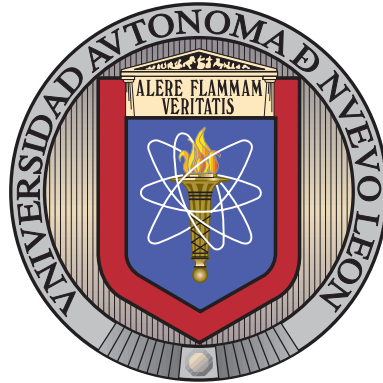


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



HERRAMIENTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE  
MERCANCÍAS CONTEMPLANDO LA SEGURIDAD  
POR RUTA

POR

GABRIELA MARTÍNEZ RIOS

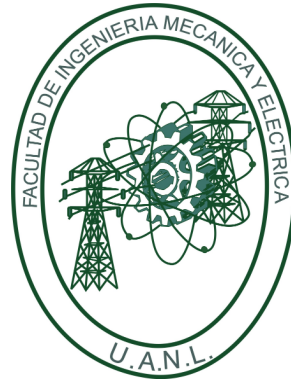
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

DICIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



HERRAMIENTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE  
MERCANCÍAS CONTEMPLANDO LA SEGURIDAD  
POR RUTA

POR

GABRIELA MARTÍNEZ RIOS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

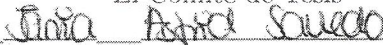
DICIEMBRE 2019



Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Subdirección de Estudios de Posgrado


Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Herramienta para la distribución de mercancías contemplando la seguridad por ruta», realizada por el alumno Gabriela Martínez Rios, con número de matrícula 1315251, sea aceptada para su defensa como requisito para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

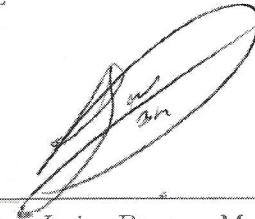


Dra. Jania A. Saucedo Martínez

Asesor



Revisor



MLCS. Debra Luisa Barrera Martínez

Revisor

Vo. Bo.

  
Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, diciembre 2019

*El presente trabajo esta dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.*

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>XII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del Problema . . . . .	5
1.2. Objetivo . . . . .	6
1.3. Hipótesis . . . . .	6
1.4. Justificación . . . . .	6
1.5. Metodología . . . . .	7
1.6. Estructura de la Tesis . . . . .	8
<b>2. Antecedentes</b>	<b>9</b>
2.1. Tipos de Riesgos en las Cadenas de Suministro . . . . .	9
2.2. El Transporte en las Cadenas de Suministro . . . . .	11
2.3. El Transporte Carretero . . . . .	13
2.3.1. Contexto Actual del Transporte Carretero en México . . . . .	14

---

2.4. Métodos de Análisis Multicriterio . . . . .	22
2.4.1. Método Delphi . . . . .	22
2.4.2. Método del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) . . . . .	24
2.4.3. Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud a una So- lución Ideal (TOPSIS) . . . . .	25
2.5. Otros Métodos . . . . .	26
2.5.1. Análisis de Componentes Principales (ACP) . . . . .	26
2.5.2. Modelo Matemático . . . . .	26
2.6. Conclusiones . . . . .	27
<b>3. Descripción de la Metodología</b>	<b>32</b>
3.1. Identificación de Criterios . . . . .	32
3.1.1. Revisión de literatura . . . . .	33
3.1.2. Metodología Delphi . . . . .	34
3.2. Evaluación y Ponderación de Criterios . . . . .	41
3.2.1. Aplicación AHP . . . . .	43
3.2.2. Evaluación del riesgo . . . . .	49
<b>4. Experimentación y análisis de los resultados</b>	<b>51</b>
4.1. Análisis de escenarios . . . . .	51
<b>5. Conclusiones</b>	<b>54</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	54

---

5.2. Recomendaciones . . . . .	55
5.3. Contribuciones y trabajo a futuro . . . . .	56
5.3.1. Trabajo a futuro . . . . .	56

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

1.1. Producto Interno Bruto a 2018 (Millones de pesos a precios de 2013).	3
1.2. Variación del Producto Interno Bruto (En porcentaje). . . . .	3
1.3. Costos de la inseguridad en el sector del autotransporte de carga (En millones de pesos). . . . .	7
1.4. Pasos a seguir para la elaboración de la investigación. . . . .	8
2.1. Principal modo de carga en Estados Unidos, Canadá y México 2016-2017 (En billones de dólares) . . . . .	12
2.2. División modal del transporte de mercancías en Europa 2016 . . . . .	13
2.3. Movimiento de Carga por Modo de Transporte 2017. . . . .	14
2.4. Flota Vehicular del Autotransporte de Carga por Clase de Vehículo 2017. . . . .	15
2.5. Movimiento de la Carga Nacional por Modo de Transporte 2017. . . . .	16
2.6. Flota Vehicular del Autotransporte de Carga por Clase de Servicio 2017. . . . .	16
2.7. Principales Corredores del Sistema Carretero Nacional 2017. . . . .	17



---

2.8. Importación y Exportación de Mercancías Según Modo de Transporte 2017. . . . .	18
2.9. Incidencias 2012-2017 (con y sin violencia). . . . .	19
2.10. Incidencias a Mayo 2018 (Con y Sin Violencia). . . . .	20
2.11. Estados con Mayor Número de Incidencias de Robo a Transportistas de Enero a Mayo 2018 . . . . .	21
2.12. Métodos más usados para el problema de selección y evaluación . . . .	30
2.13. Ventajas y Desventajas de Algunos Métodos para Selección y Evalua- ción de Criterios . . . . .	31
3.1. Etapas para identificar criterios importantes . . . . .	33
3.2. Factores relevantes encontrados en literatura . . . . .	34
3.3. Pasos del Método Delphi . . . . .	35
3.4. Perfil de expertos . . . . .	37
3.5. Criterios mencionados por expertos . . . . .	38
3.6. Mapa de calor por robos en México . . . . .	39
3.7. Nivel de riesgo por Estado . . . . .	39
3.8. Robo de carga por tipo de unidad, 2018 . . . . .	40
3.9. Robo de carga por horario, 2018 . . . . .	41
3.10. Robo de carga por tipo de producto, 2018 . . . . .	42
3.11. Nivel de riesgo por producto . . . . .	42
3.12. Jerarquía de decisión. Este modelo tiene 7 niveles. . . . .	43

---

3.13. Comparación por pares . . . . .	44
3.14. Resultados de la comparación por pares . . . . .	45
3.15. Matriz consolidada de la comparación por pares . . . . .	46
3.16. Prioridades globales . . . . .	47
3.17. Prioridades consolidadas . . . . .	47
3.18. Ponderación de criterios . . . . .	48
3.19. Nivel de riesgo . . . . .	50

# ÍNDICE DE TABLAS

---

2.1. Revisión de literatura . . . . .	28
---------------------------------------	----

# AGRADECIMIENTOS

---

Este trabajo es la suma del apoyo de muchas personas, a algunas las conocí en este camino de dos años y otras han estado conmigo desde hace muchos años y quiero aprovechar estas líneas para expresar mi más sincero agradecimiento.

Primeramente a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica así como a la Universidad Autónoma de Nuevo León por darme la oportunidad de formar parte de esta gran comunidad estudiantil.

A la Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez, mi tutora de tesis, por su paciencia, apoyo y guía para la culminación de este proyecto.

A mis revisores de tesis MLCS. Blanca Idalia Pérez Pérez por su apoyo incondicional, consejos y palabras de ánimo, así como también a la MLCS. Debra Luisa Barrera Martínez por el tiempo y comentarios brindados a este proyecto.

Al núcleo académico de la Maestría en Logística y Cadena de Suministro de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su disposición, enseñanzas y asesoría a lo largo de la maestría, en especial a la Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa por sus comentarios siempre constructivos y su disposición para ayudar.

A mi familia y amigos que durante estos dos años me apoyaron en todas las formas posibles para alentarme a finalizar mis estudios.

Finalmente quiero agradecer a mis compañeros de generación Nayeli, Tana-yi, Marco, Emilio, Daryo y Oscar, sin ustedes definitivamente no estaría el día de

---

hoy viendo finalizado este sueño. Agradezco infinitamente todo su apoyo, paciencia, tiempo, palabras de aliento y consejos.

# RESUMEN

---

Gabriela Martínez Rios.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: HERRAMIENTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE MERCANCÍAS CON-  
TEMPLANDO LA SEGURIDAD POR RUTA.

Número de páginas: 61.

**OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:** La seguridad en las cadenas de suministro es fundamental para conservar y mejorar la competitividad del país y de las empresas localizadas en él. Las disrupciones generadas por diversos tipos de riesgos y otras incertidumbres generan pérdidas económicas y un efecto propagación a todos los participantes de la cadena, afectando en definitiva la competitividad nacional. La logística y en específico la distribución es uno de los más importantes gastos de una empresa que se dedica a la producción de bienes de consumo, por lo que su eficiencia es un tema fundamental para alcanzar una estrategia competitiva exitosa y transfórmala en utilidades para la empresa. El propósito de este trabajo es que empresas del sector industrial puedan mejorar la distribución de sus productos, minimizando el riesgo que implica el trasladarlas por las carreteras de este país y a su vez eligiendo la mejor ruta posible en términos de tiempo y costo, alcanzando también

una eficiencia mayor de sus recursos. Lo anterior con el apoyo de una herramienta basado en el proceso jerárquico analítico y el método Delphi para evaluar el nivel de riesgo de las diferentes rutas de tránsito.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Se desarrolló una herramienta basada en análisis multicriterio actualizada y que contempla las condiciones actuales de seguridad en el país, se espera que apoye en la reducción del riesgo de robo y la pérdida de dinero relacionada para las empresas. Además se generó como una herramienta de fácil uso en Excel.

Firma del asesor: \_\_\_\_\_

Dra. Jania A. Saucedo Martínez

## CAPÍTULO 1

# INTRODUCCIÓN

---

El propósito de este trabajo es que empresas del sector industrial puedan mejorar la distribución de sus productos, minimizando el riesgo que implica el trasladarlas por las carreteras de este país y a su vez eligiendo la mejor ruta posible en términos de tiempo y costo, alcanzando también una eficiencia mayor de sus recursos.

Mejorar la manera en la que las empresas distribuyen sus productos y poder hacer un análisis de costo-beneficio de la rapidez de la ruta versus las incidencias reportadas que proveerá de información para la toma de decisiones, la cual es poco considerada en la actualidad, a pesar de repercutir en pérdidas anuales considerables, sobre todo si hablamos de bienes de alto valor.

La logística y en específico la distribución es uno de los más importantes gastos de una empresa que se dedica a la producción de bienes de consumo, por lo que es un tema fundamental para alcanzar una estrategia competitiva exitosa y transfórmala en utilidades para la empresa.

Según Cedillo-Campos *et al.* (2014), el desarrollar un flujo eficiente y oportuno de bienes legítimos mientras se reduce su vulnerabilidad a las disrupciones es uno de los principales objetivos de las economías más importantes orientadas a la exportación. Sin embargo, plantean que la seguridad es un tema crítico para el diseño de procesos en las cadenas de suministro particularmente en los países emergen-



tes donde, el rendimiento de la cadena de suministro se ha convertido en un tema importante.

Según lo plantea Pérez (2013), la seguridad en una cadena de suministro se logra mediante las acciones que se realizan para asegurar su continuidad sin interrupciones, esto debe ser iniciativa tanto del sector privado como del público en cualquier país, ninguna empresa por si sola puede asegurar su cadena al cien por ciento sin el compromiso de las autoridades de salvaguardar la seguridad de las carreteras de actos delictivos. El Banco Mundial en su documento Supply Chain Security Guide (M. Donner, 2008), divide las interrupciones asociadas a la seguridad de la cadena de suministro en 2 tipos: de actos terroristas y actos criminales, esta investigación se centrará en los últimos que se refieren a actos delictivos cometidos aprovechando las rutas establecidas de las empresas para sus transportes terrestres y consisten más no se limitan a: el tráfico ilegal de bienes y personas, el robo de la carga o vehículo, tráfico de sustancias ilegales, etc.

De acuerdo con Cedillo-Campos *et al.* (2014), las interrupciones en las cadenas de suministro tienen enormes consecuencias económicas no solo por sus daños directos, sino también por el efecto de propagación al resto de la cadena de suministro. De hecho, reduce la confiabilidad de la logística, lo que resulta en largos plazos de entrega y estimula mayores inventarios de seguridad, entre otros factores que disminuyen la competitividad logística nacional.

En México, como se mencionó anteriormente, existe escasa información y recursos técnicos para identificar las principales variables relacionadas al riesgo de robo en carreteras, también se desconoce la magnitud de los riesgos y tampoco existe una base analítica para que los tomadores de decisión hagan una evaluación previa basada en la seguridad. Sin embargo, para lograr lo anterior es necesario conocer y entender las diferentes categorías de riesgo y que las genera (De La Torre *et al.*, 2014).

Es además de suma importancia destacar el impacto económico del autotrans-

porte de carga en México, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2018 el autotransporte de carga constituyó el 3.3 % del Producto Interno Bruto (PIB) que se traduce en \$616,601 millones de pesos, esto representa un crecimiento del 3.1 % con respecto a cifras del 2017, lo anterior se ilustra en las Figuras (1.1) y (1.2).

Producto Interno Bruto (Millones de pesos a precios de 2013)									
Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Valores constantes en millones de pesos									
<b>Producto Interno Bruto</b>	<b>14,947,795</b>	<b>15,495,334</b>	<b>16,059,724</b>	<b>16,277,187</b>	<b>16,733,655</b>	<b>17,283,856</b>	<b>17,788,824</b>	<b>18,157,002</b>	<b>18,519,090</b>
Impuestos sobre los productos, netos	595,394	619,537	628,731	634,567	673,025	712,586	764,368	793,342	816,018
<b>Valor agregado bruto</b>	<b>14,352,401</b>	<b>14,875,797</b>	<b>15,430,993</b>	<b>15,642,620</b>	<b>16,060,630</b>	<b>16,571,270</b>	<b>17,024,456</b>	<b>17,363,660</b>	<b>17,703,072</b>
Transportes, correos y almacenamiento	912,749	948,312	986,350	1,011,496	1,046,459	1,090,290	1,123,104	1,169,810	1,206,202
Transporte aéreo	22,085	22,122	23,497	25,335	27,427	29,746	32,449	36,292	40,255
Transporte por ferrocarril	19,808	20,036	19,859	19,630	20,180	20,765	21,120	21,426	22,175
Transporte por agua	13,427	13,717	13,510	13,868	13,994	13,081	12,962	12,607	12,994
<b>Autotransporte de carga</b>	<b>428,283</b>	<b>454,606</b>	<b>488,788</b>	<b>502,167</b>	<b>528,778</b>	<b>554,676</b>	<b>567,153</b>	<b>597,919</b>	<b>616,601</b>
Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	325,839	331,895	333,146	342,042	344,214	355,229	368,785	374,810	381,769
Transporte por ductos, transporte turístico y servicios relacionados con el transporte	72,935	75,963	76,931	77,609	79,985	82,630	84,566	87,497	92,350
Servicios postales, servicios de mensajería y paquetería	18,614	18,324	18,895	18,708	18,900	20,425	22,415	24,461	26,066
Servicios de almacenamiento	11,758	11,649	11,724	12,137	12,980	13,738	13,654	14,797	13,993

Figura 1.1: Producto Interno Bruto a 2018 (Millones de pesos a precios de 2013).

