

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**FORTALECIMIENTO DE LA SEGURIDAD
EN EL TRANSPORTE TERRESTRE DE
MATERIALES PELIGROSOS**

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el TÍTULO de
Maestría en Sustentabilidad

Presenta:

Antonio Plascencia Encinas

1942

Directora de Tesis:

Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez

Hermosillo, Sonora

Abril 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

Se diseñó un instrumento que proporciona un indicador integral del riesgo (IIR) enfocado a diagnosticar y describir el riesgo de empresas transportistas de materiales peligrosos ante una emergencia en términos de peligros, debilidades y capacidades para prevenir, atender y recuperarse de una emergencia. El instrumento fue construido adaptando dos herramientas de evaluación de riesgos (THIRA y APRN), de fallas y efectos (AMEF) y considerando el marco regulatorio mexicano correspondiente. El instrumento fue utilizado para evaluar tres empresas transportistas de materiales peligrosos para obtener: 1) IIR (inicial), 2) un plan de mejora para reducir sus riesgos, 3) IIR (final) después de la implementación del plan de mejora. El IIR inicial de las empresas resultó en valores de medio a bajo (39 - 45 %) e identificó áreas de oportunidad principalmente en el contexto de las amenazas y peligros, también evidenció su compromiso en el cumplimiento normativo obligatorio correspondiente. Las oportunidades identificadas en la evaluación inicial para disminuir el IIR fueron atendidas según el plan de mejora de cada empresa logrando reducir su IIR a valores bajos (2 - 5 %). Es importante fortalecer la seguridad del transporte de materiales peligrosos mediante herramientas de apoyo para las empresas enfocadas a la prevención y atención a emergencias químicas atendiendo el marco regulatorio, pero también con prácticas que permitan disminuir los riesgos, recuperarse de una contingencia y reducir los efectos adversos a la salud de la población, al ambiente y a la economía en contribución al desarrollo sustentable.

ABSTRACT

In this work, an instrument was designed and validated to obtain an integral risk indicator (IIR) focused on diagnosing and describing the risk of hazardous materials transport companies in an emergency in terms of hazards, weaknesses and capacities to prevent, attend and recover. from an emergency. The instrument was built by adapting two risk assessment tools (THIRA and APRN) of failures and effects (FMEA) and considering the corresponding Mexican regulatory framework. The instrument was used to evaluate three hazardous materials transport companies to obtain: 1) IIR (initial), 2) an improvement plan to reduce their risks, 3) IIR (final) after the implementation of the improvement plan. The initial IIR of the companies was found in medium to low values (39 - 45%) and identified areas of opportunity mainly in the context of threats and dangers, it also evidenced their commitment to the corresponding mandatory regulatory compliance. The opportunities identified in the initial evaluation to reduce the IIR were addressed according to the improvement plan of each company, achieving to reduce its IIR to low values (2 - 5%). It is important to strengthen the safety of the transport of hazardous materials through support tools for companies focused on the prevention and attention to chemical emergencies, taking into account the regulatory framework but also with practices that will reduce risks, recover from a contingency and reduce adverse effects to the health of the population, the environment and the economy as a contribution to sustainable development.

INDICE

Índice de contenido.

Índice de tablas	9
Índice de figuras	9
Índice de Anexos	9
I. Introducción	10
II. Objetivo estratégico	12
III. Objetivos específicos	12
IV. Análisis literario	13
4.1 Emergencias durante el transporte de materiales peligrosos y el riesgo a la sustentabilidad.....	13
4.2 Emergencias durante el transporte de materiales peligrosos y la importancia de su atención	14
4.3 Herramientas de prevención, resiliencia y actuación, para las emergencias durante el transporte de materiales peligrosos	16
4.4 Situación actual en la seguridad del transporte de materiales peligrosos en México y Sonora	18
4.5 Participación del gobierno, sociedad y sector privado en la seguridad del transporte de materiales peligrosos	20
V. Metodología	23
5.1 Tipo de estudio.....	23
5.2 Diseño metodológico.....	23
5.3 Alcance.....	24
5.4 Pregunta de investigación.....	24
5.5 Objeto y selección del estudio.....	25
5.6 Selección y tamaño de la muestra.....	25
5.7 Instrumento de recolección y manejo de datos.....	25

VI. Resultados	26
6.1 Desarrollo del instrumento de diagnóstico integral del riesgo	26
6.1.1 Integración de las herramientas y validación con expertos	26
6.1.2 Estructura, definición y cálculo del IIR	28
6.1.3 Integración de las herramientas y validación con expertos	31
6.1.4 Diseño del plan de fortalecimiento	32
6.2 Diagnóstico del riesgo de las tres empresas ante una emergencia	35
6.3 Plan de fortalecimiento para la prevención y las capacidades	38
6.4 Validación del plan de fortalecimiento	40
VII. Discusión	43
VIII. Conclusiones	47
IX. Recomendaciones	48
X. Referencias	49
XI. Anexos	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Mejoras realizadas al instrumento por la validación de expertos.....	27
Tabla 2. Estructura del instrumento integral del riesgo.....	29
Tabla 3. Subindicador del peligro y su estructura: identificación de amenazas y peligros (Tema).....	30
Tabla 4. Evaluación de cumplimiento individual por tema.....	32
Tabla 5. Formato de metodología AMEF para plan de fortalecimiento.....	33
Tabla 6. Plantilla general para el plan de fortalecimiento.....	34
Tabla 7. Resultado de la aplicación del diagnóstico del subindicador del peligro para las tres empresas.....	35
Tabla 8. Resultado de la aplicación del diagnóstico del subindicador de las debilidades para las tres empresas.....	35
Tabla 9. Resultado de la aplicación del diagnóstico del subindicador de las capacidades para las tres empresas.....	36
Tabla 10. Plan de fortalecimiento para Empresa 1.....	39
Tabla 11. Plan de fortalecimiento para Empresa 2.....	39
Tabla 12. Plan de fortalecimiento para Empresa 3.....	40
Tabla 13. Resultado final del plan de fortalecimiento.....	42

Índice de Figuras

Figura 1. Contenido del instrumento diseñado.....	27
Figura 2. Fórmula para el indicador integral del riesgo	30
Figura 3. Categoría del semáforo del riesgo.....	31
Figura 4. Porcentaje del indicador integral del riesgo de las empresas y su categorización de riesgo.....	36
Figura 5. Cumplimiento individual de los temas evaluados en el diagnóstico del riesgo..	38
Figura 6. Resultado de validación para las tres empresas.....	41
Figura 7. Resultados de cumplimiento individual.....	41

Índice de Anexos

Anexo 1. Plan de fortalecimiento de la Empresa 1	54
Anexo 2. Plan de fortalecimiento de la Empresa 2	59
Anexo 3. Plan de fortalecimiento de la Empresa 3	64

I. INTRODUCCIÓN

El transporte de materiales es una actividad esencial en la cadena de suministros para la producción de bienes e insumos que conlleva a que en las carreteras de las diferentes regiones del mundo a diario circulen vehículos que prestan este servicio. Por otro lado, el uso de materiales en la industria y servicios muestra una tendencia hacia el incremento demandada por una cada vez más creciente población (Heo et al. 2018; Turnbull 2015). Los accidentes durante el transporte terrestre de materiales peligrosos son eventos que pueden tener graves consecuencias (Bruglieri et al. 2014); nueve de cada diez muertes relacionadas con ellos ocurren durante el tránsito de estos insumos (Toumazis & Kwon 2013). Varios reportes dan cuenta de estadísticas y daños provenientes de este tipo de accidentes en el mundo (Bula et al. 2019; Chilcott et al. 2018; Cuneo et al. 2018; Ebrahimi & Milos 2018; Homsy et al. 2019; Mieloszyk & Milewska 2018; Poku-Boansi et al. 2018; Su & Kwon 2018).

En 2017, México registró 11,873 accidentes de tránsito en carreteras, con saldo de 2,919 fatalidades y pérdidas materiales arriba de \$1000 millones de pesos, en 43.20% de ellos estuvieron involucrados vehículos de transporte y/o carga (Secretaría de Comunicaciones y Transporte 2017). Por lo anterior, es importante que los organismos reguladores del transporte y las empresas de este servicio se enfoquen en medidas de prevención y planifiquen acciones que mejoren la seguridad para que las pérdidas humanas, ambientales y económicas se reduzcan al mínimo durante esta actividad (Chiou 2016) en contribución al desarrollo sustentable.

En México la región noroeste representa un 10% de la estadística de accidentes de tránsito esto según las cifras publicadas por la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (2017), aun y cuando la participación pudiera parecer de bajo impacto, se cuenta con registro de resultados fatales, heridos y daños materiales por más de 30 millones de pesos tan solo en el año 2017. En el trabajo de Álvarez et al. (2017) se identifican en el estado de Sonora 20 sustancias principales que son transportadas a través de las carreteras del estado, las cuales cuentan con características de peligrosidad diferentes entre ellas lo que pudiera tener impactos de diferente magnitud sobre el ambiente, la sociedad y la economía de la región.

El estado de Sonora ha registrado accidentes durante el transporte de materiales peligrosos los cuales han puesto a prueba los niveles de respuesta a emergencias, las participaciones de las empresas transportistas y la actuación de las poblaciones involucradas, estos hechos han generado un interés por parte de las dependencias de gobierno, las instituciones educativas y el sector transportista para desarrollar e implementar acciones de prevención, actuación y resiliencia que permitan la participación activa del sector gubernamental y privado. Debido a lo anterior el presente trabajo de investigación tiene como propósito el evaluar el nivel de cumplimiento normativo y el de preparación con el que cuentan las empresas transportistas, además de evaluar los aspectos anteriores se desarrolló un instrumento para fortalecer la seguridad en el transporte terrestre de materiales peligrosos en el Noroeste de México.

El presente documento cuenta con varios capítulos, después del apartado de introducción se muestran los objetivos planteados en esta investigación seguidos del análisis literario de tema desarrollado. En el capítulo siguiente se presenta y detalla la metodología utilizada en esta estudio. Posteriormente se presentan los resultados y discusión para el diseño y validación del instrumento integral de riesgo, en donde se realizó la búsqueda, adaptación y validación, de dos herramientas de evaluación de peligros y capacidades que sumadas a una amplia revisión del marco normativo mexicano aplicable al transporte de materiales peligrosos para la evaluación de las debilidades, formaron la base del instrumento.

En la sección de resultados y discusión también se presenta la aplicación del instrumento como herramienta de diagnóstico en tres de las principales empresas transportistas de residuos peligrosos en la región noroeste de México. En la última parte de este capítulo se muestra el desarrollo e implementación de un plan de fortalecimiento que permitió a las empresas subsanar sus principales áreas de oportunidad detectadas durante el diagnóstico. Posteriormente, en el apartado de conclusiones se menciona que el instrumento desarrollado fue útil para evaluar y fortalecer la seguridad de las empresas. En la sección de recomendaciones se sugiere que en futuras investigaciones se cuente con una población de estudio más amplia y variada, donde se aplique el instrumento con diferentes actividades del transporte de materiales peligrosos, pudiendo agregar ítems que complementen el instrumento, por ejemplo, aquellos relacionadas con el transporte de combustibles. Al final se presentan las referencias utilizada en este documento y se anexa el instrumento desarrollado en extenso.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Fortalecer la prevención y respuesta a emergencias químicas durante el transporte terrestre de materiales peligrosos en México.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un análisis del estado del arte referente a los peligros, vulnerabilidad, atención y prevención de emergencias químicas durante el transporte de materiales peligrosos.
2. Desarrollar un instrumento para el diagnóstico del riesgo en términos de los peligros, debilidades y capacidades de una empresa transportista de materiales peligrosos ante una emergencia.
3. Diagnosticar el riesgo ante una emergencia de tres empresas que prestan el servicio de transporte de materiales peligrosos.
4. Elaborar un plan que fortalezca la prevención y capacidades de respuesta a emergencias químicas durante el transporte de materiales peligrosos en las empresas bajo estudio.
5. Validar el plan de fortalecimiento propuesto a las empresas bajo estudio.

I. ANALISIS LITERARIO

1. Emergencias durante el transporte de materiales peligrosos y el riesgo a la sustentabilidad

Las emergencias durante el transporte de materiales peligrosos son cada vez más frecuentes en la actualidad, la complejidad del transporte y su constante presencia durante el ciclo de vida de los materiales peligrosos, aumenta el riesgo de ocurrencia de un accidente (Seongbong et al, 2017). El transporte de materiales peligrosos es parte de las necesidades modernas, por lo cual es necesario desarrollar herramientas para la prevención y atención a emergencias químicas durante el transporte con el fin de disminuir sus efectos al ambiente, la salud pública y la economía (Hiristova, 2017).

El riesgo a la salud pública durante el transporte de estos materiales está presente en las poblaciones que se encuentran a lo largo de las rutas de distribución de estos materiales y cercanas a la ubicación de las zonas industriales (Rada et al, 2017). El riesgo que presenta la salud pública durante el transporte de materiales peligrosos está relacionado con los efectos que una emergencia química pudiera causar sobre la salud de las personas y con la magnitud de una posible catástrofe (Zhang et al, 2018). Esta actividad es causante de algunos de los desastres más grandes en las carreteras (Ma et al, 2018), lo que ha generado un riesgo constante y efectos catastróficos sobre la salud y seguridad pública, el ambiente, y la propiedad (Uddin & Huynh, 2017).

