



CIATEC

INTERNET FÍSICO APLICADO A LA MITIGACIÓN DEL RIESGO DE
ROBO EN EL AUTOTRANSPORTE DE CARGA

Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Maestro en Ciencia y Tecnología
en la Especialidad de Ingeniería Industrial y de
Manufactura.

PRESENTA:

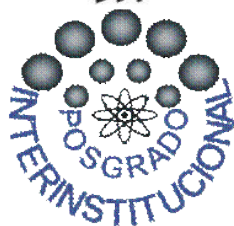
José Eduardo Flores Franco

Director

Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos

Co-Director

Dr. Eric Moreno Quintero



León, Guanajuato, México, junio 2021.



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



León, Gto., a 23 de junio de 2021.

Coordinación de Posgrado.
PICYT - CIATEC.
Guanajuato.

Los abajo firmantes miembros del Comité Tutorial del alumno **José Eduardo Flores Franco**, una vez leída y revisada la Tesis titulada "*Internet físico aplicado a la mitigación del riesgo de robo en el autotransporte de carga*", aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería Industrial y de Manufactura durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 23 días del mes de junio del año dos mil veintiuno.

Dr. Miguel Gastón Cedillo
Campes.
Tutor Académico

Dr. Eric Moreno Quintero.
Tutor en planta.

EG-850-01-F13

Omega No. 201, Col. Industrial Delta, CP. 37545, León, Gto., México.
Tel: +52 (477) 710 0011 atencionclientes@ciatec.mx www.ciatec.mx





GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología




León, Gto., a 21 de julio de 2021.

Dr. Ricardo Jaime Guerra Sánchez
Director General de
PICYT - CIATEC
León, Guanajuato.


Estimado Dr. Guerra,

Los abajo firmantes miembros del Jurado de Examen del alumno **José Eduardo Flores Franco**, una vez leída y revisada la Tesis titulada *"Internet físico aplicado a la mitigación del riesgo de robo en el autotransporte de carga"*, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería Industrial y de Manufactura durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 21 días del mes de julio del año dos mil veintiuno.



Dra. Mayra Elizondo Cortés.
Presidente.



Dra. Elizabeth de la Torre Romero
Secretario.



Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos.
Vocal.

EG-850-01-F13



A mis padres
Lucía† y J. Guadalupe.

Mamá, aunque ya no estés físicamente,
tu presencia en mente y corazón
siguen siendo soporte en mi vida.

Papá, mi mejor escuela en la vida.

Hermanos: mis ejemplos.

Agradecimientos

Porque esta maravillosa etapa no hubiera sido posible sin todas las personas que me ayudaron, deseo agradecer en estas líneas que, aunque puedan ser muy breves, contienen mi amplia gratitud.

Agradezco a Dios por permitirme estar rodeado de mi familia. A mi hermana María Guadalupe que después de la partida de mi mamá en este mundo, me enseñó la fortaleza para seguir adelante, vivir el presente y recordarme que *“Dios te ama y yo también”*.

Agradezco a mi asesor, el Dr. Gastón Cedillo por todo su profesionalismo, sus enseñanzas, paciencia, confianza y consejos para seguir fortaleciendo mi formación profesional, gracias por ser una gran persona y ejemplo. También al comité tutorial Dr. Eric Moreno y Dr. Cesar Montiel por sus observaciones y consejos.

Agradezco; al CIATEC por poner a mi disposición su equipo docente e instalaciones de calidad, además del apoyo y atención brindado por los encargados del posgrado Antonio Quijas y Emma Acevedo; al IMT por el desarrollo de este proyecto y los investigadores que tuve el gusto de conocer. Me llevo grandes aprendizajes.

Agradezco a mis compañeros de clase por formar una excelente generación, a Guadalupe Yáñez por apoyarnos mutuamente y salir adelante, es un placer compartir tiempo de convivencia y trabajo. A mis amigos que escucharon mis inquietudes e ideas. Todos ellos brindándome fortaleza necesaria.

Finalmente agradezco al CONACYT por su ayuda económica y acercarme al conocimiento de la ciencia, la cual me recibió con la siguiente frase el primer día de clases: *“Lo importante en la ciencia no es tener tanto nuevos datos, sino descubrir nuevas formas de pensar sobre ellos”* William Lawrence Bragg.

Por lo tanto, yo, Eduardo Flores, licenciado en matemáticas aplicadas, agradecido con la vida porque todo esto y más, ocurrió al tomar la decisión de entrar a esta etapa.

Gracias Maestría, gracias posgrado.

