preventivo de la empresa, que incluye al sistema de bombeo.	<ul style="list-style-type: none"> Brindar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo.

Nodo/Paso: 3.- SISTEMA DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Corrosión.

Intención: TRANSPORTE DE GASOLINA HASTA LOS DISPENSARIOS.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
Más	Corrosión	Defectos de fabricación y humedad que debilitan la estructura de la tubería.	EQP	Falla en el sistema de conducción del combustible que ocasiona la fuga de la pared interna de conducción.	AMB,PER	3	2	5	<p>Tubería de conducción de doble pared.</p> <p>Sistema de detección automático de fugas.</p> <p>Garantía del fabricante contra corrosión y defectos de fábrica de la tubería.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Realización de pruebas que garanticen la hermeticidad de las tuberías para conducción.

Nodo/Paso: 3.- SISTEMA DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Hermeticidad

Intención: TRANSPORTE DE GASOLINA HASTA LOS DISPENSARIOS.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Hermeticidad	Golpes a la tubería de conducción o debilitamiento de las paredes de la misma debido a la falta de mantenimiento.	EQP, HUM	Derrame de gasolina con el potencial de incendio en contacto con una fuente de ignición.	OPE	3	1	4	<p>Tubería de conducción de doble pared.</p> <p>Sistema de detección automático de fugas.</p> <p>Programa de mantenimiento preventivo de la empresa, que incluye a las tuberías para gasolina.</p> <p>Sistema electrónico de alarma de bajo nivel en el generador de energía eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo. • Realizar pruebas de hermeticidad de tuberías mediante pruebas no destructivas.

Nodo/Paso: 4.- SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO DE GASOLINA A LAS UNIDADES AUTOMOTRICES.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Hermeticidad

Intención: ABASTO DE COMBUSTIBLE A LOS VEHICULOS.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Hermeticidad	Arranque del automóvil mientras se realiza la carga del producto.	EQP, HUM	Ruptura de las mangueras de recarga del combustible que ocasiona el derrame del mismo.	AMB,PER	2	1	3	Válvulas de corte para retener el producto.	<ul style="list-style-type: none"> Pedir la garantía al proveedor y verificar la correcta instalación de las válvulas de corte en las tuberías flexibles de venta de combustible.
		El operador acciona la pistola de despacho sin que se encuentre en la entrada del tanque de gasolina del autotransporte.	HUM	Derrame de combustible en el área de los dispensarios.	AMB,PER	3	1	4	Charola para contención de derrames en el dispensador de gasolina.	<ul style="list-style-type: none"> Capacitar al personal en el procedimiento para recarga del combustible a las unidades de autotransporte.
		El operador recarga combustible en recipientes portátiles	HUM	Derrame de gasolina en el área de los dispensarios.	AMB,PER	4	1	5	Charola para contención de derrames en el dispensador de gasolina.	<ul style="list-style-type: none"> Capacitar al personal en el procedimiento para recarga del combustible a las unidades de autotransporte, donde se incluye la prohibición de recargar combustible en recipientes portátiles.

Nodo/Paso: 4.- SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO DE GASOLINA A LAS UNIDADES AUTOMOTRICES.

Dibujo: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO.

Parámetro: Hermeticidad

Intención: ABASTO DE COMBUSTIBLE A LOS VEHICULOS.

Guía	Desviación	Causa	Categoría	Consecuencia	Categoría	S	F	R	Salvaguarda	Recomendación
No	Flujo	Avería en el sistema de descarga del autotanque.	EQP	No se puede realizar la recarga de combustible a las unidades automotrices, lo que ocasiona retrasos y pérdidas en la productividad.	OPE	4	1	5	Medidor de flujo en el dispensario de gasolina.	Aplicar en forma continua el programa de mantenimiento preventivo de la empresa, que incluye el sistema de bombeo a los dispensarios.
Más	Flujo	Falla en el sistema de descarga de gasolina.	EQP	Derrame de gasolina en el área de, con el riesgo de incendio, debido a la sobrepresión en la línea de conducción. Afectación al suelo del sitio donde se realiza la recarga al tanque de almacenamiento.	AMB,PER	3	1	4	Paro de emergencia.	Realizar la aplicación del programa de mantenimiento preventivo de la empresa, que incluye el sistema de bombeo a los dispensarios.
Menos	Flujo	Falla en el sistema de bombeo de los dispensarios de gasolina	EQP	La recarga a los autotanques no se realiza en forma eficiente.	OPE	4	1	5	Medidor de flujo en el dispensario de gasolina.	Aplicar en forma continua el programa de mantenimiento preventivo de la empresa, que incluye el sistema de bombeo a los dispensarios.

SIGNIFICADO DE LAS ABREVIATURAS:

CATEGORÍAS DE CAUSAS.	CATEGORÍA DE CONSECUENCIA
<p>HUM: ERROR O FACTOR HUMANO</p> <p>EQP= FALLA DEL EQUIPO.</p> <p>EXT= EVENTO EXTERNO.</p> <p>DIS= DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.</p> <p>FSA= FALLA DE SALVAGUARDA.</p> <p>PRV= EVENTO PREVIO.</p>	<p>AMB= AFECTACIÓN AL AMBIENTE</p> <p>PER= AFECTACIÓN AL PERSONAL</p> <p>PRP= AFECTACIÓN A LA PROPIEDAD.</p> <p>OPE= ASUNTO OPERATIVO SOLAMENTE.</p>

PARA CADA SITUACIÓN SE ASIGNA UN VALOR NUMÉRICO DEL 0 AL 4 PARA LA SEVERIDAD Y LA FRECUENCIA DE LAS CONSECUENCIAS SIGUIENDO LOS CRITERIOS QUE APARECEN A CONTINUACIÓN:

SEVERIDAD (S)	FRECUENCIA(F)
0.- CATASTRÓFICO	0.- UNA VEZ AL MES
1.- SEVERO	1.- UNA VEZ AL AÑO
2.- MAYOR	2.- UNA VEZ CADA 10 AÑOS
3.- APRECIABLE	3.- UNA VEZ CADA 100 AÑOS
4.- MENOR	4.- UNA VEZ CADA 1000 AÑOS