Los accidentes durante el transporte de materiales peligrosos generan efectos sobre el ambiente, donde el suelo y el agua son los principales receptores ambientales durante un accidente donde se involucre este tipo de materiales (Machado et al, 2017). La contaminación del ambiente es crítica durante las emergencias químicas debido a que medios naturales de transporte como el agua y el suelo representan una línea de exposición directa a la salud de las personas y una fuente de economía (Cordero et al, 2018). De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el transporte de materiales peligrosos debe de ser evaluado bajo una perspectiva sustentable donde se consideren los efectos en conjunto, aquellos que afecten el ambiente, la salud de las personas y a la economía (Gocmen & Erol, 2018).

Las emergencias químicas afectan directamente al sector económico, debido a que es una de las actividades que más costos genera en relación con la magnitud de los accidentes (Androutsopoulos & Zofragos, 2012). Los efectos de las emergencias químicas durante el transporte suelen ser de alta consecuencia con costos de gran magnitud que son utilizados

para resarcir los daños causados por los accidentes (Huang et al, 2018). La gran cantidad de recursos económicos que son utilizados para resarcir los efectos de las emergencias químicas durante el transporte de materiales peligrosos suelen ser muy elevados, lo que afecta la estabilidad de las empresas y a la cadena de suministros, afectando la economía local y los recursos económicos de las empresas (Zhang et al, 2018).

La atención de emergencias durante el transporte de materiales peligrosos se ha vuelto del interés común de las comunidades y los gobiernos, lo anterior provocado por la necesidad de disminuir los efectos de los accidentes (Zhong et al, 2018). Las emergencias químicas pueden causar severos daños, además pueden generar efectos a corto y largo plazo sobre los tres pilares de la sustentabilidad, por lo cual una rápida atención es fundamental para disminuir los efectos potenciales (Changing et al, 2012). La generación de un plan de emergencias es fundamental para el manejo del tiempo durante una emergencia, el cual deberá de considerar las características fisicoquímicas de los materiales: explosividad, toxicidad, reactividad, corrosividad e inflamabilidad (Chen et al, 2018).

El Departamento de Transporte de Estados Unidos (2016) clasifica los materiales peligrosos en nueve clases: explosivos, gases, líquidos inflamables, sólidos inflamables, sustancias oxidantes y peróxidos orgánicos, sustancias tóxicas y sustancias infecciosas, materiales radiactivos, sustancias corrosivas, sustancias y objetos varios, incluidas las que pueden ser peligrosas para el ambiente (U.S. DOT, 2016). La complejidad de una emergencia durante el transporte de materiales peligrosos esta susceptible a la interacción de múltiples factores, entre ellos las características fisicoquímicas de los materiales transportados y a los posibles escenarios que se pudieran presentar (Mieloszyk & Milewska, 2018). Los distintos escenarios durante una emergencia química en el transporte pueden causar efectos considerables sobre el ambiente, la sociedad y la economía, por lo cual la reducción de los efectos potenciales es fundamental para el bienestar de las comunidades susceptibles (Torretta et al, 2017).

2. Emergencias durante el transporte de materiales peligrosos y la importancia de su atención

La logística, antes y durante una emergencia, garantiza la disminución de los efectos relacionados con la emergencia presentada al poder atender con mayor rapidez el accidente, de acuerdo a lo anterior es necesario contar con rutas accesibles al sitio, así como buscar reducir los tiempos de llegada al lugar (Mahmoudabadi & Seyedhosseini, 2014). La toma de decisiones debe de ser realizada basándose en las zonas de amenaza

del accidente, así como en las características de los materiales involucrados, dirección del viento, velocidad del viento y espacios públicos con capacidad de concentración de personal, el realizar la toma de decisiones basándose en lo anterior disminuirá los efectos a la salud y al ambiente durante un accidente en el transporte de materiales peligrosos (Kumar & Jigisha, 2013).

Los accidentes en el transporte de materiales peligrosos son una de las principales causas de efectos a la salud más severos en los accidentes de tránsito, así también son causantes de graves consecuencias sobre la destrucción de propiedades y degradación ambiental, estos accidentes también representan uno de los índices más altos en fatalidades (Kumar & Jigisha, 2011). Los efectos a la salud generados en un accidente de tránsito durante el transporte de materiales peligrosos pueden causar severos daños sobre las personas expuestas a los materiales derramados, por lo que no solo las personas involucradas en el manejo de este tipo de materiales deben de conocer los efectos de estos y su correcta atención (Mohammad, 2017). Según Verson et al (2018), es de vital importancia los programas de capacitación para la atención a este tipo de emergencias, incluyendo el entrenamiento de los equipos médicos de tal modo que la tasa de fatalidades disminuya al igual que los errores cometidos durante una actuación.

El ambiente y la biodiversidad se encuentran en riesgo y son susceptibles a los efectos negativos de los accidentes de tránsito durante el transporte de materiales peligrosos, estos efectos pueden generar desastres medio ambientales que deberán ser prevenidos, y en dado caso, remediados (Poku-Boansi et al, 2018). La atención de una emergencia no solo se ve limitada a la prevención y a la atención durante esta, también debe de realizarse después de terminada la emergencia por lo cual es necesario realizar un manejo de emergencia pos-desastre, que permita implementar herramientas de remediación y opciones de recuperación (Zhang et al, 2017). De acuerdo al enfoque anterior se debe de considerar incluir dentro de los planes de atención a emergencias los programas de recuperación, de tal manera que facilite sobreponerse de un desastre ambiental, así como contar con prevención, actuación y resiliencia (Chiou, 2018).

El contar con un plan de prevención para la ocurrencia de accidentes y la disminución de los efectos que producen las emergencias químicas, implica la búsqueda y elaboración de herramientas que permitan la disminución de los riesgos y el manejo de estos (Maure, 2019). Algunas de las herramientas más utilizadas para la prevención son la selección de rutas y la ubicación estratégica de los cuerpos de emergencia (Bronfman, 2016). La

ubicación de los cuerpos de atención a emergencias es fundamental durante una emergencia química debido a que se disminuye el tiempo de traslado, minimización del riesgo, y una considerable reducción de los efectos relacionados con el accidente y genera la oportunidad de una mejor actuación de los cuerpos de emergencia (Taslimi, 2016).

Durante la actuación de los cuerpos de emergencia se cuenta con una capacidad de respuesta de acuerdo con el escenario, y se encuentra relacionada con la capacidad organizativa de los cuerpos de emergencia presentes durante los accidentes (Markus, 2018). Para una buena capacidad organizativa se debe contar con un grupo de personas que piensen y que tomen las decisiones más acertadas, para esta tarea es necesario un comando de incidentes que controle la situación y reduzca los efectos generados por la emergencia (Nagarajan, 2012). Así también una sociedad preparada para disminuir los efectos y sobrepasar las emergencias genera una capacidad de resiliencia, esencial para este tipo de escenarios (Garbolino et al, 2013).

La resiliencia, al ser una característica para sobreponerse ante cualquier adversidad de la sociedad, el ambiente y la economía, es clasificada como el primer paso a la sustentabilidad y una parte clave para la reducción de impactos en las localidades (Homsy et al, 2019). Al ocurrir algún tipo de impacto sobre la sociedad generado por alguna emergencia, esta puede dañar procesos vitales de la vida cotidiana, como el transporte, los sistemas de comunicación y la atención médica, por lo cual la resiliencia es fundamental para las sociedades modernas (Kim et al, 2018).

3. Herramientas de prevención, resiliencia y actuación, para las emergencias durante el transporte de materiales peligrosos

La prevención de accidentes en el transporte de materiales peligrosos es el ideal para la optimización de esta actividad y la disminución de los riesgos que esta conlleva, por lo tanto, se han generado herramientas para salvaguardar la vida humana, el ambiente y las propiedades (Vanajakshi & Mounika, 2019). Una de las principales herramientas para la prevención de accidentes es la capacitación y profesionalización de los operadores que conducen los transportes de materiales peligrosos, la capacitación permite disminuir los riesgos de un accidente debido a que el 78% de los accidentes ocurridos son generados por errores humanos (Su & Kwon, 2018). El alto porcentaje de relación entre los accidentes y el factor humano genera la necesidad de utilizar la investigación como herramienta de prevención (Maslac et al, 2017).

Los principales temas relacionados con la investigación como herramienta de prevención son las características de la ruta del transporte de materiales peligrosos, los factores humanos, la frecuencia de ocurrencia, administración del personal transportista, recursos disponibles para el transporte, las propiedades de la carretera, el clima y factores del tráfico (Janno & Koppel, 2017). La investigación de los tópicos mencionados anteriormente tiene como objetivo el disminuir los riesgos al ambiente, la sociedad y la economía, así como solucionar los problemas relacionados con el transporte de este tipo de materiales (Bula et al, 2019). En la actualidad existe un interés mundial sobre la investigación y la prevención de los accidentes en el transporte de materiales peligrosos, lo que genera información vital para los equipos de emergencia, las empresas transportistas y las personas que se encuentran en la ruta del transporte (Ditta et al, 2018).

Para lograr la resiliencia es fundamental que se implementen medidas de mitigación para los efectos generados por los accidentes en el transporte de materiales peligrosos (Chen & Hooks, 2014). El plan de emergencias es una herramienta que permite la mitigación de los efectos relacionados con una emergencia, básicamente permite la correcta administración de los recursos disponibles permitiendo sobrepasar los efectos de un desastre (Ouyang et al, 2018). La óptima administración de un desastre deberá contar con las siguientes etapas: detección del incidente, verificación del incidente, notificación del incidente, actuación de los equipos de atención a emergencias y por último el retorno a la normalidad (Li et al, 2017).

Para lograr la resiliencia es necesario que exista información disponible sobre los riesgos potenciales durante los accidentes con materiales peligrosos y sobre las decisiones necesarias que hay que tomar durante una emergencia (Grieco & Utley, 2018). Durante la formación de una población resiliente el involucramiento de la población para la toma de decisiones es clave para la reducción de riesgos, este involucramiento debe de ser heterogéneo logrando una variedad de conocimientos (Alluri et al, 2018). La información antes, durante y después de una emergencia es vital para la prevención, resiliencia y actuación, por lo que contar con información de los accidentes coadyuvará a la mejora de las tomas de decisiones (Cherradi et al, 2017).

La disponibilidad de información no solo aplica para las poblaciones en general, sino específicamente sobre los equipos de emergencia (Thompson et al, 2016). La información durante una emergencia debe estar accesible a los especialistas para la administración de los accidentes y la toma de decisiones, así como para la determinación de las zonas de

atención a la emergencia (Baker, 2016). Las zonas de emergencia deben de ser identificadas para que los equipos de emergencia se tengan la mejor ubicación en relación con el sitio de la emergencia, así como también deberá de tener una estimación del alcance territorial de la misma (Mabrouk et al, 2017).

El alcance territorial de la emergencia dependerá del tiempo en que se contenga ésta, por lo cual la ubicación de los cuerpos de emergencia deberá de estar dentro los puntos con mayor vulnerabilidad de la zona y con mayor ocurrencia (Taslami et al 2016). Para determinar las zonas con mayor ocurrencia y con mayor vulnerabilidad es necesario plantear un escenario de tal manera que sean claros los efectos que se generaría durante una emergencia en el transporte de materiales peligrosos, este escenario podrá aportar con la necesidad de colocar equipos de atención a emergencias cerca de estos puntos (Grieco et al, 2018). La seguridad y sostenibilidad de las ciudades ha generado la atención de las Naciones Unidas creando un objetivo específicamente para este tema, el cual de una manera u otra ha sido adoptado por lo algunos países incluyendo México (UN, 2019).

4. Situación actual en la seguridad del transporte de materiales peligrosos en México y Sonora

El transporte de materiales peligrosos es una de las actividades económicas que se realiza con mayor frecuencia, debido al crecimiento industrial que se presenta en México por lo que es necesario trasladar insumos a través de las carreteras, sin embargo actualmente en el país se registran año con año nuevos accidentes donde se involucran este tipo de materiales y han cobrado la vida de algunas personas, de tal manera que se ha vuelto un tema de interés para las dependencias y para el estado (Mendoza, 2013). En la actualidad se registran una gran cantidad de pérdidas materiales y humanas generadas por los accidentes carreteros, siendo la seguridad del transporte en México y en el mundo un problema ambiental y de salud pública (Gutierrez et al, 2009).

No obstante, en el país y en distintos estados, se han implementado acciones para la disminución de los accidentes de tránsito y los efectos que estos conlleva, así mismo se realizan investigaciones por las distintas dependencias y organismos, como auditorías de seguridad vial que tienen como objetivo el detectar deficiencias en las vialidades (Gomez et al, 2018). Para asegurar el buen estado de las vialidades principalmente las carreteras por donde se transportan las unidades de carga, la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT) cuenta con una subsecretaría de infraestructura la cual tiene como

objetivo preservar la red de carreteras federales y propiciar una infraestructura segura y de calidad, así mismo se invierte una gran cantidad de recursos en el mantenimiento y obras de construcción de las carreteras mostrando una necesidad e interés del gobierno Mexicano por el estado de sus vialidades (SCT, 2018).

La SCT, además de ser una dependencia federal que asegura el estado de las carreteras, también tiene como responsabilidad el seguimiento y registro de los accidentes que ocurren anualmente, por lo que contar con información que indique las causas, ubicación y factores involucrados en los accidentes ocurridos permite tener una valoración de la situación actual en el país (Mendoza et al, 2017). La situación actual de México en relación con lo que ocurre con la seguridad en el transporte en el resto del mundo no es muy diferente, al igual que aquí año tras año se registran accidentes, pérdidas materiales y humanas, sin embargo, la diferencia se centra en las medidas de seguridad implementadas para la prevención de accidentes, lo cual implica el involucramiento del gobierno mexicano, el sector privado y la población en general (Flores et al, 2015).