Fuente: INEGI

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Variación porcentual anual (%)									
<b>Producto Interno Bruto</b>	<b>5.1</b>	<b>3.7</b>	<b>3.6</b>	<b>1.4</b>	<b>2.8</b>	<b>3.3</b>	<b>2.9</b>	<b>2.1</b>	<b>2.0</b>
Impuestos sobre los productos, netos	4.1	4.1	1.5	0.9	6.1	5.9	7.3	3.8	2.9
<b>Valor agregado bruto</b>	<b>5.2</b>	<b>3.6</b>	<b>3.7</b>	<b>1.4</b>	<b>2.7</b>	<b>3.2</b>	<b>2.7</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>
Transportes, correos y almacenamiento	8.2	3.9	4.0	2.5	3.5	4.2	3.0	4.2	3.1
Transporte aéreo	-1.5	0.2	6.2	7.8	8.3	8.5	9.1	11.8	10.9
Transporte por ferrocarril	15.4	1.2	-0.9	-1.2	2.8	2.9	1.7	1.4	3.5
Transporte por agua	11.5	2.2	-1.5	2.6	0.9	-6.5	-0.9	-2.7	3.1
<b>Autotransporte de carga</b>	<b>15.0</b>	<b>6.1</b>	<b>7.5</b>	<b>2.7</b>	<b>5.3</b>	<b>4.9</b>	<b>2.2</b>	<b>5.4</b>	<b>3.1</b>
Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	2.0	1.9	0.4	2.7	0.6	3.2	3.8	1.6	1.9
Transporte por ductos, transporte turístico y servicios relacionados con el transporte	5.6	4.2	1.3	0.9	3.1	3.3	2.3	3.5	5.5
Servicios postales, servicios de mensajería y paquetería	-5.3	-1.6	3.1	-1.0	1.0	8.1	9.7	9.1	6.6
Servicios de almacenamiento	6.4	-0.9	0.6	3.5	6.9	5.8	-0.6	8.4	-5.4

Figura 1.2: Variación del Producto Interno Bruto (En porcentaje).

Fuente: INEGI

La Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR) calculó que en 2018 el autotransporte de carga movió 556.4 millones de toneladas de mercancía, las cuales representan el 55.6 % del total de toneladas que se movieron dentro del territorio nacional en 2018.

Para poder dimensionar de una mejor manera el impacto del autotransporte de carga en México se tomará de ejemplo una de las industrias más relevantes en el

país, la industria automotriz, la cual es la cuarta más importante del país. En 2017 contribuyó con el 2.9% del PIB nacional y el 18.3% del manufacturero de acuerdo con la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) y es uno de los principales clientes de las empresas de autotransporte en México.

En Estados Unidos, una empresa líder que brinda servicios administrados para mantenimiento de equipos de producción, reparación de piezas industriales y soporte de infraestructura de TI para fabricantes realizó una encuesta a 101 ejecutivos de la industria automotriz y encontró que en promedio el costo por minuto de un paro de línea no planeado es de \$22,000 USD el minuto, esto equivale a \$1,320,000 USD por hora. Wolniak (2019), realizó un estudio en una empresa automotriz en donde encontró que el 88.13% del tiempo no planeado de paro de línea se debía a la falta de su principal insumo de producción.

Si bien son diversas las causas que pueden ocasionar la falta de un insumo, en México la AMIA reconoció, en su agenda 2018-2024, como tema prioritario la mejora de la seguridad en las carreteras para el transporte de vehículos y autopartes para poder asegurar la competitividad del sector automotriz mexicano.

En su Agenda Económica del Autotransporte de Carga la CANACAR informó que en el primer semestre del 2019 se denunciaron 6,016 robos a transportistas, esto representa un incremento del 3% con respecto al mismo período del 2018 en donde se registraron 5,840.

Habiendo destacado la importancia del autotransporte de carga para la industria y el país, esta investigación planteará la forma de encontrar la mejor ruta tomando en cuenta la carga por su valor y tipo, para moverla por la ruta más adecuada y con el nivel de seguridad idóneo para la carga.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las interrupciones causadas por los actos delictivos en las carreteras son muchas veces ignoradas al momento de planificar la distribución de productos, debido a que, la mayoría de las veces las carreteras con el mayor número de incidencias son las más baratas, en términos de peajes, y en algunas ocasiones suelen ser también cortas lo que ayuda al ahorro de tiempo y combustible. Por estas cuestiones, muchas empresas toman mejor el riesgo de distribuir sus mercancías por estas rutas debido a que son mercancías de bajo valor, pero ¿qué pasa cuando la mercancía a transportar es de alto valor económico y el robo o pérdida de esta representaría grandes pérdidas económicas para la empresa.

De acuerdo con Pérez (2013) con información de FreightWatch, en México se registran las tasas de riesgo más altas del mundo para la transportación por carretera de productos. Sin embargo, no se tiene una cifra exacta del problema ni estadísticas precisas, muchas veces consecuencia de la falta de denuncias y/o a la coalición de las autoridades y los grupos criminales existentes. El Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP), registró 11,387 incidencias en el 2017, cifra que representa un aumento del 53.83 % respecto al año anterior; así mismo, la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) afirma que las pérdidas económicas por robos de mercancías han ido en aumento y que en 2015 se perdieron \$1,910 millones de pesos y para el 2016 la cifra incremento en 4 %, aun y con las cifras presentadas por la SESNSP y la AMIS no se puede tener total certeza en cuanto a la cantidad de incidencias registradas debido al nivel de corrupción y falta de confianza en las autoridades. Con esta información y otra encontrada en los portales de las autoridades a cualquier nivel y otras organizaciones empresariales es posible visualizar la discrepancia en las cifras que cada uno tiene. Y a pesar de no estar de acuerdo en las estadísticas de robos carreteros, en algo en lo que si concuerdan las diferentes organizaciones involucradas es que esto afecta la competitividad de México a los ojos de los inversionistas y pone alertas rojas para no invertir en el

país.

## 1.2 OBJETIVO

Seleccionar una ruta de distribución mediante evaluación multicriterio como apoyo para la toma de decisiones considerando los siguientes criterios: valor de la mercancía, tipo de mercancía, cantidad de incidencias en las posibles rutas, costo de las rutas y tiempo estimado de tránsito.

## 1.3 HIPÓTESIS

Ofrecer una herramienta para lograr una cadena de suministro segura y eficiente, que ayude a las empresas en la toma de decisiones en la creación de rutas de distribución seguras, reduciendo el riesgo de seguridad y posibles interrupciones.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Ballou (2004a), menciona que el transporte es una de las actividades logísticas que absorbe el mayor porcentaje del costo y se estima esta entre un 50 % y 66 %; así mismo añade valor de lugar a los productos y servicios ya que los posiciona en el lugar y momento establecidos por un cliente de acuerdo a su necesidad. Por lo anterior, define al transporte como esencial para toda empresa moderna ya que ninguna puede operar sin el movimiento de materia prima y producto terminado.

Diversas cámaras, asociaciones e industrias del país definen como crítico el tema de la seguridad en las carreteras para mantener la competitividad de las diferentes industrias establecidas y seguir atrayendo inversión extranjera. La AMIS calculó que el robo representa el 60 % del total de siniestros en donde está involucrado el

autotransporte de carga. Tan solo en 2016 el total de los reclamos de pago a las aseguradoras por motivo de robo ascendió a los \$2,000 millones de pesos, aunque las empresas solo recuperan entre el 90 y 95 % de la pérdida.

Pero hay que tomar en cuenta que no todas las mercancías cuentan con seguro y de acuerdo con la CANACAR, en 2017, el costo del robo al autotransporte de carga sumo pérdidas por \$92,500 millones de pesos los cuales representan un 0.5 % del PIB nacional, esta cifra se dividen en costos directos e indirectos como se muestran en la Figura (1.3).

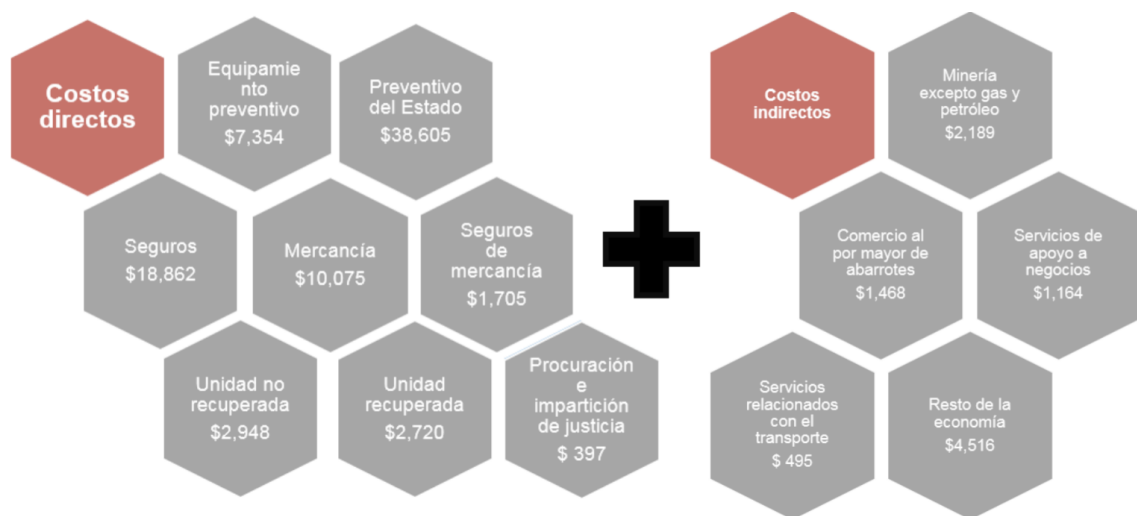


Figura 1.3: Costos de la inseguridad en el sector del autotransporte de carga (En millones de pesos).

Fuente: CANACAR

## 1.5 METODOLOGÍA

Para la elaboración de esta investigación se seguirán los pasos mostrados en la Figura (1.4).

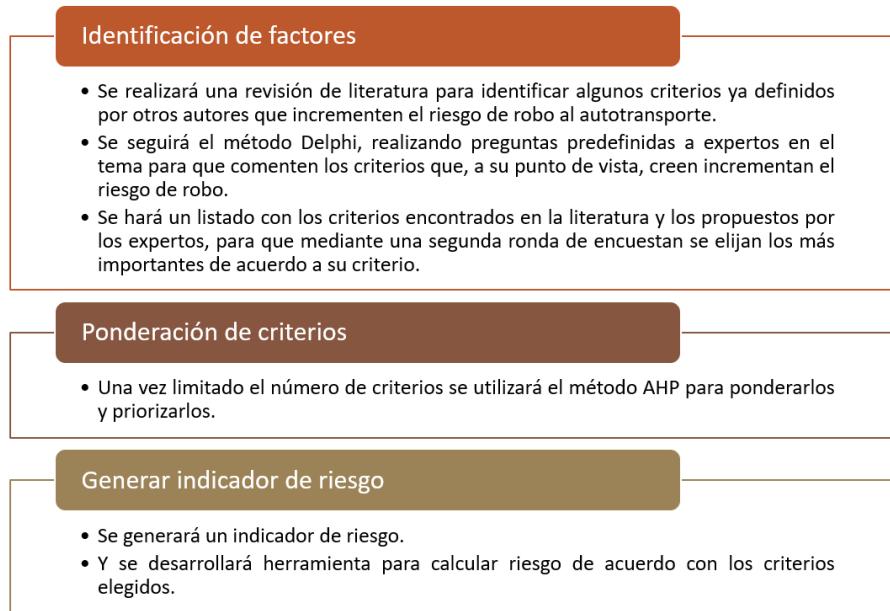


Figura 1.4: Pasos a seguir para la elaboración de la investigación.

Fuente: Elaboración propia

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La organización de este trabajo se presenta en capítulos. En este primer capítulo, se describe el problema, objetivo e hipótesis de este trabajo; después se presenta el capítulo dedicado a los antecedentes históricos del problema y a la descripción de algunas herramientas multicriterio que pudieran apoyar la realización de esta investigación.

En el capítulo 3 se describe la metodología paso a paso, como se identificaron los criterios utilizados, como se ponderaron y se presenta la aplicación de uno de los métodos mencionados el AHP. En el capítulo 4 se hace la experimentación con la herramienta desarrollada y en el capítulo final se redactan las conclusiones de la investigación, contribuciones y trabajo a futuro.

## CAPÍTULO 2

# ANTECEDENTES

---

La seguridad en las cadenas de suministro es fundamental para conservar y mejorar la competitividad del país y de las empresas localizadas en él. Las interrupciones generadas por diversos tipos de riesgos y otras incertidumbres generan pérdidas económicas y un efecto propagación a todos los participantes de la cadena, afectando en definitiva la competitividad nacional (Pérez, 2013).

Una interrupción se refiere a aquello que genera una interrupción o ruptura brusca, por lo general, se hace referencia a algo que genera un cambio muy importante; se considera que las interrupciones pueden ser de corto o largo plazo, de menor a mayor riesgo para una empresa e impredecibles; así mismo pueden causar tiempos de entrega largos, desabastos y aumento en costos (Mital *et al.*, 2018).

## 2.1 TIPOS DE RIESGOS EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO

En Schoenherr *et al.* (2008), se define al riesgo como una combinación de probabilidad o frecuencia de ocurrencia de un evento peligroso y su magnitud. Cavinato (2004), menciona que después de los ataques terroristas en Nueva York y Madrid las personas han identificado muchos más riesgos e incertidumbres y que estos son



ahora incluidos en todas las funciones y procesos dentro de un negocio; cambios en las regulaciones, huelgas, epidemias, entre otros, pueden causar interrupciones en las cadenas de suministro.

Por tanto, Cavinato (2004) hace una categorización de los riesgos e incertidumbres para hacer más fácil su identificación dentro de los procesos de una cadena de suministro:

1. *Riesgo físico*: el que se encuentra al momento del movimiento, almacenamiento, transportación o distribución de los bienes.
2. *Riesgo financiero*: se puede incurrir en este al momento de realizar transacciones de dinero entre empresas, en los posibles gastos extras para completar la transacción, gastos adicionales en los departamentos de cuentas por cobrar o pagar, entre otros.
3. *Riesgo de información*: el que involucra todo el intercambio, captura y uso de información ligada a una operación entre 2 partes involucradas o más.
4. *Riesgo relacional*: se refiere al apropiado enlace entre los participantes en una cadena de suministro desde proveedores hasta clientes finales, con el objetivo de que todos logren el máximo beneficio de la relación.
5. *Riesgo de innovación*: la correcta comunicación entre proveedores, fabricantes y clientes para crear y/o desarrollar un nuevo producto o servicio.

