

Proyecto Fordecyt 291766: Plataforma logística como elemento detonador del desarrollo en el Istmo de Tehuantepec

Producto 7

Un documento que integre el conjunto de estrategias tecnológicas y de innovación para la creación de una plataforma logística en el Istmo de Tehuantepec como un elemento detonador de desarrollo.

Mayo 2019

FICHA DE ENTREGABLE

Título del Informe: Plataforma logística como elemento detonador del desarrollo en el Istmo de Tehuantepec

Nombre del entregable al cual pertenece: Un documento que integre el conjunto de estrategias tecnológicas y de innovación para la creación de una plataforma logística en el Istmo de Tehuantepec como un elemento detonador de desarrollo.

Objetivo principal planteado: Diseño de un sistema tecnológico transversal para mejorar el desempeño logístico y la competitividad de la región del Istmo de Tehuantepec, el cual consta de tres subsistemas: i) Sistema mapa interactivo logístico de la región; ii) Sistema para la medición del valor logístico de la infraestructura de transporte; iii) Sistema para la medición de la fluidez de carga.

Alcance del documento: En este documento se propone una definición del valor logístico que permite unificar los parámetros necesarios para su medición, sin comprometer la información confidencial de los usuarios de la cadena, para tratar de determinar el valor agregado por la infraestructura a procesos y servicios dentro de las cadenas de suministro.

Instituciones participantes: IMT

Investigadores:	Contacto:
Gastón Cedillo Campos	gaston.cedillo@imt.mx
Carlos Daniel Martner Peyrelongue	carlos.martner@imt.mx
Miguel Ángel Backhoff Pohls	backhoff@imt.mx

Contenido

Introducción	10
1.1 Antecedentes	12
Objetivos	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
Alcances	22
Metodología	22
Procedimiento de investigación	24
Productos por obtener	25
Plan de actividades	25
Revisión de literatura	29
Introducción	29
Modelos y métodos en fluidez de carga	30
Confiabilidad	31
Análisis del tiempo de viaje	31
Enfoques actuales	32
Indicadores de confiabilidad	35
Modelos y métodos en Valor Logístico	36
Sistema logístico	37
Enfoques actuales	37
Conclusiones	38
Medición de la fluidez de carga	39



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Procedimiento general	39
Confiabilidad en el tiempo de viaje	40
Medidas de confiabilidad	43
Obtención de los datos	44
Datos atípicos	46
Implementación	46
Medición del Valor Logístico de la infraestructura	48
Procedimiento general	48
Valor logístico de la infraestructura	49
Medidas del valor logístico de la infraestructura	50
Costo logístico total	52
Atributos de la red	52
Riesgo	56
Enlaces de servicio	59
Resiliencia	60
Huella de carbono	62
Implementación	64



CentroGeo
21°53'44" N 102°21'08" O 1884m

Resumen

Un transporte de carga eficiente contribuye a la competitividad económica de las regiones. En México el principal medio de transporte de mercancías es el autotransporte. Tan solo en el 2017 este movió el 55.7% del total de carga en el país. La cifra anterior representa 547 millones de toneladas de un total de 982 millones de toneladas transportadas. De ahí la importancia de determinar el valor logístico agregado por la infraestructura. Los flujos de carga se desplazan a través de todo el sistema logístico, el cual está compuesto por: i) servicios logísticos; ii) sistemas de información; e iii) infraestructura-recursos. Para ello, se requiere de la coordinación de los múltiples actores que aseguran su correcto funcionamiento. Un aspecto importante del sistema logístico es el uso de la infraestructura propia o compartida de los actores, a través de la cual circulan tanto información pertinente para el sistema como flujos físicos en ambos sentidos (Tseng, et al., 2005). Este funcionamiento conjunto es la base de los modernos sistemas de producción entre ellos el justo a tiempo (JIT, siglas en inglés) justo en secuencia (JIS, siglas en inglés). Dicha coordinación, ayuda a generar valor agregado al producto final en la forma de ahorros a los consumidores o una mejor calidad de servicio, involucrando aspectos como la confiabilidad operativa y la fluidez de la carga a través del sistema logístico. Bajo este enfoque, es posible identificar el valor que la infraestructura agrega a las cadenas de suministro con la finalidad de coadyuvar la toma de decisiones tanto en operación como en inversiones. Actualmente es de suma importancia identificar el valor logístico generado por la infraestructura a los procesos y operaciones logísticas, los consumidores pueden recibir beneficios adicionales y las compañías logran reducir sus gastos de su operación (Lambert & Burduroglu, 2000). Aquellas compañías que son capaces de transferir los beneficios económicos del valor logístico generado y el beneficio económico derivado del mismo, son percibidas como eficientes y generan lealtad entre los clientes. Esto fortalece las relaciones de confianza entre empresas y clientes y beneficia el desarrollo económico en cualquier parte del mundo. En México existen regiones que son percibidas como de alto potencial económico, debido a su ubicación geográfica o los recursos existentes. Tal es el caso de la región del Istmo de Tehuantepec. Ubicada en la parte más estrecha del territorio del país, conecta a dos importantes puertos marítimos en México a través del corredor transístmico. En el contexto del valor generado por los procesos y operaciones logísticas y derivado del análisis de los conceptos existentes de valor logístico, el presente trabajo propone, una metodología para la medición del valor logístico de la infraestructura usada por las cadenas de suministro. Su objetivo es apoyar el proceso de toma de decisiones tanto a nivel público como privado. Considerando la importancia futura de la región del Istmo como un



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

RUUYA
PLATAFORMA LOGÍSTICA DEL ISTMO

importante motor de la economía nacional, se aplica la metodología propuesta para esta región en específico.


CIATEJ


CIAD


INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE


CentroGeo
21°53'44" N 102°21'08" O 1884m

Abstract

An efficient freight transport can contribute to the competitiveness and economy of a region. In Mexico the main conveyance of goods is the transport of cargo or federal motor transport. In 2017 it moved 55.7% of the total cargo in the country. The previous figure represents 547 million tons out of a total of 982 million tons, hence the importance of determining the added logistics value of the system's infrastructure (SCT, 2017). This cargo flow involves the entire logistic system which is composed of: i) logistic services; ii) information systems, e; infrastructure / resources (Tseng, et al., 2005). This requires the coordination of multiple actors to ensure the proper functioning of the system. An important aspect of the system is the use of own or shared infrastructure, through which circulate both relevant information for the system and physical flows in both directions. This joint operation is the basis of modern production systems including just-in-time (JIT) and just-in-sequence (JIS).

This coordination helps to generate added value to the final product in the form of savings to consumers or added value to the service, involving aspects such as operational reliability and chain fluidity. Under this analysis of added value to the operation of the system, through the use of infrastructure and its importance in the supply chain, critical points in the infrastructure can be identified in order to help decision-making both in operation and in the planning. It is very important to identify the logistic value generated by the logistics processes and operations, the clients receive additional benefits and the companies manage to reduce their operating expenses (Lambert & Burduroglu, 2000). Those companies that are able to sell the economic benefits of the logistic value generated and the economic benefit derived from it, are perceived as profitable and generate loyalty among customers. This is of great importance for the development of the economy anywhere in the world. There are regions throughout the country that are perceived as possible emerging economies, due to their economic potential, geographic location or existing resources. The Isthmus of Tehuantepec, is an attractive area for the national and foreign industry, also possessing a large amount of natural resources and advantageously positioned in the narrowest part of Mexico. Thus, this region connects two important maritime ports in Mexico through the transisthmian corridor. In this context, from the perspective of the value generated from logistics processes and operations and derived from the analysis of existing concepts of logistical value, this work proposes a methodology for measuring the logistics value of transport system infrastructure. Its objective is to support the decision-making process both at the governmental and private levels.



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Considering the future importance of the Isthmus region as a trigger for the national economy, the application of the methodology proposed for this specific region is considered.



CentroGeo
21°53'44" N 102°21'08" O 1884m



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

RUUYA
PLATAFORMA LOGÍSTICA DEL ISTMO



1 Introducción

El transporte de carga está invariablemente ligado al desarrollo económico del territorio. La capacidad de expansión que el transporte proporciona a los mercados locales es un detonante para la economía. Las mejoras en el sistema de transporte propician i) tiempos de tránsito más cortos y estables; ii) reducción de costos de transporte; y, iii) ayuda a alcanzar nuevos mercados. De esta forma se puede acceder nuevos suministros y proveedores con precios más competitivos, beneficios que se pueden trasladar a los consumidores mediante precios más competitivos (O'Rourke, et al., 2015)

De acuerdo al Índice Global de Competitividad (GCI) uno de los 12 pilares que sostienen la competitividad de un país es su infraestructura. De este modo, una infraestructura de transporte extensa y eficiente, promueve el desarrollo de la economía al convertirse en un determinante de la localización geográfica donde la actividad económica se llevará a cabo. De manera similar la infraestructura de transporte ayuda a determinar el tipo de actividades y/o sectores que se desarrollarán dentro de un país o región (WEF, 2014). Lo anterior nos dice que la ubicación estratégica de la infraestructura, su posición geográfica y el correcto funcionamiento de la misma, propiciará oportunidades de desarrollo para aquel sector que tome ventaja de las características de la misma. Es por ello que podemos constatar que actualmente los parques industriales localizados en México, se encuentran situados a lo largo de alguno de los 15 corredores de transporte de carga. De esta forma, la infraestructura de transporte da un valor agregado a los productos y servicios que se mueven a través de ella, contribuyendo al desarrollo de un sector o área productiva en específico.

La generación de valor a través del flujo eficiente de los bienes es un diferenciador de suma importancia para las cadenas de suministro. El flujo eficiente, dinámico y flexible tanto de información como productos en ambas direcciones, asegura una operación fluida y reduce los gastos por el movimiento de carga a través de la cadena. Sin embargo, el concepto actual de valor agregado es poco entendido y en la realidad, cada empresa y agencia de gobierno, puede darle una definición diferente dependiendo de los objetivos a cumplir y las necesidades identificadas. No obstante, tanto los conceptos de valor agregado, como de logística comparten similitudes dentro de la gran cantidad de definiciones que existen para estos conceptos. Las similitudes más importantes son la mención de nociones como la generación de valor, satisfacción del cliente, maximización de los beneficios para la organización a través del movimiento de los productos e información a lo largo de la cadena de suministro. A partir de estas coincidencias es posible formular el concepto de valor logístico. El presente documento propone una definición del valor logístico que

permite unificar los parámetros necesarios para su medición. Se ha buscado no comprometer la información confidencial de los usuarios de la cadena, al tiempo que permita conocer el valor agregado por la infraestructura a procesos y servicios dentro de las cadenas de suministro.

Las siguientes secciones del documento se organizan como sigue. En la Sección Antecedentes se hace un análisis del contexto de aplicación del presente proyecto, haciendo énfasis en los elementos estadísticos que permitan identificar los desafíos y oportunidades. Del mismo modo, se exponen los objetivos, alcances, metodología y plan de actividades del presente trabajo, los cuales han permitido guiar su desarrollo. En la Sección de Revisión de la Literatura, se hace una revisión del estado del arte sobre el concepto de Fluidez de Carga y Valor Logístico. Lo anterior ha permitido establecer los huecos del conocimiento y la práctica en México. Finalmente se presentan conclusiones que favorecen el análisis teórico, así como el desarrollo de la práctica en el desarrollo de medidas para mejorar el desempeño de los sistemas de transporte y logística en la región del Istmo de Tehuantepec.

1.1 Antecedentes

El envío de carga por carretera o autotransporte es el modo de transporte de mercancías más utilizado a nivel nacional, este contribuye con el 83% del PIB en el Sector de Transportes y con el 5.5% del PIB a nivel nacional (SCT, 2018). Especialmente en México, este modo es un importante detonador de la economía a varios niveles. En realidad, el autotransporte de carga es de vital importancia para fomentar el desarrollo de regiones e impulsar el crecimiento y desarrollo del país.

De manera específica, en el presente análisis nos enfocaremos a la importante zona del Istmo de Tehuantepec. La región del Istmo de Tehuantepec comprende los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Veracruz. Siendo la parte más angosta del país, esta conecta a dos importantes puertos (Coatzacoalcos, en el Estado de Veracruz y Salina Cruz en el Estado de Oaxaca) mediante el corredor transístmico que mide aproximadamente 303 km, separando al Golfo de México del Océano Pacífico.

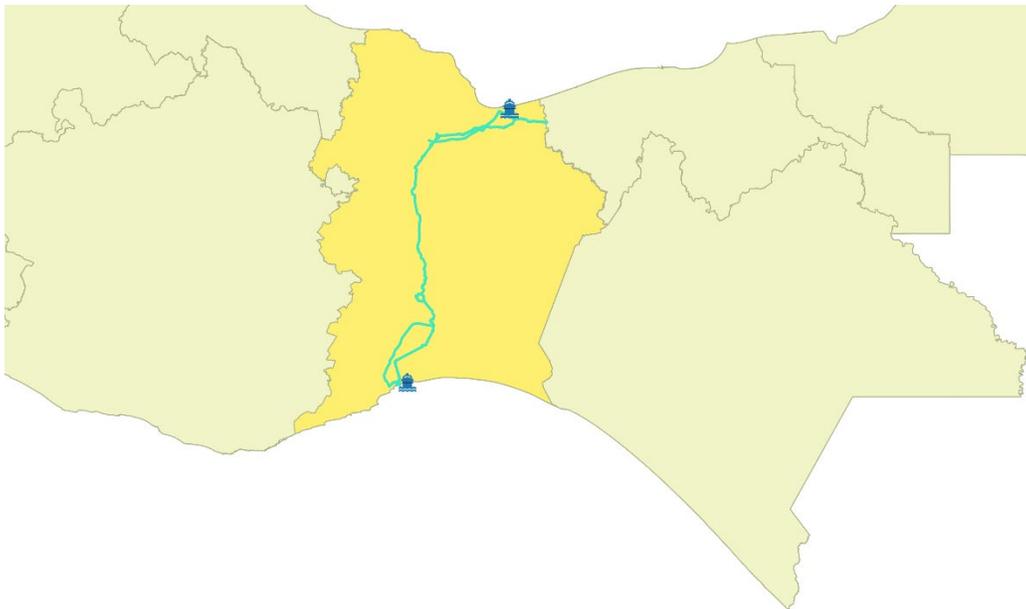


Figura 1.1 Corredor Transístmico y zona de estudio
(Elaboración propia con información del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. e Instituto Mexicano del Transporte).