Los accidentes de tránsito no solo afectan al país, sino también tiene repercusiones en los principales cruces fronterizos donde se registran accidentes y genera un riesgo para los países vecinos, principalmente en la frontera con Estados Unidos ya que se tiene un registro con mayor número de accidentes en esta zona (Mayoral, et al, 2015). Esta situación ha despertado el interés de ambos países y han implementado programas de colaboración para disminuir los efectos sociales, ambientales y económicos de los accidentes de tránsito en el transporte de materiales peligrosos, esta colaboración se lleva a cabo a través del programa Frontera 2020 donde participan las dependencias ambientales de los dos países para mejora del medio ambiente y proteger la salud en la franja fronteriza, donde de manera anual se llevan a cabo programas de capacitación para la prevención de accidentes y simulacros binacionales para disminuir los efectos potenciales (COCEF, 2019).

En el estado de Sonora se han realizado distintos simulacros con intervención de los equipos de atención a emergencias, dependencias gubernamentales, empresas privadas y colaboraciones binacionales, estos simulacros tienen como objetivo el disminuir los efectos de las emergencias futuras y escenarios históricos ocurridos en el estado de Sonora (PROFEPA, 2017). En Sonora se han registrado algunos accidentes relacionados con el transporte de materiales peligrosos los cuales han tenido efectos sobre la población, el ambiente y la economía de la región, como el accidente ocurrido el 22 de agosto del 2013 en la carretera federal no. 16 Hermosillo-Yecora, en donde un accidente de tránsito provoco

el derrame de 3 000 litros de solución de cianuro de sodio en una zona cercana al río Yaqui, como consecuencia del accidente se tuvieron efectos sobre la salud del chofer y de los primeros respondientes, así como también se registró el deceso de fauna local (PROFEPA, 2013).

Un caso más reciente registrado en el estado de Sonora ocurrió el 6 de diciembre del 2018, donde un camión cargado con distintos químicos entre ellos Gas Cloro el cual contiene características de alta peligrosidad, se volcó sobre la carretera Mazocahui-Moctezuma, provocando el derrame de algunos químicos sobre la cinta asfáltica los cuales se dirigieron a terreno desnudo a través de los desagües de la carretera, el accidente provocó heridas fatales sobre el conductor y heridas sobre el copiloto, riesgo de contaminación de los recursos naturales, y paralización del tráfico, así también fue necesario el alertamiento del poblado más cercano y la movilización de los equipos de emergencia de distintas partes del estado (UEPCS, 2018). Es necesario que en este estado como en el resto del país se cuente con una transición hacia una administración de la seguridad en el transporte de materiales peligrosos que permita la recuperación social, económica y ambiental ante cualquier emergencia (Gradilla, 2013).

5. Participación del gobierno, sociedad y sector privado en la seguridad del transporte de materiales peligrosos

La seguridad del transporte de materiales peligrosos es actualmente un problema público que a ha despertado el interés de ONG's, Gobiernos y del sector Privado, los cuales se unen en los esfuerzos para mejorar las condiciones de seguridad durante esta actividad (Yang et al, 2010). En el estado de Sonora se realizan actividades de investigación y difusión para la prevención de accidentes en el transporte de materiales peligrosos, actualmente existe un comité técnico consultivo en materiales peligrosos que genera herramientas para la reducción de riesgos en el transporte de materiales peligrosos en el estado de Sonora, actualmente se realizó una obra literaria como apoyo para los primeros respondientes donde se incluyen las medidas básicas para la atención y respuesta de una emergencia relacionada con alguna de las 23 sustancias que mayormente se transportan en el estado, donde además se muestra la clasificación de riesgos de los tramos carreteros (Álvarez et al, 2019).

La participación del gobierno en la seguridad del transporte de materiales peligrosos es fundamental, debido a que la creación y cumplimiento de las políticas relacionadas con la

disminución de riesgos es la base para una participación integral entre los diferentes sectores (Brzozowska, 2016). Algunas de las políticas de seguridad claves se pueden observar en el acceso limitado de los transportes de materiales peligrosos en las ciudades, la capacidad de carga transportada y definir las carreteras por las cuales podrán transportarse, estas decisiones disminuyen el riesgo público y la exposición de las personas a una emergencia (Chiou, 2016). El riesgo público, las pérdidas humanas y materiales durante las emergencias de materiales peligrosos generan pánico social, por lo cual intervienen expertos y los dueños de las empresas para prevenir estos escenarios (Zhang, 2017).

El trabajo en conjunto de empresas, gobiernos y población, se ha desarrollado durante décadas, como el trabajo en conjunto para disminuir los riesgos del manejo de los materiales peligrosos se realizó a través del trabajo realizado por las Naciones Unidas donde se creó el sistema globalmente armonizado para la clasificación y etiquetado de los productos químicos (UN, 2011). Este sistema es producto de la organización de gobiernos y empresas con el fin de homogeneizar la información disponible para el manejo de algún producto químico, así como para contar con la información básica en caso de alguna emergencia, este sistema fue adoptado por México y fue incluido dentro de su normatividad (SCFI, 2011). El sistema de clasificación y etiquetado de los productos químicos fue puesto en marcha a través de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, para mejorar la seguridad del manejo de los productos químicos en los centros de trabajo (STPS, 2015).

La participación de las empresas para mejorar la seguridad en el transporte de los materiales peligrosos es de suma importancia, tanto en el cumplimiento de la normatividad y en la implementación de medidas de reducción de riesgos, en donde una de su participación más importantes esta la clasificación y optimización de rutas, dirigiendo sus transportes hacia aquellas rutas como menos riesgos, económicos, sociales y ecológicos (Cheng et al, 2016). Además de la participación de las empresas se tiene la participación de la sociedad a través de las investigaciones realizadas por las universidades, en donde uno de los temas más investigados ha sido la optimización de las rutas de materiales peligrosos donde se ha buscado reducir los riesgos del transporte hacia la población (Ma et al, 2018)

En algunos de los casos la participación del gobierno no solo corresponde a la generación de políticas, sino también a la capacitación y adiestramiento en la prevención y atención de

emergencias con el fin de preparar a la población y los equipos de respuesta a emergencias (Chilcott et al, 2018). Es de suma importancia que tanto los equipos de respuesta a emergencia como el público en general tengan la oportunidad de conocer sobre los riesgos potenciales de un accidente con materiales peligrosos, así como también sobre las medidas básicas de mitigación de estos accidentes, debido a que las actividades industriales, de servicio y comerciales involucran estos tipos de materiales y se está en contacto con ellos de manera cotidiana (Espinosa et al, 2014).

Los accidentes en el transporte de materiales peligrosos requieren de investigaciones relacionadas con sus efectos potenciales, su ocurrencia y a los factores que los provocan, estos datos pueden ser cuantitativos y cualitativos, y tendrán la función de disminuir los riesgos asociados al transporte de materiales peligrosos (Soussi et al, 2018). Aun presente la complejidad de la seguridad en el transporte de materiales peligrosos es necesario continuar con la búsqueda de soluciones para disminuir los efectos potenciales de las emergencias (Uddin & Huynh, 2018). Actualmente en el estado de Sonora se ha tenido un avance en la disminución de los impactos que estas emergencias producen, sin embargo, aún se desconoce el grado de preparación y recursos disponibles de las empresas que transportan los materiales peligrosos, que, en teoría, deberían de ser el soporte para las unidades voluntarias las cuales carecen de recursos para atender estas emergencias (Vazquez & Romo, 2019).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo donde se diseñó y validó un instrumento que permitió obtener un indicador integral del riesgo (IIR) enfocado a diagnosticar y describir el riesgo de tres empresas que transportan materiales peligrosos ante una emergencia en términos de los peligros, debilidades y capacidades para prevenir, atender y recuperarse de un evento de este tipo. Las empresas atendieron las oportunidades de mejora que lograron identificarse por medio del instrumento logrando obtener un mejor IIR ante una emergencia según los criterios de calificación establecidos.

5.2 Diseño metodológico

El diseño metodológico es de tipo no experimental, descriptivo y transeccional. Para lograr el cumplimiento de los objetivos se utilizó la siguiente metodología dividida en tres etapas.

- a) Diseño y validación del instrumento de diagnóstico.
 - Identificación de herramientas enfocadas a evaluar la prevención, atención, respuesta y resiliencia a emergencias químicas. Lo anterior se realizó mediante una búsqueda extensiva e intensiva en bases de datos y consultas de expertos en prevención, atención y respuesta a emergencias.
 - Búsqueda y análisis del marco regulatorio mexicano que incide en la seguridad ocupacional, protección al ambiente, protección civil y transporte de materiales peligrosos considerando que son ámbitos en los cuales una emergencia puede causar afectaciones.
 - Selección, adaptación, desarrollo y clasificación de ítems que conformaron el instrumento para el diagnóstico integral del riesgo de empresas transportistas de materiales peligrosos.
 - La primera validación del instrumento se llevó a cabo con la intención de someter su contenido de ítems a expertos de las dependencias federales y estatales a cargo de regular el transporte de materiales peligrosos, salud y seguridad ocupacional, protección al ambiente y protección civil (Mayorga, 2004). Se atendieron los comentarios y mejoras de los expertos.
 - Establecimiento de la metodología para el análisis y presentación de los resultados arrojados por el instrumento. Los resultados se presentaron en términos de un indicador integral del riesgo y subindicadores.

- La segunda validación del instrumento se realizó con la finalidad de asegurar que la redacción y vocabulario de los ítems eran entendidos por personal de empresas transportistas de materiales peligrosos. Se realizaron los cambios necesarios para su mejor comprensión por los que serían los usuarios finales del instrumento.

b) Diagnóstico del riesgo en empresas

La versión final del instrumento fue utilizado para el diagnóstico del riesgo en las principales empresas del servicio de transporte de materiales peligrosos identificadas en el noroeste de México. El abordaje se realizó de manera presencial mediante una sesión donde se preguntaron los ítems del instrumento al empleado asignado por la gerencia de la empresa. Durante esta sesión se solicitó al trabajador prueba o evidencia objetiva del cumplimiento o incumplimiento en los casos necesarios. Las empresas fueron nombradas como: “Empresa 1”, “Empresa 2” y “Empresa 3”.

c) Plan de acción para las tres empresas evaluadas y validación.

A partir de los hallazgos y resultados obtenidos del instrumento se elaboró un plan de fortalecimiento hecho a la medida para las empresas evaluadas utilizando la metodología Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF). Se consideraron las prioridades identificadas y la asignación de recursos disponibles por las empresas para atender las áreas de oportunidad. Con base a lo anterior se elaboró el plan de trabajo y se asignó a un responsable de la empresa para la implementación de cada actividad y una fecha de término.

La segunda aplicación del instrumento de diagnóstico posterior a la implementación del plan de acción en cada una de las empresas permitió medir el fortalecimiento de la seguridad ante emergencias en términos de un indicador integral del riesgo.

5.3 Alcance

El presente estudio se realizó en el periodo de agosto del 2018 a julio del 2020.

5.4 Pregunta de investigación

Para contribuir en la mejora de la seguridad surgieron las siguientes preguntas ¿Qué tan preparadas se encuentran las empresas de servicio de transporte de materiales peligrosos para prevenir, atender y recuperarse ante una emergencia? ¿Cuál es el nivel de cumplimiento al marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos?

5.5 Objeto y selección de estudio

El objeto de estudio fue el nivel de cumplimiento del marco regulatorio relativa al transporte de materiales peligrosos así como la preparación de las empresas transportistas de materiales peligrosos ante la prevención, atención y recuperación de una emergencia química durante el transporte de materiales peligrosos.

5.6 Selección y tamaño de la muestra

La selección y tamaño de la muestra fue determinística, es decir se seleccionaron las tres empresas principales de la región noroeste del país quienes mostraron su disposición a participar en el presente estudio.

5.7 Instrumento de recolección y manejo de los datos

Se utilizó el Software Excel Office para el manejo de los datos, análisis y presentación de resultados.

VI. RESULTADOS

6.1 Desarrollo del instrumento de diagnóstico integral del riesgo

Como parte del cumplimiento al objetivo estratégico 2, se llevó a cabo una revisión profunda de las herramientas existentes para la evaluación de peligros y capacidades, en donde se seleccionaron dos herramientas existentes para modificarlas y adaptarlas a las necesidades del instrumento a desarrollar. La evaluación del peligro fue representada a través de la adaptación de la herramienta THIRA herramienta utilizada por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos (FEMA, 2018) la cual es aplicada para la evaluación de los peligros y amenazas, esta fue adaptada en 20 ítems de evaluación. Para la evaluación de las debilidades se realizó una búsqueda intensa de la normatividad aplicable al transporte de materiales peligrosos, permitiendo contar con un subindicador de evaluación de 58 ítems, en cuanto a la evaluación de las capacidades se utilizó una herramienta ya existente para la evaluación del riesgo de desastre empresarial aportando con 40 ítems a al instrumento.

6.1.1. Integración de las herramientas y validación con expertos

Al contar con el instrumento desarrollado e integrado, se realizó una validación a través de la revisión de expertos de dependencias estatales y federales, en donde mediante una entrevista presencial se validaron cada uno de los ítems desarrollados dentro del instrumento, así también se valida la estructura de cada una de las preguntas y la claridad del instrumento. Las dependencias participantes fue la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora (UEPC), así como por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), a través de su validación se logró la mejora, modificación y adición de nuevos ítems dentro del instrumento. La validación también se realizó con dos personas de las empresas evaluadas, estas últimas solo como parte del entendimiento del instrumento. En la figura 1 se puede observar la pantalla inicial de la herramienta en donde se muestra el nombre del Instrumento Integral del Riesgo y el contenido del mismo, en el instrumento se cuenta con un hipervínculo hacia la plantilla de evaluación permitiendo el rápido acceso a cada subindicador.