Dentro del riesgo físico, Sunil Chopra (2010) identifica 3 riesgos principales al momento de mover una mercancía entre 2 puntos:

1. Riesgo de retraso en el envío.
2. Riesgo de que el envío no llegue a destino final, por razones ajenas a los involucrados en el movimiento.

### 3. Riesgo de material peligroso.

El riesgo de que el envío no llegue a destino final es el más mencionado en la literatura y en donde podrían existir diversas razones por las cuales un envío no llega a destino, sin embargo, el elemento que más se repite es el modo de transporte utilizado y los riesgos que conllevan cada uno de ellos. Por lo cual, para contrarrestar los efectos de estos riesgos es necesario identificar el origen del riesgo, sus consecuencias y así desarrollar acciones para prevenir y/o controlar los efectos causados por estos.

## 2.2 EL TRANSPORTE EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO

Ballou (2004b), define un servicio de transporte como un conjunto de características de desempeño adquiridas a un precio predeterminado; entre dichas características se encuentran: el precio, tiempo promedio de tránsito, variaciones en el tiempo, pérdidas y daños en los que se podría incurrir al momento de la transportación. Y agrega que, el transporte se considera el costo más importante en la logística de cualquier empresa dado que representa de un 25 % a un 50 % del costo total de esta.

Así también, Sunil Chopra (2010) considera el transporte como un elemento esencial en las cadenas de suministro y lo define como el movimiento de un producto de un lugar a otro a lo largo de toda la cadena de suministro, desde el proveedor inicial de la materia prima hasta el cliente final.

Ballou (2004b) define 5 modos básicos para el transporte de mercancías: (1)ferrocarril, (2)camión, (3)avión, (4)barco y (5) ductos. Los tomadores de decisiones involucrados en las cadenas de suministro deben estar preparados para elegir el mejor modo de transporte para su producto, así como evaluar el riesgo que podría conllevar cada uno para poder tomar una decisión y así realizar planes de contención y manejo

del riesgo.

Según el Bureau of Transportation Statistics en Estados Unidos (Statistics, 2019), el método de transporte más usado en Norteamérica es el carretero, en la Figura (2.1) podemos observar que en el 2017 los camiones continuaron siendo el modo más utilizado para mover mercancías hacia y desde Canadá y México, con un 63.3% de la carga transportada. A pesar de una disminución de 2.2 puntos porcentuales en comparación con 2016 en la participación, los camiones representaron \$720.8 mil millones de los \$1.1 billones en flujos de carga con Canadá y México en 2017.

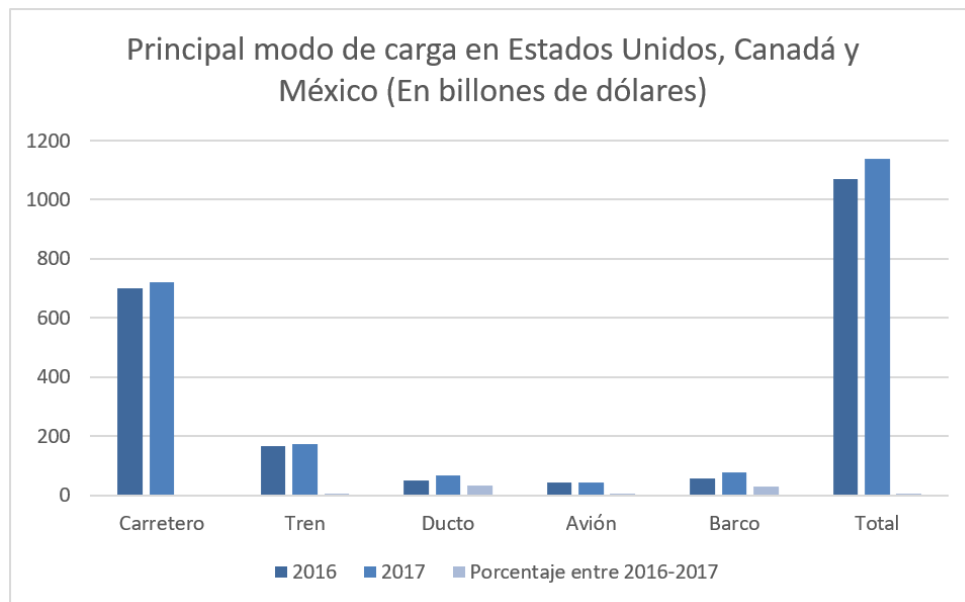


Figura 2.1: Principal modo de carga en Estados Unidos, Canadá y México 2016-2017 (En billones de dólares) .

Fuente: Bureau of Transportation Statistics

De igual forma la Eurostat demuestra que, en el 2016 el transporte por carretera sigue teniendo la mayor parte del transporte de mercancías de la UE entre los tres modos de transporte interior. La Figura (2.2) muestra que en 2016, el transporte por carretera representó más de tres cuartos (76.4%) del total del transporte de carga interior (basado en la tonelada-kilómetros realizados).

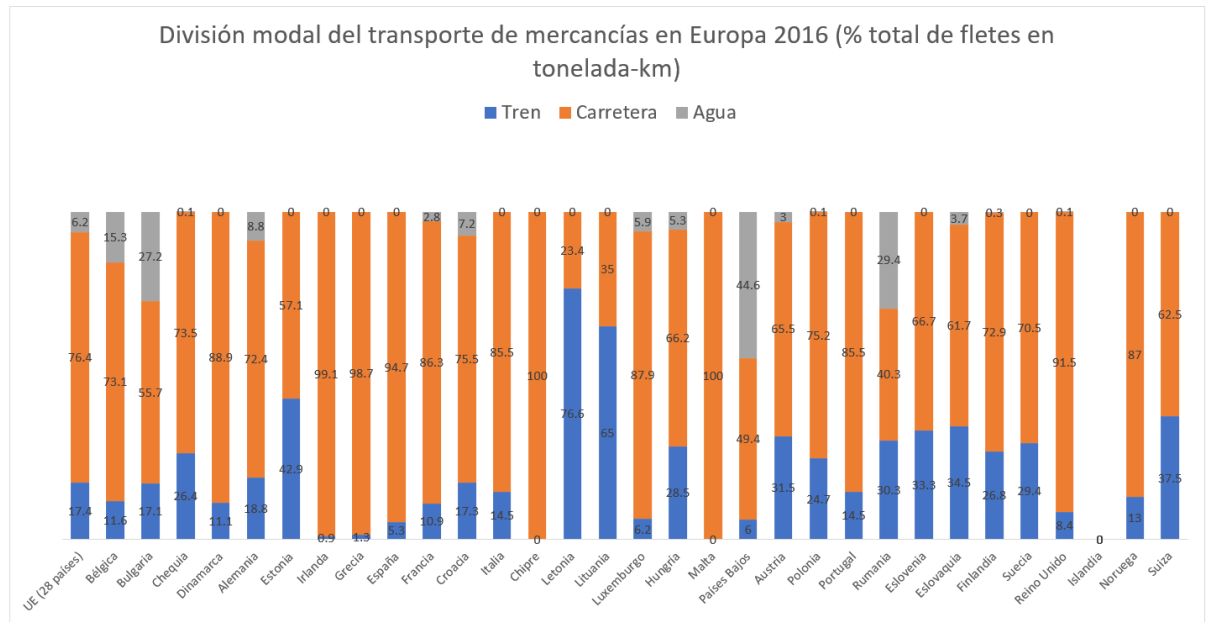


Figura 2.2: División modal del transporte de mercancías en Europa 2016

Fuente: Eurostat

Por lo anterior, se puede observar que el transporte carretero es de los más importantes a nivel mundial y por tanto será el modo de transporte en el que enfocaremos este trabajo de investigación.

### 2.3 EL TRANSPORTE CARRETERO

De acuerdo con McKinnon (2006), el transporte por carretera tiene casi un monopolio en la distribución de mercancías en los niveles más bajos de la cadena de suministro, es decir, los más cercanos al consumidor final. Es en este punto, donde una disrupción de cualquier tipo podría generar un mayor impacto en los clientes. Menciona además que la flexibilidad y velocidad del transporte carretero ha permitido sincronizar las líneas de producción de las empresas con las entregas, lo que conocemos como distribución justo a tiempo; por lo anterior, muchas compañías han reducido sus inventarios de materia y espacios de almacenamiento por una reposición de material más eficiente. Es entonces fácil deducir que, depender de un servicio de

entrega eficiente por carretera puede afectar la disponibilidad de los productos al menor retraso en la entrega y afectar varios puntos de la cadena de suministro y así romper la continuidad y estabilidad de esta.

De acuerdo con la CANACAR, como se ilustra en la Figura (2.3), en México, como en otros países mencionados con anterioridad, el modo de transporte más usado es el carretero, por lo cual enfocaremos esta investigación a ese modo de transporte que mueve el 55.7% de la carga en México, contribuyó con el 3.25% del PIB Nacional en 2017 y que entre 2010 y 2017 registró una tasa de crecimiento media anual de 5.9%.

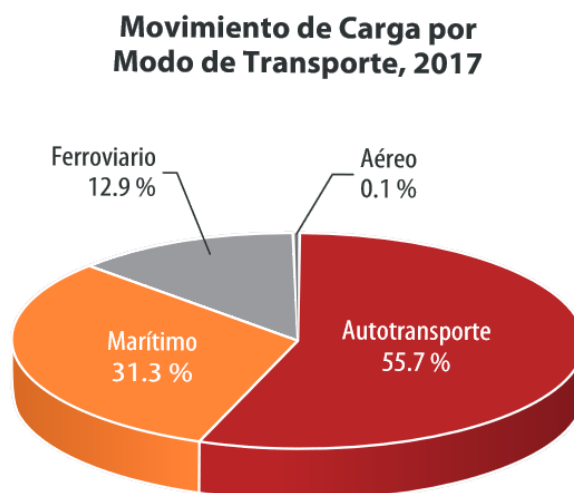


Figura 2.3: Movimiento de Carga por Modo de Transporte 2017.

Fuente: CANACAR

### 2.3.1 CONTEXTO ACTUAL DEL TRANSPORTE CARRETERO EN MÉXICO

De acuerdo con la CANACAR, en su reporte de Indicadores del Autotransporte de Carga, estas fueron algunas cifras durante el 2017 para México respecto al autotransporte de carga:

- El parque vehicular del autotransporte de carga era de 917 mil 381 unidades, de éstas, 463 mil 016 corresponden a vehículos motrices, 453 mil 916 a vehículos de arrastre y 449 a grúas industriales. En la Figura (2.4) se muestra como ha ido en incremento la cantidad de unidades en el país desde el 2010 en todas las clases de vehículos, con lo cual se demuestra la importancia del autotransporte en el país y su crecimiento de la mano de la inversión por parte de las diferentes industrias establecidas.

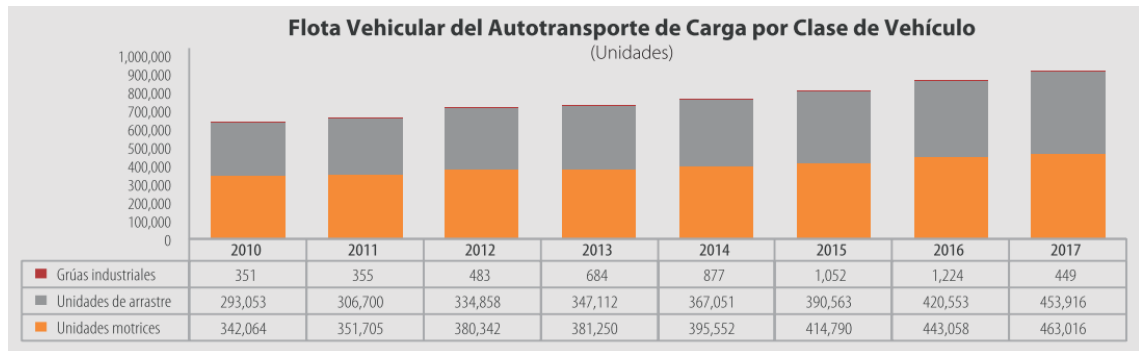


Figura 2.4: Flota Vehicular del Autotransporte de Carga por Clase de Vehículo 2017.

Fuente: CANACAR

- En la Figura (2.5) podemos ver que las toneladas transportadas en el mismo año en los diferentes modos de transporte fueron 982 millones, de las cuales, 55.7% fueron movidas en autotransporte.
- El autotransporte en México atiende a 71 ramas de la actividad económica en el país, en la Figura (2.6) podemos observar que casi el 86% de la carga movida es general, mientras que, poco más del 14% es carga especializada que se divide en materiales peligrosos, automóviles sin rodar, entre otros.
- México cuenta con una red carretera federal conformada por 398 mil 149 km de extensión de los cuales el 44% se clasifican como caminos pavimentados. En la Figura (2.7) podemos observar que se cuenta con 15 corredores que conectan a prácticamente todos los estados de la República Mexicana lo que facilita la distribución de mercancías sin importar el origen o el destino.


<b>Movimiento de la Carga Nacional por Modo de Transporte 2017</b> (Millones de toneladas)		
Transporte	Toneladas	Porcentaje
 <b>Autotransporte</b>	547	55.7
 <b>Marítimo</b>	308	31.3
 <b>Ferrovionario</b>	127	12.9
 <b>Aéreo</b>	0.7	0.1
<b>Total Nacional</b>	<b>982</b>	<b>100.0</b>

Figura 2.5: Movimiento de la Carga Nacional por Modo de Transporte 2017.

Fuente: CANACAR

<b>Flota Vehicular del Autotransporte de Carga por Clase de Servicio</b> (Unidades)								
Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Total</b>	635,468	658,760	715,683	729,046	763,480	806,405	864,835	917,381
<b>Carga general</b>	548,579	568,740	616,079	623,439	650,798	685,109	733,345	786,876
<b>Carga especializada</b>	86,889	90,020	99,604	105,607	112,682	121,296	131,490	130,505
Materiales peligrosos	70,669	73,170	80,689	83,099	87,685	93,141	99,226	105,842
Automóviles sin rodar	3,577	3,651	4,137	4,292	4,507	5,213	6,203	7,105
Fondos y valores	2,047	2,099	2,553	2,986	3,229	3,360	3,544	3,930
Grúas para arrastre	4,710	4,899	8,852	5,168	5,341	5,491	5,763	ND
Grúas, arrastre y salvamento	4,035	4,044	705	4,348	4,467	4,667	5,002	ND
Vehículos voluminosos	1,851	2,157	2,668	5,714	7,453	9,424	11,752	13,628

Figura 2.6: Flota Vehicular del Autotransporte de Carga por Clase de Servicio 2017.