Debido a su importancia estratégica, desde la llegada de los conquistadores españoles a lo que hoy es México, han existido planes de desarrollo buscando aprovechar el potencial de la zona. Para el presente proyecto y de común acuerdo con la institución líder del proyecto, el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C., el presente estudio se centra en la región delimitada por los estados de Oaxaca y Veracruz en la parte más angosta del país, conectando los puertos de Coatzacoalcos y Salina Cruz mediante el corredor transístmico. La conexión entre ambos puertos, las ventajas comerciales que esto representa y su ubicación geográfica han convertido a este espacio geográfico, en uno de importancia económico-estratégica a nivel nacional y con potencial para serlo a nivel internacional. La privilegiada vía de comunicación transístmica posibilita el movimiento de mercancías entre el Atlántico y el Pacífico tanto a mercados nacionales como internacionales (Martínez-Laguna, et al., 2002). Sin embargo, tanto su estructura económica como su infraestructura de transporte no han propiciado un desarrollo acorde al potencial de dicha región.

En cuanto a los sectores clave para la zona de estudio, la industria petrolera es una de las más importantes. Con impactos tanto positivos como negativos, sin lugar a dudas ha sido un protagonista económico en la región. En la región del Istmo de Tehuantepec se encuentra el segundo Estado extractor de petróleo crudo en el país. En 2017, Veracruz extrajo 228 mil barriles diarios y generó 407 millones de pies cúbicos diarios de gas natural. Además, la refinería ubicada en Salina Cruz generó 65 millones de toneladas de productos petroquímicos (PEMEX, 2017). La conexión directa con el puerto de Salinas Cruz, Oaxaca a través del corredor transístmico, es actualmente importante para la importación de productos derivados del petróleo, como resultado de su conexión con el puerto de Guaymas, Sonora en el norte del país.

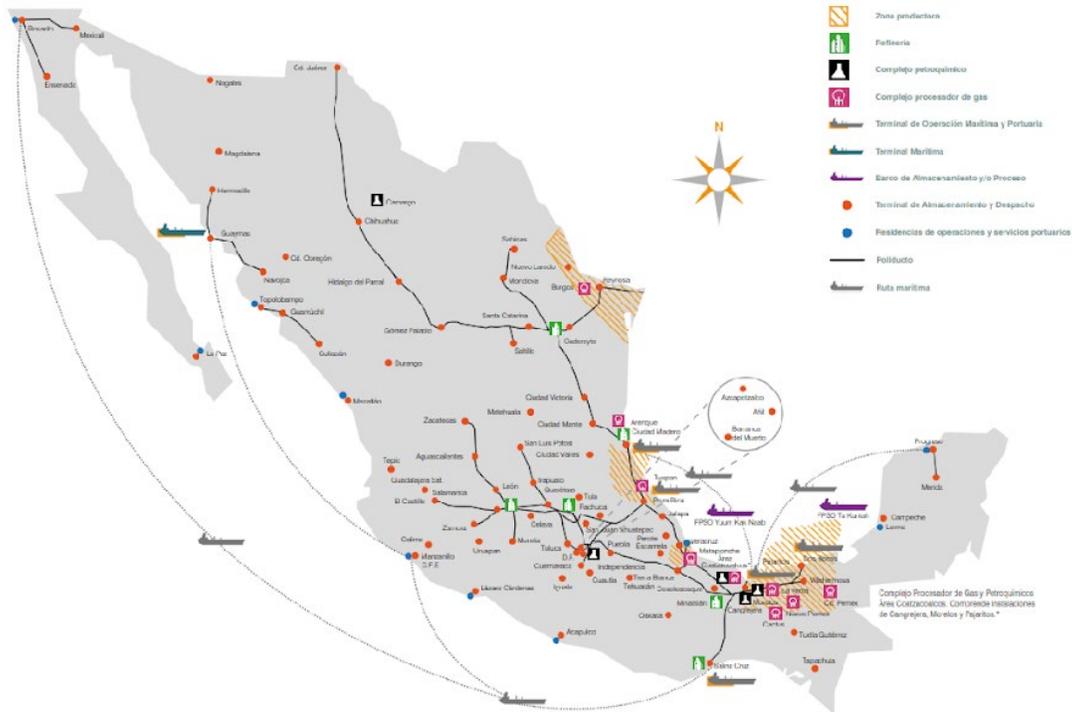


Figura 1.2 Instalaciones petroleras en México
(Con base en: *PEMEX, 2017*)

En términos de infraestructura portuaria, la región en estudio cuenta con dos importantes puertos conectados a través del corredor carretero Transístmico y el Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec S. A de C.V. Cabe mencionar que en el 2017 el puerto de Coatzacoalcos movió 28' 934, 543 toneladas siendo el tercer puerto de altura en importancia en el Golfo y Caribe de México, tan solo por debajo de Cayo de Arcas en Campeche y Dos Bocas en Veracruz. Por su parte, el puerto de Salina Cruz movilizó 7' 856, 309 toneladas de carga, con lo cual se constituyó como el sexto puerto de altura más importante en el pacífico (SCT, 2017).

Con respecto a las exportaciones realizadas desde el puerto de Coatzacoalcos, el 89% son “*petróleo y sus derivados*”, seguido por “*otros fluidos*” y “*carga general suelta*”. En el último lugar de las estadísticas presentadas se encuentran las exportaciones de “*granel agrícola*” (ver tabla 1.1). El principal destino de exportación son los Estados Unidos de América con el 74% del total de exportaciones, esto de acuerdo al anuario estadístico de los puertos de México (SCT, 2017).



Tabla 1-1 Movimiento de carga en el puerto de Coatzacoalcos (Ton.)
(Con base en: SCT, 2017)

TIPO DE CARGA	2015	2016	2017
TOTAL	30,227,981	27,934,357	28,934,543
ALTURA	25,373,089	23,074,384	24,158,971
IMPORTACIÓN	11,991,746	13,424,726	14,563,982
GENERAL SUELTA	473,293	405,373	414,726
GENERAL CONTENERIZADA	2,588	11,692	9,792
GRANEL AGRÍCOLA	1,136,145	1,260,536	1,263,301
GRANEL MINERAL	1,151,383	999,987	966,136
PETRÓLEO Y DERIVADOS	8,139,189	9,494,780	10,611,756
OTROS FLUIDOS	1,089,148	1,252,358	1,298,271
EXPORTACIÓN	13,381,343	9,649,658	9,594,989
GENERAL SUELTA	256,382	216,765	257,214
GENERAL CONTENERIZADA	63,616	100,728	139,625
GRANEL AGRÍCOLA	175,403	43,000	44,000
GRANEL MINERAL	123,589	155,669	131,391
PETRÓLEO Y DERIVADOS	11,803,061	8,536,504	8,568,572
OTROS FLUIDOS	959,292	596,992	454,187

Por su parte, las exportaciones desde el puerto de Salina Cruz fueron de 3' 812, 357 toneladas, de igual forma la mayor cantidad corresponde al "petróleo y sus derivados" que representan el 99% del total de exportaciones, seguido por la carga "general contenerizada" con apenas 163 toneladas. El principal destino de exportación es también los Estados Unidos de América con el 56% del total de exportaciones (ver tabla 1.2) (SCT, 2017).

Tabla 1-2 Toneladas de exportación Salina Cruz, Oax.
(Con base en: SCT, 2017)

DESTINO	TIPO DE CARGA	TONELAJE
	TOTAL	3,812,357
	EUA	2,150,158
	PETRÓLEO Y DERIVADOS	2,150,158



	COMBUSTOLEO PESADO	1,095,679
	PETRÓLEO CRUDO	985,688
	DERIVADOS DEL PETROLEO	68,791
PANAMA		
		458,443
	PETRÓLEO Y DERIVADOS	458,443
	COMBUSTOLEO PESADO	458,443
JAPON		
		437,968
	PETRÓLEO Y DERIVADOS	437,968
	PETRÓLEO CRUDO	437,968
SINGAPUR		
		430,868
	PETRÓLEO Y DERIVADOS	430,868
	COMBUSTOLEO PESADO	430,868
COREA DEL SUR		
		275,584
	PETRÓLEO Y DERIVADOS	275,584
	PETRÓLEO CRUDO	275,584
PERU		
		59,173
	PETRÓLEO Y DERIVADOS	59,173
	PETRÓLEO CRUDO	59,173
CHINA		
		163
	GENERAL CONTENERIZADA	163
	TORRES EOLICAS Y SUS PARTES	135
	MADERA Y SUS PRODUCTOS	28

Lo anterior, nos permite valorar la importancia del Istmo de Tehuantepec para el desarrollo nacional, así como su importancia estratégica para la región. El estado actual de la zona es el reflejo de los esfuerzos y planes desarrollados a lo largo de los años. En todos estos esfuerzos se ha considerado fundamentalmente el control y desarrollo de importantes vías de comunicación. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la perspectiva del valor logístico de la infraestructura, ni el de



la administración integral de la cadena de suministro, por lo que se considera importante explorar su potencial aplicación en esta región.

Garantizar un flujo eficiente de carga a través de la cadena de suministro coadyuva a reducir el costo logístico total. En este sentido, la red de transporte debe proporcionar las condiciones e infraestructura necesarias para garantizar los flujos de carga. De acuerdo a Tseng, et al. (2005), el objetivo del transporte es optimizar los costos operacionales del proceso, entregando los materiales adecuados en el momento justo. En realidad, el desempeño del sistema depende enormemente de la infraestructura y diseño de la cadena para luego, buscar una optimización de costos. Bajo este razonamiento, se debe establecer una relación entre el desarrollo de infraestructura y el desempeño del sistema en la generación de valor agregado al transporte de las mercancías.

Tradicionalmente se consideraba a la logística como un generador de costo sin la capacidad de diferenciación o de añadir valor al proceso (Ballou, 2004). A mediados de los 90's, el estudio de la logística comenzó a centrarse en su capacidad para generar valor para los consumidores, proveedores y todos los involucrados en el proceso. De acuerdo a Gil-Saura, et al. (2010), se define a la logística como: *"la planeación, administración y control de los flujos físicos de materiales e información asociada, directa e inversamente, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el objetivo de satisfacer al consumidor mediante la generación de valor"*. De esta forma, el valor agregado puede ser considerado como valor logístico. El valor logístico puede unificar los conceptos de desempeño e importancia de la infraestructura tanto cuantitativa como cualitativamente, en la cadena de suministro. Cedillo-Campos (2018) establece que la medición del valor logístico de la infraestructura, debe considerar factores cuantitativos y cualitativos con la finalidad de alcanzar mejores condiciones de desempeño. De igual forma, el autor plantea algunos indicadores potenciales para la medición del valor logístico.

De este modo, uno de los factores planteados es la fluidez de carga en la cadena. Se trata de un enfoque de medición que se ha vuelto un elemento clave para medir el desempeño operativo de la infraestructura. La fluidez dentro de una cadena de suministro puede entenderse como: *"la capacidad para asegurar continuamente un confiable, sustentable, seguro y exacto flujo de carga, de recursos humanos, de información y de recursos financieros que apoyen de forma efectiva las metas de la cadena de suministro desde una balanceada perspectiva público-privada"* (Cedillo-Campos, et al., 2017). Por otro lado, de acuerdo con Ballot et al (2017), cuando se analiza la velocidad a la cual se mueven los productos dentro de la cadena de suministro, es posible observar que no se limita al tiempo durante el cual se desempeña el proceso de transporte. Si se analizan los tiempos de desplazamiento de las mercancías a lo largo del sistema logístico, es posible identificar

que el transporte es uno de los procesos que mayor velocidad le imprime a la cadena de suministro. Sin embargo, dicha velocidad resulta desperdiciada cuando la falta de sincronía entre los eslabones, hace que las mercancías queden almacenadas por días dentro de instalaciones.

El tiempo de tránsito y la confiabilidad del mismo son fundamentales en el valor logístico total. En este sentido, cabe resaltar los innovadores trabajos que buscan proponer nuevos enfoques que mejoren la seguridad de los flujos físicos, principalmente aquellos que se desplazan por autotransporte (Yang et al., 2018). Aunque cabe destacar que tiempo de tránsito y confiabilidad no son los únicos dos componentes logísticos clave.

Como primer paso, es importante establecer cuáles son los componentes del valor logístico dentro de una determinada cadena de suministro, para posteriormente analizarlos y comprender el impacto que tienen (Rutner & Langley, 2000). En realidad, estos dos elementos se pueden aplicar no solamente al flujo de productos, sino también a otros importantes flujos dentro de la cadena de suministro: i) flujo de recursos humanos; ii) flujo de recursos financieros, y; iii) flujos de información. No obstante, debido al impacto sustancial que el flujo físico tiene sobre el desempeño global de la cadena, el presente estudio enfocará esfuerzos en esta parte.

En las últimas décadas, el análisis de cadenas de suministro se ha vuelto muy importante para México. Con la implementación de un modelo económico con fuerte orientación a la exportación, las cadenas de suministro son una palanca clave para el crecimiento del bienestar social en el país. Sin embargo, el país no ha desarrollado la diversidad de mercados requerida para evitar la dependencia. De acuerdo con el Observatorio de la Complejidad Económica, EEUU es el principal destino de las exportaciones mexicanas con un 74% (ver figura 1.3). Por otro lado, en cuanto a las importaciones, los principales proveedores son los EEUU con un 47% y China con un 18% (ver figura 1.4).



Figura 1.3 Principales destinos de exportación de México



(Con base en: OEC, 2018)

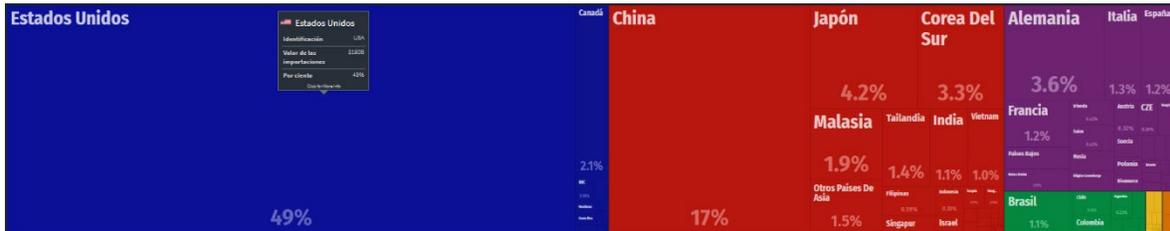


Figura 1.4 Origen de las importaciones de México
(Con base en: OEC, 2018)

En 2016 México exportó \$394 miles de millones, ubicándolo en el 9º exportador más grande en el mundo. Durante los últimos cinco años las exportaciones de México han decrecido a una tasa anualizada del 1.6%, de \$356 miles de millones en 2011 a \$394 miles de millones en 2016. Las exportaciones más recientes son lideradas por la exportación de automóviles terminados, que representa el 8.63% de las exportaciones totales de México, seguidas por piezas de repuestos, que representan el 7.02% (ver figura 1.6) En cuanto a operaciones de importación, se realizaron actividades por \$369 miles de millones, lo que ubicó a México como el 13º importador más grande en el mundo. Al igual que en las exportaciones, las importaciones han crecido a una tasa anualizada del 1.8%, de \$326 miles de millones en 2011 a \$369 miles de millones en 2016. Las importaciones más recientes son lideradas por piezas de repuesto, que representa el 6.17% de las importaciones totales de México, seguido por el refinado de petróleo, que representa el 4.58% (ver figura 1.7).