Instrumento Integral del Riesgo



Figura 1. Contenido del instrumento diseñado.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se pueden observar las aportaciones y modificaciones realizadas al instrumento como resultado de la validación realizada con los expertos de las distintas dependencias, las observaciones y modificaciones se presentaron sobre el instrumento en general, mejorando los tres subindicadores.

Tabla 1. Mejoras realizadas al instrumento por la validación de expertos.

Subindicador	Mejoras aplicadas			
	SCT	UEPC	STPS	PROFEPA
Peligro	Se realizó la mejora de la redacción sobre los ITEMS 18, 19 y 20	No hubo observaciones	No hubo observaciones	Se realizó la mejora de la redacción sobre los ITEMS 1, 18, 19 y 20
Debilidad	Se realizó la mejora de la redacción sobre los ITEMS 2, 8, 9 y 51	Se agrega ITEM 33 relacionado con la inclusión del plan de emergencias en la carpeta documental de las unidades de transporte	Se realizó la mejora de la redacción del ITEM 48 y 53, se agrega ITEM 49, 50 y 51 en el Tema Condiciones de Trabajo	Se realizó la mejora de la redacción del ITEM 22 y se agrega ITEM 56 en el Tema Ambiental sobre la investigación de causantes de accidentes
Capacidad	No hubo observaciones	Se realizó la mejora de la redacción sobre los ITEMS 1 y 37	No hubo observaciones	No hubo observaciones

La versión final del instrumento el cual se obtiene, el indicador integral del riesgo quedó conformado por 118 ITEMS divididos y ponderados en tres subindicadores: el peligro, la debilidad y la capacidad. Cada uno de estos subindicadores incluye varios elementos o temas, el subindicador del peligro, y el subindicador de debilidades cuentan con tres temas y el subindicador de las capacidades tiene cuatro temas. La respuesta posible para cada ítem es negativa o positiva dependiendo de la evidencia objetiva que se muestre durante la aplicación del instrumento, de tal manera que al final del diagnóstico del subindicador se obtiene un resultado en cumplimiento y otro en incumplimiento que sumados genera el cien por ciento de la sumatoria de la ponderación de los ítems del subindicador.

6.1.2. Estructura, definición y cálculo del IIR

El Instrumento Integral del Riesgo evalúa el porcentaje de riesgo con el que cuenta una empresa transportista y es representado por Indicador Integral del Riesgo (IIR), así mismo se evalúa el nivel de cumplimiento que se tiene sobre el peligro, la debilidad y capacidad, estos se pueden definir de la siguiente manera:

El IIR se puede definir como el porcentaje de riesgo que presenta una empresa transportista dentro de su operación y a su entorno, este porcentaje de riesgo es integrado mediante el nivel de cumplimiento sobre el peligro, debilidad y capacidad. El subindicador del peligro es representado en porcentaje y evalúa el nivel de identificación con el que cuenta la empresa transportista sobre sus peligros internos y externos, así como aquellos que pudiera generar a terceros durante la ruta de transporte. El subindicador de debilidad es representado en porcentaje y evalúa el nivel de cumplimiento con el cuentan las empresas transportistas sobre el marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos en México, evaluando el transporte, las condiciones de trabajo y el riesgo ambiental. El subindicador de la capacidad al igual que los otros subindicadores se representa en porcentaje, sin embargo este evalúa la capacidad con la que cuenta una empresa transportista para sobreponerse ante un desastre.

En la tabla 2 se muestra la estructura del Instrumento Integral del Riesgo, en donde se puede observar la distribución jerárquica de los elementos evaluados: IIR, subindicador y temas. En la misma tabla se incluyen el número de ITEMS por cada uno de los temas y su ponderación individual para obtener el 100% del valor por cada subindicador.

Tabla 2. Estructura del instrumento integral del riesgo.

Indicador Integral del Riesgo (IIR)	Subindicador	Tema	No. ITEMS	%Ponderación unitaria
IIR	Peligro	Identificación de amenazas y peligros	8	4.16%
		Contexto de las amenazas y peligros	9	3.70%
		Objetivos de capacidad	3	11.11%
	Debilidad	Transporte	40	0.83%
		Condiciones de trabajo	13	2.56%
		Ambiental	5	6.66%
	Capacidad	Comprensión del riesgo de desastre	13	1.92%
		Gobernanza para la gestión de riesgos de desastres	9	2.77%
		Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia	8	3.12%
		Preparación para la respuesta y recuperación	10	2.50%

Fuente: Elaboración propia

El valor del IIR se obtuvo a través de la evaluación de cada uno de los ítems dentro de los subindicadores, para cada uno de los subindicadores se colocó una columna de acompañamiento en donde se describe la evidencia objetiva del cumplimiento o incumplimiento de cada uno de los ítems, así también para el diagnóstico de las debilidades se colocó una columna de acompañamiento donde se muestra el cumplimiento legal relacionado al ítem en evaluación. Los resultados por cada uno de los subindicadores diagnosticados fueron utilizados para la obtención del IIR final de la empresa evaluada, en la tabla 3 se puede observar un ejemplo del tema identificación de amenazas y peligros dentro del subindicador del peligro.

Tabla 3. Subindicador del peligro y su estructura: identificación de amenazas y peligros (Tema).

Tema	ITEM	Evaluación	Cumplimiento		% Valor	Cumplimiento
			SI "J"	NO "L"		
Identificación de amenazas y peligros	1	¿Cuenta con planes estratégicos y operativos federales, estatales, locales existentes para la identificación de amenazas y peligros?			4.16%	
	2	¿Se detectan las amenazas existentes y se realizan evaluaciones de peligro?			4.16%	
	3	¿Se realizan pronósticos o modelos de riesgos futuros debido a cambios climáticos y patrones demográficos o amenazas emergentes?			4.16%	
	4	¿Cuentan con planes de mitigación de riesgos?			4.16%	
	5	¿Se toma en cuenta los boletines y evaluaciones de las dependencias gubernamentales?			4.16%	
	6	¿Se cuenta con registros de incidentes anteriores, incluidos datos históricos?			4.16%	
	7	¿Se respetan y cumplen las leyes, políticas y procedimientos de seguridad nacional y gestión de emergencias?			4.16%	
	8	¿Se elaboran planes y evaluaciones de riesgos de las necesidades básicas (comunicaciones, energía, transporte y agua)?			4.16%	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del diagnóstico se expresaron en relación al IIR el cual es expresado en porcentaje, para la obtención del IIR se utilizó y adaptó la fórmula para el cálculo del riesgo utilizada por las Naciones Unidas dentro del Marco de Sendai para la evaluación de desastres empresarial. Para el caso del desarrollo del instrumento el peligro dentro de la fórmula se substituyo con el resultado en incumplimiento del subindicador del peligro, las debilidades se substituyo con el resultado en incumplimiento del subindicador de las debilidades, así también las capacidades dentro de la fórmula se substituyo por el resultado en cumplimiento del subindicador de las capacidades.

$$\text{Riesgo} = \frac{(\text{Peligro})(\text{Debilidad})}{\text{Capacidad}}$$

Figura 2. Fórmula para el indicador integral del riesgo (UNISDR, 2015).

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3. Interpretación de los resultados de evaluación

Los resultados obtenidos al utilizar el instrumento desarrollado se muestran a través de una gráfica del semáforo, en una escala del 0% al 100%, en donde el 0% es la categoría más baja del riesgo y el 100% la categoría más alta. Así también se colocó una descripción rápida de la situación en que se encuentra la empresa al estar dentro de la categoría asignada según su IIR, en a figura 3 se puede observar la categoría del semáforo creada para representar el IIR dentro de un análisis de severidad del resultado.

Semáforo del Riesgo		
Muy Alto	80%-100%	Requiere una implementación urgente de un sistema de seguridad dentro de la empresa, así como la intervención inmediata y efectiva sobre los tres subindicadores
Alto	60%-80%	Es necesario acciones correctivas urgentes en los tres subindicadores y una rápida respuesta a las necesidades detectadas en el cumplimiento de los temas
Medio	40%-60%	Es necesario acciones correctivas dirigidas a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas
Bajo	20%-40%	Requiere de acciones preventivas y de un plan de acción direccionado a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas
Muy Bajo	0%-20%	Requiere de un seguimiento y control de los cumplimientos actuales

Figura 3. Categoría del semáforo del riesgo.

Fuente: Elaboración propia.

El instrumento permite no solo ver los resultados dentro de una categoría de riesgo, si no también permite una evaluación individual de cumplimiento por cada uno de los temas, lo anterior se logra mediante la participación porcentual de cada uno de los temas realizando una evaluación de cumplimiento individual.

Tabla 4. Evaluación de cumplimiento individual por tema.

Subtemas de evaluación		Evaluación diagnóstica	Evaluación final
Peligro	Identificación de amenazas y peligros		
	Contexto de las amenazas y peligros		
	Objetivos de capacidad		
Debilidad	Transporte		
	Condiciones de trabajo		
	Ambiental		
Capacidad	Comprensión del riesgo de desastre		
	Gobernanza para la gestión de riesgos de desastres		
	Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia		
	Preparación para la respuesta y recuperación		

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Diseño del plan de fortalecimiento

Se añadió al instrumento un apartado para facilitar a las empresas a identificar sus prioridades y desarrollar un plan de fortalecimiento de los hallazgos encontrados dentro del instrumento de diagnóstico mediante. La metodología Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF). La tabla 6 muestra el formato de implementación para la metodología AMEF, en primera instancia es necesario identificar el proceso que sobre el que se pretende mejorar o implementar el plan de mejora, en el presente trabajo de investigación se incluyó como proceso el IIR el cual es el resultado general de la aplicación de instrumento. Posterior la selección del proceso es necesario identificar el modo de la falla, para interpretar este indicador dentro del Instrumento Integral del Riesgo, se colocaron dentro de este concepto a los tres subindicadores: peligro, debilidad y capacidad, tomando como efecto de la falla los porcentajes de incumplimiento obtenidos durante la evaluación.

La metodología AMEF tiene como objetivo el priorizar las fallas dentro de un proceso, por lo cual se realiza el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) a través de la operación $NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$, los valores de estos tres factores cuentan con una escala de 0 a 10, siendo "10" el peor resultado y "0" el mayor resultado obtenido. Para incluir la metodología AMEF dentro del presente trabajo de investigación se asignó el porcentaje de incumplimiento del efecto de la falla como la severidad. Para asignar el resultado de la ocurrencia, se tomó como la misma el resultado obtenido a través del cumplimiento individual, en donde el resultado se asignó a la inversa para cumplir con la escala del NPR. El grado de detección fue determinado siguiendo la metodología del AMEF

utilizando la tabla para el nivel de detección. Los controles son representados por cada uno de los temas incluidos dentro del Instrumento Integral del Riesgo.

Tabla 5. Formato de metodología AMEF para plan de fortalecimiento.

Producto / Proceso	Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes	PS	PO	PD	PRPN
IIR								0						0
								0						0
								0						0
								0						0
								0						0

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el resultado del nivel de severidad, ocurrencia y detección, se calculó el Numero de Prioridad de Riesgo (NPR), mediante la fórmula $S \times O \times D = NPR$, endone el número más alto representa la falla con una mayor necesidad de acciones y planes para revertir sus efectos y/o disminuir el porcentaje del efecto de la falla el cual es representado en el porcentaje de incumplimiento del subindicador evaluado, el cual impacta directamente en el incremento y decremento del IIR. Como resultado de la obtención del NPR se realiza una plantilla general para la aplicación de acciones y planes, los cuales son generales y muestran un guía sobre la cual se tendrá que adaptar los planes de acción de la empresa evaluada.

Tabla 6. Plantilla general para el plan de fortalecimiento.

Subindicador	Tema	Controles	Acciones	Planes
Peligro	Identificación de amenazas y peligros	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
	Contexto de las amenazas y peligros	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte
	Objetivos de capacidad	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar
Debilidades	Transporte	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos	Llevar a cabo un programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.	Cumplir con el programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.
	Condiciones de trabajo	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos referente a las condiciones de seguridad de trabajo	Llevar a cabo un programa de seguridad para asegurar el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos	Cumplir con el programa de de seguridad en tiempo y forma, asegurar en todo momento el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos.
	Ambiental	Elaborar un plan estratégico para la prevención, atención y seguimiento ante una emergencia ambiental durante el transporte de materiales peligrosos	Llevar a cabo el plan estratégico e institucional dentro de las políticas de seguridad ambiental dentro de la empresa	Realizar el programa estratégico en base a los solicitado por la autoridad, así también el asegurar el cumplimiento y seguimiento
Capacidades	Comprensión del riesgo de desastre	Realizar una evaluación de los riesgos de desastre presentes en la ruta del transporte	Implementar un sistema de evaluación de los riesgos de desastres presentes y futuros, internos y externos	Realizar evaluaciones de los riesgos de desastre presentes y futuros, estos deberán de ser comprendidos por la empresa transportista y ser comunicados a sus grupos de interés
	Gobernanza para la gestión de riesgos de desastres	Implementar una política de gestión de riesgos de desastres	Implementar un sistema de gestión de riesgos de desastres dentro de la estructura de la empresa	Realizar un sistema de gobernanza para la gestión de riesgos de desastres, donde se defina recursos disponibles, estructura y roles, una política y se integra a los sistemas de gestión.
	Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia	Elaborar un plan estratégico preventivo para los riesgos de desastre presentes y futuros	Llevar a cabo acciones de prevención para riesgos de desastres presentes y futuros	Realizar un plan estratégico de prevención de riesgos de desastres presentes y futuros, este deberá de contar con un modelo recipiente y deberá de incluir los riesgos de desastres dentro de la cadena de suministro y el ecosistema del contexto externo
	Preparación para la respuesta y recuperación	Implementar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres	Llevar a cabo la preparación para la respuesta y recuperación ante desastres, ligado a los planes de las autoridades del territorio	Realizar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres, incluir los planes de las autoridades del territorio, así como llevar a cabo simulaciones teóricas y practicas que permitan afinar los preparativos en caso de una desastre.