Fuente: CANACAR



Figura 2.7: Principales Corredores del Sistema Carretero Nacional 2017.

Fuente: CANACAR

- Aproximadamente seis millones de familias, dependen directa e indirectamente del autotransporte de carga.
- En 2017, el 62% del total del valor de las exportaciones de México fueron transportadas por carretera, que asciende a 254,719 millones de dólares; mientras que las importaciones se ubicaron en 203,866 millones de dólares con el 48% del total. En la Figura (2.8) podemos observar la relevancia del sistema de autotransporte carretero comparado contra otros modos de transporte y como a pesar de tener una capacidad más limitada de carga que, por ejemplo, el transporte marítimo la diferencia entre ambos modos de transporte es importante, del 15% en la importación y más del 40% a la exportación.
- El autotransporte de carga realizó 8,225,913 cruces transfronterizos en el año de 2017, entre México y Estados Unidos de América.
- El intercambio comercial con la movilización de carga por vía terrestre entre México y EUA ascendió a 442,129 millones de dólares en 2017, participando el



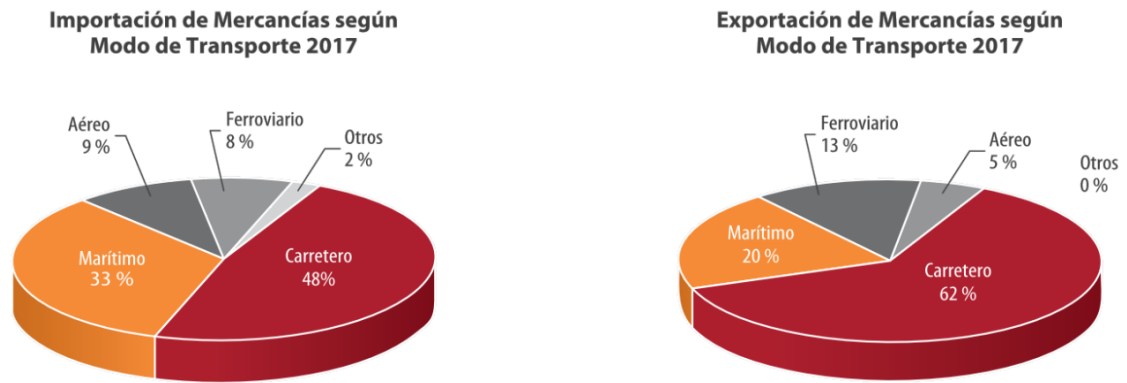


Figura 2.8: Importación y Exportación de Mercancías Según Modo de Transporte 2017.

Fuente: CANACAR

autotransporte de carga con el 82.2% del total.

### 2.3.1.1 EL ROBO DE CARGA POR CARRETERA EN MÉXICO

De acuerdo con De La Torre *et al.* (2014), la alta incidencia de robos carreteros de carga en México reduce la competitividad del país en el sector logístico, genera pérdidas económicas, tiempos de entrega más largos e indirectamente agrava la situación de falta de operadores de transporte calificados, lo anterior debido a que los robos se comenten cada vez con más violencia hacia ellos lo que amenaza su integridad física y los motiva a buscar otras fuentes de ingresos menos riesgosas.

En México, el Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública o SESNSP por sus siglas, es el órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Gobernación que se encarga de llevar las estadísticas de las incidencias delictivas en el país, entre ellas las ocurridas en el marco del fuero común en donde se encuentran registradas los robos a transportistas. Importante es destacar, que estas estadísticas se basan en denuncias formalmente presentadas ante la autoridad competente, por lo que, el número de incidencias registradas en la SESNSP pudiera variar debido a la cantidad de delitos que las empresas deciden no denunciar por la

corrupción existente en el país y el temor a represalias de parte de ciertos grupos criminales, adicional a la falta de confianza en las autoridades en los tres niveles de gobierno existentes (municipal, estatal y federal).

En la Figura (2.9), se encuentra resumida la información encontrada en la página del SESNSP respecto a las incidencias denunciadas entre 2012 y 2017, estos hechos tuvieron lugar tanto en carreteras como en las áreas metropolitanas de los Estados del país y contabilizan los robos cometidos con y sin violencia hacia los operadores.



Figura 2.9: Incidencias 2012-2017 (con y sin violencia).

Fuente: SESNSP

Se muestra la evidente alza de los robos a transporte de carga en el país, del 2012 al 2015 hubo un alza del 7.5 % y a pesar de que se ve una baja en el 2014 ninguna institución, organización o dependencia oficial pudo afirmar o comprobar ese año que las condiciones de seguridad en el país hubiesen mejorado, por el contrario, se hizo evidente la falta de confianza en las autoridades, la corrupción y el temor de las empresas para denunciar estos hechos.

Así mismo, podemos ver como drásticamente el número incrementa para el 2016 teniendo un incremento del 36.76 % con respecto al 2015 y para el 2017 la cifra aumenta un 53.83 % con respecto al 2016.

En la Figura (2.10), se plasman las incidencias registradas de enero a mayo 2018 en el país, es importante destacar que en esta gráfica se separan las incidencias en robos con y sin violencia.

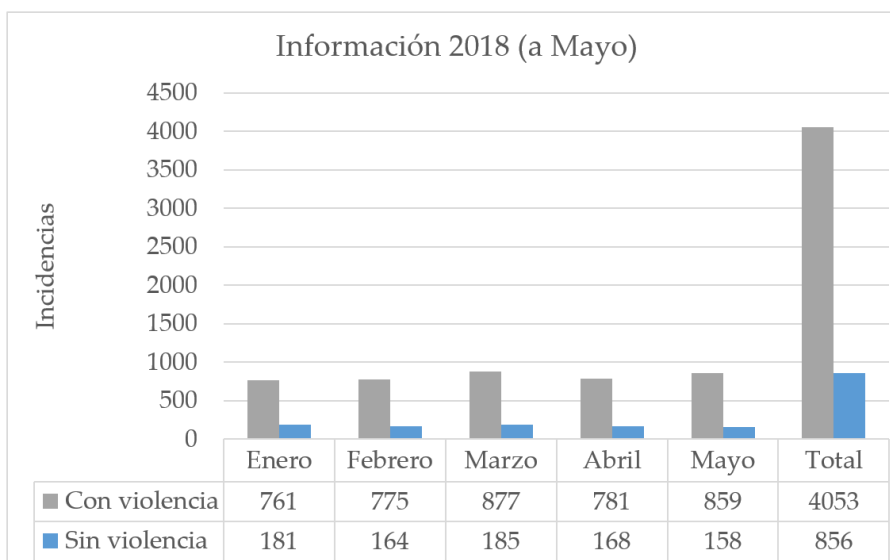


Figura 2.10: Incidencias a Mayo 2018 (Con y Sin Violencia).

Fuente: SESNSP

En los 5 meses que se contabilizan del 2018 se tienen un total de 4909 robos denunciados lo que representa el 43.13% del total de robos registrados en 2017, de continuar con la tendencia claramente se podría sobrepasar la cifra oficial del 2017 y seguir la tendencia de los robos al alza. También se debe resaltar que el 82.56% de los robos se cometen con violencia.

En la Figura (2.11), se representan las incidencias de enero a mayo 2018 por estados y se marcan los 5 estados con la mayor cantidad, siendo el primero el Estado de México con 1210 incidencias, Puebla con 975, Michoacán con 608, Tlaxcala con 442 y Nuevo León con 412. De lo anterior, se puede entender que siendo el Estado de México, Puebla y Nuevo León ciudades altamente industrializadas, la tendencia a robos sea mayor por la gran cantidad de mercancías que se movilizan dentro de los estados y hacia afuera de los mismos. En el caso de Michoacán y Tlaxcala se pudieran considerar estados de paso, que a pesar de no ser estados de mucha industria son

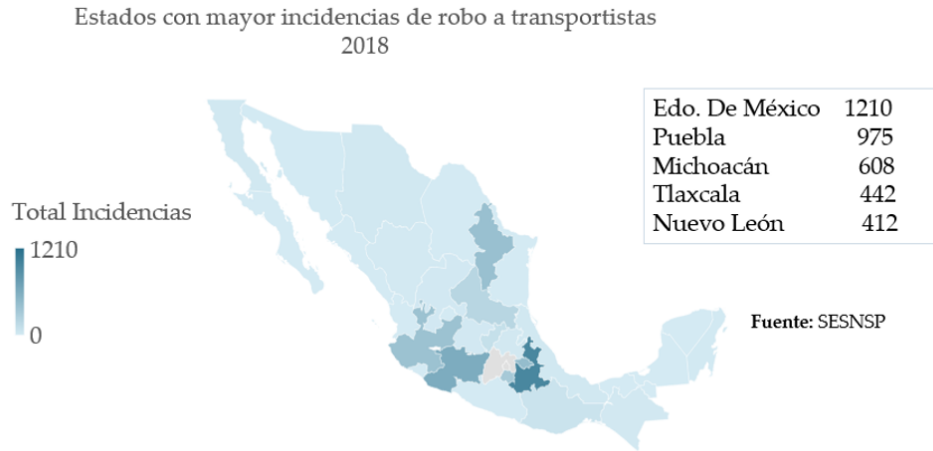


Figura 2.11: Estados con Mayor Número de Incidencias de Robo a Transportistas de Enero a Mayo 2018

Fuente: SESNSP

estados que por su ubicación facilitan el paso del transporte a otros estados, en el caso específico de Michoacán el tener uno de los puertos más importantes para la entrada de mercancías de Asia y el Pacífico por el cual entran millones de toneladas en mercancía anualmente.

Los datos anteriormente mencionados han contribuido a pérdidas económicas para la industria, la CANACAR estimó que en 2017 el costo de las primas relacionadas a la transportación de mercancías aumentó en un 130%. Así también, la AMIS, registra un incremento en la pérdida de dinero por el robo de mercancías en los últimos años.

- 2014 / 1,417 millones de pesos.
- 2015 / 1,910 millones de pesos.
- 2016 / 2,000 millones de pesos.

Existen muchos factores que influyen en el incremento del riesgo de robo de una mercancía, uno de los primeros pasos de este trabajo es identificar una o varias

herramientas de análisis multicriterio o de otro tipo que nos ayuden a identificar estos factores asignándoles una ponderación de acuerdo con su prioridad y desarrollar una herramienta dinámica y de uso fácil que ayude a los tomadores de decisión a evaluar el riesgo de la ruta elegida.

## 2.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS MULTICRITERIO

De acuerdo con Saaty (2008), todos los seres humanos somos tomadores de decisiones. Básicamente todo lo que hacemos consciente o inconscientemente es resultado de la toma de una decisión, toda la información que recabamos para esto influye en el resultado, sin embargo, no toda la información obtenida es útil para tomar la mejor decisión e inclusive el tener demasiada información innecesaria puede, por el contrario, entorpecer el proceso.

Analizaremos algunos métodos de análisis multicriterio encontrados en la literatura que se han utilizado anteriormente al momento de elegir la ruta más adecuada bajo diferentes circunstancias para obtener el que mejor ayude a minimizar el riesgo del transporte de mercancías para el caso específico de México.

### 2.4.1 MÉTODO DELPHI

Según Okoli y Pawlowski (2004), el método Delphi identifica y prioriza temas para la toma de decisiones a nivel gerencial mediante un consenso confiable de un grupo de expertos y se emplea principalmente en casos donde la información crítica es indispensable.

Consta de 5 etapas de acuerdo con Sekhar *et al.* (2015):

1. Selección de expertos

2. Primera ronda de encuesta
3. Segunda ronda de encuesta
4. Tercera ronda de encuesta
5. Asimilar las opiniones de un grupo de expertos y llegar a un consenso.

El método Delphi ha sido usado en diversos trabajos relacionados a la cadena de suministro, por ejemplo, Chan *et al.* (2001) utilizó el método Delphi para encontrar opiniones objetivas sobre sistemas de procuramiento para proyectos de construcción e involucrando a 8 expertos y después de 4 rondas de encuestas encontró los criterios más importantes al momento de seleccionar el sistema de procuramiento ideal.

Así mismo, Chang *et al.* (2008) utiliza el método Delphi para elegir el mejor aeropuerto de llegada para transporte aéreo entre Taiwan y China tomando en cuenta criterios como la competitividad del destino, la infraestructura del aeropuerto, entre otros y pidiendo a 16 expertos en diferentes campos de la aviación que evaluarán ambos destino en base a los criterios previamente estudiados.

De La Torre *et al.* (2014) considera que en el tema de factores de riesgo en el autotransporte es importante considerar la opinión de los expertos en el tema para, con base en su experiencia, definir algunas variables que influyen en el riesgo. Este método es considerado como uno de los mejores para alcanzar consensos en grupos de especialistas de diversos campos de trabajo.

En su trabajo De La Torre *et al.* (2014) utiliza el método Delphi para complementar los pocos datos estadísticos disponibles para el problema del robo carretero en México y pregunta a un panel de expertos en el tema cuáles son, con base en su criterio, los factores que mayormente incrementan el riesgo de robo de un transporte de carga en México.

### 2.4.2 MÉTODO DEL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

Sekhar *et al.* (2015) menciona que el proceso de análisis jerárquico, AHP por sus siglas en inglés, facilita la toma de decisiones ayudando a hacer un juicio que incluye: objetivos, criterios, subcriterios y alternativas; sus etapas esenciales consisten en:

- Crear la estructura jerárquica del problema.
- Combinar juicios sabios a través de un cuestionario estructurado.
- Sintetizar las prioridades relativas en las prioridades globales que conducen a la selección de la decisión final.

El AHP es usado en muchos trabajos de investigación por ser una herramienta confiable de apoyo para la toma de decisiones, Beyca *et al.* (2016) utiliza este método para la selección de un proveedor 3PL (*Third Party Logistics*) ya que toma en cuenta criterios tanto tangibles como intangibles. En su caso tiene 4 criterios principales de evaluación que son importantes para la empresa cliente y al realizar la ponderación de estos criterios de acuerdo con la importancia que esta empresa les otorga obtiene como resultado la empresa 3PL ideal para ellos.

Huang *et al.* (2003), utiliza el método AHP para determinar el peso de los criterios que considera importantes al rutear transporte de carga con material peligroso en zonas urbanas y suburbanas para reducir el riesgo de exposición de la población, este trabajo es muy parecido al trabajo que se quiere realizar en esta investigación con la diferencia del enfoque a materiales peligrosos. Huang *et al.* (2003) prioriza 5 criterios importantes que se toman en cuenta al momento de crear las rutas de este tipo de productos.

También Guze *et al.* (2017) utiliza el AHP para priorizar los criterios que se toman en cuenta al momento de querer mover mercancía líquida vía marítima, si bien es la forma más económica de mover mercancía en distancias largas, el menciona

que es necesario tomar en cuenta las características del barco, del tipo de tanque que almacena de las sustancias, las condiciones climáticas previstas de la ruta, el conocimiento técnico de la tripulación y sin perder de vista el tiempo y costo de la ruta.