Figura 1.7 Porcentaje de importaciones por tipo de producto en México
(Con base en: OEC, 2018)

Estos importantes flujos de importación y exportación hacen evidente que el transporte, la logística y el análisis desde el enfoque de cadena de suministro, son esenciales para dar dirección a la competitividad del país.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema que permita impulsar la competitividad logística en el Istmo de Tehuantepec, mediante el análisis del valor logístico agregado por la infraestructura y modelos multi-criterio para la toma de decisiones de organizaciones públicas y privadas existentes en la zona.

1.2.2 Objetivos específicos

- Efectuar la revisión del estado del arte sobre la medición del valor logístico/ valor agregado por la infraestructura con la finalidad de validar la metodología propuesta, mediante el análisis de bases de datos científicas del área de logística.
- Integrar una metodología para la recolección y análisis de información de los flujos de carga en las cadenas de suministro críticas del Istmo de Tehuantepec con la finalidad de calcular su valor logístico/ valor agregado.



- Sistematizar el método propuesto para la recolección de información a través de mecanismos innovadores para el análisis de grandes bases de datos (Big Data), y dispositivos que involucren el uso del Internet de las cosas (IOT) para la recolección de datos en el área de estudio.
- Integrar una base de datos de infraestructura de transporte y logística así como servicios asociados a las cadenas de suministro, mediante la clasificación de los datos obtenidos con el objetivo de formar un inventario logístico.
- Desarrollar un sistema informático para la medición del valor logístico tomando en cuenta la infraestructura de transporte y la fluidez de carga para diferentes cadenas de suministro en el Istmo de Tehuantepec.

1.3 Alcances

Para cumplir con los objetivos propuestos es importante mencionar que este proyecto de investigación se limita al estudio del valor logístico de la infraestructura de transporte y la fluidez de carga, implementados en un sistema para el análisis de las cadenas de suministro en la zona del Istmo de Tehuantepec, utilizando herramientas multidisciplinarias para el análisis y la toma de decisiones. Las metas del proyecto son:

- Establecer el estado del arte e identificar metodologías para el análisis la toma de decisiones en las cadenas de suministro que consideren el valor logístico de su infraestructura y su fluidez, con el propósito de encontrar puntos críticos susceptibles de mejora.
- Desarrollar métodos y modelos para la toma de decisiones multi-criterio que favorezcan el incremento del valor logístico y fluidez de acuerdo a la cadena de suministro seleccionada, ya que el valor logístico puede variar dependiendo del producto o servicio que se considere.
- Generar una base de datos de casos de estudio que pueda actualizarse fácilmente para generar nuevos resultados con información actualizada a través de los años.

1.4 Metodología

En la actualidad los enfoques más utilizados para la investigación científica en el área logística son: i) el enfoque inductivo, y; ii) el enfoque deductivo. El primero de ellos genera leyes u observaciones



generales a partir de observaciones específicas. Por su parte el enfoque deductivo, parte de conocimiento general y forma conocimiento específico del fenómeno estudiado, examinando la teoría actual y generando conclusiones razonadas sobre ella. El enfoque deductivo es adecuado para estudiar conocimiento existente y no así tanto para la generación del conocimiento nuevo.

Debido a la importancia de integrar tanto un enfoque científico, como práctico en el desarrollo del presente proyecto, existe la necesidad de contar con un método flexible que permita establecer un ciclo sostenido de generación de conocimiento. Este método existe como un enfoque extra a los ya mencionados, el cual combina aspectos teóricos y empíricos. El enfoque abductivo inicia con la observación de la realidad, sin embargo, la retroalimentación empírica es constante durante el proceso de recolección de la información teórica. De esta forma puede clasificarse el conocimiento obtenido en generalizaciones de la observación y conocimiento específico al problema.

El uso más común de este enfoque es cuando se recolecta información de fuentes primarias de información y se contrasta con fuentes secundarias, generando de este modo el nuevo conocimiento con un proceso similar a la investigación por acción. En el momento en que la observación empírica del fenómeno no encaja en el conocimiento existente, es el momento en el que el razonamiento abductivo empieza (Dubois & Gadde, 2002)

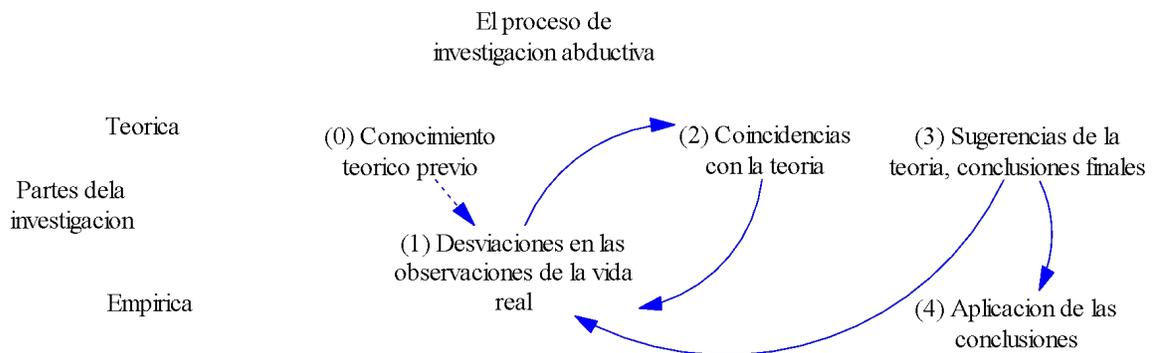


Figura 1.8 Proceso de investigación abductiva
(Con base en: Kovács y Spens, 2005)

El análisis del valor logístico a través de la infraestructura y la fluidez, es un proceso que requiere de varias consideraciones y contrastes con la observación empírica, de esta forma se asegura la representatividad del modelo a seguir. Este modelo genera retroalimentación constante para

mejorar la comprensión de la situación problemática. El proceso conlleva la recolección, análisis y adecuación del conjunto de datos a una distribución de probabilidad.

1.4.1 Procedimiento de investigación

El proceso metodológico por el cual se guio esta investigación consistió en siete pasos:

- I. Diseño de una estrategia de vinculación y coordinación de actividades entre las diferentes instituciones que se involucrarán en el sistema, aquellas que brindarán la información necesaria para que la plataforma funcione, y aquellas que utilizarán el sistema de toma de decisiones para mejorar el proceso de la cadena de suministro;
- II. Desarrollo de una plataforma informática para la recolección de información necesaria para el análisis de la cadena de suministro y enfocada a la definición de los índices del valor logístico y la fluidez;
- III. Implementación de Tecnologías de información de vanguardia en la plataforma informática, tecnologías enfocadas en *Big Data e Internet of Things*, para facilitar el análisis y recolección de información;
- IV. Desarrollo de un subsistema para el análisis de la información obtenida, implementará modelos de toma de decisiones multi-criterio que serán retroalimentados con la información obtenida de la vinculación con instituciones, y generará puntos clave con los problemas a resolver;
- V. Implementación de un subsistema en la plataforma desarrollada para la visualización de resultados, se mostrarán, a través de un mapa, los puntos clave que afectan el flujo dentro de la cadena de suministro, además se incluirán gráficas y tablas con resultados de interés;
- VI. Desarrollo de experimentos y casos de estudio para la evaluación del sistema propuesto, así como una validación de resultados con expertos. Se generará un caso práctico con la información de la zona de Istmo de Tehuantepec, donde se podrán considerar los principales productos que se transportan y los volúmenes, las empresas origen y destino, utilizando dispositivos de monitoreo;
- VII. Publicación de resultados en revistas de algo impacto, así como la difusión de los métodos, generados para mejorar el proceso de las cadenas de suministro, en un congreso o foro enfocado en grupos de interés y usuarios potenciales en la región.

1.5 *Productos por obtener*

- Informe del estado del arte sobre los métodos y modelos utilizados en los últimos años para la medición del valor logístico en la infraestructura y la fluidez de las cadenas de suministro;
- Métodos y modelos para definir índices de medición de forma estandarizada para el valor logístico de la infraestructura y la fluidez;
- Plataforma informática interactiva para analizar grandes bases de datos con información relacionada al valor logístico de al menos una cadena de suministro en el Istmo de Tehuantepec, esta plataforma informática permitirá visualizar los resultados generados a través de un mapa digital;
- Reporte técnico de los resultados;
- Artículos de investigación para ser publicado en al menos 1 revista de alto impacto JCR;
- Elaboración de un foro para la divulgación de los resultados a grupos de interés y usuarios potenciales para el sistema digital desarrollado y el modelo propuesto.

1.6 *Plan de actividades*

El proyecto está planeado para desarrollarse en 1 año, distribuido en 4 etapas:

Etapla 1 (2 meses):

- I. Plan Integrado de investigación, colaboración, documentación y transferencia de resultados.
 - a. Documento ejecutivo en el que se establezca las acciones a realizar, contenidos metodológicos, productos y resultados esperados.

Etapla 2 (4 meses):

- II. Diagnóstico, análisis e integración de información estratégica.
 - a. Estudio del estado del arte relacionado a los modelos y métodos tanto para la medición de la fluidez de carga, como del valor logístico de la infraestructura, en la región de estudio.
 - i. Estudio de métodos utilizados para medir el valor logístico.
 - ii. Estudio de métodos utilizados para medir la fluidez.
 - iii. Estudio de modelos multi-criterio para la toma de decisiones de acuerdo al valor logístico de la infraestructura de transporte.



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



- b. Clasificar y sistematizar la información para integrar un inventario de infraestructura de transporte (red carretera, de ferrocarril, aérea, puertos) y de logística, y servicios asociados (agencias de comercio exterior, servicios financieros especializados, servicios logísticos de alto valor agregado).
- i. Definición de la clasificación de la infraestructura de transporte.
 - ii. Definición de variables de caracterización para almacenes.
 - iii. Definición de variables de caracterización para plataformas de distribución.
 - iv. Definición de variables de caracterización para centros de transferencia.
 - v. Definición de criterios de evaluación para operadores logísticos.



CentroGeo
21°53'44" N 102°21'08" O 1884m

Etapa 3 (4 meses):

III. Desarrollo y aplicación.

- a. Desarrollo de un subsistema para la medición del valor logístico de la infraestructura de transporte, y de su aplicación en al menos a una de las cadenas de suministro de valor identificadas en la región de estudio.
 - i. Definición de los criterios e índices a considerar para el valor logístico.
 - ii. Modelado de los índices de medición para el valor logístico.
 - iii. Evaluación del modelo desarrollado en una cadena de suministro dentro de dentro del Istmo de Tehuantepec.
- b. Desarrollo de un subsistema para la medición de la fluidez de carga permitiendo entregar información sobre el desempeño de las cadenas de transporte, y su aplicación en al menos a una de las cadenas de valor identificadas en la región de estudio.
 - i. Definición de los criterios e índices a considerar para la fluidez de carga.
 - ii. Modelado de los índices de medición para la fluidez.
 - iii. Evaluación del modelo desarrollado en una cadena de suministro dentro de dentro del Istmo de Tehuantepec.

Etapa 4 (2 meses):

IV. Difusión y transferencia de resultados.

- a. Sistema tecnológico transversal para el impulso de la competitividad logística de la región del Istmo de Tehuantepec, el cual constará de un mapa digital con información de fluidez y valor logístico.
 - i. Desarrollo del mapa digital interactivo para la visualización de los resultados obtenidos en los modelos de valor logístico y fluidez.
 - ii. Generación de una base de datos de casos de estudio para los modelos propuestos.
- b. Participación en al menos un foro para la divulgación de los resultados a grupos de interés y usuarios potenciales.



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

RUUYA
PLATAFORMA LOGÍSTICA DEL ISTMO



2 Revisión de literatura

2.2 Introducción

Como consecuencia del cambio acelerado de la economía global, el comercio de productos ha aumentado sustancialmente en un corto periodo de tiempo, tanto a nivel regional como internacional (Eisele, et al., 2011). Es así que la necesidad de un sistema de transporte de carga eficiente, confiable y que ayude a generar valor mediante la infraestructura se convierte en un objetivo a alcanzar para el desarrollo económico y social en México.

El principal método de transporte en México es el autotransporte de carga, tan solo en el 2018 el autotransporte federal participo con el 5.6 del PIB del país, además, contribuyó con el 83% en el PIB del sector de Transporte, Correo y Almacenamiento. En total el autotransporte de carga movió el 55.5% del total de carga en el país, cifra que representa 556 millones de toneladas de un total de 1,002 millones de toneladas en el 2018 (SCT, 2018). El segundo transporte más utilizado en México corresponde al transporte de carga marítimo con el 31.6% de la carga total. Tomando como punto de partida la información anterior, es posible asumir que el autotransporte de carga es una parte fundamental de la economía del país. Para ello es importante que se formulen políticas que permitan el correcto movimiento de la carga a través de los corredores de transporte, permitiendo de esta forma maximizar las ventajas del sistema logístico de transporte de carga en México.

Se ha identificado por medio de la revisión de literatura que tanto el análisis del desempeño y la identificación del valor agregado, son piezas fundamentales para el desarrollo industrial. Las metodologías seleccionadas son: i) fluidez de carga; y, ii) valor logístico. Una de las principales características de las metodologías de fluidez y valor logístico. es la de no comprometer la información confidencial de los usuarios en la cadena. De esta forma es posible, el obtener una pintura general del desempeño de la cadena y calcular el valor agregado por la infraestructura a procesos y servicios.

En este sentido, el objetivo del presente análisis de la literatura es identificar los modelos y métodos para la medición tanto de la fluidez de carga como el valor logístico de la infraestructura del sistema de transporte de carga en México. Para ello, el presente capítulo se organiza en tres secciones. En la segunda sección se presentan los conceptos de fluidez de carga, sus indicadores y como la variabilidad está íntimamente relacionada con la confiabilidad del tiempo de viaje. Además, se listan las metodologías más comunes para el estudio de la fluidez de carga a través del análisis de la confiabilidad del tiempo de viaje. La tercera sección presenta un análisis de los conceptos de “Valor

Logístico”, su origen así como, los modelos y métodos existentes para su análisis. La cuarta sección establece conclusiones de acuerdo al análisis presentado en el capítulo y presenta recomendaciones para la aplicación de la metodología de fluidez de carga y valor logístico en México.

2.3 Modelos y métodos en fluidez de carga

La medición del desempeño del sistema de transporte de carga, requiere de sistemas e indicadores que sean capaces de aportar información relevante para la toma de decisiones. Las medidas usuales de tiempos promedio no son representativas de las condiciones del viaje, esto debido a que los promedios se ven fuertemente afectados por valores extremos. A su vez, las condiciones del análisis deben de ser tomadas en cuenta para la mejor comprensión del porqué de esos tiempos de viaje. Para entender la complejidad del tema aquí abordado, es necesario definir lo que se entiende por “Fluidez”. La Fluidez de carga debe entenderse como un amplio rango de medidas de desempeño de sistema de transporte de carga en un área específica de interés donde cualquier cantidad de medidas de mejora son utilizadas para describir el desempeño, estas incluyen: i) el tiempo de viaje; ii) la confiabilidad del tiempo de viaje; iii) el costo; iv) La seguridad; y, v) el riesgo (Eisele, et al., 2016).