Fuente: Elaboración propia

6.2 Diagnóstico del riesgo de las tres empresas ante una emergencia

El diagnóstico del riesgo se llevó a cabo mediante la aplicación del instrumento desarrollado en tres empresas que prestan servicios de transporte de residuos peligrosos en el Noroeste de México. Las tres empresas evaluadas cuenta con una flotilla similar, en su mayoría son unidades tipo torton, rabón, tonelada y tractocaimon, la mayoría de ellas cuenta con caja seca, sin embargo algunas unidades son de redilas. La aplicación del instrumento se llevó a cabo mediante una entrevista presencial solicitando se mostrara, evidencia objetiva de su respuesta. La evidencia correspondiente fue colocada en la columna de acompañamiento integrada en el instrumento.

Los resultados obtenidos por las empresas en el subindicador del peligro se muestran en la tabla 8, se puede observar el que la Empresa 1 cuenta con un porcentaje del 25% en cumplimiento y la Empresa 2 un 8%, la Empresa 3 obtuvo un 20% de cumplimiento siendo la segunda empresa con mayor cumplimiento en la identificación de peligros internos y externos.

Tabla 7. Resultado de la aplicación del diagnóstico del subindicador del peligro para las tres empresas.

Subindicador del Peligro					
Empresa 1		Empresa 2		Empresa 3	
Cumplimiento	Incumplimiento	Cumplimiento	Incumplimiento	Cumplimiento	Incumplimiento
25%	75%	8%	92%	20%	80%

Fuente: Elaboración propia.

En el subindicador de las debilidades que determinan el grado de cumplimiento e incumplimiento del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos en México, en la tabla 9 se observa el resultado de la aplicación del instrumento donde se obtuvo que la Empresa 1 cuenta con un 80% de cumplimiento, la Empresa 2 cuenta con un 64% y la Empresa 3 un 70%, donde se repite la tendencia de las tres empresas.

Tabla 8. Resultado de la aplicación del diagnóstico del subindicador de las debilidades para las tres empresas.

Subindicador de las Debilidades					
Empresa 1		Empresa 2		Empresa 3	
Cumplimiento	Incumplimiento	Cumplimiento	Incumplimiento	Cumplimiento	Incumplimiento
80%	20%	64%	36%	70%	30%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 muestra los resultados de la evaluación del subindicador de las capacidades. La Empresa 2 obtuvo un 60% de cumplimiento y la Empresa 3 un 54%, mientras tanto la Empresa 1 obtuvo un 38% de cumplimiento.

Tabla 9. Resultado de la aplicación del diagnóstico del subindicador de las capacidades para las tres empresas.

Subindicador de las Capacidades					
Empresa 1		Empresa 2		Empresa 3	
Cumplimiento	Incumplimiento	Cumplimiento	Incumplimiento	Cumplimiento	Incumplimiento
38%	62%	60%	40%	54%	46%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las empresas evaluadas se muestran en la figura 4, donde la Empresa 1 obtuvo un IIR de 39% ubicándose en la categoría de Riesgo “Bajo” según el semáforo del riesgo. La Empresa 2 se obtuvo un IIR del 55% quedando dentro de la categoría de riesgo “Medio” y un 16% más de riesgo que la Empresa 1.

Semáforo del Riesgo			IIR		
			Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Muy Alto	80%-100%	Requiere una implementación urgente de un sistema de seguridad dentro de la empresa, así como la intervención inmediata y efectiva sobre los tres subindicadores	39%	55%	45%
Alto	60%-80%	Es necesario acciones correctivas urgentes en los tres subindicadores y una rápida respuesta a las necesidades detectadas en el cumplimiento de los temas			
Medio	40%-60%	Es necesario acciones correctivas dirigidas a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas			
Bajo	20%-40%	Requiere de acciones preventivas y de un plan de acción direccionado a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas			
Muy Bajo	0%-20%	Requiere de un seguimiento y control de los cumplimientos actuales			

Figura 4. Porcentaje del indicador integral del riesgo de las empresas y su categorización de riesgo.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la escala determinada por el semáforo del riesgo se puede indicar que la Empresa 1 requiere de acciones preventivas y de un plan de acción direccionado a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas. En cuanto a la Empresa 2, quedó dentro de la categoría de riesgo medio por lo que es necesario acciones

correctivas dirigidas a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas. Al igual que la Empresa 2, la Empresa 3 cuenta con una categoría de riesgo medio, por lo cual son necesarias las mismas acciones que la Empresa 2.

Los resultados de la aplicación del instrumento de diagnóstico del riesgo también fueron representados por el nivel de cumplimiento de cada una de las empresas en relación a los subindicadores y a cada uno de los temas, de tal manera que los resultados pueden observarse de manera individual permitiendo la visualización de las áreas específicas de oportunidad con las que contaron cada una de las empresas evaluadas. En la figura 8 se puede observar los resultados de manera gráfica del nivel de cumplimiento de la Empresa 1, los resultados mostrados en la Figura 5 representan los niveles de cumplimiento individuales derivados de la evaluación diagnóstica y final, donde se detectaron que sus temas de prioridad son: Contexto de las amenazas y peligros, objetivos de capacidad, comprensión del riesgo de desastre, gobernanza para la gestión de desastres, preparación para la resiliencia y recuperación.

En cuanto a la Empresa 2 también se llevó a cabo el análisis de resultados por cumplimiento individual de cada uno de los temas, en donde las principales prioridades de la Empresa 2 se encuentran en los subindicadores del peligro y de las capacidades, los temas prioritarios fueron: La identificación de amenazas y peligros, el contexto de las amenazas y peligros, los objetivos de capacidad y la comprensión del riesgo de desastre. En la figura 5 se puede observar los resultados individuales obtenidos por la Empresa 2 durante la evaluación del cumplimiento de cada uno de los temas.

Los resultados de la Empresa 3 fueron de igual manera representados a través de una gráfica de cumplimiento individual por cada uno de los temas, en donde se puede observar en la figura 5 que la principal área de oportunidad de la Empresa 3, se encuentra en el Subindicador del Peligro y en el de las Capacidades, siendo estos los subindicadores con un mayor porcentaje de incumplimiento.

Al sobreponer los resultados gráficos obtenidos de la Empresa 2 y Empresa 3, se obtuvieron resultados muy similares, obtuvieron un cumplimiento individual mayor sobre los tres temas del subindicador de debilidad, siendo este un subindicador obligatorio debido a que está basado en el cumplimiento del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos. Así también se puede observar que las tres empresas cuentan con

una deficiencia sobre el cumplimiento individual de en los subindicadores capacidad y peligro. El resultado lo podemos observar de manera gráfica en la figura 5.

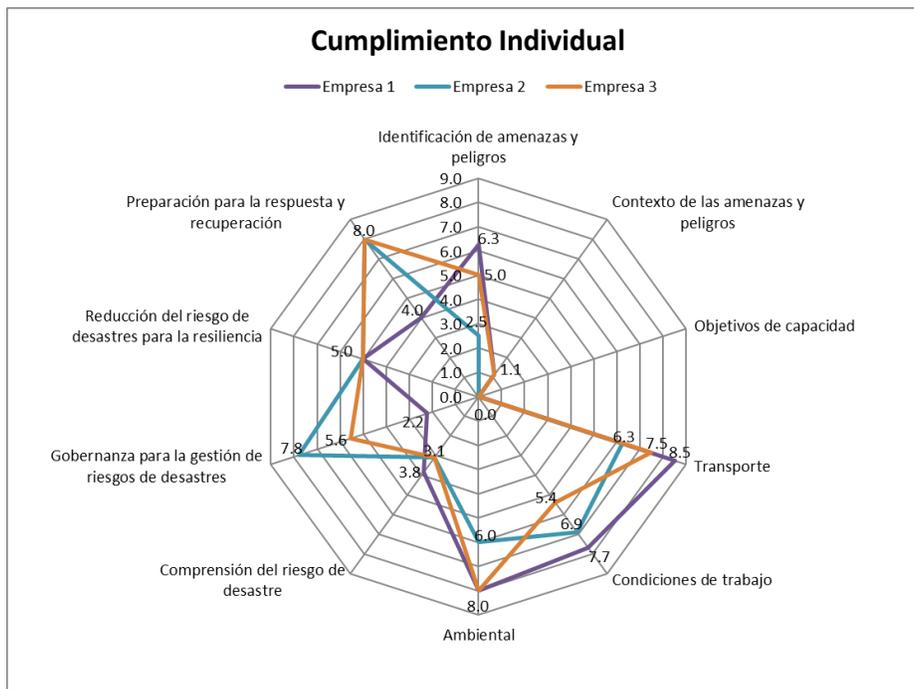


Figura 5. Cumplimiento individual de los temas evaluados en el diagnóstico del riesgo.

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Plan de fortalecimiento para la prevención y las capacidades

A partir de los resultados de la evaluación diagnóstica de las tres empresas, se aplicó la metodología AMEF adaptada a los resultados del instrumento, para la elaboración de un plan de fortalecimiento a la prevención y capacidades de respuesta a emergencias químicas durante el transporte de materiales peligrosos de las empresas evaluadas.

En esta parte la Empresa 1 obtuvo como su NPR prioritario la causante del Contexto de las Amenazas y Peligros con un NPR de 432, siendo este el que se deberá de aplicar de manera prioritaria las acciones y planes descritos en el AMEF, las acciones y planes para la mejora del IIR tendrán que ir en relación a los NPR subsecuentes al mayor obtenido. En la tabla 11 se puede observar el NPR identificado dentro del plan de fortalecimiento de la Empresa 1.

Tabla 10. Plan de fortalecimiento para Empresa 1.

Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes
Peligro	75%	8	Identificación de amenazas y peligros	4	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	5	148	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
			Contexto de las amenazas y peligros	9	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	6	427	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte
			Objetivos de capacidad	10	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	2	0	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar

Fuente: Elaboración propia.

La Empresa 2 obtuvo como resultado un NPR prioritario de 540 para la causa Contexto de las Amenazas y Peligros, siendo esta la causante con una mayor participación dentro del 92% de incumplimiento para el subindicador del Peligro. En la tabla 12 se puede observar el NPR identificado para la Empresa 2 dentro de su plan de fortalecimiento.

Tabla 11. Plan de fortalecimiento para Empresa 2.

Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes
Peligro	92%	9	Identificación de amenazas y peligros	8	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	5	360	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
			Contexto de las amenazas y peligros	10	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	6	540	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte
			Objetivos de capacidad	10	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	2	0	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar

Fuente: Elaboración propia.

La Empresa 3 presento un NPR prioritario de 432, tabla 13, para la causa Contexto de las Amenazas y Peligros, donde resalta que los tres temas que integran el Subindicador del Peligro se encuentran dentro de las causas y en su mayoría ligerean los resultados del NPR.

Tabla 12. Plan de fortalecimiento para Empresa 3.

Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes
Peligro	80%	8	Identificación de amenazas y peligros	5	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	5	200	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
			Contexto de las amenazas y peligros	9	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	6	432	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte
			Objetivos de capacidad	10	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	2	0	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Validación del plan de fortalecimiento

La validación del plan de fortalecimiento generado durante el objetivo 4, se basó en una evaluación final al termino de 60 días transcurridos de la obtención de los resultados durante la evaluación diagnostica. Durante la evaluación final se tomaron en cuenta todas aquellas evidencias objetivas que se pudo mostrar durante el periodo pactado, las evidencias fueron utilizadas para la modificación de todos aquellos ITEMS que se encontraban en incumplimiento, permitiendo un avance sobre el resultado inicial y un resultado positivo sobre el IIR.

Como resultado de la evaluación final se obtuvo que las tres empresas presentaron avances sobre sus resultados iniciales, siendo la Empresa 2 con un avance mayor sobre las otras dos empresas, seguida por la Empresa 3 y la Empresa 1. En la figura 6 se puede observar el avance de las tres empresas sobre su IIR inicial y su IIR final posterior al seguimiento al plan de fortalecimiento.

Semáforo del Riesgo			IIR					
			Empresa 1		Empresa 2		Empresa 3	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Muy Alto	80%-100%	Requiere una implementación urgente de un sistema de seguridad dentro de la empresa, así como la intervención inmediata y efectiva sobre los tres subindicadores	39%	2%	55%	11%	45%	5%
Alto	60%-80%	Es necesario acciones correctivas urgentes en los tres subindicadores y una rápida respuesta a las necesidades detectadas en el cumplimiento de los temas						
Medio	40%-60%	Es necesario acciones correctivas dirigidas a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas						
Bajo	20%-40%	Requiere de acciones preventivas y de un plan de acción direccionado a las áreas de oportunidad detectadas en el cumplimiento de los temas						
Muy Bajo	0%-20%	Requiere de un seguimiento y control de los cumplimientos actuales						

Figura 6. Resultado de validación para las tres empresas.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la evaluación final del cumplimiento individual de las tres empresas se puede observar el desempeño de cada una de ellas y su progreso durante los 60 días de aplicación del plan de acción. En la figura 7 se representa de manera gráfica el cumplimiento individual de las tres empresas sobre los temas del instrumento, se observa claramente un avance sobre el nivel de cumplimiento inicial y un cumplimiento con menor variación en los tres subindicadores del instrumento.