Como en los trabajos anteriormente mencionados, los factores que influyen en el riesgo del robo al autotransporte pueden ser varios y muy diversos, por lo que se intentará con este método ponderarlos para estimar la importancia de cada uno de ellos y obtener una herramienta más confiable.

### 2.4.3 TÉCNICA PARA EL ORDEN DE PREFERENCIA POR SIMILITUD A UNA SOLUCIÓN IDEAL (TOPSIS)

Esta técnica lleva a cabo un análisis, comparación y clasificación de las alternativas del problema en el mundo real. La clasificación de alternativas se basa en la distancia más corta desde la solución ideal positiva (PIS) y la más alejada de la solución ideal negativa (NIS), según lo sugerido por Hwang, C.L. & Yoon (1973).

Fatih Emre Boran, Serkan Genç, Mustafa Kurt (2009), utiliza el método TOPSIS para la selección de proveedores que cumplan con las expectativas de los compradores para lo cual toma en cuenta diversos criterios que se ponderan de acuerdo a su lejanía con el escenario ideal que desearía un comprador. Así mismo considera que el poder considerar soluciones ideales negativas y soluciones ideales positivas ayuda mejor con el problema de selección de proveedores.

Kumar y Singh (2012), aplica el método TOPSIS como segundo método para ordenar los criterios que se utilizan al momento de evaluar un proveedor 3PL, en este trabajo se toman en cuenta 9 criterios que una vez ponderados pueden utilizar para dar una calificación a cada proveedor.



## 2.5 OTROS MÉTODOS

### 2.5.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

De acuerdo con De La Torre *et al.* (2014), este método genera componentes principales basado en la combinación de un set de componentes o variables iniciales, el coeficiente obtenido indica el grado de correlación de las variables iniciales.

Una de las grandes desventajas de este método es la necesidad de información estadística de cada uno de los componentes para poder generar un análisis, lo cual en muchas ocasiones es difícil de conseguir.

En su trabajo, de la Torre *et al.* (2013) utiliza el método ACP para el análisis de la información de robo encontrada las diversas bases de datos que consolidan la información del robo en México y utiliza los resultados arrojados para hacer una comparación con lo obtenido mediante el método Delphi para resaltar la diferencia entre lo que muestra la estadística contra lo que los expertos creen es lo que incrementa el riesgo de robo.

### 2.5.2 MODELO MATEMÁTICO

Los modelos matemáticos son muy usados para los problemas de localización y ruteo; Toro-Ocampo *et al.* (2016) lo usa en su trabajo para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y contratada, también Petraška y Palšaitis (2012) lo aplica para su investigación para la evaluación de criterios y selección de ruta para transporte de mercancía pesada y/o sobredimensionada.

Sin embargo, consideramos que el objetivo al usar un modelo matemático es

el ahorro de tiempo y costo mayormente y adicional se vuelve menos complicado realizar un modelo cuando los parámetros de las variables a utilizar difícilmente van a cambiar de un día para otro, por ejemplo, difícilmente una compañía adquirirá de la noche a la mañana más equipo para su operación o se creará una nueva ruta que pueda utilizarse para el transporte de carga sobredimensionada. Además, el conocimiento técnico necesario para el manejo de un modelo matemático es alto y complejo de encontrar en la industria para el mantenimiento del modelo y la continuidad de su uso.

En nuestro caso consideramos que, las condiciones de seguridad en el país cambian constantemente y las células criminales van cambiando sus rutas y métodos de operación para poder continuar sin ser detenidos. Debido a esto consideramos que un modelo matemático no es la opción adecuada para este trabajo y se considerarán los métodos de análisis multicriterio mencionados con anterioridad.

## 2.6 CONCLUSIONES

Para esta investigación es necesario primero elegir los criterios que mejor nos ayuden a evaluar cada ruta y después calcular el impacto de cada uno de esos criterios, por lo que es importante elegir los métodos más adecuados a nuestro problema para lograr estos dos pasos. En la Tabla (2.1) y la Figura (2.12) se mencionan algunos métodos encontrados en la literatura utilizados por diversos autores y se ilustra los más usados para la selección y ponderación de criterios para ayudar en diversos temas.

En el cuadro comparativo de la Figura (2.13), se mencionan algunas ventajas y desventajas de los métodos encontrados en la literatura para un mejor análisis y posterior elección. Dado que no todas los criterios a considerar cuentan con información estadística se tomará el método Delphi como el más adecuado para la selección de criterios y el método AHP para la evaluación de cada criterio debido a que es

Tabla 2.1: Revisión de literatura

	<b>AHP</b>	<b>DELPHI</b>	<b>TOPSIS</b>	<b>ACP</b>
De La Torre, E. et al., (2014)	*	*		*
Kengpol, A. et al., (2014)	*			
Sattayaprasert, W. et al., (2008)	*			
Saini, V. K. et al., (2014)	*		*	
Wang, Y. et al., (2018)		*		
Kaewfak, K. et al., (2018)	*			
Chan, A. P. et al., (2001)		*		
Boran, F. E. et al., (2009)			*	
Kumar, P. et al., (2012)	*		*	
Daim, T. U. et al., (2012)	*			
Punniyamoorthy, M. et al., (2012)	*			
Gürçan, Ö. F. et al., (2016)	*			
Qu, L. et al., (2008)	*			
Kumru, M. et al., (2014)	*			
Gupta, R. et al., (2010)		*		
Kazan, H. et al., (2013)	*			

---

necesario, para nuestro problema, obtener una ponderación para cada criterio.

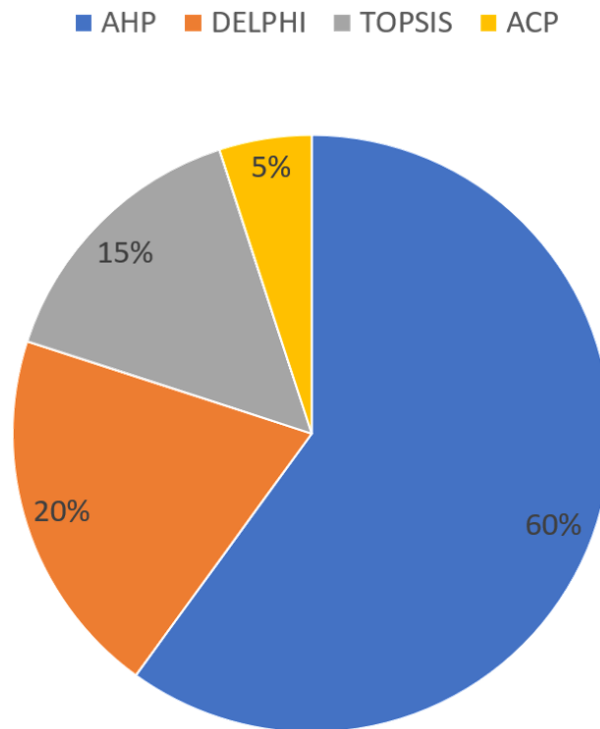


Figura 2.12: Métodos más usados para el problema de selección y evaluación

	Método	Ventajas	Desventajas
Selección de Criterios	<b>DELPHI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>°Se basa en la obtención de opiniones de varios expertos del tema</li> <li>°Se hace mediante encuestas anónimas lo que da confianza a los participantes</li> <li>°Es un método muy usado para la toma de decisiones</li> </ul>	°Es un método subjetivo
	<b>ACP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>°Se basa en información estadística</li> <li>°Va reduciendo la cantidad de información o posibles variables</li> <li>°Si se aplica correctamente se obtienen las variables principales</li> </ul>	°No todas las variables cuentan con información estadística para su análisis
Evaluación de Criterios	<b>AHP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>°Desglosa un problema y analiza cada factor</li> <li>°Permite analizar criterios cualitativos</li> <li>°Les asigna una ponderación a cada criterio</li> </ul>	°Hay que asegurar que se incluyen todos los factores importantes en el análisis jerárquico
	<b>TOPSIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>°Método de cálculo simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>°No considera la correlación de las variables</li> <li>°Es difícil calcular una ponderación a cada variable</li> </ul>

Figura 2.13: Ventajas y Desventajas de Algunos Métodos para Selección y Evaluación de Criterios

## CAPÍTULO 3

# DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

---

Como lo menciona Li *et al.* (2009), el problema de seguridad tiene tres características básicas: son complejos, dinámicos y carecen de información estadística; en el caso de México el problema de la inseguridad en el transporte carretero cumple con estas tres características y para esta investigación una de las que más afecta es la falta de información estadística confiable que nos permita analizar los factores que incrementan el riesgo de robo en carreteras del país.

### 3.1 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS

Como se ha mencionado anteriormente el objetivo de este proyecto es seleccionar una ruta de distribución como herramienta de apoyo para la toma de decisiones mediante herramientas multicriterio, considerando los factores más importantes que incrementan el riesgo al momento de mover mercancías por las carreteras del país; por lo anterior el primer paso en esta investigación es la identificación de los criterios como se detalla en la Figura (3.1).

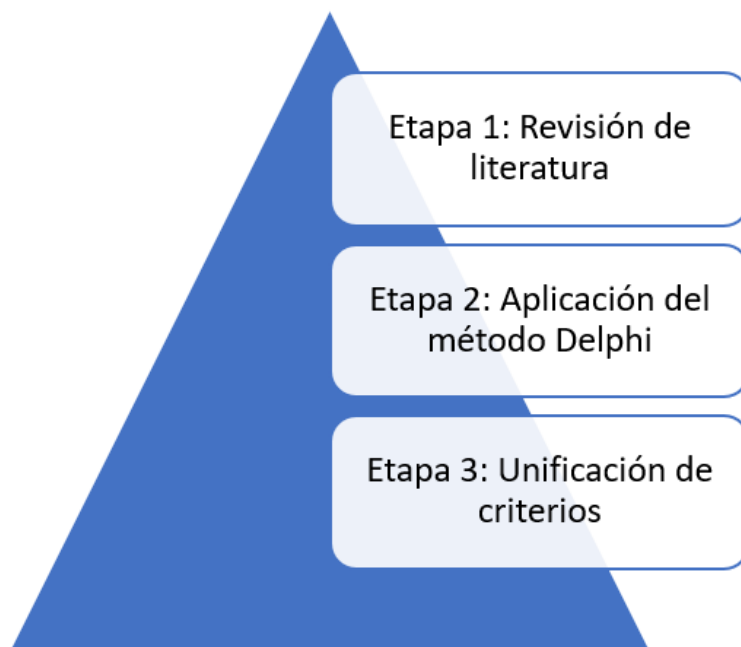


Figura 3.1: Etapas para identificar criterios importantes

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1 REVISIÓN DE LITERATURA

En este paso se contemplan más de 60 artículos científicos, tesis y algunos artículos de investigación periodística enfocados al tema de la selección de una ruta carretera para distribución de mercancías, que han sido publicados desde el 2001 y hasta el 2018. Estos documentos se buscan principalmente en la base de datos de la Universidad Autónoma de Nuevo León y motores de búsqueda de artículos científicos como Google Scholar. Encontrando artículos pertinentes a esta investigación en revistas como Emerald, Scopus, Springer, etc. utilizando palabras clave como: distribución, seguridad, logística, selección de ruta, AHP, toma de decisiones.

Se revisaron artículos referentes a como tomar la decisión de la selección de una ruta para casos como: materiales peligrosos, materiales sobredimensionados, restricciones en la infraestructura carretera, restricciones de seguridad y se encontró que los criterios mencionados en la Figura (3.2) son los más comunes y repetidos.



	Tipo de producto	Ruta	Factor humano	Zona	Tamaño de vehículo	Tipo de autopista	Día de la semana	Horario	Terroristas	Distancia	Costo de la ruta	Tiempo de la ruta
De la Torre, E. et al., 2013	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Osorio, JC. et al., 2017			✓			✓			✓			
Burges, D., 2012	✓	✓		✓			✓	✓				
Deluque Iguaran, M. A. 2018	✓		✓									
Ekwall, D. & Lantz, B. 2017	✓											
Justus, M. et al., 2018	✓	✓		✓			✓	✓	✓			
Ekwall, D., 2010	✓		✓	✓					✓			
Wu, P. J. et al., 2017		✓	✓		✓		✓	✓				
Kaewfak, K. et al., 2018			✓							✓	✓	✓
Wang, Y. et al., 2018											✓	

Figura 3.2: Factores relevantes encontrados en literatura

Fuente: Elaboración propia

Los criterios antes mencionados son importantes debido a que se hará una comparación más adelante, contra los criterios que los expertos mencionen son relevantes según su punto de vista y se verá cuáles se repiten.

### 3.1.2 METODOLOGÍA DELPHI

La segunda etapa de la metodología es la aplicación del método Delphi (Okoli y Pawlowski, 2004) que, como se ha mencionado, permite la recolección de datos por la opinión de expertos relacionados directamente al tema de estudio. Esta metodología sigue los pasos mostrados en la Figura (3.3), el primer paso es la definición del tema de la encuesta y objetivos, un segundo paso es definir la(s) pregunta(s) del cuestionario que deberán ser claras, concisas y enfocadas al tema de estudio, un tercer paso es elegir a los expertos que participarán, cuarto paso se aplicará el cuestionario y finalmente se analizarán las respuestas.

En caso que las respuestas no sean conclusas o se obtengan muchos criterios se podrá realizar otro cuestionario enfocado a la reducción y ponderación de los criterios basado en la opinión de los expertos; dicha información servirá para definir los criterios más importantes y obtener una ponderación que podría ayudar más adelante para ser comparada una vez que se evalúen mediante el método AHP.



Figura 3.3: Pasos del Método Delphi

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.1 ESTRUCTURA DE LA ENCUESTA

Debido a que el propósito de la aplicación del método Delphi en este trabajo es, obtener los criterios que los expertos consideran incrementan el riesgo de robo, se plantea una sola pregunta de tipo abierta para obtener los datos deseados y se presenta a continuación:

- Según su percepción, ¿qué factores considera, incrementan el riesgo de robo al autotransporte de carga en las carreteras del país?

### 3.1.2.2 PERFIL DEL ENCUESTADO

Para este estudio se desea tener heterogeneidad entre los participantes y puntos de vista desde diferentes enfoques, por lo cual se eligieron a 5 expertos representados en la Figura (3.4) y con el siguiente perfil:

- Experto 1: gerente logístico en una empresa TIER 1 automotriz que cuenta con más de 40 plantas a nivel nacional y en donde ha laborado desde hace más de 12 años enfocado en el movimiento de materiales entre plantas y proveedores nacionales.
- Experto 2: especialista de riesgos en una empresa de custodia de materiales que brinda servicios a nivel nacional, en la cual ha trabajado desde hace más de 6 años.
- Experto 3: especialista en prevención del riesgo en una aseguradora de origen japonés con muchos años en el mercado nacional que ofrece no solamente el aseguramiento de la carga sino análisis detallados de ruta, puntos de riesgo, opiniones en cuanto a tecnología disponible en el mercado para reducir riesgos de robo.