El principal objetivo del estudio de fluidez de acuerdo a Eisele et. al. (2011) es el de generar indicadores de desempeño que sean capaces de representar la eficiencia del sistema de carga a través de sus principales corredores de transporte. Comparándolos en una base unitaria, sin comprometer la naturaleza sensible de los datos privados de las empresas. Estos indicadores son:

- El indicador de Fluidez, que captura las condiciones promedio de viaje, relacionando el tiempo promedio de viaje con el tiempo de viaje con flujo libre.
- El indicador de Tiempo de Viaje, el cual captura la variación diaria en tiempo de viaje, relacionando el percentil del 95% de los viajes con el tiempo de viaje con flujo libre.

De esta forma, se requiere de información pertinente sobre la confiabilidad en los tiempos de viaje, el costo de la carga movida, el riesgo en cuanto a la tasa de accidentes, así como de fatalidades y la resiliencia del sistema. La confiabilidad del tiempo de viaje ha sido un tema importante en la última década, prueba de ello es el creciente número de estudios desarrollados en el área. Esta, es la parte fundamental del estudio de fluidez, puesto que de esta dependen los dos indicadores propuestos.

El estudio de fluidez, mediante el análisis de confiabilidad en sistemas de transporte, ayuda a localizar y analizar los puntos críticos del sistema. Buscando como propósito, encontrar los factores

que ocasionan las congestiones, la ubicación geográfica y establecer su relación con la variabilidad en los tiempos de viaje.

Una de las consideraciones clave es el hecho de que los flujos de tránsito son afectados por la demanda y la capacidad de la red de transporte, las cuales cambian en periodos cortos de análisis. Consideración que es de gran importancia para el estudio de confiabilidad.

2.3.1 Confiabilidad

Existen varias definiciones de confiabilidad del tiempo de viaje, las siguientes definiciones fueron seleccionadas por su compatibilidad con el estudio. Según Sanchez-Silva, et al. (2005), la confiabilidad del tiempo de viaje es la probabilidad que el destino pueda ser alcanzado en un tiempo menor que el establecido por un umbral especificado. De acuerdo a Lomax, et al. (2003), la confiabilidad del tiempo de viaje es el nivel de consistencia en el tiempo de traslado por cada modalidad de transporte ruta o corredor. Además, Systematics (2012) define la confiabilidad como, la variación del tiempo de viaje a lo largo del periodo de observación (hora - hora o día - día). La Federal Highway Administration (FHWA), en su página web oficial (https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/TTR_Report.htm) define a la confiabilidad como la consistencia en el tiempo de viaje medida a partir de un día a otro y/o en diferentes momentos del día.

Se puede observar que todas las definiciones comparten el mismo enfoque en común y sugieren adoptar una frecuencia de medición. Esto se refiere al estudio de la variabilidad en periodos de tiempo que pueden ir desde el análisis hora a hora, día a día, o cualquier otra frecuencia pertinente para el estudio. Además, se pone de manifiesto la relación de las medidas de confiabilidad con la forma de la distribución que las describe. Para este análisis, se toma como referencia la definición de Systematics (2012), la cual establece la variación del tiempo de viaje en un lapso establecido de tiempo (día a día).

2.3.2 Análisis del tiempo de viaje

De acuerdo a los autores analizados se concluye que los usuarios prefieren un tiempo de viaje confiable, aunque largo, pero carente de variabilidad, en lugar de un tiempo de viaje corto con alta variabilidad (van Lint et al., 2008; Cedillo-Campos et al., 2014; Lei et al., 2014). Las variaciones en las condiciones de operación del sistema de transporte son las que ocasionan el tiempo adicional de

viaje. Estas variaciones pueden ser predecibles e impredecibles. Las variaciones predecibles son las ocasionadas por esquemas comunes o temporales, como los patrones diarios de congestión, para los cuales el usuario puede planificar y evitar la demora. La variación impredecible es aquella que no puede ser anticipada y genera retrasos innecesarios (Carrion y Levinson, 2012). Esta variación afecta directamente al flujo en la red y por lo tanto a los tiempos de viaje, ya que estos se ven afectados por el flujo de la red, el cual es un producto de la demanda y la capacidad de la red de transporte. Este tipo de variación es la analizada por el estudio de fluidez desde el análisis de confiabilidad.

De acuerdo a Bhoury et. al. (2012), existen dos puntos de vista diferentes para considerar la confiabilidad en el tiempo de viaje. Para el controlador de la red, los estudios se enfocan en la calidad del servicio. Por otro lado desde el punto de vista del usuario del sistema de transporte, los estudios se orientan en como el usuario percibe la variación en el tiempo de viaje y la tolerancia a los retrasos inesperados. Dichos retrasos inesperados generan consecuencias mayores, además que desde el punto de vista del usuario es más probable recordar los peores retrasos en lugar de los tiempos promedio.

Además, existen dos formas fundamentales para la recolección de datos empíricos, los estudios de preferencias declaradas (Stated Preferences) y los estudios de preferencias reveladas (Revealed Preferences). Los primeros se basan en cuestionarios sobre la decisión del usuario de utilizar una ruta en específico así como de sus patrones de viaje habituales, estos datos generalmente son utilizados para el diseño de la red. En cuanto a los estudios de preferencias reveladas, se basan en observar el comportamiento de los usuarios utilizando recursos tecnológicos disponibles (sistemas GPS, detectores de velocidad o detectores de flujo). Las características de la información generada por estos, junto con la aparición de tecnologías de geolocalización, seguimiento y Big Data, hacen de ellos la técnica más utilizada en la actualidad.

2.3.3 Enfoques actuales

De acuerdo a Lomax et al. (2003), y Van lint et al. (2008), las medidas de confiabilidad se pueden dividir como se lista a continuación:

- **Rango Estadístico (Statistical Range Methods):** Tiempos de viaje esperados más/menos un número de desviaciones estándar de la distribución de probabilidad;
- **Margen de tiempo extra (Buffer time):** El tiempo extra que debe ser planeado para llegar a tiempo el mayor número de veces. Estas medidas se valen de los percentiles del 90, 95 y 80%;

- **Indicadores de tiempo tardío (Tardy Trip Measures):** Representan la poca confiabilidad mediante el número de viajes que llegan tarde;
- **Medidas probabilísticas (Probabilistic measures):** Se utilizan parámetros estadísticos tales como umbrales para definir cuales viajes presentan retraso o no.

Mahdi (2011), establece que el punto de partida inicial para la utilización de las medidas de confiabilidad es la descripción de la distribución de probabilidad que modela los datos. Partiendo de este punto se puede definir lo siguiente:

En las medidas de rango estadísticos se encuentran aquellos estudios en los que se suponen condiciones de una distribución simétrica, la distribución normal es generalmente usada como función de distribución acumulada. En estos trabajos los autores describieron la variabilidad entre el tiempo de viaje promedio y el tiempo de viaje real de acuerdo a la desviación estándar de la distribución de probabilidad que mejor describe los datos, así como el coeficiente de variación y la media.

De acuerdo a Cambridge Systematics (2002), se recomienda la utilización de las siguientes medidas para la representación de los tiempos de viaje (ver tabla 1).

Tabla 2-2 Medidas recomendadas por SHRP.

Fuente: Elaboración propia.

Medidas	Definición	Unidades
Buffer Index	Diferencia entre el percentil (95%) y le tiempo de viaje promedio, dividido entre el tiempo de viaje promedio.	%
Viajes en tiempo y viajes extremos	Porcentaje de viajes < 1.1 Tiempo de viaje promedio y < 1.25 del tiempo de viaje promedio	%
Índice de Tiempo Planificado	Percentil del 95%	N/A
Percentil del 80%	Percentil del 80%	N/A
Estadística de sesgo	(Percentil del 90% - Media del tiempo de viaje) / (Media del tiempo de viaje – percentile del 10%)	N/A
Misery Index	Tiempo promedio correspondiente al 5% de los viajes con duración extrema/ Tiempo en flujo libre	N/A

Las medidas de rango estadístico son las más utilizadas en el estudio de fluidez cuando aborda el análisis de confiabilidad. Esto debido a que el tiempo de viaje varía según el modo de transporte elegido, además de obedecer a los programas de requisitos horarios de entrega. Lo anterior es la razón por la cual los autores deciden utilizar un concepto de normalización en los tiempos de viaje para permitir las comparaciones entre los diferentes modos de transporte y en toda la cadena de suministro.

Las suposiciones de normalidad en los datos es un práctica común sin embargo, a pesar de ser la estrategia de confiabilidad más utilizada ha recibido varias críticas sobre la suposiciones de una distribución simétrica. La evidencia empírica muestra que las distribuciones simétricas son más frecuentes en las condiciones de flujo libre, de igual forma la desviación estándar del conjunto de datos es severamente afectada por los valores atípicos. En consecuencia, varios autores entre ellos Taylor y Susilawati (2012), Van Lint et. al. (2008), y Arezoumandi (2011), proponen considerar el sesgo en la distribución para calcular la confiabilidad.

Debido a lo antes mencionado se considera que los percentiles de la distribución de probabilidad es una manera más realista de representar los tiempos de viaje. Con la propuesta de la utilización de los percentiles para describir el comportamiento de los tiempos, surgen los **márgenes de tiempo extra (buffer time)**. Los cuales utilizan la información proveniente de los percentiles de la distribución. La medida no necesariamente se refiere al tiempo de viaje promedio, pero si a un porcentaje del tiempo de viaje promedio. Usualmente se utilizan las medidas de los percentiles del 80, 90 y 95% así como el índice de tiempo extra (Buffer time index) el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Buffer Time Index} = \frac{\text{Percentil del 95\%} - T_{pv}}{T_{pv}} \quad (1)$$

Donde: T_{pv} : Tiempo promedio de viaje.

Los indicadores relativos a la Fluidez utilizan los percentiles de la distribución de probabilidad con la finalidad de representar de una mejor forma la realidad de los mismos. Además de evitar la necesidad de suponer condiciones de una distribución de probabilidad específica.

De acuerdo a la FHWA estas son las medidas de interés para el público en general:

- Los percentiles de 90 y 95% los cuales representa el retraso generado en los días más congestionados indicando que tan grave será la demora en los días con flujo más pesado.

- El índice de tiempo de viaje (Travel Time Index) que es la relación entre el tiempo de viaje medio y el tiempo de viaje con flujo libre.

Las medidas de **tiempo tardío** representan la poca confiabilidad mediante el número de viajes que llegan tarde. Un ejemplo de esto es el Misery Index el cual toma la relación entre el tiempo del 5% de los viajes más tardados y el promedio de los viajes con flujo libre.

$$\text{Misery Index} = \frac{\text{TpV del percentil del 5\%}}{\text{TpV con flujo libre}} \quad (2)$$

Las **medidas probabilísticas** se caracterizan por utilizar valores umbrales para representar la poca confiabilidad, ocasionando que su funcionalidad dependa de forma importante en la correcta elección de estos parámetros, que obedecen a las finalidades de su aplicación y contexto. Kouwenhoven y Warffemious (2016), propone la eliminación de los valores que están más allá de tres desviaciones estándar o bien si estos valores superan el 150% de la media de los datos. Obviamente, cada decisión depende de los objetivos y políticas que se busca en cada proyecto.

2.3.4 Indicadores de confiabilidad

Existe discusión sobre las medidas más populares para la descripción de los tiempos de viaje mediante la desviación estándar y sobre todo por las distribuciones utilizadas para representar el conjunto de datos. Algunos autores como Siu y Lo (2008), Clark y Wantling (2005) así como Lomax (2003), suponen normalidad de acuerdo al número de muestra y la independencia de los nodos de la red. Por otra parte, Taylor and Susilawati (2012) utilizan la distribución con sesgo llamada Distribución de Burr para representar las medidas de confiabilidad de una distribución con colas superiores más grandes de lo habitual. Se propone la utilización de la distribución de Burr para la representación de las medidas que utilizan a los percentiles del 90 y 95% como base, además de índice de tiempo extra (Buffer Index) y los estadísticos de sesgo y amplitud (Skew-Width Methods). Esto es debido a que la distribución de Burr es flexible para la descripción de colas superiores muy largas de la distribución de los tiempos de viaje, además de que posibilita la obtención de las medidas de confiabilidad más utilizadas actualmente como los percentiles, buffer time y los parámetros de sesgo.

De acuerdo con Álvarez y Hadi (2012), la mayoría de los enfoques han usado las medidas a un nivel de agregación muy pobre, esto implicaría que los parámetros de la distribución seleccionada se

mantengan constantes durante largos periodos de tiempo. Lo cual es poco real, de tal forma que proponen comprobar las diferentes medidas de confiabilidad utilizando niveles de agregación más precisos para aumentar el número de aplicaciones posibles. Además, concluye que se requiere de al menos un año de observaciones para obtener valores estables de los índices de confiabilidad. De la misma forma se propone un nivel de agregación de 30 minutos como máximo.

Algunos otros autores analizaron la adecuación de las medidas de desviación media encontrándolas insatisfactorias. Lo anterior debido a que entre más amplia o sesgada se presenta la distribución del tiempo de viaje los datos de tiempos de viaje se vuelven menos confiables. En consecuencia, proponen el uso de medidas de amplitud y sesgo de la distribución, basados en los percentiles de la información.

2.4 Modelos y métodos en Valor Logístico

Una de las definiciones más generales de logística nos menciona que esta se encarga de *“Asegurar la disponibilidad del producto correcto, con la cantidad necesaria en buenas condiciones, en el momento justo, para la persona correcta y con el precio correcto”* (Shapiro y Heskett, 1985). Además del movimiento de bienes físicos, esto también implica el movimiento de información en ambos lados de la cadena. Lo anterior queda plasmado en la definición del *Council of Supply Management*, en esta se establece que la logística se encarga de planificar, implementar y controlar el flujo eficiente desde un extremo de la cadena al otro con la finalidad de satisfacer al cliente a través de la generación de valor. Estas definiciones nos dirigen hacia el concepto de valor agregado a través del proceso. Este valor agregado se define como *“Valor logístico”*. El valor logístico busca determinar el valor agregado por la infraestructura a los procesos en la cadena de suministro.

El desarrollo de los conceptos establecidos de valor logístico y valor agregado establecen una forma de comparación para entidades hacia la mejorar participativa (Rutner y Langley, 2000). Especialmente si todos los actores participan dentro del mismo sistema logístico. La maximización del valor logístico y la innovación constante, deben de presentarse como objetivos organizacionales (Lee y Song, 2015). En la medida que estos objetivos se cumplan, la participación e integración de la organización llevara a estrategias sustentables a largo plazo.