Las empresas de autotransporte operando en mercados emergentes como México, están constantemente buscando mitigar el riesgo de robo en las carreteras. Una de las estrategias más utilizadas es la implementación de más y mejor tecnología. Sin embargo, actualmente también es posible lograrlo al reorganizar los procesos logísticos. Es así que el enfoque de solución adoptado en el presente trabajo es el que se conoce como *“Internet Físico”*, el cual es un enfoque sistemático que propone encapsular a las mercancías en contenedores inteligentes y modulares, permitiendo la manipulación y envío de diferentes tipos de mercancías contenerizadas en un mismo vehículo. El objetivo de este documento es, proponer un modelo cuantitativo para definir la mezcla de productos que mitiga el riesgo total de robo para cada embarque. Lo anterior, sobre la base del nivel de riesgo de robo atribuible a cada tipo de producto, al momento de circular por diferentes segmentos de la red carretera de México. Para lograrlo, se diseñó un modelo original, resultado del acoplamiento de un modelo de inventarios estocásticos de un solo periodo, a uno de evaluación de robos. Para ello se estudió tanto la demanda, como las características de diferentes productos, lo cual permitió identificar cuáles de estos se podrían combinar en un solo embarque. Como resultado, además se obtuvo, una herramienta tecnológica que coadyuva a la toma de decisiones prácticas. Igualmente, se identificaron condiciones básicas iniciales para su implementación, así como las limitaciones que se deben tener en cuenta antes de ponerlo en operación en un contexto real. Finalmente se exponen conclusiones y recomendaciones de utilidad tanto para académicos, como para tomadores de decisiones, así como futuras líneas de investigación que permitirán extender los resultados aquí expuestos.

Agradecimientos.....	5
Resumen	6
Índice de contenido	7
Índice de tablas	9
Índice de figuras.....	10
1. Introducción	11
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Definición del problema	16
1.3 Justificación	18
1.4 Hipótesis.....	19
1.5 Objetivos.....	19
1.5.1 Objetivo general.....	19
1.5.2 Objetivos específicos	19
1.6 Metodología	20
1.7 Alcances y limitaciones.....	22
1.8 Resultados esperados	23
1.9 Estructura del documento	24
2. Marco teórico	25
2.1 Introducción.	25
2.2 Internet Físico (PI o π).....	26
2.3 Tamaño económico de pedido (modelo del vendedor de periódicos).....	28
2.4 Índice de riesgo	30
2.5 Fuente de datos.....	31
2.6 Conclusión	32
3. Método	34
3.1 Introducción	34
3.2 Análisis de las mercancías	36
3.3 Distribución de probabilidad de la demanda	37
3.4 Cálculo del índice de robo.	42
3.5 Modelo para evaluar el robo de carga	45
3.6 Los π embarques.....	49

3.7 Conclusiones	52
4. Resultados	54
4.1 Introducción	54
4.2 Caso I: implementación del modelo simulado.....	54
4.3 Caso II: caso aplicado.....	64
4.4 Herramienta informática.....	69
4.5 Conclusión	74
5. Conclusiones	76
5.1 Introducción	76
5.2 Contribuciones.....	78
5.3 Investigaciones futuras.	79
Referencias bibliográficas	81
Anexos	84

Tabla 2.1. Tabla de factores de riesgo y sus categorías respectivas.	31
Tabla 2.2. Base de datos de las cartas de porte 2017.	32
Tabla 3.3. Muestra de cartas de porte correspondiente a 11, 771 cartas.....	37
Tabla 3.4. Valores para el cálculo del estadístico K – S.	39
Tabla 3.5. Analogía de modelos.	45
Tabla 3.6. Condiciones iniciales para la obtención de la ganancia máxima.	46
Tabla 3.7. Muestra con siete corridas de la simulación.....	47
Tabla 3.8. Réplicas de la simulación del modelo propuesto.....	48
Tabla 4.9. Índice de riesgo por cada producto y su proporción.....	54
Tabla 4.10. Número de mercancías a enviar por tipo de producto en cada tramo.	56
Tabla 4.11. Valores del índice de riesgo.....	65
Tabla 4.12. Número de envíos a realizar en cada tramo.....	66
Tabla 4.13. Resultados del análisis.	74