- Experto 4: especialista logístico por más de 7 años en una empresa del estado que se dedica a la venta de uno de los commodities con mayor valor en el mercado ilegal, el cobre.
- Experto 5: fundador y director de operaciones de una empresa de transporte terrestre con operaciones desde 1997 y fundada en Monterrey, Nuevo León.

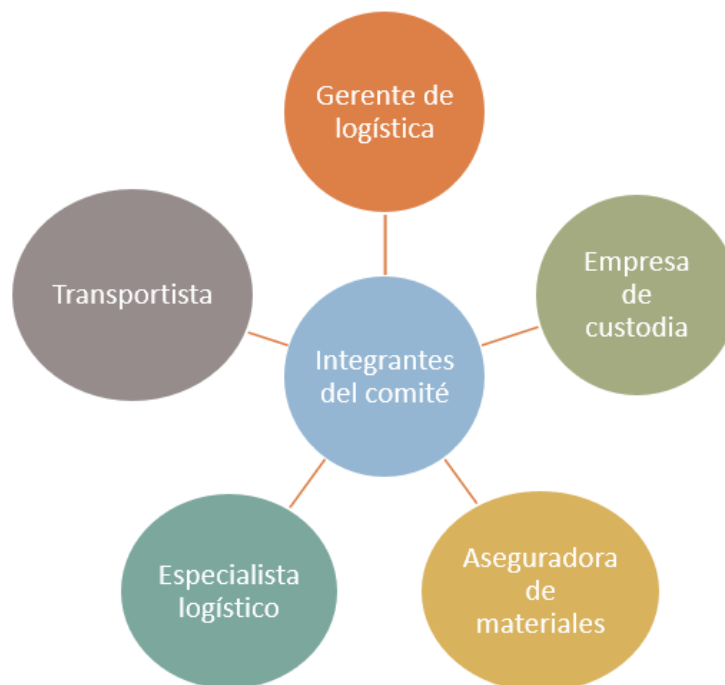


Figura 3.4: Perfil de expertos

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.3 APLICACIÓN A EXPERTOS

El proceso de aplicación de la encuesta se realizó de forma personalizada con cada uno de los expertos ya sea de forma presencial o telefónica y se permitió al experto hablar con apertura sobre los factores que considera relevantes. De estas entrevistas se obtuvieron los siguientes criterios mencionados por los expertos y que se pueden ver en la Figura (3.5)

	Expertos				
	1	2	3	4	5
<b>Fuga de información relevante del embarque</b>	●	●	●		
<b>Satisfacción de los empleados involucrados</b>	●			●	
<b>Falta de capacitación al chofer</b>	●		●		
<b>No usar tecnología como GPS, sellos especiales, paro de motor</b>	●	●			
<b>Zona de tránsito</b>		●		●	●
<b>Horario de tránsito</b>		●	●	●	●
<b>Condiciones físico-mecánicas de la unidad</b>		●			
<b>Tipo de manejo</b>			●		
<b>Tipo de transporte</b>				●	●

Figura 3.5: Criterios mencionados por expertos

Fuente: Elaboración propia

Se analizaron los criterios encontrados en literatura y mediante el método Delp-hi se logró obtener los criterios más relevantes, esto tomando en cuenta que se repitieran en ambos ejercicios. Los criterios relevantes para nuestra investigación serán los siguientes:

- **Ruta o zona de tránsito:** en este criterio se incluye todo lo relacionado a los puntos geográficos que toque el camión desde origen hasta destino final, incluyendo: estados, ciudades o regiones por las cuales transite. De acuerdo con Sensitech en el segundo cuarto del 2019 el mapa de calor en México es como se muestra en la Figura 3.6

De acuerdo con datos del SESNSP hasta septiembre del 2019 se han reportado 8756 robos a transportistas en el país y con base en esta información se elaboró una escala de severidad del riesgo por estado clasificándose en: severo, alto, medio y bajo. Se observa la distribución de estados en la Figura 3.7.

- **Factor humano:** se toma en cuenta todo lo relacionado a la capacitación del chofer, la satisfacción de los empleados en la empresa y criterios de contratación de las personas relacionadas a la distribución y transporte. De este factor no se encuentran estadísticas pero si es mencionado tanto en la literatura como por los expertos.

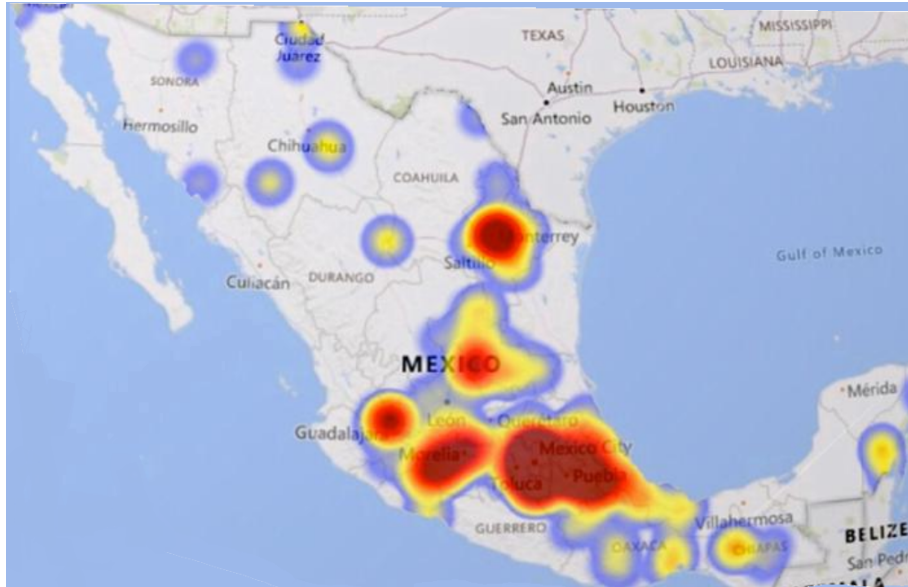


Figura 3.6: Mapa de calor por robos en México

Fuente: Sensitech

Severidad del riesgo	Estado	
<b>Severo</b>	Edo. De México	Michoacán
	Puebla	Nuevo León
<b>Alto</b>	San Luis Potosí	Ciudad de México
	Morelia	Veracruz
	Tlaxcala	Oaxaca
	Jalisco	Chiapas
<b>Medio</b>	Hidalgo	Sonora
	Baja California Norte	Tamaulipas
	Quintana Roo	Colima
	Chihuahua	Campeche
	Guanajuato	Tabasco
	Durango	Zacatecas
	Coahuila	
<b>Bajo</b>	Aguascalientes	Querétaro
	Baja California Sur	Sinaloa
	Guerrero	Yucatán
	Nayarit	

Figura 3.7: Nivel de riesgo por Estado

Fuente: Propia con información del SESNSP

- **Tipo de transporte:** se refiere al tamaño, antigüedad y tipo de transporte seleccionado. De acuerdo también con Sensitech en 2018 el tipo de transporte más robado fue el tractocamión como se muestra en la Figura (3.8)

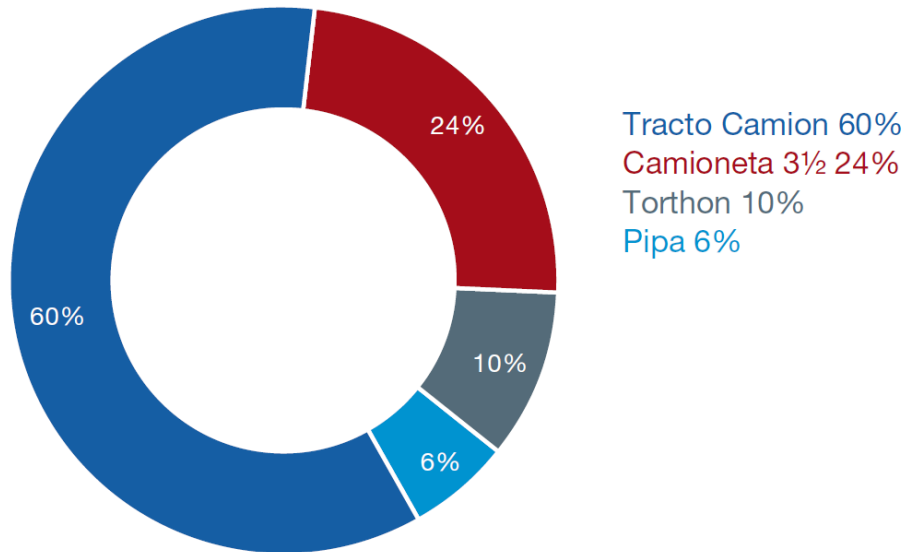


Figura 3.8: Robo de carga por tipo de unidad, 2018

Fuente: Sensitech

- **Horario:** se refiere al horario de tránsito del transporte. Según Sensitech y su estadístico de robo por horario no existe una gran diferencia entre transitar de noche o de día como se muestra en la Figura (3.9), sin embargo el criterio es considerado tanto en la literatura como por los expertos para planificar la distribución de sus mercancías.
- **Fuga de información sobre el embarque:** se refiere a toda la información que se pudiera filtrar del embarque por parte de almacenes de origen o destino, choferes, compradores o cualquier persona que tenga acceso a información que pudiera comprometer la seguridad del embarque. Tampoco se encuentran estadísticas sobre este criterio sin embargo fue uno de los 3 más mencionados por los expertos e inclusive algunos comentaron que han implementado o han visto implementar estrategias para resguardar la información de la carga a la mínima cantidad posible de personas.

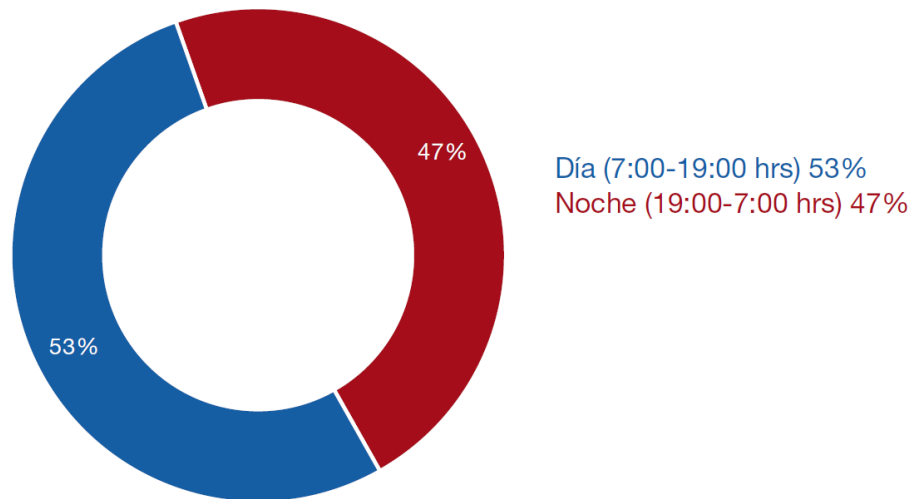


Figura 3.9: Robo de carga por horario, 2018

Fuente: Sensitech

- **Falta de uso de la tecnología disponible:** refiriéndose a no utilizar las tecnologías apropiadas como GPS, paros de motor, sellos especiales, etc.
- **Tipo de producto:** se refiere al tipo de producto que se transporta. Ejemplos: alimentos, electrónicos, autopares, combustibles, etc. Sensitech, en el reporte antes mencionado, enlista los tipos de productos más robados en 2018 en México y se muestran en la Figura 3.10.

En base a la información de Sensitech se elaboró la siguiente escala de riesgo representada en la Figura 3.11.

## 3.2 EVALUACIÓN Y PONDERACIÓN DE CRITERIOS

Como se ha mencionado anteriormente es muy importante evaluar y ponderar cada uno de los criterios seleccionados como los más influyentes para generar una situación de riesgo al momento de mover mercancía por transporte carretero, para esto se utiliza el método AHP (Saaty, 2008).

El objetivo de este paso es otorgarle un valor o ponderación a cada criterio para así, poder realizar una herramienta que genere un indicador del riesgo de



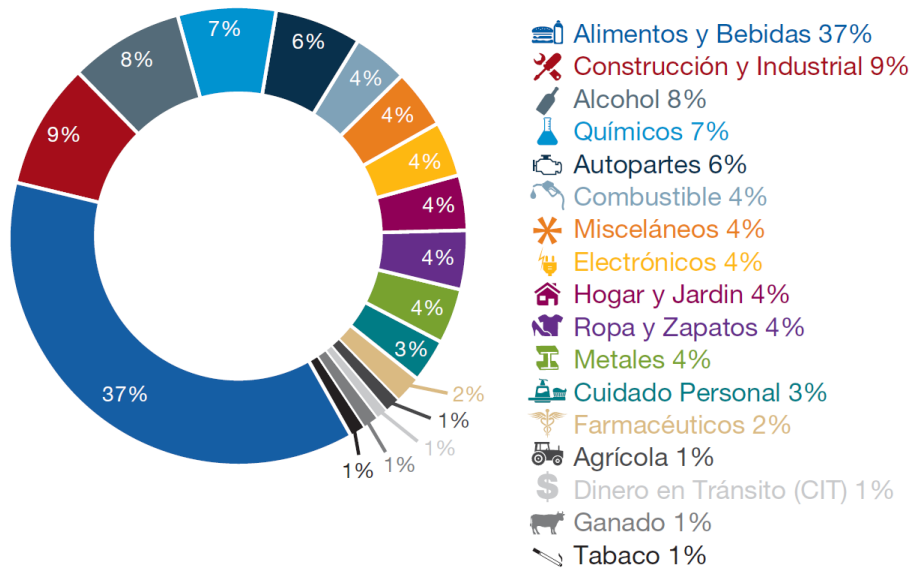


Figura 3.10: Robo de carga por tipo de producto, 2018

Fuente: Sensitech

Nivel de riesgo	Tipo de producto	Porcentaje de robo
<b>Alto</b>	Alimentos y bebidas	37%
	Construcción e industrial	9%
	Alcohol	8%
	Químicos	7%
	Autopartes	6%
<b>Medio</b>	Combustible	4%
	Misceláneos	4%
	Electrónicos	4%
	Hogar y jardín	4%
	Ropa y zapatos	4%
	Metales	4%
	Cuidado personal	3%
<b>Bajo</b>	Farmacéuticos	2%
	Agrícola	1%
	Dinero en tránsito	1%
	Ganado	1%
	Tabaco	1%

Figura 3.11: Nivel de riesgo por producto

Fuente: Propia con datos de Sensitech

mover cierta mercancía por una ruta definida en cierto tipo de transporte y que permita a los tomadores de decisión definir si se realiza o no el movimiento o si es posible cambiar alguno de los factores para así, posiblemente aminorar el nivel del riesgo.