Aunque no existe una definición aceptada para valor logístico, los esfuerzos por definirlo empiezan en el sistema logístico marítimo. Ahí se define el valor logístico como *“el grado en el que el sistema logístico marítimo responde a las demandas de los clientes administrando con éxito el flujo de bienes,*

servicios e información en logística marina” con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes, integrarse a sistemas de cadenas de suministro globales y desarrollar estrategias competitivas a largo plazo (Lee y Song, 2010; Lee y Song, 2015).

Por su otra parte, el valor logístico de la infraestructura depende no solo del valor intrínseco de la infraestructura, sino también del incremento de la capacidad de las empresas para alcanzar ventajas competitivas al considerar la operación en la estructura bajo análisis (Cedillo-Campos, et al., 2018). En este sentido, Cedillo-Campos (2018) propone la primera definición de Valor Logístico de la Infraestructura como:

2.4.1 Sistema logístico

El concepto de valor logístico se plantea dentro de la definición de un sistema logístico territorial. De acuerdo a Demare, et al., (2017) este nos dice que un sistema logístico territorial es *“un corredor establecido entre dos puntos geográficos, el cual está constituido por un largo conjunto de actores e infraestructuras. Estos actores son numerosos y heterogéneos. A su vez en un nivel micro estos actores están fuertemente conectados para organizar y coordinar el movimiento de las mercancías a través de las numerosas infraestructuras”* . De esta forma es importante considerar las interacciones entre actores a través de la infraestructura de corredores establecidos para su análisis.

2.4.2 Enfoques actuales

Cedillo-Campos, et al. (2018) plantea la única metodología existente para el cálculo del valor logístico de la infraestructura. En su documento se propone el uso de las siguientes variables: i) valor del volumen de carga; ii) costo logístico total; iii) atributos de la red de transporte; iv) riesgo; v) enlaces de servicio; vi) contenido local dentro de la cadena; vii) resiliencia; viii) huella de carbono; e, ix) inteligencia colectiva.

$$V_l = f(V^2_{F^2}, \$, R, r, S, L_c, Re, CO_2, CI) \quad (3)$$

Donde: $V^2_{F^2}$: valor del volumen de carga; \$: costo logístico total; R: atributos de la red de transporte; r: rie

Esta metodología contempla el uso de métodos de análisis multicriterio para involucrar a los diferentes actores en la cadena. De esta forma, se vuelve una poderosa herramienta para el estudio propuesto.

2.5 Conclusiones

Derivado del análisis de la literatura en fluidez de carga y valor logístico se concluyó que:

1. El método más utilizado en la actualidad para la recolección de datos en la medición de la confiabilidad del tiempo de viaje, con la finalidad de aplicarlo al análisis de fluidez. De esta forma es posible explotar los medios tecnológicos actuales y las posibilidades de análisis en Big data existente.
2. Se puede establecer que capturar la variación del tiempo en periodos cortos de análisis como lo es hora a hora, ayudará a definir intervalos adecuados en la operación del sistema. Así es posible evaluar el desempeño de los segmentos con un nivel de detalle amplio.
3. La aplicación de la metodología de fluidez ayudará a detectar posibles cuellos de botella derivado de la saturación del sistema. De la misma forma, la fluidez de carga permite comparar dos segmentos con características similares. Alguno de los 15 corredores de transporte de carga a lo largo y ancho de México es un escenario ideal para su aplicación.
4. El valor logístico es una herramienta poderosa para la determinar el aporte de la infraestructura al desempeño de la cadena de suministro. Los atributos planteados en Cedillo-Campos, et al. (2018) es un punto de partida adecuado para el contraste de la metodología en la operación de una cadena de suministro.

Por último, es importante mencionar que el éxito de la aplicación está estrechamente relacionado con la calidad y cantidad de la información recolectada y procesada para su análisis. Existen retos por explorar y capacidad de análisis que serán descubiertos únicamente al avanzar en la investigación.

3 Medición de la fluidez de carga

3.2 Procedimiento general

El proceso metodológico por el cual se guio esta investigación consistió en cinco etapas:

- I. Definición del problema e identificación preliminar de las estrategias de solución. En esta etapa se realizó lo referente a la formalización del problema de estudio, delimitándolo en un área de estudio;
- II. Identificación de las medidas a analizar. Es aquí donde se comienza el contraste de los modelos propuestos en la literatura con la información recolectada;
- III. Identificación del proceso de análisis y procedimientos. Después de la revisión crítica y exhaustiva el estado del arte, se procedió a adoptar las medidas acordes a las condiciones del análisis;
- IV. Análisis y evaluación (medición del desempeño. Es aquí en donde se presenta el análisis formal del comportamiento de los datos;
- V. Resultados y conclusiones. En esta sección se reportan los hallazgos más importantes relativos al análisis de la información.

A continuación, se muestra la estructura del documento mediante un diagrama organizado de las cinco etapas antes mencionadas.

1. Definición del problema e identificación preliminar de las estrategias de solución.
2. Identificar las medidas a analizar.
3. Identificar el proceso de análisis y procedimientos.
 - Subdividir la red de acuerdo a los puntos a analizar;
 - Considerar la ubicación de los puntos de toma de muestra;
 - Dividir el tramo seleccionado en porciones homogéneas en términos de tráfico y condiciones geométricas o de acuerdo a las características de la información disponible (casetas de encuestas vehiculares);
 - Representar las secciones críticas del viaje o en su defecto representar los puntos de toma de muestras que conecten al tramo consecutivo;
 - Recolectar los datos (datos de flujos vehiculares o información georreferenciada).
4. Análisis y evaluación de escenarios (medición de desempeño)

- Analizar los flujos vehiculares horarios;
- Calcular las medidas estadísticas fundamentales de los tiempos de viaje;
- Eliminar los valores atípicos, atendiendo a las necesidades del estudio y criterio establecidos;
- Determinar la distribución de probabilidad de los datos utilizando pruebas de bondad de ajuste;
- Calcular las medidas de dispersión y pruebas de ajuste;
- Realizar los cálculos de tiempo de viaje.

5. Resultados y conclusiones.

- Validar el modelo, mediante la comparación con los flujos vehiculares y mediante la utilización de software de análisis estadístico;
- Organizar las medidas para la presentación;
- Reportar los resultados;

3.3 *Confiabilidad en el tiempo de viaje*

Tal y como se ha mencionado, el estudio de la confiabilidad en los tiempos de viaje y por lo tanto de Fluidez de Carga ha atraído considerablemente la atención en los últimos años. La confiabilidad en los tiempos de viaje es de suma importancia para todos los usuarios del sistema de transporte. Especialmente para los transportistas quienes requieren de condiciones predecibles para permanecer competitivos. Además los profesionales en manejo de tráfico requieren de medidas especializadas para cuantificar las mejoras en la red de transporte (FHWA, 2014). Siendo el tiempo de viaje una variable continua, la mayoría de los investigadores utilizan distribuciones de probabilidad continua (Yang & Wu, 2016). La gran mayoría de los estudios realizan el estudio de la confiabilidad en 2 pasos:

1. Construir una distribución del tiempo sobre la base de los tiempos de viaje dados;
2. Calcular indicadores estadísticos a partir de estas distribuciones.

Los anteriores pasos resumen a grandes rasgos la tarea del estudio de la confiabilidad, sin embargo, debido a la simplicidad de la explicación se omiten pasos importantes para el desarrollo de las medidas. A continuación, se presenta una serie de pasos comunes identificados en el cálculo de las medidas de confiabilidad.

De acuerdo a la FHWA en su página web (https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/TTR_Report.htm), existen 5 pasos básicos para la determinación de las medidas de confiabilidad, se definen a continuación (ver figura 3).

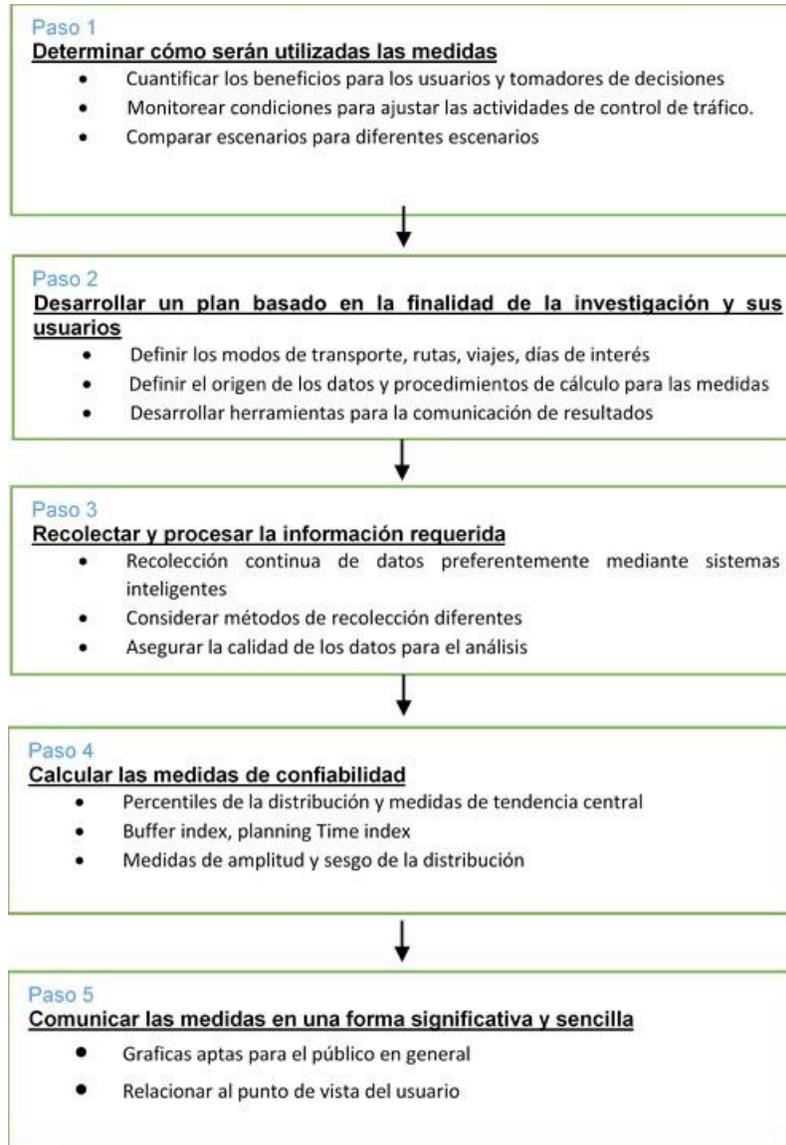


Figura 3 Enfoque metodológico para medidas de confiabilidad.
(https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/long_descriptions/Figure7.htm)

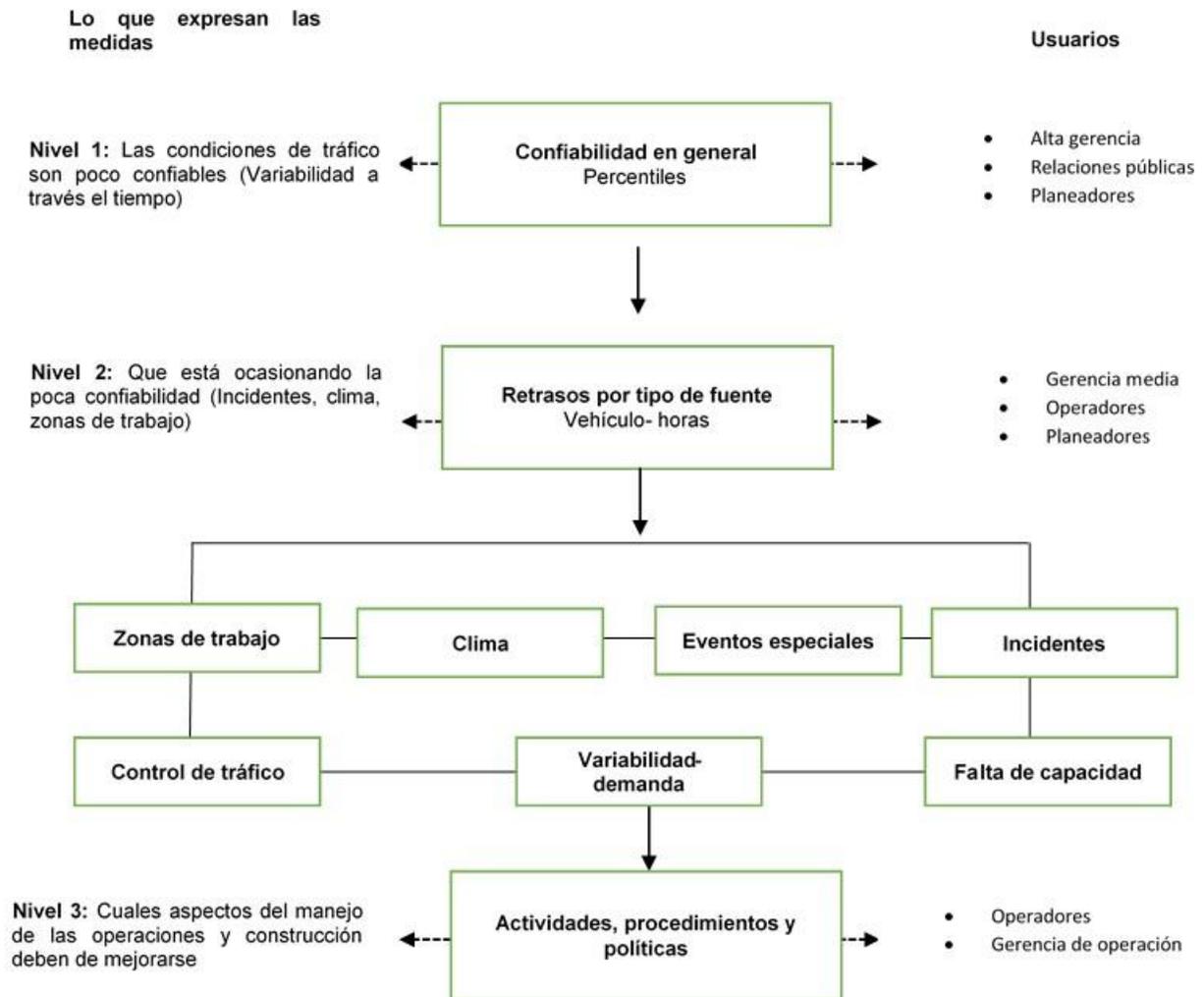
3.3.1 *Medidas de confiabilidad*

La mayoría de los estudios se han realizado utilizando sistemas inteligentes de transporte (ITS) o bien sistemas de posicionamiento geográfico (GPS). La disponibilidad de la información almacenada permite el cálculo de las diferentes medidas de confiabilidad, así como su comparación entre estudios de diferentes años. De esta forma se catalogan como estudios de preferencias reveladas, en los cuales se observa el comportamiento del usuario. La definición de los periodos bajo análisis depende de los objetivos a alcanzar, así como del segmento de la población a la que se encuentra dirigido el estudio, dependiendo de la finalidad del estudio, tal y como dice la FHWA, “Entender cómo serán utilizadas y quién las utilizará proveerá de los fundamentos para la creación del programa de medida de la confiabilidad” (FHWA, 2014). Algunos de los objetivos encontrados en la revisión de literatura son; i) entender las razones que causan los cuellos de botella en arterias principales de tráfico; ii) la obtención de modelos de tráfico que representen adecuadamente el flujo en el segmento (Guessousa et. al., 2014) (Clark y Watling, 2005). La FHWA explica la aplicación de las medidas de acuerdo a niveles involucrados. Las aplicaciones presentadas por la FHWA son:

Nivel 1. Este nivel está diseñado para ser usado en la alta dirección y los planeadores para determinar las condiciones del viaje;

Nivel 2. En este nivel pueden ser identificadas las demoras por el tipo de fuente, es utilizada por la gerencia media, operadores, planeadores y puede ser utilizada para determinar las causas de la poca confiabilidad;

Nivel 3. En esta etapa los operadores y controladores en conjunto son capaces de desarrollar políticas, procedimientos y actividades, que sean capaces de mejorar la operación.