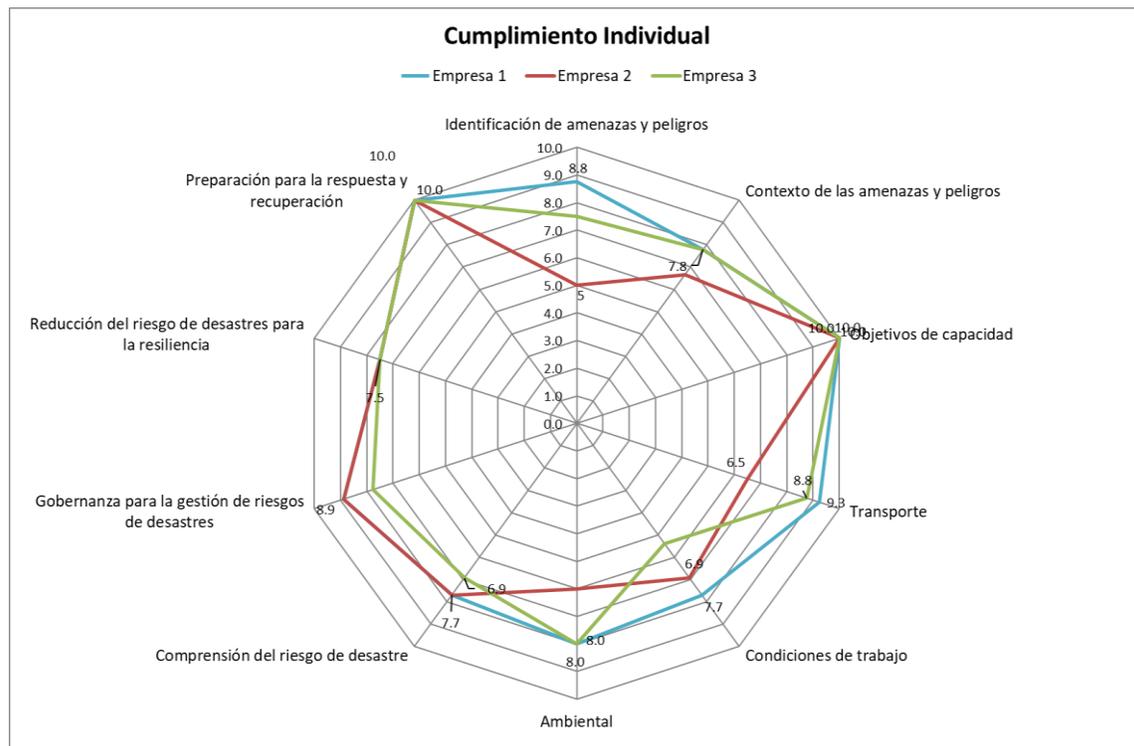


Figura 7. Validación del cumplimiento individual.

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la validación del instrumento sobre las tres empresas, se realizó nuevamente el cálculo del NPR en el plan de fortalecimiento, donde se pudo observar una disminución clara sobre los NPR de las tres empresas.

Tabla 13. Resultado final del plan de fortalecimiento.

Subindicador	Causas	Empresa 1		Empresa 2		Empresa 3	
		NPR Inicial	NPR Final	NPR Inicial	NPR Final	NPR Inicial	NPR Final
Peligro	Identificación de amenazas y peligros	148	6	360	75	200	30
	Contexto de las amenazas y peligros	427	13	540	54	432	24
	Objetivos de capacidad	0	0	0	0	0	0
Debilidad	Transporte	15	8	80	80	45	15
	Condiciones de trabajo	23	23	60	60	75	75
	Ambiental	20	20	80	80	30	30
Capacidad	Comprensión del riesgo de desastre	137	28	48	24	210	36
	Gobernanza para la gestión de riesgos de desastres	13	2	4	2	20	4
	Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia	150	25	60	30	125	30
	Preparación para la respuesta y recuperación	180	0	0	0	50	0

Fuente: Elaboración propia.

VII. DISCUSIÓN

El trabajo sobre el estado del arte referente a los peligros, vulnerabilidad, atención y prevención de emergencias químicas durante el transporte de materiales peligrosos, reafirma la necesidad del suministro de estos materiales dentro del sector industrial como parte de la materia prima para producir los productos y servicios que actualmente forman parte de nuestra vida cotidiana, lo anterior conlleva a entender el ciclo de vida de estos materiales, el cual transcurre desde la obtención del material hasta que este es desechado como un residuo. Durante el ciclo de vida de los materiales peligrosos se encuentran distintas etapas, donde la etapa del transporte se repite de manera intermedia durante todo el ciclo, siendo esta la etapa con una mayor exposición de riesgos por su recurrencia sobre este ciclo, así mismo se ha detectado que estos riesgos generados durante esta actividad generan un riesgo a la salud pública, al ambiente y a la economía.

La selección de herramientas para la integración del instrumento, fueron esenciales para el desarrollo del mismo, debido a que son herramientas probadas y funcionales que son utilizadas por distintos grupos, instituciones y países. Sin embargo estas fueron adaptadas al transporte de materiales peligrosos de México con el fin de poder estar en línea al marco normativo de esta actividad. Obteniendo como resultado un instrumento integral que evalúa a través de sus subindicadores y temas las fortalezas de las empresas transportistas para prevenir, atender y recuperarse ante una emergencia durante el transporte de materiales peligrosos. El instrumento diseñado a diferencia de algunas herramientas como THIRA la cual fue adaptada y utilizada dentro del instrumento, puede ser utilizado por la misma empresa sin contar con alguna estructura robusta de seguridad del transporte o el apoyo de algún asesor externo.

La validación del instrumento por dependencias como la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora (UEPC), así como por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), aseguran un instrumento integrado a los requerimientos locales, estatales y federales, así mismo una comprensión de los temas integrados dentro del mismo. Además de validar la información dentro del instrumento y la comprensión del mismo, se validó la estructura la cual permite un correcto acompañamiento de cada uno de los subindicadores pudiendo dar seguimiento puntual a cada uno de los temas e ITEMS en específico, colocando sobre una de las columnas del instrumento un espacio para colocar la evidencia objetiva de cumplimiento. En el caso del subindicador de

las Debilidad se coloca una columna adicional la cual relaciona el ITEM con el marco normativo al cual se referencia para su cumplimiento permitiendo la consulta del mismo.

El ejercicio que permite el instrumento sobre el cálculo en un Indicador Integral de Riesgo y poderlo colocar dentro de alguna categoría, facilita la rápida interpretación de la situación actual en la que se encuentra la empresa transportista en relación a su porcentaje de riesgo, así mismo el asignar un IIR mediante el resultado de los tres subindicadores permite tener un resultado general y una guía rápida para detectar el subindicador con mayor oportunidad de riesgo. Sin embargo se realiza una ponderación individual para los diez temas integrados dentro del instrumento, de tal manera que se puede obtener el diagnóstico individual por cada uno de los temas. Lo anterior genera dentro de los resultados de la aplicación del instrumento tres resultados a distinta escala permitiendo ir de lo general a lo específico, lo cual genera un beneficio para la empresa transportista a la hora de direccionar los recursos hacia sus principales áreas de oportunidad.

La obtención de los resultados de la aplicación del instrumento no generan una mejora por sí mismo, por lo cual al integrar el plan de acción para el fortalecimiento, se utilizó la herramienta AMEF permitiendo encontrar la verdadera causante que genera un mayor impacto sobre el porcentaje del IIR, el plan formato del plan de acción que fue utilizado permite que los planes y acciones que la empresa tomara para actuar sobre su efecto de falla, permitan la correcta asignación de recursos y la optimización de los mismos. El plan de fortalecimiento además de implementarse durante la evaluación diagnóstica también es aplicado al final del periodo que se dé para una segunda evaluación, esto permite una visualización de los avances sobre los NPR, el efecto de la falla y sus resultados, actualizando durante cada evaluación los NPR de la empresa evaluada.

La evaluación inicial se realizó sobre las tres empresas y se dio inicio a través de la diagnóstico de los tres subindicadores del instrumento: el peligro, la debilidad y la capacidad. Como resultado de la evaluación del peligro se pudo observar que las tres empresas contaban con una deficiencia sobre la identificación de peligros internos y externos, se detectó un área de oportunidad en el desarrollo voluntario de estrategias locales para la reducción de peligros y su identificación, la ausencia de herramientas e instrumentos para determinar los peligros a los que las empresas están sujetas y aquellos que las mismas empresas generan, fue un factor importante para un resultado pobre en la evaluación inicial del subindicador del peligro, así como también la ausencia de una medición previa, presente y posterior para la identificación de peligros.

Caso contrario a la evaluación diagnóstica del peligro, la evaluación inicial para el subindicador de la debilidad obtuvo resultados más positivos, donde se logró observar que las tres empresas presentaban un buen nivel de cumplimiento sobre el marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos, esto se debe en gran medida a que los cumplimientos normativos son de carácter obligatorio para el funcionamiento como empresa transportista. La evaluación del subindicador de la debilidad permitió observar el cumplimiento legal de las tres empresas transportistas, donde es claro que se cumple con la mayoría de los puntos requisitados, sin embargo también fue posible observar el desconocimiento y falta de algunos de los puntos.

La evaluación inicial del subindicador de la capacidad permitió observar una fortaleza de la empresa 2, la cual al tener un alcance más local que la empresa 1 y 3, cuenta con mayores fortalezas y alianzas locales público-privadas que permiten el mantener una capacidad mayor ante algún desastre. En el caso de la empresa 1 en donde el resultado fue más bajo que las otras empresas puede estar relacionado con una estructura corporativa más grande en donde los lineamientos van en relación a cumplimientos empresariales más que locales, lo cual no permite el desarrollo de alianzas locales público-privadas que aumenten o mantengan el nivel de capacidad.

Como parte de los objetivos se llevó a cabo el plan estratégico para cada una de las empresas utilizando la metodología AMEF, la implementación de esta metodología dentro del instrumento permitió poder especificar las causas que generaban el resultado obtenido en el IIR. Al desarrollar una plantilla general para los planes y acciones permite que cada una de las empresas pueda adaptar las actividades a realizar de acuerdo a sus recursos, lo anterior se pudo observar en la aplicación del plan de fortalecimiento que se implementó en las tres empresas, las cuales obtuvieron resultados favorables al seguir las recomendaciones del plan.

Las tres empresas actuaron sobre el NPR que se identificó a través del plan de fortalecimiento el cual fue calculado mediante los valores obtenidos en la evaluación inicial, las tres empresas coincidieron sobre su NPR, el cual estaba enfocado sobre la causa "Contexto de las amenazas y peligros" del subindicador del Peligro, en el cual de acuerdo a la plantilla general para los planes y acciones era necesario *"Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte"*.

Las empresas optaron por continuar con el plan de fortalecimiento y lo propuesto en la plantilla general de planes y acciones, por lo cual se dedicaron a realizar un documento donde pudieran evaluar sus rutas de transporte, los escenarios probables que se pudieran presentar, identificar los puntos críticos en los tramos carreteros del estado de Sonora y considerar los riesgos que pudieran presentar sobre las poblaciones expuestas durante el transporte de los residuos peligrosos. Además de este documento sobre el cual se enfocaron para el avance y reducción del IIR, se presentó evidencia objetiva la cual no se había podido mostrar durante la evaluación diagnóstica, lo cual permitió el cambiar algunos ITEMS a cumplimiento.

Como parte de integrar el documento de manera completa, se llevó a cabo la validación del mismo, incluyendo el plan de fortalecimiento, esto fue posible a través de una segunda evaluación donde se recibió evidencia y se validaron los puntos que se habían trabajado durante el periodo de funcionamiento del plan de acción. Como resultado de esta segunda evaluación se pudo observar que las tres empresas lograron avanzar enormemente sobre su resultado diagnóstico, en el caso de la Empresa 2 fue la empresa con un mayor avance donde obtuvo una reducción del 44%, la empresa 3 el 40% y la empresa 1 del 37%, el avance fue posible mediante la utilización del plan de fortalecimiento, permitiendo trabajar y direccionar los recursos a la causante de mayor impacto sobre el IIR.

El trabajar sobre la causante identificada no solo permite tener un impacto de reducción sobre esta misma, además se pudo identificar que las causas están relacionadas en distintos controles, por los que al atacar el NPR se puede tener resultados de impacto sobre otras causantes y así disminuir aún más el IIR.

VIII. CONCLUSIONES

La aplicación del instrumento integral del riesgo permitió observar que las empresas transportistas requieren de herramienta externas a sus proceso que permitan tener una visual diferente sobre aquellas medidas de seguridad que se implementan. El diseño y adaptación de un instrumento integral del riesgo es una necesidad actualmente, el poder integral peligros, debilidad y capacidades, promueven en las empresas un diseño de prevención del riesgo integral y no solo enfocado en lo reactivo.

Las empresas sobre las cuales se aplicó el instrumento para su validación son empresas con distintos tamaños de estructuras administrativas, distintos presupuestos y diferentes capacidades, sin embargo se pudo observar que aun y cuando existen diferencias importantes, las tres empresas contaron con resultados muy similares siendo los factores voluntarios los cuales se detectaron como una mayor área de oportunidad, por lo cual se puede decir que todo aquellos que no entra dentro del marco regulatorio no es de prioridad para la empresas transportistas.