### 3.2.1 APLICACIÓN AHP

Para la aplicación del método AHP utilizamos una herramienta de software en línea del *Business Performance Management Singapore* (Goepel, 2018), en la cual definimos la jerarquía mostrada en la Figura 3.12.

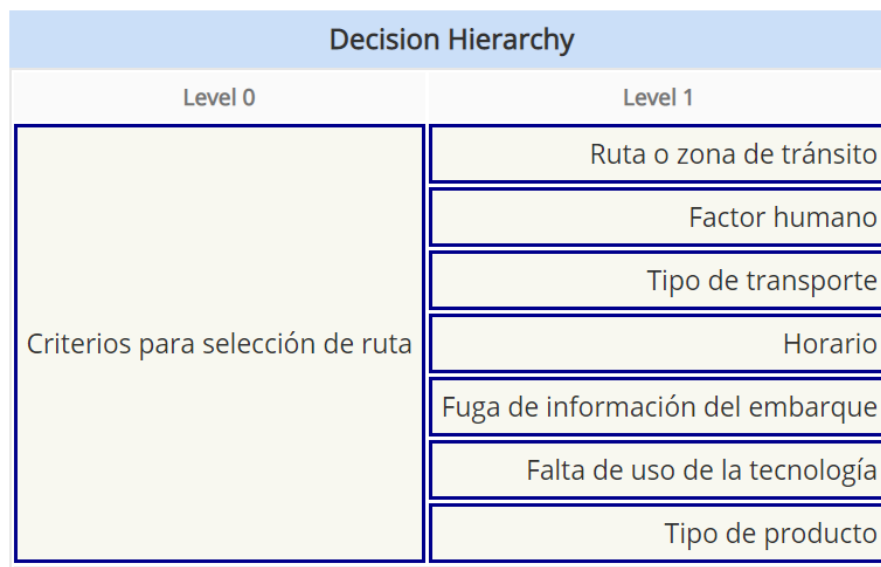


Figura 3.12: Jerarquía de decisión. Este modelo tiene 7 niveles.

Fuente: BPMS con información propia

Por la cantidad de criterios o niveles definidos se obtuvieron 21 pares de comparación y mediante una liga que se les envió a los expertos recabamos la información. En la Figura 3.13 vemos una parte de la comparativa en donde podemos apreciar que el experto podía seleccionar el criterio que el considerará más importante y después seleccionar que tanto más importante era.

La escala utilizada para esta comparación es la siguiente:

**Pairwise Comparison Criterios para selección de ruta**

21 pairwise comparison(s). Please do the pairwise comparison of all criteria. When completed, click *Check Consistency* to get the priorities.

AHP Scale: 1- Equal Importance, 3- Moderate importance, 5- Strong importance, 7- Very strong importance, 9- Extreme importance (2,4,6,8 values in-between).

**With respect to *Criterios para selección de ruta*, which criterion is more important, and how much more on a scale 1 to 9?**

	A - wrt <i>Criterios para selección de ruta</i> - or B?		Equal	How much more?
1	<input checked="" type="radio"/> Ruta o zona de tránsito	<input type="radio"/> Factor humano	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Ruta o zona de tránsito	<input type="radio"/> Tipo de transporte	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Ruta o zona de tránsito	<input type="radio"/> Horario	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Ruta o zona de tránsito	<input type="radio"/> Fuga de información del embarque	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Ruta o zona de tránsito	<input type="radio"/> Falta de uso de la tecnología	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Ruta o zona de tránsito	<input type="radio"/> Tipo de producto	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Factor humano	<input type="radio"/> Tipo de transporte	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Factor humano	<input type="radio"/> Horario	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Factor humano	<input type="radio"/> Fuga de información del embarque	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Factor humano	<input type="radio"/> Falta de uso de la tecnología	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
11	<input checked="" type="radio"/> Factor humano	<input type="radio"/> Tipo de producto	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
12	<input checked="" type="radio"/> Tipo de transporte	<input type="radio"/> Horario	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9

Figura 3.13: Comparación por pares

Fuente: BPMS con información propia

- 1- Igual importancia
- 3- Moderadamente más importante
- 5- Fuertemente más importante
- 7- Muy fuertemente más importante
- 9- Extremadamente más importante

Los valores 2,4,6,8 son valores intermedios.

A continuación en la Figura 3.14 se muestran las matrices de comparaciones de cada uno de los expertos que participaron; cabe mencionar que se obtuvo un consenso de grupo del 87.4% lo cual se considera alto y un índice de consistencia del 2.6% que por encontrarse debajo del 10% se considera un índice razonable.

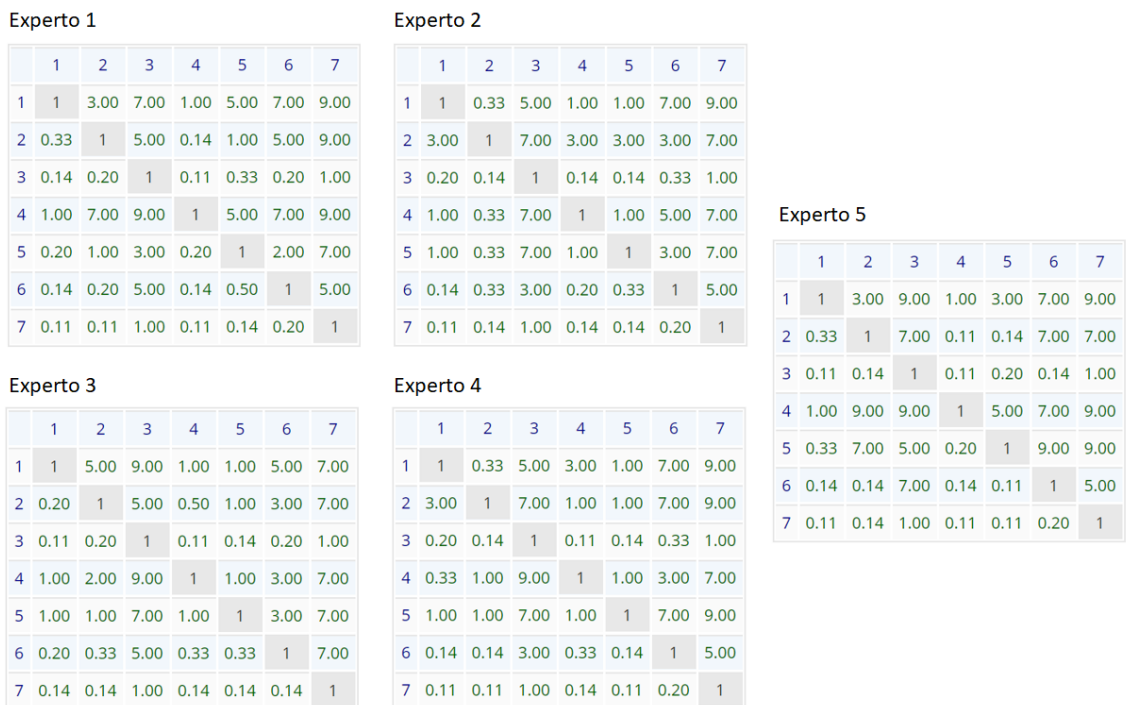


Figura 3.14: Resultados de la comparación por pares

Fuente: BPMS con información de expertos

Las matrices anteriores se consolidan y se obtiene la matriz de la Figura 3.15.

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.68	8.56	1.38	0.87	6.12	8.14
2	0.27	1	5.81	0.79	0.68	3.63	6.43
3	0.12	0.17	1	0.14	0.13	0.42	0.87
4	0.72	1.27	7.36	1	2.10	5.72	7.74
5	1.15	1.48	7.61	0.48	1	4.66	5.81
6	0.16	0.28	2.37	0.17	0.21	1	1.97
7	0.12	0.16	1.15	0.13	0.17	0.51	1

Figura 3.15: Matriz consolidada de la comparación por pares

Fuente: BPMS con información de expertos

Los resultados de la aplicación del AHP se muestran en la Figura 3.16 en donde podemos observar los resultados de cada uno de los expertos y de forma consolidada los resultados del grupo; observamos que la ruta o zona de tránsito es el criterio más importante según los expertos seguido del horario, y en la Figura 3.17 podemos ver la clasificación de los criterios desde el primer lugar hasta el séptimo.

Por lo anterior, definimos que la ruta o zona de tránsito es el criterio más importante obteniendo un valor del 29.5% y muy de cerca se encuentra el horario con un valor del 24.7%. Cabe resaltar que de acuerdo a los expertos consultados el tipo de producto transportado es el criterio menos importante con tan solo un valor del 2.9%. Con estos resultados pasaremos a realizar la evaluación de algunas rutas para experimentar con los valores obtenidos.

Para poder evaluar cada criterio es necesario el uso de subcriterios los cuales definimos en base a información encontrada en el SESNSP, Sensitech y la opinión de expertos y se definieron y ponderaron como se ve en la Figura 3.18.

Participant	Ruta o zona de tránsito	Factor humano	Tipo de transporte	Horario	Fuga de información del embarque	Falta de uso de tecnología	Tipo de producto	CR <sub>max</sub>
<b>Group result</b>	<b>29.5%</b>	<b>15.0%</b>	<b>2.7%</b>	<b>24.7%</b>	<b>20.5%</b>	<b>4.8%</b>	<b>2.9%</b>	<b>2.6%</b>
Experto 3	38.5%	25.9%	3.7%	15.8%	10.3%	2.9%	2.8%	9.8%
Experto 5	25.0%	11.7%	2.5%	32.5%	19.0%	6.3%	3.1%	6.3%
Experto 2	20.4%	9.2%	2.3%	34.9%	26.6%	4.0%	2.6%	9.4%
Experto 4	28.8%	8.9%	2.0%	18.0%	34.8%	5.5%	2.0%	7.9%
Experto 1	27.6%	24.4%	2.6%	22.2%	15.3%	4.7%	3.3%	7.5%

Figura 3.16: Prioridades globales

Fuente: BPMS con información de expertos

Cat		Priority	Rank
1	Ruta o zona de tránsito	29.5%	1
2	Factor humano	15.0%	4
3	Tipo de transporte	2.7%	7
4	Horario	24.7%	2
5	Fuga de información del embarque	20.5%	3
6	Falta de uso de tecnología	4.8%	5
7	Tipo de producto	2.9%	6

Figura 3.17: Prioridades consolidadas

Fuente: BPMS con información de expertos

Criterio de riesgo	Categoría	Ponderación
Ruta o zona de tránsito	Severo	0.616
	Alto	0.24
	Medio	0.097
	Bajo	0.047
Factor humano	No se imparte capacitación a ningún nivel	0.748
	Se capacita a choferes	0.177
	Se capacita a choferes y personal crítico	0.075
Tipo de transporte	Tracto camión	0.6
	Tortón	0.24
	Camión 3.5	0.1
	Pipa	0.06
Horario	Día	0.53
	Noche	0.47
Fuga de información del embarque	No se cuenta con protocolos de resguardo de la información	0.851
	Se cuenta con protocolos de resguardo de información	0.149
Falta de uso de tecnología	No cuenta con GPS	0.845
	Cuenta con GPS	0.155
Tipo de producto	Alimentos y bebidas	0.37
	Construcción e industrial	0.09
	Alcohol	0.08
	Químicos	0.07
	Autopartes	0.06
	Combustibles	0.04
	Misceláneos	0.04
	Electrónicos	0.04
	Hogar y jardín	0.04
	Ropa y zapatos	0.04
	Metales	0.04
	Cuidado personal	0.03
	Farmacéuticos	0.02

Figura 3.18: Ponderación de criterios

Fuente: Elaboración propia con información del SESNSP, Sensitech y con ayuda de la herramienta BPMS

### 3.2.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Una vez que hemos identificado los criterios, subcriterios y la ponderación de cada uno de estos podemos proponer la fórmula (3.1) para calcular el nivel de riesgo de transitar por una ruta dada, cabe aclarar que el resultado de esta fórmula de entre 0 y 1 no significa en el caso del 0 la ausencia del riesgo ni el 1 se toma como un robo inminente.

$$I_R = Zz + Ff + Ee + Hh + Ii + Tt + Pp \quad (3.1)$$

Donde:

$I_R$  = índice de riesgo

$Z$  = criterio ruta o zona de tránsito

$z$  = ponderación de riesgo de la ruta o zona de tránsito

$F$  = criterio factor humano

$f$  = ponderación de riesgo del factor humano

$E$  = criterio tipo de transporte

$e$  = ponderación del tipo de transporte

$H$  = criterio horario

$h$  = ponderación del horario

$I$  = criterio fuga de información

$i$  = ponderación de fuga de información

$T$  = criterio tipo de transporte

$t$  = ponderación por tipo de transporte

$P$  = criterio tipo de producto

$p$  = ponderación tipo de producto

Ejemplo:



Podemos calcular el riesgo de un viaje en tracto camión con rollos de cobre que recorre el 70 % de su ruta en Nuevo León y el 30 % restante en Tamaulipas, se tiene la información de que la empresa cuenta con chóferes y personal crítico capacitado, se transitará solamente durante el día, cuenta con GPS.

$$I_R = .295[.7(.616) + .3(.097)] + .15(.075) + .027(.6) + .247(.53) + .205(.851) + .048(.155) + .029(.04)$$

El índice de riesgo es del .47 y proponemos la escala de De La Torre *et al.* (2014) para obtener una referencia del nivel en el que se encuentra que se ve en la Figura 3.19.

Nivel	Rango
Bajo	$0 \leq \text{índice} \leq 0.25$
Medio	$0.25 < \text{índice} \leq 0.50$
Alto	$0.50 < \text{índice} \leq 0.75$
Severo	$0.75 < \text{índice} \leq 1$

Figura 3.19: Nivel de riesgo

Fuente: De La Torre *et al.* (2014)

En la siguiente sección se realizará la experimentación de la herramientas en casos reales.

## CAPÍTULO 4

# EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

---

Para revisar el funcionamiento de la herramienta desarrollada, se utilizaron datos de rutas reales con diferentes alternativas para evaluar la mejor opción para una empresa TIER1 automotriz la cual mueve principalmente en cajas tráiler de 48 y 53 pies de altura, sin embargo, de acuerdo a las necesidades de la operación es posible que utilice unidades de menor capacidad. Así mismo, cuenta con una base de proveedores de servicio de transporte mayor a los 30 y quienes no operan bajo las mismas condiciones de trabajo derivado del tamaño de sus empresas.

### 4.1 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

En este primer escenario la empresa antes mencionada quiere mover autopartes automotrices en tractocamión de Laredo en el estado norteamericano de Texas a Ciudad Hidalgo en el estado mexicano de Chiapas, para llegar a destino existen 2 posibles rutas una adyacente al Golfo de México y otra que cruza el centro del país. El proveedor elegido para su realización no imparte capacitaciones a sus empleados, manejará siempre de día, no cuenta con protocolos para salvaguardar la información del embarque pero cuenta con GPS.