3.3.2 Obtención de los datos

La obtención de datos se debe realizar mediante la toma de muestras en autopistas federales o bien en zonas urbanas dependiendo de los propósitos de la investigación. Para el presente estudio, se desarrolla en autopistas federales.

Como se hizo mención anteriormente la información presentada está directamente relacionada con el propósito de la investigación y sus alcances. Cabe resaltar que el estado de confidencialidad de datos recabados de empresas particulares, debe ser siempre una prioridad para este tipo de investigaciones.

En Eisele, et. al., 2011, se analizó el corredor de carga Canada Highway 1, que va desde Vancouver, British Columbia hasta Toronto, Ontario. Se recolectaron 3.5 millones de datos y se tomaron los datos de dispositivos GPS colocados en las unidades de carga. Debido al compromiso de confidencialidad, no es posible consultar la base de datos real. La información usada es la siguiente:

- Origen del viaje, junto con la información de la dirección, día, hora y la posición del dispositivo GPS;
- Destino del viaje, junto con la información de la dirección, día, hora y la posición del dispositivo GPS;
- Número de piezas de carga;
- Total de la carga transportada;
- Distancia recorrida;
- Tipo de unidad de carga;
- Información relevante sobre si se trata de un viaje largo o corto.

En Kouwenhoven y Warffemious (2016), usaron datos reales de las autopistas federales en Holanda. Para ello utilizaron información proporcionada por detectores de bucle automáticos, los cuales miden la velocidad media y el volumen de tráfico en periodos por minuto. Los puntos de toma de muestras fueron en segmento de conexión con una autopista en particular de las 250 rutas en toda la red de carreteras del sistema Holandés. De la misma forma en Chen et. al. (2003), se utilizaron los detectores de bucle con tiempos de 30 segundos entre medición y medición.

Los detectores de bucle (loop detectors) son dispositivos electrónicos colocados de forma permanente en un punto de inicio de la autopista, ellos constan de un cableado por debajo de la autopista. Éste genera un campo electromagnético que detecta cambios en el momento que un vehículo pasa sobre él, ocasionando una medición.

El método seleccionado dependerá enteramente de los recursos y esfuerzos destinados a la investigación. Con el auge de dispositivos GPS, se ha optado recientemente por la recolección de información mediante ellos. Esto implica la utilización de los métodos de preferencias reveladas del usuario, es decir, la observación del comportamiento real del usuario usado principalmente en estudios de fluidez en sistemas de transporte.

3.3.3 *Datos atípicos*

Los datos atípicos afectan al desempeño de la media como representación del comportamiento de los datos, es por ello que se recomienda la eliminación o consideración especial de los datos que se consideren atípicos dentro de los análisis estadísticos generales. En el caso del análisis de confiabilidad en sistemas de transporte, se debe de poner especial importancia al análisis de los datos atípicos. Estos pueden revelar patrones de comportamiento que escapan a la interpretación singular de segmentos, aportando información que ayuda a esclarecer la descripción de los tiempos.

Estos patrones de comportamiento necesitan ser delimitados dentro de un horizonte temporal. Los estudios de confiabilidad se basan en un análisis de la variabilidad en periodos cortos de tiempo. Esto con la finalidad de evitar suponer que los mismos patrones permanecen estables durante largos periodos de tiempo.

El análisis de la variabilidad por lo tanto se propone para el presente estudio, en un patrón horario que comprende los segmentos Am y Pm de toda la información, puesto que existen pocos datos y la subdivisión no arroja muestras representativas si es segmentada (Carrion & Levinson, 2012). Se recomienda la pronta estructuración de un sistema que permita monitorear en una tasa diaria por horas, el tiempo de viaje en diferentes puntos del corredor, mediante dispositivos GPS (Systematics, 2002).

3.4 *Implementación*





CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



4 Medición del Valor Logístico de la infraestructura

4.2 Procedimiento general

La “globalización en reversa” iniciada después del 11 de septiembre del 2001, avanzó durante la crisis financiera de 2008 y actualmente se fortalece con el requerimiento de los gobiernos por aumentar el contenido local de las cadenas globales de valor que localizan algún eslabón productivo en sus territorios de influencia. Debido a factores como riesgo político, la factibilidad para producir lotes pequeños de forma rentable y la preferencia del consumidor por los productos, industrias y culturas locales, hoy estamos en presencia de una nueva etapa en donde las empresas deben integrarse más al contexto local.

Actualmente se busca diseñar cadenas de suministro que articulen tanto las ventajas de la integración global (eficiencias de la producción de masa), como aquellas derivadas del anclaje al ambiente local (mejor penetración de mercado, así como resiliencia y agilidad derivada de la integración de proveedores locales facilitado las entregas justo en secuencia). Estamos frente a una dinámica de interacciones bidireccionales en movimiento que busca acoplar sincronizadamente al sistema industrial global, con los sistemas territoriales locales (Cedillo-Campos, 2004). Lo que Cedillo-Campos (2012) al identificar la paulatina exigencia de los mercados por integrar cada vez más valor agregado local, denominó la clusterización de las cadenas de suministro (Supply Chain Clustering) o lo que actualmente AT Kearney (2018) denomina como “*multi-localismo*”.

Desde el enfoque “marginalista” (Cournot, 1838; Dupuit, 1844; Menger, 1871), el “*valor logístico de la infraestructura*” depende de considerar no solo el valor de la inversión (trabajo y recursos) que se hace al construir o mejorar las propiedades intrínsecas de la infraestructura, sino también el incremento la capacidad de las empresas para alcanzar en mejores condiciones que sus competidores, los mismos mercados meta. Y entonces para ello también tomar en cuenta las circunstancias de operación de las cadenas de suministro operando sobre la infraestructura bajo análisis.

La infraestructura es hoy claramente un elemento importante en la construcción de la ventaja competitiva de las organizaciones (Arvis et al., 2018; Schwab, 2018). Sin embargo, el valor logístico de una misma infraestructura, es marginal y diferente para cada una de los usuarios de la misma, sean personas, organizaciones o sectores económicos, ya que depende de su propia realidad competitiva y de lo que la marginalmente la infraestructura le aporta a cada uno para llegar con éxito a su mercado meta.

4.3 Valor logístico de la infraestructura

La infraestructura es la columna vertebral de cualquier sistema logístico (Gleissner y Femerling, 2013). Desde esa perspectiva, para medir el “valor logístico” de la infraestructura se propone establecer un análisis múltiple comparativo de criterios tanto cualitativos como cuantitativos. Lo anterior de acuerdo con su importancia relativa considerando lo que la infraestructura aporta para que una cadena de suministro ofrezca el valor comprometido con sus clientes. Dado que las actividades dentro de un sistema logístico están interconectadas, el desempeño de cada una de las operaciones afecta al desempeño de todo el sistema de forma directa o indirecta (Lee y Song, 2010).

Por lo tanto, el valor logístico de una infraestructura o conjunto de segmentos de infraestructuras que determinan una ruta integrada que denominaremos “opción a” que podría ser usada por una cadena de suministro, con respecto a otra ruta integrada denominada “opción b”, se calcularía integrando múltiples criterios. El resultado sería un monto que establecería la utilidad marginal del valor logístico de cada una de las opciones de acuerdo a las necesidades operativas y de servicio de una determinada cadena de suministro. En este sentido, el valor logístico de la infraestructura analizada se reflejaría en eficiencia operacional y efectividad de los servicios requeridos por la cadena de suministro potencial usuaria (Lai et al., 2002).

Es así que, como una primera propuesta para medir el valor logístico de la infraestructura, se considera el análisis de decisión de criterios múltiples (MCDA), en donde debe ser posible incluir criterios tanto cualitativos como cuantitativos con su importancia relativa. Sin embargo, como lo señalan (Macharis, Turcksin y Lebeau, 2012): *“La toma de decisiones en proyectos de transporte a menudo es guiada por mucha discusión, controversia y desacuerdo. En ausencia de metodologías que puedan hacer frente a los diferentes puntos de vista de las partes interesadas, los proyectos a menudo no se implementan o conducen a retrasos inaceptables”*. En este sentido, debido a que para medir el Valor Logístico de una Infraestructura es necesaria la inclusión de diferentes perspectivas en donde se tendrán valoraciones tanto cualitativas, como cuantitativas, se propone la utilización de una metodología que adapta pertinentemente a este problema. Se trata del Análisis Multi Criterio Multi Actor (MAMCA por sus siglas en inglés), propuesto por Macharis, Turcksin y Lebeau (2012) y cuya utilización es cada vez más amplia a nivel global.

El MAMCA permite evaluar diferentes alternativas (medidas políticas, escenarios, tecnologías, etc.) considerando los objetivos de los diferentes actores involucrados. A diferencia de un MCDA convencional donde las alternativas se evalúan según varios criterios, el MAMCA incluye explícitamente los puntos de vista de los diferentes actores que participan en un proyecto.

4.3.1 Medidas del valor logístico de la infraestructura

Se propone establecer al Valor Logístico de la Infraestructura, como una función en donde la combinación de factores genera un nivel de desempeño determinado. En donde el “output” técnicamente eficiente se obtiene a partir de distintas combinaciones de “inputs”. Es en este sentido que se propone un conjunto de variables que conforman la ecuación 1 y donde la característica de su medición puede ser vista en la tabla 1.

$$V_l = f(V^2_{F2}, \$, R, r, S, A_m, Re, CO_2, G) \dots\dots\dots (X)$$

Tabla 1. Unidades de medida del Valor Logístico de la Infraestructura

VARIABLE	DEFINICIÓN	MEDICIÓN
V_l	Valor logístico de la infraestructura;	Resultado del ranqueo multi-criterio
$\$$	Costo logístico total (MIF3)	Cuantitativa
R	Atributos de red de infraestructura (centralidad y conectividad);	Cuantitativa
r	Riesgo al que son sometidas las cadenas de suministro operando en determinada infraestructura (4 dimensiones): <ul style="list-style-type: none"> ● Seguridad vial; ● Seguridad patrimonial; ● Movimientos sociales; ● Contingencias meteorológicas; ● Programas de mantenimiento. 	Cuantitativa
S	Enlaces de servicio: <ul style="list-style-type: none"> ● Paraderos seguros; ● Almacenes; ● Cámaras refrigeradas. 	Cuantitativa



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



<i>R_e</i>	Resiliencia de la infraestructura;	Cuantitativa
<i>CO₂</i>	Huella de carbono.	Cuantitativa



De este modo se puede establecer que el valor logístico de una infraestructura es:

“El nivel multi-criterio y multi-actor determinado con respecto a otra infraestructura o conjunto de infraestructuras utilizadas por una cadena de suministro, lo cual permite establecer la utilidad marginal en el desempeño logístico total de los usuarios de la misma con respecto a sus competidores. Por ende, dicho valor deriva no solo de los activos físicos y tecnológicos disponibles, sino también del soporte organizacional y servicios asociados que apoyan la capacidad de sincronización de los flujos, reduciendo el costo logístico total y aumentando la fluidez de la carga.”

En este sentido, el valor Logístico de la Infraestructura es entonces un concepto clave en el desarrollo de la competitividad industria-territorio. La infraestructura es la “vía” sobre la cual operan las cadenas de suministro para conectar los flujos de la oferta con los de demanda, pero agregando un valor logístico diferente dependiendo de la cadena de suministro que la utilice.

4.3.1.1 Costo logístico total

De acuerdo con Krugman (1998), los costos de transporte tienen una importante influencia en el comercio entre regiones y por lo tanto, en la intensidad de los flujos de mercancías utilizando una determinada infraestructura. En ese sentido, se toma como base para hacer en análisis comparativo entre dos potenciales corredores de transporte para mover la carga, el trabajo desarrollado por Cedillo-Campos et al. (2017). Los autores calculan el costo logístico total al utilizar diferentes opciones de corredores intermodales, permitiendo comparar varias opciones.

4.3.1.2 Atributos de la red

Cuando hablamos de la red de infraestructura de transporte, nos referimos al conjunto de segmentos de infraestructura unidos entre sí por puntos nodales que permiten conducir los flujos de un origen hasta un destino. La eficiencia y capacidad de la infraestructura tiene un gran impacto en la mejora de los servicios de transporte ya que apoyan a la reducción de costos de logística. De hecho, Sánchez y Wilmsmeier (2005) afirman que existe “una relación positiva entre la provisión de infraestructura y el crecimiento económico”. De este modo, aunque existe un amplio número de estudios sobre las infraestructuras, su operación e impactos, pocos de ellos han sido hechos desde el punto de vista de en qué medida coadyuvan a incrementar o deteriorar el desempeño logístico de las cadenas de suministro que las utilizan.

El análisis de la infraestructura de transporte es un área conocida en México, en la última década se han propuesto diferentes metodologías, que tienen diferentes objetivos, como la identificación de tramos críticos de la red federal de carreteras de México Ang y Hern (2011). Algunos otros se enfocan en la definición de índices y medidas que evalúan las características propias de la red, algunos ejemplos son conectividad y centralidad Novak y Sullivan (2014).

Con el objetivo de caracterizar la infraestructura de transporte desde una perspectiva logística y definir la robustez de la Red Nacional de Caminos de México, se seleccionaron indicadores con un enfoque en teoría de gráficas Piña (2017).

Como lo muestra la Figura 1, existen tres principales tipos de conexiones en una red de infraestructura. La red 1, la cual representa la conexión directa o principal entre dos nodos de la red. La red 2, la cual conecta a tres nodos, pero la estación D es un ramal que genera una ruta secundaria. La red 3, donde la estación C es la prolongación con respecto de la estación B y es necesario pasar por esta para ir de a hasta C. Se trata de una ruta indirecta o con transbordo.