Sin embargo un instrumento con estas características permitió identificar todas aquellas causantes que están presentes en el transporte de materiales peligrosos y que son de mayor impacto sobre los niveles de riesgo de las empresas transportistas, así también se obtuvo que el poder realizar una valoración jerárquica dentro del instrumento permite la dirección de instrumentos y recursos, optimizando el alcance de las empresas y siendo efectivos sobre las causantes, así mismo el instrumento permite una evaluación rápida la cual genera un diagnóstico de las situación en la que se encuentra la empresa transportista referente al riesgo y una mejora progresiva basada en una metodología comprobada.

En la actualidad existen herramientas, instrumentos y tecnologías para disminuir el riesgo, sin embargo un instrumento de fácil acceso y con una estructura sencilla permite a las empresas con un poco o nula estructura de seguridad dentro de sus organigrama, pudiera realizar una autoevaluación y seguir los planes y acciones prediseñadas, lo cual permitiría poder aplicar este instrumento en cualquier empresa transportista y lograr un avance en su IIR si se lleva a cabo los planes y acciones sobre las verdaderas causas, es por lo anterior que el presente trabajo de investigación fue validado en su estructura, comprensión y cumplimiento legal.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda en futuras investigaciones el poder contar con una población de estudio más amplia y variada, donde se aplique el instrumento con diferentes actividades del transporte de materiales peligrosos, pudiendo así agregar ítems adicionales que complementen el instrumento, por ejemplo, aquellas relacionadas con el transporte de combustibles.

Además se recomienda que se exploren distintos instrumentos o herramientas que se pudieran integrar dentro de nuevos instrumentos integral del riesgo, así como el implementar tecnologías que permiten el uso práctico y actualizado de cualquier instrumento para la disminución del riesgo.

Para estudios posteriores donde se pretenda aplicar un instrumento donde sea necesario una evaluación diagnóstica y una evaluación final, se recomienda que el periodo de esta sea mínimo de un año para que las medidas implementadas tomen su tiempo de aplicación y control, así mismo para que los resultados obtenidos durante la evaluación diagnóstica permitan diseñar un plan de acción a medida sobre los alcances de las empresas evaluadas.

Por último se recomienda que las empresas evaluadas continúen con sus autoevaluaciones de manera periódica, de tal manera que esto permita el poder mantener y controlar las acciones y planes propuestas en el plan de fortalecimiento, así mismo se logre una reducción al máximo del IIR.

X. REFERENCIAS

- Alluri, P., Nafis, S., Soto, F., Gonzalez, M. & Gan, A., 2018. Use of communication technologies to enhance public involvement in transportation projects. Florida department of transportation.
- Álvarez, C., Duarte, H., Thompson, L. & Plascencia, A., 2019. Primeros respondientes a emergencias químicas en Sonora. Universidad de Sonora.
- Androutsopoulos, K. N. & Zografos, K. G. 2012. A bi-objective time-dependent vehicle routing and scheduling problema for hazardous materials distribution. The association of European operational research societies.
- Baker, D. J., 2016. Responding to chemical releases: essentials of organization and incident management. Toxic trauma, pp. 69-90.
- Bonfman, A., Marianov, V., Belmar, G. P. & Villagra, A. L. 2016. The maximum and maximum – maximum hazmat routing problems. Transportation research part E, vol. 93, pp. 316-333.
- Brzozowska, L., 2016. Computer simulation of impacts of a chlorine tanker truck accident. Transportation research part D, vol. 43, pp. 107-122.
- Bula, G. A., Afsar, H. M., Gonzalez, F. A., Prodhon, C. & Velasco, N., 2019. Bi-objective vehicle routing problema for hazardous materials transportation. Journal of cleaner production, vol. 206, pp. 976-986.
- Changing, R., Xiongjun, Y., Jie, W., Xin, Z., Jin, L. Study on emergency response rank mode of flammable and explosive hazardous materials road transportation. 2012 international symposium on safety science and technology, vol. 45, pp. 830-835.
- Chen, L. & Hooks, E. M., 2014. Resilience: an indicator of recovery capability in intermodal freight transport. Transportation science, vol. 46, pp. 109-123.
- Chen, J., Zhang, M., Wang, S. 2018. A Bayesian network for the transportation accidents of hazardous materials handling time assessment. 2017 8th international conference on fire science and fire protection engineering, science direct, vol. 211, pp. 63-69.
- Cheng, J., Verma, M. & Verter, V., 2016. Impact of train makeup on hazmat risk in a transport corridor. Journal of transportation safety and security.
- Cherradi, G., Bouziri, A., Boulmakoul, A. & Zeitouni, K., 2017. Real-Time hazmat environmental information system: a microservice based architecture. The 7th international symposium on frontiers in ambient and mobile systems, vol. 109c, pp. 982-987.
- Chilcott, R. P., Larner, J. & Matar, H., 2018. The united kingdom's initial operational response and specialist operational response to CBRN and HazMat incidents: a primer on decontamination protocols for healthcare professionals. Research centre for topical drug delivery and toxicology, University of Hertfordshire, Hatfield, UK.
- Chiou, S. W., 2016. A bi-objective bi-level signal control for transport of hazardous materials in urban road networks. Transportation research part D, vol. 42, pp. 16-44.
- Chiou, S. W. 2018. A traffic-responsive signal control to enhance road network resilience with hazmat transportation in multiple periods. Vol. 175, pp. 105-118.
- Comisión de cooperación ecológica fronteriza, 2019. Programa frontera 2020. <<http://www.cocof.org/programas-de-financiamiento/asistencia-tecnica/programa-frontera-2020#/tab1>>
- Cordero, J. F., Meeker, J. D., Caruso, R. L., Giese, R., Padilla, I., Vesper, D., Kaeli, D., Sheahan, T., Brown, P., Vega, C. M. V., Alshawbkeh, A. N. 2018. Team science applied to environmental health research: Karst hydrogeology and preterm birth in Puerto Rico. Karst groundwater contamination and public health.
- Ditta, A., Figueroa, O., Galindo, G. & Pinedo, R. Y., 2018. A review on research in transportation of hazardous materials. Socio-Economic planning sciences.

FEMA, 2018. National risk and capability assessment. [En línea] Disponible en: <<https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/risk-capability-assessment>>

Flores, O., Hernandez, R., Blake, C., Fabela, M. & Vazquez, D., 2015. Sistemas de seguridad aplicables a vehículos y su aporte para salvar vidas. Instituto Mexicano del Transporte, vol. 156.

Garbolino, E., Lachatar, D., Sacile, R. & Bersani, C., 2013. Vulnerability and resilience of the territory concerning risk of dangerous goods transportation (DGT): Proposal of a spatial model. Chemical engineering transactions, vol. 32, pp. 91-96.

Gocmen, E., Erol, R. 2018. The problem of sustainable intermodal transportation: a case study of an international logistics company, Turkey. Department of industrial engineering, faculty of engineering, Cukurova University, Balcali.

Gradilla, L., 2013. Transición hacia un Sistema de transporte resiliente como medida de adaptación al Cambio Climático. Instituto Mexicano del Transporte, vol. 141.

Grieco, L. & Utley, M., 2018. Improving England's resilience to incidents involving release of hazardous materials, impact, vol. 1, pp. 32-35.

Gomez, N., Rios, G., Mendoza, A. & Abarca, E., 2018. Las auditorias de seguridad vial como herramienta para la movilidad segura. Instituto Mexicano del Transporte, vol. 173.

Grieco, L., Gleed, H., Groves, S., Dyer, S. & Utley, M., 2018. Informing decisions on the purchase of equipment used by health services in response to incidents involving hazardous materials. Journal of disaster risk reduction, vol. 28, pp. 113-121.

Gutierrez, S. A., Cuevas, C. C., Zamora, D. A. & Jimenez, S. E., 2009. El autotransporte de carga y la seguridad vial. Instituto Mexicano del transporte, vol. 120.

Hristova, P. V. 2017. Transport of dangerous goods as part of a functional modern society. Faculty of transport and energy, University of National and World Economy, Sofia, Bulgaria.

Homsy, G. C., Liao, L. & Warner, M. E., 2019. Sustainability and disaster planning: what are the connections?. Rural sociology, vol. 0, pp. 1-25.

Huang, X., Wang, X., Pei, J., Xu, Ming, Huang, X., Luo, Y. 2018. Risk assessment of the areas along the highway due to hazardous material transportation accidents. Nat hazards, vol. 93, pp. 1181-1202.

Janno, J. & Koppel, O., 2017. Human factor as the main operational risk in dangerous goods transportation chain. International scientific conference business logistics in modern management, pp- 12-13.

Kim, K., Francis, O. & Yamashita, E., 2018. Learning to build resilience into transportation systems. Transportation research record, pp. 1-13.

Kumar, U. C. & Jigisha, K. P. 2011. Route risk evaluation on class-2 hazmat transportation. Process safety and environmental protection. Vol. 8, pp. 248-260.

Kumar, U. C. & Jigisha, K. P. 2013. Using consequence – based hazard zone assessment for effective evacuation planning of vulnerable settlements along hazmat transport corridors through industrial city of Surat in western India. Journal of loss prevention in the process industries, Vol. 26, pp. 941-947.

Li, X., Khattak, A. J. & Wali, B., 2017. Role of multiagency response and on-scene times in large-scale traffic incidents. Journal of the transportation research board, pp. 39-48.

Ma, C., Hao, W., He, R. & Moghimi, B., 2018. A multiobjective route robust optimization model and algorithm for hazmat transportation. Discrete dynamics in nature society, vol. 2018, pp. 1-12.

Mabrouk, A., Boulmakoul, A., Karim, L. & Lbath, A., 2017. Safest and shortest itineraries for transporting hazardous materials using split point of Voronoi spatial diagrams based on spatial modeling of vulnerable zones. The 8th international conference on ambient systems, networks and technologies, vol. 109c, pp- 156-163.

Machado, E. R., Júnior, R. F. V., Fernandes, L. F., Pacheco, F. A.L. 2017. The vulnerability of the environment to spills of dangerous substances on highways: A diagnosis based on multi criteria modeling. Transportation Research Part D.

Mahmoudabadi, A. & Seyedhosseini, S. M. 2014. Solving hazmat routing problem in chaotic damage severity network under emergency environment, Transport policy, Vol. 36, pp. 34-45.

Markus, P. C. G. F., 2018. Organización y capacidades de las instituciones de primera respuesta a desastres en Costa Rica: Introducción. En torno a la prevención, vol. 20, pp.7-30.

Maslac, M., Antic, B., Pesic, D. & Milutinovic, N., 2017. Behaviours of professional drivers: validation of the DBQ for drivers who transport dangerous goods in Serbia. Transportation research part F, Vol. 50, pp. 80-88.

Maure, L. C., Valdivia, G. F. A., Machado, C. N. I. & Glistau, E. 2019. Methodology for the management of risk in the storage and transport of hazardous substances. Bulletin of engineering, vol. 7.

Mayoral, E., Cuevas, C. & Mendoza, A., 2015. Análisis de siniestralidad en las carreteras federales que convergen a los principales puertos fronterizos. Instituto Mexicano del Transporte, vol. 155.

Mayorga, F. M. J. 2004. La entrevista cualitativa como técnica de la evaluación de la docencia universitaria. RELIEVE:, v. 1, pp. 23-39

Mendoza, J. F., 2013. Análisis de los accidentes en el transporte de materiales y residuos peligrosos en México y su impacto ambiental. Instituto Mexicano del transporte, vol. 145.

Mendoza, A., Mayoral, E. & Cuevas, C., 2017. Síntesis de los tipos de accidente y su severidad en carreteras federales (2013-2015). Instituto Mexicano del Transporte, vol. 166.

Mieloszyk, E. & Milewska, A. 2018. Risk associated with the transportation of hazardous materials on public roads. MATEC web of conferences, vol. 231.

Mohammad, N. A. S., 2017. Evaluation of accidental atmospheric releases of chlorine and butane from a mobile source using ALOHA and MARPLOT. American journal of environmental protection, Vol. 6, pp. 144-155.

Naciones Unidas, 2011. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). Naciones unidas, Nueva York y Ginebra, 2011.

Naciones Unidas, 2019. Programa de las naciones unidas para el desarrollo. [En línea] Disponible en: <<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>>

Nagarajan, M. 2012. Augmenting incident command system for improved emergency response. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Industrial and Human Factors Engineering, Anna University.

Ouyang, Y., Xie, S. & An, K. 2018. Positioning, planning and operation of emergency response resources and coordination between jurisdictions. Roadway safety institute.

Poku, B. M., Tornyeviadzi, P., Adarkwa, K. K. 2018. Next to suffer: population exposure risk to hazardous material transportation in Ghana. Journal of transport & health.

PROFEPA, 2013. Sin afectaciones al río Yaqui por derrame de Cianuro de Sodio en Sonora: PROFEPA, [En línea] Disponible en: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/5314/1/mx.wap/sin_afectaciones_al_rio_yaqui_por_derrame_de_cianuro_de_sodio_en_sonora:_profepa.html>

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2017. Realiza PROFEPA simulacro binacional de emergencia química en Sonora. Comunicado. [En línea] Disponible en: <<https://www.gob.mx/profepa/prensa/realiza-profepa-simulacro-binacional-de-emergencia-quimica-en-sonora>>

Rada, E. C., Ferronato, N., Torretta, V. 2017. Individual risk evaluation and interventions for mitigation in the transportation of hazardous goods: a case study. MATEC web of conferences, 121.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2011. Norma mexicana NMX-R-019-SCFI-2011, sistema armonizado de clasificación y comunicación de peligros de los productos químicos.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2018. Subsecretaría de infraestructura. <<http://www.sct.gob.mx/carreteras/>>

Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2015. NOM-018-STPS-2015, sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

Seongbong, H., Moonil, k., Hangnan, Y., Woo, K.L., Jong, R. S., Soon, Y. J., Kyong, W. M. y Sang, H. B. 2017. Chemical accident hazard assessment by spatial analysis of chemical factories and accident records in South Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.