La primera opción de ruta adyacente al Golfo de México transita por 3 estados

de la República: Tamaulipas, Veracruz y Chiapas por lo cual el índice de riesgo se calcularía de la siguiente forma:

$$I_R = 0.295 * ((0.097 * .34) + (0.24 * .52) + (0.24 * .14)) + (0.15 * 0.748) + (0.027 * 0.6) + (0.247 * 0.53) + (0.205 * 0.851) + (0.048 * 0.155) + (0.029 * 0.06)$$

El índice de riesgo es .499 por lo cual esta ruta bajo estas condiciones se determina con un nivel medio de riesgo.

La segunda opción que atraviesa por el centro del país transita por 10 estados del país: Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz y Chiapas por lo cual el índice de riesgo se calcularía de la siguiente forma:

$$I_R = 0.295 * ((0.13 * 0.616) + (0.02 * 0.097) + (0.09 * 0.24) + (0.02 * 0.097) + (0.02 * 0.047) + (0.19 * 0.616) + (0.03 * 0.24) + (0.17 * 0.616) + (0.22 * 0.24) * (0.11 * 0.24)) + (0.15 * 0.748) + (0.027 * 0.6) + (0.247 * 0.53) + (0.205 * 0.851) + (0.048 * 0.155) + (0.029 * 0.06)$$

El índice de riesgo es .54 por lo cual esta ruta bajo las condiciones dadas se determina con un nivel alto de riesgo.

Sin embargo, la empresa también cuenta con otro transportista que pudiera mover la mercancía en cualquier de estas dos rutas y que cuenta con capacitación de manejo ofensivo y defensivo a chóferes y con protocolos para salvaguardar la información más importante del embarque. Bajo estas condiciones volvemos a calcular el índice de riesgo de la siguiente forma para la ruta adyacente al Golfo de México:

$$I_R = 0.295 * ((0.097 * .34) + (0.24 * .52) + (0.24 * .14)) + (0.15 * 0.177) + (0.027 * 0.6) + (0.247 * 0.53) + (0.205 * 0.149) + (0.048 * 0.155) + (0.029 * 0.06)$$

El índice de riesgo es .27 por lo cual esta ruta bajo las condiciones dadas se determina con un nivel medio de riesgo y cabe aclarar que se encuentra en el límite bajo del nivel medio.

Ahora si calculamos para la ruta por el centro del país el riesgo se calcularía de la siguiente forma:

$$I_R = 0.295 * ((0.13 * 0.616) + (0.02 * 0.097) + (0.09 * 0.24) + (0.02 * 0.097) + (0.02 * 0.047) + (0.19 * 0.616) + (0.03 * 0.24) + (0.17 * 0.616) + (0.22 * 0.24) * (0.11 * 0.24)) + (0.15 * 0.748) + (0.027 * 0.6) + (0.247 * 0.53) + (0.205 * 0.851) + (0.048 * 0.155) + (0.029 * 0.06)$$

$$0.047) + (0.19 * 0.616) + (0.03 * 0.24) + (0.17 * 0.616) + (0.22 * 0.24) * (0.11 * 0.24) + (0.15 * 0.177) + (0.027 * 0.6) + (0.247 * 0.53) + (0.205 * 0.149) + (0.048 * 0.155) + (0.029 * 0.06)$$

El índice de riesgo es .31 por lo cual esta ruta bajo las condiciones dadas se determina con un nivel medio de riesgo.

Los índices obtenidos dan constancia de la consistencia de la herramienta debido a que da valores de riesgo más altos a empresas que no capacitan a su personal y que no salvaguardan la información del embarque, mientras que siguiendo exactamente las mismas rutas el riesgo disminuye considerablemente cuando se protege la información y se prioriza la capacitación al menos de chóferes.

## CAPÍTULO 5

# CONCLUSIONES

---

En este apartado se recapitulan lo obtenido de esta investigación, se describen las conclusiones y se describen algunas mejoras para la herramienta. Así mismo, se mencionan las contribuciones de este trabajo y el trabajo a futuro para eficientar la herramienta y mantenerla actualizada.

### 5.1 CONCLUSIONES GENERALES

En esta investigación se abordó un problema presente en la mayoría de los departamentos logísticos de empresas mexicanas: ¿Cómo reducir el riesgo de robo durante la distribución de sus mercancías por las carreteras mexicanas?. Para poder llevar acabo este trabajo primeramente se analizó la pertinencia de este proyecto mediante la evaluación de la situación de seguridad en el país por medio de estadísticas de seguridad encontradas en las bases de datos de instituciones gubernamentales y no gubernamentales involucradas en la seguridad del autotransporte de carga en México.

Así mismo, se buscaron trabajos similares en la literatura para comparar el problema y ver el tipo de herramientas utilizadas para la solución del mismo y así se determinaron los métodos más adecuados para nuestra investigación.

Con base en la investigación llevada a cabo propusimos una herramienta basada en análisis multicriterio por lo cual se utilizó el AHP y el método Delphi. Además

de buscar en la literatura métodos para la solución de nuestro problema buscamos también criterios que deberíamos tomar en cuenta al momento de querer cuantificar o medir el riesgo de robo de mercancías en tránsito en las carreteras mexicanas, para verificar que lo encontrado en la literatura estaba de acuerdo a la situación actual y específica del país recurrimos al método Delphi aplicado a expertos en el tema para conocer los criterios que ellos consideran más importantes a tomar en cuenta. Una vez definidos los criterios se volvió a recurrir a los expertos para que mediante una comparación por pares pudieramos ponderar los criterios y subcriterios en los que se basaría la herramienta.

Esta herramienta sirve de apoyo para los tomadores de decisión de las empresas al momento de estar en la disyuntiva de que ruta tomar para llegar de un punto A a un punto B, suponiendo que se cuenta con más de una alternativa, tratando de elegir aquella que signifique el menor riesgo para el operador de la unidad y la mercancía.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Este trabajo representa una disminución del riesgo de robo para muchas empresas y por tanto una herramienta que podría generar ahorros considerables, sobre todo si las empresas no aseguran la carga al momento de embarcarla. Sin embargo para asegurar y garantizar el correcto funcionamiento de la herramienta se recomienda:

Actualizar los criterios y subcriterios: para mantener la confiabilidad de la herramienta es necesario que al menos una vez al año se revise la situación de seguridad del país para comprobar que los criterios siguen siendo pertinentes al problema y están correctamente ponderados, en caso contrario se tendría que realizar la actualización de las ponderación en la herramienta.

Definir un grupo que pueda, objetivamente, analizar y actualizar criterios: se recomienda que el consenso para la revisión de criterios se realice con expertos en diferentes empresas e industrias en el país, lo anterior con el objetivo de no enfocar la herramienta a la situación específica de la empresa sino tener criterios comunes

que afectan a cualquier industria.

Comparar los resultados de la herramienta contra datos estadísticos: se recomienda que, a manera de auditoría, se comparen los índices de riesgo obtenidos de la herramienta contra datos estadísticos de robos al autotransporte de carga para verificar la confiabilidad de la herramienta y si esta cambia significativamente en algún momento del año o pasado cierto tiempo de la actualización de la herramienta.

## 5.3 CONTRIBUCIONES Y TRABAJO A FUTURO

### Contribuciones

La contribución principal de esta tesis es la herramienta proveída basada en métodos de análisis multicriterio para obtener un índice de riesgo de distribuir mercancías por una vía determinada y bajo ciertos criterios investigados. A través de ella se apoya a los tomadores de decisión para elegir la opción que más convenga a los intereses de la empresa.

Por otra parte, la herramienta proporcionada genera posibles ahorros económicos para la empresa ya que reduce el riesgo de pérdida de materiales y/o incrementos en las pólizas de seguro adquiridas para cubrir las unidades de transporte y las mercancías.

Adicionalmente, la herramienta es de fácil uso y actualización por lo cual permite su uso por muchos años y sin necesidad de proporcionar capacitación adicional a quien la utilice.

### 5.3.1 TRABAJO A FUTURO

Este proyecto actualmente proporciona una herramienta manual para el cálculo de índice de riesgo de robo en las carreteras por lo que para trabajo a futuro se recomienda la automatización de la herramienta mediante alguna aplicación que facilite el ingreso de los datos.

---

Así mismo, se pretende revisar investigación respecto al tema de seguridad carretero en otros países para evaluar la efectividad de la herramienta y mantener o modificar los criterios y sus ponderaciones para la extensión de su uso a otros países de Centroamérica.



# BIBLIOGRAFÍA

---

- BALLOU, R. (2004a), *Decisiones sobre políticas de inventarios*, arXiv:1011.1669v3.
- BALLOU, R. H. (2004b), *Logística : administración de la cadena de suministro*, Pearson Educación.
- BEYCA, Ö. F., B. YAZICI, Ö. F. GÜRCAN, Ç. Y. ARSLAN y F. ELDEMİR (2016), «Third Party Logistics (3PL) Provider Selection with AHP Application», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **235**(October), págs. 226–234.
- CAVINATO, J. L. (2004), «Supply chain logistics risks: From the back room to the board room», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **34**(5), págs. 383–387.
- CEDILLO-CAMPOS, M. G., C. SÁNCHEZ-RAMÍREZ, S. VADALI, J. C. VILLA y M. B. C. MENEZES (2014), «Supply chain dynamics and the cross-border effect”: The U.S.-Mexican border’s case», *Computers and Industrial Engineering*, **72**(1), págs. 261–273.
- CHAN, A. P. C., E. H. K. YUNG, P. T. I. LAM, C. M. TAM y S. O. CHEUNG (2001), «Application of Delphi method in selection of procurement systems for construction projects», *Construction Management and Economics*, **19**(7), págs. 699–718.

CHANG, Y. C., C. J. HSU, G. WILLIAMS y M. L. PAN (2008), «Low cost carriers' destination selection using a Delphi method», *Tourism Management*, **29**(5), págs. 898–908.

DE LA TORRE, E., C. MARTNER, J. MARTÍNEZ, E. OLIVARES y E. MORENO (2013), «Analyzing risk factors for highway theft in Mexico», *WIT Transactions on the Built Environment*, **134**, págs. 437–446.

DE LA TORRE, E., C. MARTNER, E. MORENO QUINTERO, J. L. MARTÍNEZ y E. ÍTEZ@ (2014), «Herramienta para la evaluación del riesgo de robo en el autotransporte de carga», *Nova scientia*, **7**(13), págs. 438–469, URL [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-0705201500](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-0705201500)

FATIH EMRE BORAN, SERKAN GENÇ, MUSTAFA KURT, D. A. (2009), «A multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, **5908 LNAI**(8), págs. 303–312, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>.

GOEPEL, K. (2018), «Implementation of an Online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)», *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, **10**(3), págs. 469–487.

GUZE, S., T. NEUMANN y P. WILCZYŃSKI (2017), «Multi-Criteria Optimisation of Liquid Cargo Transport According to Linguistic Approach to the Route Selection Task», *Polish Maritime Research*, **24**(s1), págs. 89–96.

HUANG, B., C. R. LONG y Y. S. LIEW (2003), «GIS-AHP model l for HAZMAT routing with security considerations», *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, **2**, págs. 1644–1649.

HWANG, C.L. & YOON, K. (1973), «Multiple Attribute Decision Making: An Introduction», **1**.

KUMAR, P. y R. K. SINGH (2012), «A fuzzy AHP and TOPSIS methodology to evaluate 3PL in a supply chain», *Journal of Modelling in Management*, **7**(3), págs. 287–303, /dx.doi.org/10.1108/BIJ-10-2012-0068.

LI, X., C. CHANDRA y J. Y. SHIAU (2009), «Developing taxonomy and model for security centric supply chain management», *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, **17**(1/2), pág. 184.

M. DONNER, C. K. (2008), «Supply Chain Security :», .

MCKINNON, A. (2006), «Life without trucks: the impact of a temporary disruption of road freight transport on a national economy», *Journal of Business Logistics*, **27**(2), págs. 227–250.

MITAL, M., M. DEL GIUDICE y A. PAPA (2018), «Comparing supply chain risks for multiple product categories with cognitive mapping and Analytic Hierarchy Process», *Technological Forecasting and Social Change*, **131**(May), págs. 159–170, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.036>.

OKOLI, C. y S. D. PAWLOWSKI (2004), «The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications», *Information and Management*, **42**(1), págs. 15–29, 0-201-04294-0.

PÉREZ, G. (2013), «Seguridad de la cadena logística terrestre en América Latina», , págs. 1–43 URL [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6365/LCL3604\\_es.pdf?se](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6365/LCL3604_es.pdf?se)

PETRAŠKA, A. y R. PALŠAITIS (2012), «Evaluation Criteria and a Route Selection System for Transportating Oversize and Heavyweight Cargoes», *Transport*, **27**(3), págs. 327–334.

- SAATY, T. L. (2008), «Decision making with the analytic hierarchy process», *International Journal of Services Sciences*, **1**(1), pág. 83, URL <http://www.inderscience.com/link.php?id=17590>.
- SCHOENHERR, T., V. M. RAO TUMMALA y T. P. HARRISON (2008), «Assessing supply chain risks with the analytic hierarchy process: Providing decision support for the offshoring decision by a US manufacturing company», *Journal of Purchasing and Supply Management*, **14**(2), págs. 100–111.
- SEKHAR, C., M. PATWARDHAN y V. VYAS (2015), «A Delphi-AHP-TOPSIS Based Framework for the Prioritization of Intellectual Capital Indicators: A SMEs Perspective», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.
- STATISTICS, B. O. T. (2019), «No Title», URL [www.bts.gov](http://www.bts.gov).
- SUNIL CHOPRA (2010), *Administracion de Cadena de Suministro*, arXiv:1011.1669v3.
- TORO-OCAMPO, E. M., J. F. FRANCO-BAQUERO y R. A. GALLEGU-RENDÓN (2016), «Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada», *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, **17**(3), págs. 357–369, URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1405774316300208>.
- WOLNIAK, R. (2019), «Downtime in the Automotive Industry Production Process – Cause Analysis», *Quality Innovation Prosperity*, **23**(2), pág. 101.

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Gabriela Martínez Rios

Candidato para obtener el grado de  
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

HERRAMIENTA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE MERCANCÍAS  
CONTEMPLANDO LA SEGURIDAD POR RUTA

Gabriela Martínez Rios nace un 24 de septiembre de 1988 como primogénita de Evelia y Jesús Jorge en la ciudad de Monterrey, Nuevo León en México. Concluyó sus estudios de bachillerato en la Preparatoria Número 7 Oriente de la Universidad Autónoma de Nuevo León y en 2011 se gradúa como Licenciada en Negocios Internacionales de la Facultad de Contaduría Pública y Administración perteneciente a la misma Universidad. Cuenta con 9 años de experiencia como compradora de materiales y servicios indirectos para empresas del sector automotriz, actualmente se desempeña como compradora de servicios de transporte para una TIER1 automotriz.