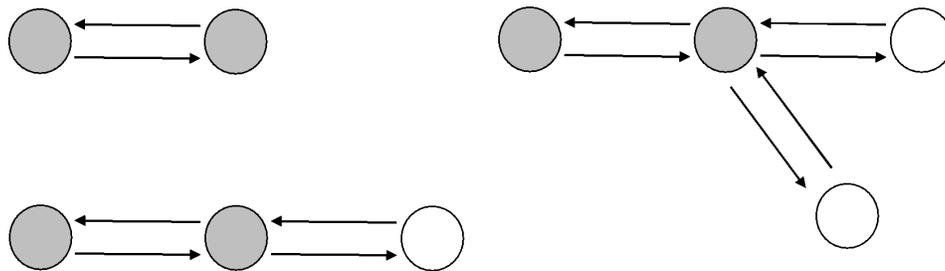


Figura X. Principales tipos de redes de infraestructura de transporte

Dentro de los principales atributos que permiten caracterizar a una red están los siguientes:

- **Centralidad:** Es un valor asignado a un nodo debido a su posición estructural en la red. La centralidad mide la influencia de un lugar en su área tributaria.
 - Indicadores:
 - *Grado:* Es el número de conexiones directas entre el nodo evaluado y el resto. Mientras más alto es el grado, mayor es la importancia del nodo en la red dado que más arcos convergen a éste.



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



$$d(i) = \sum_j m_{ij} \quad (5)$$

Donde:

$m_{ij} \{1, \text{si existe un arco entre los vértices } i \text{ y } j, 0, \text{si no existe un arco en}$

- **Centralidad por intermediación:** Mide la importancia de un nodo de acuerdo a su participación en las rutas más cortas que comunican al resto de los nodos. Un nodo es importante mientras mayor sea su participación en rutas más cortas.

$$C_i^B = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{j,k=1, j \neq k, k \neq i}^N \frac{n_{j,k(i)}}{n_{j,k}} \quad (5)$$

N = nodos

$n_{j,k}$ = número total de caminos más cortos entre los vértices j y k

$n_{j,k(i)}$ = número total de caminos más cortos entre los vértices j y k donde participa el vértice i

- **Índice de poder:** Mide la centralidad de los nodos en función del número de nodos vecinos que presenta, a la vez que toma en cuenta el número de vecinos de éstos. Un nodo es poderoso si mientras más nodos adyacentes dependen de éste para comunicarse con el resto de la red.

$$BP(\alpha, \beta, A) = \alpha(I - \beta A)^{-1} A \mathbf{1} \quad (5)$$

β = Determina el comportamiento de la función

A = Matriz de adyacencia

I = Matriz Identidad

$\mathbf{1}$ = Matriz columna de unos

- **Conectividad:** Es el número y fortaleza de los lazos entre los nodos de la red. Determina el grado de comunicación recíproca entre los nodos, y es el nivel de integración interconexión que representa una red para su funcionamiento interno.
 - Indicadores:
 - **Alfa:** Evalúa el número de ciclos en una gráfica en comparación con el máximo número de ciclos. Es considerado un indicador de la complejidad de la red en términos de redundancia, ya que ayuda a determinar el nivel de caminos alternos presentes en la red.

$$\alpha_i = \frac{l-n+1}{2n-5} \quad (5)$$



CentroGeo
21°53'44" N 102°21'08" O 1884m

n = nodos totales

l = aristas

- *Coefficiente de agrupamiento*: Es una medida de probabilidad donde dos nodos vecinos de un nodo i , se encuentren también conectados. Permite la identificación de subredes bien comunicadas.

$$C_i = \frac{M_i}{\frac{k_i(k_i-1)}{2}} \quad (5)$$

M_i = Número de pares de vecinos del índice i que se encuentran conectados

k_i = Número de vecinos del vértice

- *Nodo de articulación*: Es aquel nodo que, si es removido, puede generar componentes desconectados en la red.

$$cut(A, B) = \sum_{i \in A, j \in B} W_{i,j} \quad (5)$$

A, B = componentes

$W_{i,j}$ = es el peso del arco que une al vértice $i \in A$ y al vértice $j \in B$

- *Fragmentación*: Complementa la información de los nodos de articulación al estimar el nivel de afectación al remover un nodo, de acuerdo al total de nodos incomunicados que se generarían en consecuencia.

$$F = 1 - \frac{2 \sum_i \sum_{j < i} r_{i,j}}{n(n-1)} \quad (5)$$

FC = Consumo de Combustible

LCU = Utilización de la capacidad de carga

Estos indicadores permiten caracterizar de manera efectiva la Red Nacional de Caminos de México de acuerdo a sus características topológicas y geográficas. Sirven además para identificar la redundancia de la red, la importancia de los arcos de acuerdo a su participación en rutas más cortas, el grado de poder que tienen los tramos carreteros de acuerdo a su adyacencia entre ellos mismos. Además de coadyuvar en la identificación de las subredes con mejor comunicación en la red, tramos críticos en red que al bloquearse pueden dejar incomunicadas ciertas zonas del país, así como el nivel de afectación, y su nivel de centralidad.

4.3.1.3 Riesgo

El riesgo generalizado dentro de un tramo de infraestructura busca evaluar al conjunto de riesgos que pueden llegar a materializarse, afectando la operación de una cadena de suministro que utiliza cierta infraestructura. Los riesgos pueden ser tanto aquellos que se pueden materializar por causa de la intervención humana (robos, accidentes, etc.), como aquellos que se derivan un de un efecto de la naturaleza (tornados, sismos, nevadas, etc.). Cabe resaltar que el concepto de “Seguridad” en transporte y logística consta de dos dimensiones: i) seguridad patrimonial; y ii) seguridad vial.

Por un lado, la seguridad patrimonial, nos referimos a las interrupciones al flujo de mercancías propiedad de las empresas dentro de una cadena de suministro que utiliza la infraestructura. Por otro lado, la seguridad vial, nos referimos al riesgo de interrupción de flujos derivados de accidentes en los que se vean involucrados vehículos moviendo las mercancías de un punto a otro dentro de la cadena de suministro.

Para el caso de seguridad patrimonial, en los últimos años se ha incrementado de manera notable la cantidad de robos de autotransporte federal de carga en México. De acuerdo con el Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP) de la Coordinación de Estrategia Digital Nacional Pública, Unidad de Gobierno Digital de la Secretaría de la Función, Federal, y Pública (2019), se registró un total de ocho mil 727 robos a los transportistas de enero a septiembre de 2018. Si se compara contra el mismo periodo del año anterior, significó un incremento de este delito en 4.10%. Asimismo, de acuerdo con el último reporte del “SensiGuard Supply Chain Intelligence Center” SENSITECH(2019), el robo al transporte de carga se incrementó 5% durante el tercer trimestre de 2018, en comparación con el mismo trimestre de 2017. Sin embargo, debido a que en más del 90% de los casos se secuestró a los operadores, se puede afirmar que se incrementó la violencia.

En el caso de la seguridad vial, las lesiones causadas por el tránsito se encuentran entre las diez principales causas de muerte en el país. Para el año 2014 se registraron 15,886 defunciones, cifra un 0.9 % menor que lo registrado en el año previo, con esto, se calcula una tasa aproximada de 13 muertos por cada 100 mil habitantes STCONAPRA & de salud (2015). Por otro lado en el año 2017 se registraron 15863 defunciones por accidentes vehiculares y de los cuales se identificaron que los meses de mayor ocurrencia son en diciembre con 1 563 casos (9.9%) y abril con 1 493 casos (9.4%) INEGI(2018).

Para realizar la medición del indicador de riesgo se adoptó la metodología propuesta por De la Torre et al. (2015). La misma consta de un proceso para identificar variables de riesgo a través de un

análisis estadístico de la información disponible de robos de carga mediante el método de Análisis de Componentes Principales, determinando un primer conjunto de variables de interés para el diseño de una encuesta que se aplicó a expertos en seguridad de la cadena de suministro empleando la metodología Delphi y estableciendo ponderaciones a través del Proceso de Jerarquización Analítica.

Como resultado, se adoptaron los pasos definidos por de la Torre et al. (2015), los cuales se muestran en la Figura 2:

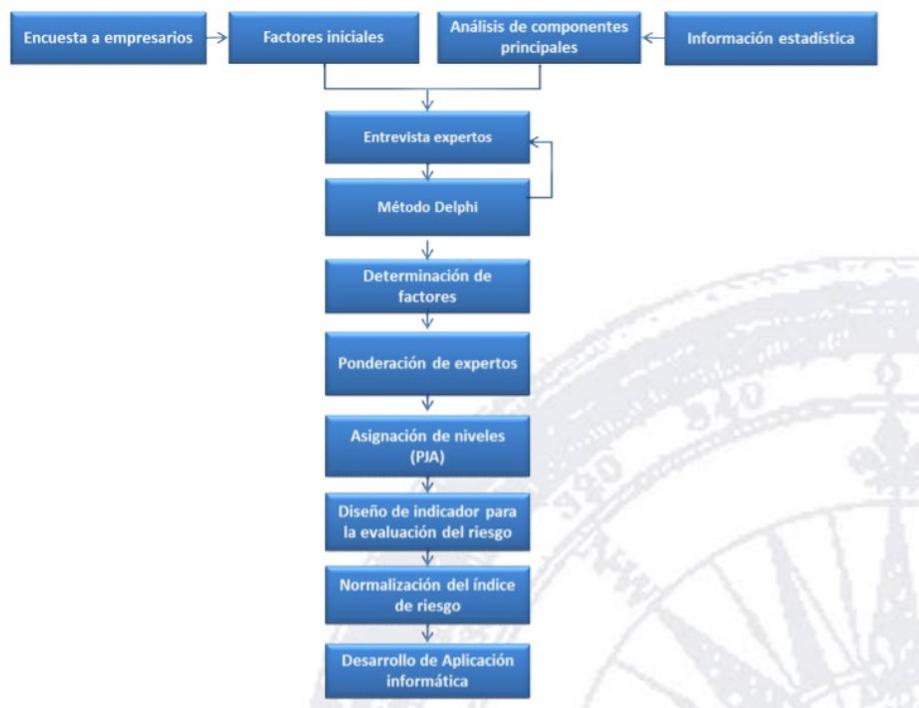


Figura Y. Metodología para identificación y medición del riesgo

Después de identificar los factores relevantes, obtener la información y utilizar los métodos descritos por los autores, se calcula el riesgo a través de la siguiente ecuación:

$$I_R = P_p + Hh + Z \sum_{j=1}^n A_j Z_{a_j} + Vv + Cc \quad (5)$$

I_R = Índice de Riesgo



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



- P = Factor Tipo de producto
- p = Ponderador de riesgo del tipo de producto
- H = Factor humano
- h = Ponderador de riesgo del factor humano
- Z = Factor zona
- A_j = Porcentaje de la ruta en el estado j-ésimo
- Z_j = Ponderador de riesgo en el estado j-ésimo
- V = Factor tipo de vehículo
- v = Ponderador de riesgo por tipo de vehículo
- C = Factor de tipo de carretera
- c = Ponderador de riesgo por tipo de carretera

La ventaja de utilizar la herramienta descrita es la apropiada integración tanto de la información estadística disponible, como la percepción de expertos. Dado que para medir la seguridad patrimonial es importante considerar tanto la información estadística, como la percepción de usuarios Cedillo-Campos et al.(2016), la metodología seleccionada se muestra pertinente para el propósito aquí establecido.



CentroGeo

21°53'44" N 102°21'08" O 1884m

4.3.1.4 Enlaces de servicio

Los enlaces de servicio son aquellos servicios que permiten una operación logística más cómoda, más segura, más eficiente, en los cuales se ve involucrada la infraestructura de comunicaciones y transportes Golub, Jones, & Kierzkowski(2007), funcionando como las “vías” sobre las cuales operan las cadenas de suministro. Algunos ejemplos de este tipo de infraestructuras que actualmente son importantes para la operación de las cadenas de suministro, son las estaciones de servicio denominadas “Paraderos Seguros”. En estos lugares, los operadores pueden tomar un descanso, además de satisfacer otras necesidades importantes para desarrollar su actividad con seguridad y comodidad.

Otros componentes serían los centros de control de flujos que, al ubicarse en puntos estratégicos, favorecen el desarrollo de servicios de apoyo vial y de seguridad más reactivos. Un elemento clave de apoyo al sistema de “Enlaces de servicio”, son los protocolos estandarizados que permitirían garantizar una elevada resiliencia de la operación frente a interrupciones de los flujos generados por el hombre o por la naturaleza.

El término de enlace de servicio se ha utilizado por autores como, Sin embargo, existen otras denominaciones que tienen el mismo enfoque, tal es el caso de Athukorala & Narayanan(2018) donde utilizan el término como un conjunto de actividades de coordinación /conectividad como una secuencia para la producción final de un producto.

En este concepto también se han integrado los servicios de valor agregado al transporte y telecomunicaciones como desarrollo infraestructura, y en el área de administración, coordinación, seguros y servicios financieros como el desarrollo de políticas públicas, regulaciones y prácticas operativas, entre otros. Todos ellos tienen la funcionalidad de conectar a los eslabones dentro de la cadena de suministro, donde cada eslabón representa un proceso o conjunto de procesos ejecutados por una empresa en un lugar determinado Jones(2017).

Actualmente en México no se tienen claramente definidos los denominados “Enlaces de servicio” en apoyo a la mejora del flujo de las cadenas de suministro. Aunque cabe resaltar que se trata de un aspecto que se ha tratado de solventar dentro de la denominada Red Nacional de Caminos. Ahí se ha definido un diccionario de datos con el fin de regular la información espacial de infraestructuras existentes en el país y su integración a través del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.

Tiene como objetivo proporcionar una red única de vías de transporte terrestre modelada a gran detalle de acuerdo a su funcionalidad, considerando elementos para la circulación vehicular e información de algunos destinos, infraestructura y servicios asociados al tema de transporte. Al día de hoy, la importancia del uso de esta información radica que en los elementos de infraestructura definidos en este diccionario, se encuentran objetos espaciales de estructuras importantes como lo son puentes o túneles, localidades, maniobras prohibidas, plazas de cobro, postes de referencia para indicar el kilometraje en los tramos de la red carretera, servicios y lugares de interés como aduanas, aeropuertos, almacenes, áreas de descanso, estaciones de abastecimiento de combustible, estaciones de ferrocarril, entre otros.