Soussi, A., Bouchta, D., Amarti, A. E., Seghioeur, H., Bersani, C., D'Inca, M., Sacile, R., Trotta, A., Zero, E., 2018. Risk analysis for hazardous material transport by road: case study on Tangier-Tetpuan región, Morocco. *Laboratory of materials and interfacial systems, Department on informatics, bioengineering*.

Su, L. & Kwon, C., 2018. Regulating hazardous-materials transportation with behavioral modeling of drivers. *Center for transportation, environment, and community health final report*.

Taslimi, M., Batta, R. & Kwon, C. 2016. A comprehensive modeling framework for hazmat network desing, hazmat response team location, and equity of risk. *Computers and operation research*. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054816302532>>

Thompson, C. M., Frazier, T. G. & Vachon, M. D., 2016. Opportunities and constraints to rural hazmat risk reduction. *Homeland security & emergency management*, vol. 13, pp. 51-75.

Torretta, V., Rada, E. C., Schiavon, M., Viotti, P. 2017. Decision support systems for assessing risk involved in transporting hazardous materials: A review. *Safety science*, vol. 92, pp. 1-9.

Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora, 2018. Comunicado preventivo, aviso carretero. [En línea] Disponible en: <https://twitter.com/uepcsonora?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwtterm%5E1070714400443678721&ref_url=https%3A%2F%2Fwww.elimparcial.com%2FPoliciaica%2F2018%2F12%2F06%2F1392859-Vuelca-vehiculo-con-materiales-peligrosos-en-via-a-Moctezuma.html>

United States. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, 2016. 2016 emergency response guidebook : a guidebook for first responders during the initial phase of a dangerous goods/hazardous materials transportation incident. Washington, D.C. :U.S. Dept. of Transportation, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.

Uddin, M., Huynh, N. 2018. Factors influencing injury severity of crashes involving HAZMAT trucks. *International Journal of Transportation Science and Technology*.

Vanajakshi, B. & Mounika, N., 2019. Systematic method for detection and prevention of fire accidents in rail transport. *Innovations in electronics and communication engineering*, vol. 33.

Vazquez, R. & Romo, G., 2019. Entrevista sobre las necesidades de los cuerpos de emergencia y la seguridad durante el transporte de materiales peligrosos en el estado de Sonora. Entrevistados por Alvares, C., Plascencia, A. & Valencia, I., 1 y 11 de febrero, 2019.

Verson, J., Dyga, N., Agbayani, N., Serafin, F. & Hondros, L. 2018. Desing and implementation of a medical student hazardous materiales response team: the medical student hazmat team. *International journal of emergency medicine*, pp. 11-38.

Yang, J., Li, F., Zhou, J., Zhang, L., Huang, L. & Bi, J., 2010. A survey on hazardous materials accidents during road transportation in China from 2000 to 2008. *Journal of hazardous materials*, vol. 184, pp. 647-653.

Zhang, H., Duan, H., Zuo, J., Song, M., Zhang, Y., Yang, B., Niu, Y. 2017. Characterization of post-disaster environmental management for hazardous materials incidents: lessons learnt from the tijin warehouse explosion, China. *Journal of environmental management*, Vol. 199, pp. 21-30.

Zhang, M., Wang, X, Mannan, M.S., Qian, C. & Wang, J., 2017. A system dynamics model for risk perception of lay people in communication regarding risk of chemical incident. *Journal of loss prevention in the process industries*.

Zhang, C., Nguyen, C., Eljack, F., Linke, P., El-Halwagi, M. M. 2018. Integration of safety in the optimization of transporting hazardous materials. *Process integration and optimization for sustainability*.

Zhong, H., Wang, J., Yip, T. L. & Gu, Y. 2018. An innovative gravity-based approach to assess vulnerability of a hazmat road transportation network: a case study of Guangzhou. *Transportation research part D*, vol. 62, pp. 659-671.

XI. ANEXO

Anexo 1. Plan de fortalecimiento de la empresa 1

Producto / Proceso	Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes
IIR-TMP	Peligro	75%	8	Identificación de amenazas y peligros	3.7	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	5	148	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
				Contexto de las amenazas y peligros	8.9	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	6	427	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población

								vulnerable dentro de la ruta del transporte	
			Objetivos de capacidad	10	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	2	0	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar
Debilidad	20%	2	Transporte	2	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos	5	15	Llevar a cabo un programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.	Cumplir con el programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.

			Condiciones de trabajo	2	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos referente a las condiciones de seguridad de trabajo	5	23	Llevar a cabo un programa de seguridad para asegurar el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos	Cumplir con el programa de de seguridad en tiempo y forma, asegurar en todo momento el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos.
			Ambiental	2	Elaborar un plan estratégico para la prevención, atención y seguimiento ante una emergencia ambiental durante el transporte de materiales peligrosos	5	20	Llevar a cabo el plan estratégico e institucional dentro de las políticas de seguridad ambiental dentro de la empresa	Realizar el programa estratégico en base a los solicitado por la autoridad, así también el asegurar el cumplimiento y seguimiento
Capacidad	62%	6	Comprensión del riesgo de desastre	4	Realizar una evaluación de los riesgos de desastre presentes en la	6	137	Implementar un sistema de evaluación de los riesgos de desastres presentes y futuros, internos y externos	Realizar evaluaciones de los riesgos de desastre presentes y futuros, estos deberán de ser comprendidos por la empresa transportista y

			ruta del transporte			ser comunicados a sus grupos de interés	
		Gobernanza para la gestión de riesgos de desastres	2.2 Implementar una política de gestión de riesgos de desastres	1	13	Implementar un sistema de gestión de riesgos de desastres dentro de la estructura de la empresa	Realizar un sistema de gobernanza para la gestión de riesgos de desastres, donde se defina recursos disponibles, estructura y roles, una política y se integra a los sistemas de gestión.
		Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia	5 Elaborar un plan estratégico preventivo para los riesgos de desastre presentes y futuros	5	150	Llevar a cabo acciones de prevención para riesgos de desastres presentes y futuros	Realizar un plan estratégico de prevención de riesgos de desastres presentes y futuros, este deberá de contar con un modelo recipiente y deberá de incluir los riesgos de desastres dentro de la cadena de suministro y el ecosistema del contexto externo
		Preparación para la	6 Implementar un sistema de respuesta y	5	180	Llevar a cabo la preparación para la respuesta y	Realizar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres, incluir

			respuesta y recuperación		recuperación frente a desastres		recuperación ante desastres, ligado a los planes de las autoridades del territorio	los planes de las autoridades del territorio, así como llevar a cabo simulaciones teóricas y practicas que permitan afinar los preparativos en caso de una desastre.
--	--	--	--------------------------	--	---------------------------------	--	--	--

Anexo 2. Plan de fortalecimiento de la empresa 2.

Producto / Proceso	Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes
IIR-TMP	Peligro	92%	9	Identificación de amenazas y peligros	8	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	5	360	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
				Contexto de las amenazas y peligros	10	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	6	540	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte

			Objetivos de capacidad	10	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	2	0	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar
Debilidad	36%	4	Transporte	4	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos	5	80	Llevar a cabo un programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.	Cumplir con el programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.

			Condiciones de trabajo	3	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos referente a las condiciones de seguridad de trabajo	5	60	Llevar a cabo un programa de seguridad para asegurar el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos	Cumplir con el programa de de seguridad en tiempo y forma, asegurar en todo momento el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos.
			Ambiental	4	Elaborar un plan estratégico para la prevención, atención y seguimiento ante una emergencia ambiental durante el transporte de materiales peligrosos	5	80	Llevar a cabo el plan estratégico e institucional dentro de las políticas de seguridad ambiental dentro de la empresa	Realizar el programa estratégico en base a los solicitado por la autoridad, así también el asegurar el cumplimiento y seguimiento
Capacidad	40%	4	Comprensión del riesgo de desastre	2	Realizar una evaluación de los riesgos de desastre presentes en la	6	48	Implementar un sistema de evaluación de los riesgos de desastres presentes y futuros, internos y externos	Realizar evaluaciones de los riesgos de desastre presentes y futuros, estos deberán de ser comprendidos por la empresa transportista y

			ruta del transporte			ser comunicados a sus grupos de interés		
			1	Implementar una política de gestión de riesgos de desastres	1	4	Implementar un sistema de gestión de riesgos de desastres dentro de la estructura de la empresa	Realizar un sistema de gobernanza para la gestión de riesgos de desastres, donde se defina recursos disponibles, estructura y roles, una política y se integra a los sistemas de gestión.
			3	Elaborar un plan estratégico preventivo para los riesgos de desastre presentes y futuros	5	60	Llevar a cabo acciones de prevención para riesgos de desastres presentes y futuros	Realizar un plan estratégico de prevención de riesgos de desastres presentes y futuros, este deberá de contar con un modelo recipiente y deberá de incluir los riesgos de desastres dentro de la cadena de suministro y el ecosistema del contexto externo

			Preparación para la respuesta y recuperación	0	Implementar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres	5	0	Llevar a cabo la preparación para la respuesta y recuperación ante desastres, ligado a los planes de las autoridades del territorio	Realizar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres, incluir los planes de las autoridades del territorio, así como llevar a cabo simulaciones teóricas y prácticas que permitan afinar los preparativos en caso de una desastre.
--	--	--	--	---	---	---	----------	---	--

Anexo 3. Plan de fortalecimiento de la empresa 3.

Producto / Proceso	Modo de Falla	Efectos de Falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones	Planes
IIR-TMP	Peligro	80%	8	Identificación de amenazas y peligros	5	Identificar amenazas y peligros, elaboración de planes estratégicos para mitigar riesgos futuros	5	200	Llevar a cabo la identificación de amenazas y peligros actuales y futuros durante las diferentes rutas utilizadas	Elaborar un reporte de identificación de amenazas y peligros actuales y futuros existentes sobre la ruta de transporte utilizada, este deberá de ser actualizado de manera anual, con el objetivo de tener identificadas las amenazas y peligros que se agreguen o se eliminen
				Contexto de las amenazas y peligros	9	Elaboración de una evaluación sobre el contexto de las amenazas y peligros durante la ruta del transporte	6	432	Identificación del contexto de las amenazas y peligros sobre la ruta del transporte	Realizar un reporte de evaluación de la ruta del transporte, incluir la modelación de escenarios y categorías de riesgo de los tramos carreteros, así como incluir dentro de la evaluación la población vulnerable dentro de la ruta del transporte

			Objetivos de capacidad	10	Determinar niveles de riesgos pasados, presentes y futuros	2	0	Medir los niveles de capacidad actuales, futuros y mantener la medición	Realizar una medición después a la implementación de los planes de acción y comparar los avances o retrocesos detectados, mantener periódicamente la aplicación del instrumento para controlar
Debilidad	30%	3	Transporte	3	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos	5	45	Llevar a cabo un programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.	Cumplir con el programa de gestión para el cumplimiento de los términos y condicionantes de las autorizaciones correspondientes, así como todo lo aplicable dentro del marco regulatorio del transporte de materiales peligrosos.

			Condiciones de trabajo	5	Gestionar y cumplir con lo establecido dentro del marco regulatorio para el transporte de materiales peligrosos referente a las condiciones de seguridad de trabajo	5	75	Llevar a cabo un programa de seguridad para asegurar el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos	Cumplir con el programa de de seguridad en tiempo y forma, asegurar en todo momento el bien estar de los trabajadores involucrados dentro del transporte de materiales peligrosos.
			Ambiental	2	Elaborar un plan estratégico para la prevención, atención y seguimiento ante una emergencia ambiental durante el transporte de materiales peligrosos	5	30	Llevar a cabo el plan estratégico e institucional dentro de las políticas de seguridad ambiental dentro de la empresa	Realizar el programa estratégico en base a los solicitado por la autoridad, así también el asegurar el cumplimiento y seguimiento
Capacidad	46%	5	Comprensión del riesgo de desastre	7	Realizar una evaluación de los riesgos de desastre presentes en la	6	210	Implementar un sistema de evaluación de los riesgos de desastres presentes y futuros, internos y externos	Realizar evaluaciones de los riesgos de desastre presentes y futuros, estos deberán de ser comprendidos por la empresa transportista y

		ruta del transporte			ser comunicados a sus grupos de interés		
	Gobernanza para la gestión de riesgos de desastres	4	Implementar una política de gestión de riesgos de desastres	1	20	Implementar un sistema de gestión de riesgos de desastres dentro de la estructura de la empresa	Realizar un sistema de gobernanza para la gestión de riesgos de desastres, donde se defina recursos disponibles, estructura y roles, una política y se integra a los sistemas de gestión.
	Reducción del riesgo de desastres para la resiliencia	5	Elaborar un plan estratégico preventivo para los riesgos de desastre presentes y futuros	5	125	Llevar a cabo acciones de prevención para riesgos de desastres presentes y futuros	Realizar un plan estratégico de prevención de riesgos de desastres presentes y futuros, este deberá de contar con un modelo recipiente y deberá de incluir los riesgos de desastres dentro de la cadena de suministro y el ecosistema del contexto externo

			Preparación para la respuesta y recuperación	2	Implementar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres	5	50	Llevar a cabo la preparación para la respuesta y recuperación ante desastres, ligado a los planes de las autoridades del territorio	Realizar un sistema de respuesta y recuperación frente a desastres, incluir los planes de las autoridades del territorio, así como llevar a cabo simulaciones teóricas y prácticas que permitan afinar los preparativos en caso de una desastre.
--	--	--	--	---	---	---	-----------	---	--