Al no existir una lista consensuada o comúnmente aceptada que represente a los enlaces de servicio, para el presente documento se decidió utilizar un enfoque multicriterio con base en el método AHP (Análisis Jerárquico de Procesos). A través de éste, los usuarios puedan establecer su percepción. Para esto, se utilizó un análisis de comparaciones pareadas establecido por Thomas L. Saaty Saaty T.L.(1990) en la cual se compara la importancia entre los diferentes tipos de infraestructura, y se define un indicador de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_{SL} = \frac{I_{m_s,r}}{I_{max} * R} \quad (5)$$

I_{SL} = Indicador de enlaces de servicio

I_{m_s} = Importancia del servicio s para una ruta r

R = Cantidad de Rutas

I_{max} = Valor máximo de importancia que puede tener el servicio

A través de este indicador se planea evaluar la importancia de los diferentes tipos de servicio con los que se puede contar en la infraestructura terrestre del país, contemplando las necesidades e interés de los involucrados en la cadena de suministro. Esta es una primera aproximación a la evaluación y medición de enlaces de servicios a través de un indicador propuesto, el cual puede apoyar a la decisión final en el proceso de toma de decisiones de empresas con diferentes criterios y necesidades.

4.3.1.5 Resiliencia

La incertidumbre asociada con de la cadena de suministro es reconocida como uno de los mayores problemas en la administración y control de las cadenas de suministro H. Carvalho, Barroso, MacHado, Azevedo, & Cruz-Machado(2012). Para minimizar el impacto negativo de este tipo de disturbios, es necesario identificar las características del sistema logístico, al momento en que una

interrupción ocurre. Tradicionalmente se intenta anticipar y resistir a estas interrupciones, a pesar de eso, son necesarios nuevos enfoques para asegurar una alta efectividad en la respuesta y recuperación de la operación normal. Para ello, los objetivos principales son, recuperar los valores deseados del estado de un sistema que ha sido afectado con un tiempo y costo aceptable; y reducir la efectividad del disturbio al minimizar el efecto negativo de una amenaza potencial H. Carvalho, Maleki, & Cruz-Machado(2012) (ver figura 3).

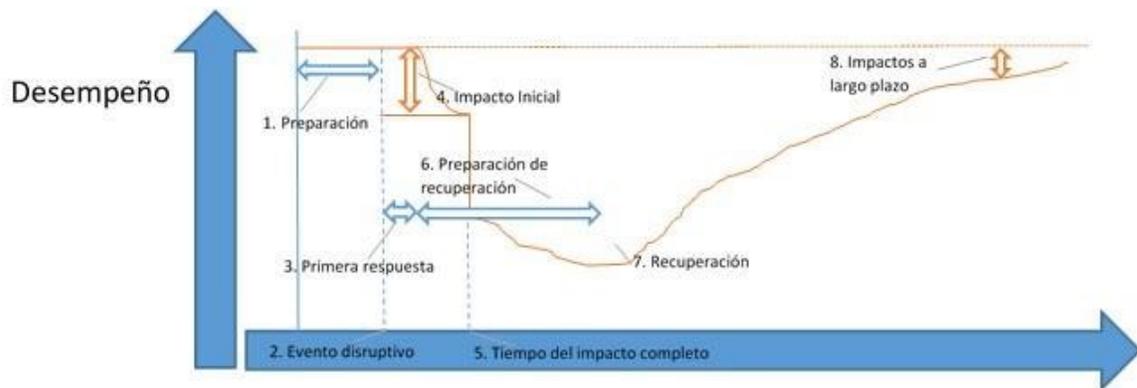


Figura 3. Eventos en un desastre

Considerando las fuentes de información disponibles y agilidad en el tiempo de análisis, se generó un indicador de medición y evaluación de resiliencia para la infraestructura en las cadenas de suministro. Se trata de un indicador que abstrae la idea principal de las metodologías existentes en el área como Novak & Sullivan(2014), Bevilacqua, Ciarapica, & Marcucci(2017), Bevilacqua, Ciarapica, & Marcucci(2018), H. Carvalho, Maleki, et al.(2012), H. Carvalho, Barroso, et al.(2012), H. M. L. Carvalho(2012). El indicador propuesto se encuentra definido en la siguiente ecuación:

$$IR_T = \frac{\sum_1^n P95\%}{\sum_1^n Tv+Tr} \quad (5)$$

IR_T = Índice de resiliencia usando tiempos

n = número de segmentos involucrados

P95% = percentil del 95% del tiempo de viaje en el tramo analizado

Tv = Tiempo promedio de viaje en el tramo analizado

Tr = Tiempo de recuperación del tramo bajo análisis

Dada la dificultad para la obtención de la información que se necesita en las metodologías ya existentes, ya que se necesita información que las empresas que estuvieron involucradas en estos

eventos no tienen, se espera que este indicador propuesto pueda evaluar de manera efectiva la capacidad de la cadena de suministro para responder o recuperarse en tiempo y forma a eventos disruptivos temporales que puedan afectar la entrega del producto al cliente final.

4.3.1.6 *Huella de carbono*

El cambio climático es uno de los grandes retos a los que la humanidad se enfrenta, por esta razón las agencias privadas y públicas están emprendiendo importantes esfuerzos para reducir las emisiones generadas. El caso del transporte es importante ya que es uno de los principales contribuyentes en dióxido de carbono, además de consumir el 19% del total de la energía usada mundialmente. Tomando como base el año 2007, se espera que para el 2030 aumente la cantidad de vehículos de autotransporte en un 50% y para el 2050 en un 100% de acuerdo a Craig, Blanco, & Sheffi(2013). En consecuencia, el aumento esperado de las emisiones de CO₂ es bastante considerable Craig et al.(2013). Es por ello que en años recientes, se han desarrollado métodos y metodologías de medición de las emisiones de los vehículos de carga más exactas, además de que se han implementado técnicas como las de Ntziachristos, Gkatzoflias, & Kouridis(2011) y normas del Consejo de la Unión Europea(2017) y la SCT(2017) más estrictas alrededor del mundo, para evaluar y disminuir los gases emitidos por estos vehículos García-ramos(2017).

Dada la relevancia de este aspecto, resulta estratégico integrarlo dentro de la medición del Valor Logístico de la Infraestructura. De esta forma, de acuerdo a Leenders, Velázquez-Martínez, & Fransoo(2017) se pretende verificar la medida en que una infraestructura, al aportar efectividad a las operaciones de transporte y logística, contribuye a la reducción de la huella de carbono.

De este modo, para hacer el cálculo, se consideró una estrategia en la cual se pudiera medir de manera individual la energía usada, así como las emisiones contaminantes de un vehículo de carga, incluyendo la información del viaje realizado como lo es el tramo origen-destino y el tipo de camino por el que se trasladó. Para mejorar la precisión en la medición, se consideró información definida en normas europeas como el Reglamento CE No 443/2009 y el Reglamento CE No 510/2011, además del Reglamento (UE) 2017/1151, que complementa el Reglamento No. 715/2007 del Consejo de la Unión Europea(2017), así como las características del motor dentro del modelo definido en Ntm & Road(2010). Estos resultados se expresan en kilogramos de emisiones, así como la cantidad de joules como medida de energía utilizada por viaje, de acuerdo a la cantidad de toneladas transportadas. Los principales pasos para esta medición son:

1. Recolección de información acerca del embarque donde se representa la información del peso y volumen, así como información general de los contenedores como el tipo de vehículo, la capacidad máxima y el tipo de motor que tiene;
2. Selección del tipo de vehículo y el porcentaje de uso de su capacidad máxima de carga;
3. Definición de la distancia total de operación del vehículo y los tipos de caminos con el porcentaje respectivo de cada uno de estos para el viaje considerado a medición;
4. Definición del tipo y consumo de combustible para cada clase de vehículo, de acuerdo a su contenido de carbón, sulfuro e hidrocarburos (se consideran valores promedio para vehículos con contenedores vacíos y vehículos con contenedores llenos en diferentes tipos de caminos);
5. Ajuste de los factores de emisión y contenido energético del combustible;
6. Cálculo del desempeño ambiental de acuerdo a los datos del uso de energía y emisiones atmosféricas de operación del vehículo.
7. Reducción de emisiones por el efecto de técnicas de reducción de gases;
8. Asignación de la información del desempeño ambiental con respecto al embarque/carga analizada.

Para poder ejecutar de manera efectiva los pasos explicados anteriormente, se utilizaron ecuaciones, además de tablas con información de referencia con características del motor y gasto de combustible, entre otros criterios. Las ecuaciones definidas en el estudio seleccionado y definidas en Ntm & Road(2010), son las siguientes:

$$FC_{LCU} = FC_{vacío} + (FC_{lleno} + FC_{vacío}) * LCU_{Peso(físico)} \quad (1)$$

FC = Consumo de Combustible

LCU = Utilización de capacidad de carga

$$Em_{i,x,y}^{Tot} = EF_{i,x,y} * FC_{x,y} * Dist \quad (2)$$

Em = Emisiones

EF = Factor de Emisión

Dist = Distancia

$$EF_{CO_2} = CC * \delta * MW \quad (3)$$

CC = Contenido de Carbón
 δ = Densidad
 MW = Relación pesos moleculares

$$Em_{i,xy}^{Embarque} = Em_{i,xy}^{Tot} * \frac{W(fisico)}{(LC_{w(fisico)} * LCU_{w(fisico)})} \quad (4)$$

W(físico) = Peso físico real

La metodología identificada para la medición de emisiones, tiene la ventaja de que puede adaptarse fácilmente a información de países como México. Debido a que en México no se cuenta con una norma que regule este tipo de emisiones, se pretende evaluar e implementar una norma que considere los aspectos necesarios en la investigación, además de información ya existente, como las características vehiculares definidas en la NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 de la SCT(2017). En la actualidad se considera la información de las técnicas y normas europeas del Consejo de la Unión Europea(2017) y la Fundación Mapfre(2003), ya que en México no se encuentra estandarizado.

4.4 Implementación



Referencias

- Ballou, R. H., 2004. *Administración de la cadena de suministro*. 5a ed ed. México: Pretince Hall Pearson.
- Ballot, E., Montreuil, B & Meller, R. (2017). The Physical Internet. Transport Research Innovation, PREDIT, La Documentation Francaise.
- Cedillo-Campos, M. G., Lizarraga-Lizarraga, G. & Martner-Peyrelongue, C. D., 2014. Supply chain dynamics and the “cross-border effect”: The U.S.–Mexican borders case. *Computers & Industrial Engineering, ELSEVIER*, p. 261–273.
- Cedillo-Campos, M. G., Lizarraga-Lizarraga, G. & Martner-Peyrelongue, C. D., 2017. MiF3 method: Modeling intermodal fluidity freight flows. *Research in Transportation Economics*, pp. 1-10.
- Cedillo-Campos, M. G., Montiel-Moctezuma, C. J., Pérez-González, C. M. & Piña-Barcenas, J., 2018. *Medición del “valor Logístico” de la infraestructura*, San Fandila, Querétaro: Boletín notas Instituto Mexicano del Transporte.
- Demare, T., Bertelle, C., Dutot, A. & L., L., 2017. Modeling logistic systems with an agent-based model and dynamic graphs. *Journal of Transport Geography*, Issue 62, pp. 51-56.
- Dubois , A. & Gadde, L.-E., 2002. Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research*, pp. 553--560.
- Eisele, W. L. y otros, 2016. Implementing Freight Fluidity in the State of Maryland. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Issue 2548, pp. 62-70.
- Eisele, W. y otros, 2011. Evaluating Global Freight Corridor Performance for Canada.. *JOURNAL OF TRANSPORTATION of the Institute of Transportation Engineers*, volume 1(ISSUE 1), pp. 39-58.
- Gil-Saura, I., Servera-Francés, D. & Fuentes-Blasco, M., 2010. Antecedents and consequences of logistics value: And empirical investigation in the Spanish market. *Industrial Marketing Management*, Issue 39, pp. 493-506.
- Kovács , G. & Spens, K. M., 2005. Abductive reasoning in logistics research. *International Journal of Physical Distribution {&} Logistics Management*, pp. 132-144.
- Lambert, D. M. & Burduroglu, R., 2000. Measuring and Selling the Value of Logistic. *The International Journal of Logistics Management*, 11(1), pp. 1-17.
- Lee, . E.-S. & Song, D.-W., 2010. Knowledge management for maritime logistics value: discussing conceptual. *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research issues*, 37(6), pp. 563-583.
- Lee, E.-S. & Song, D.-W., 2015. The effect of shipping knowledge and absorptive capacity on organizational innovation and logistics value. *The International Journal of Logistics Management*, Volumen 26, pp. 218 - 237.
- Lomax, T., Schrank, D., Turner, S. & Margiotta, R., 2003. *Selecting Travel Reliability Measures*. Texas Transportation Institute Monograph, s.l.: s.n.
- Martínez-Laguna, N., Sánchez-Salazar, M. T. & Casado Izquierdo, J. M., 2002. Istmo de Tehuantepec: un espacio geoestratégico bajo la influencia de intereses nacionales y extranjeros. Éxitos y fracasos en la aplicación de políticas de desarrollo industrial (1820-2002). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Issue 49, pp. 118-135.
- O'Rourke, L., Beshers, E. & Stock, D., 2015. *Report: Measuring the Impacts of Freight Transportation Improvements on the Economy and Competitiveness*, s.l.: Report FHWA-HOP-15-034.

- OEC, 2018. *Observatory of Economic Complexity*. [En línea] Available at: <https://atlas.media.mit.edu/en/profile/country/mex/> [Último acceso: 13 Diciembre 2018].
- PEMEX, 2017. *Anuario estadístico 2017*, s.l.: s.n.
- Rutner, S. M. & Langley, C. J., 2000. Logistics value: Definition, process and measurement. *International Journal of Logistics Management*, 2(1), pp. 73-82.
- S., 2018. *Estadísticas de Autotransporte Federal 2017*, s.l.: s.n.
- Sanchez-Silva, M., Daniels, M. & Llera, G., 2005. A transport network reliability model for the efficient assignment of resources. *Transportation Research Part B: Methodological*, pp. 47-63.
- SCT, 2017. *Anuario Estadístico de los PUERTOS DE MÉXICO*. [En línea] Available at: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2016/Anuario/Anuario2017.html [Último acceso: 11 Diciembre 2017].
- SCT, 2017. *Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transporte 2015*, s.l.: s.n.
- Shapiro, R. D. & Heskett, J. L., 1985. *Logistics strategy: cases and concepts*. Michigan: West Pub. Co., 1985.
- Taylor, S. S., Fisher, D. & Dufresne, R. L., 2002. The Aesthetics of Management Storytelling: A Key to Organizational Learning. *Management Learning*, pp. 313-330.
- Tseng, Y.-y., Yue, W. L. & Taylor, M. A. P., 2005. THE ROLE OF TRANSPORTATION IN LOGISTICS CHAIN. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Volumen 5, pp. 1672 - 1672.
- WEF, 2014. *The Global Competitiveness Report 2014-2015 Insight Report*, Switzerland: World Economic Forum.
- Yang, Y., Ballot, E & Cedillo-Campos, M. (2018). Contribution of Physical Internet Containers to Mitigate the Risk of Cargo Theft. 15th IMHRC Proceedings, [En Línea]: https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1023&context=pmhr_2018