Figura 1.1. Zona de alto riesgo de robo de carga en México del 2019 [4].	12
Figura 1.2. Diagrama del procedimiento sobre el análisis de las mercancías.	21
Figura 1.3. Metodología general.	22
Figura 2.4. Estructura clásica de una cadena de suministro [5].	26
Figura 2.5. Estructura de una cadena de suministro a partir de la perspectiva del Internet Físico [5].	27
Figura 2.6. Ilustración de los contenedores modulares [18].	28
Figura 3.7. Método.	34
Figura 3.8. Proceso de análisis para definir el tamaño de los π embarques.	35
Figura 3.9. Diagrama de flujo metodológico.	36
Figura 3.10. Máscara del Complemento de Excel: histograma.	39
Figura 3.11. Valores críticos de D para la prueba de bondad de ajuste de K – S [25].	41
Figura 3.12. Q-Q plot de los datos	42
Figura 3.13. Máscara de la herramienta del índice de robo.	43
Figura 3.14. Valor máximo del tamaño de botín mínimo atractivo.	48
Figura 3.15. Propuesta para la mezcla de mercancías desde el enfoque del PI.	51
Figura 4.16. Diagrama de la metodología del producto A.	57
Figura 4.17. Cantidades a ordenar para la mezcla de mercancías.	58
Figura 4.18. Comparación de las ganancias o pérdidas criminales al considerar seguridad en los contenedores.	59
Figura 4.19. Comparación de las ganancias criminales al mezclar mercancías en los contenedores.	60
Figura 4.20. Ganancias de los criminales a través del análisis de sensibilidad.	62
Figura 4.21. Cantidad de envíos.	66
Figura 4.22. Comparación de las ganancias criminales en el número de envíos.	67
Figura 4.23. Análisis del número de envíos con un costo de oportunidad.	69
Figura 4.24. Máscara de la herramienta informática.	70
Figura 4.25. Condiciones iniciales de la herramienta informática.	71
Figura 4.26. Resultados automáticos al introducir los valores iniciales.	71
Figura 4.27. Cálculos del modelo para obtener el botín mínimo atractivo.	72
Figura 4.28. Cálculo de la cantidad a enviar de cada producto en el π embarque.	73
Figura 4.29. Diagrama para definir la probabilidad de la demanda.	75

CAPÍTULO I

1. Introducción

La inseguridad en el autotransporte de carga le cuesta a México 92 mil 500 millones de pesos anuales [1]. Este costo es equivalente al 0.5% del producto interno bruto (PIB). Se trata de un aspecto que está retando la efectividad logística de las empresas y, en consecuencia, el cumplimiento de las expectativas de sus clientes. Se trata de un desafío a la inteligencia en el diseño de soluciones logísticas. En este contexto, la dificultad estriba en hacer frente al problema, pero con soluciones que no conlleven acciones violentas que redunden en daños psicológicos, morales y/o fatales para los empleados de las empresas, además de grandes daños a la confianza de las marcas corporativas. Cedillo-Campos [2].

Al ser un eslabón que provee de bienes a otros eslabones productivos en diversas cadenas de suministros, el autotransporte de carga es un elemento clave. La interrupción de la operación del transporte, puede bloquear la operación de varias cadenas de suministro en forma simultánea. Por ejemplo, el asalto al transporte de carga impacta no solo en el incremento de las variables de costo y tiempo, sino que, además, reduce la confiabilidad de las mismas. En momentos en los que las empresas buscan pasar de sistemas de abastecimiento “*Just-In-Time*” (JIT)¹ a los llamados “*Just-In-Sequence*” (JIS)², la falta de confiabilidad se refleja en costos extra que reducen la competitividad de las empresas, pero también, menor “*atractividad*” de los países para atraer inversión industrial [3].

En este sentido el reporte anual del robo de carga en México publicado por Sensiguard [4], registra como zonas de alto riesgo para el transporte de carga, la región Centro y Occidente de la República Mexicana, así como en los estados de Puebla, México, Michoacán y Nuevo León. En el año 2019 se registraron 17,053 incidentes de robos a

¹ Sistema que tiene como base el organizar el abastecimiento, la producción y la distribución de productos y servicios, en las cantidades justas y en el momento adecuado (ni antes ni después) para completar el proceso productivo.

² Se trata de un sistema que constituye una evolución del Justo a Tiempo (JIT por sus siglas en inglés), en él, las piezas y/o componentes necesarios para la producción se entregan sincronizadamente en la secuencia en la que el sistema de producción lo requiere.

transporte de carga. Entre los robos de carga por tipo de producto destacan con mayor frecuencia: i) alimentos y bebidas; ii) construcción e industrial; y iii) químicos. El reporte establece que en el 89% de los casos, la unidad fue interceptada cuando se encontraba en movimiento. Con este modus operandi, en el 57% de los incidentes existió privación ilegal de la libertad del conductor. De manera específica, entre los tramos carreteros con mayor riesgo, se destaca la autopista México – Veracruz (MEX-150D). De forma gráfica, lo anterior puede observarse en el mapa de calor que muestra las zonas de alto riesgo (ver Figura 1.1).

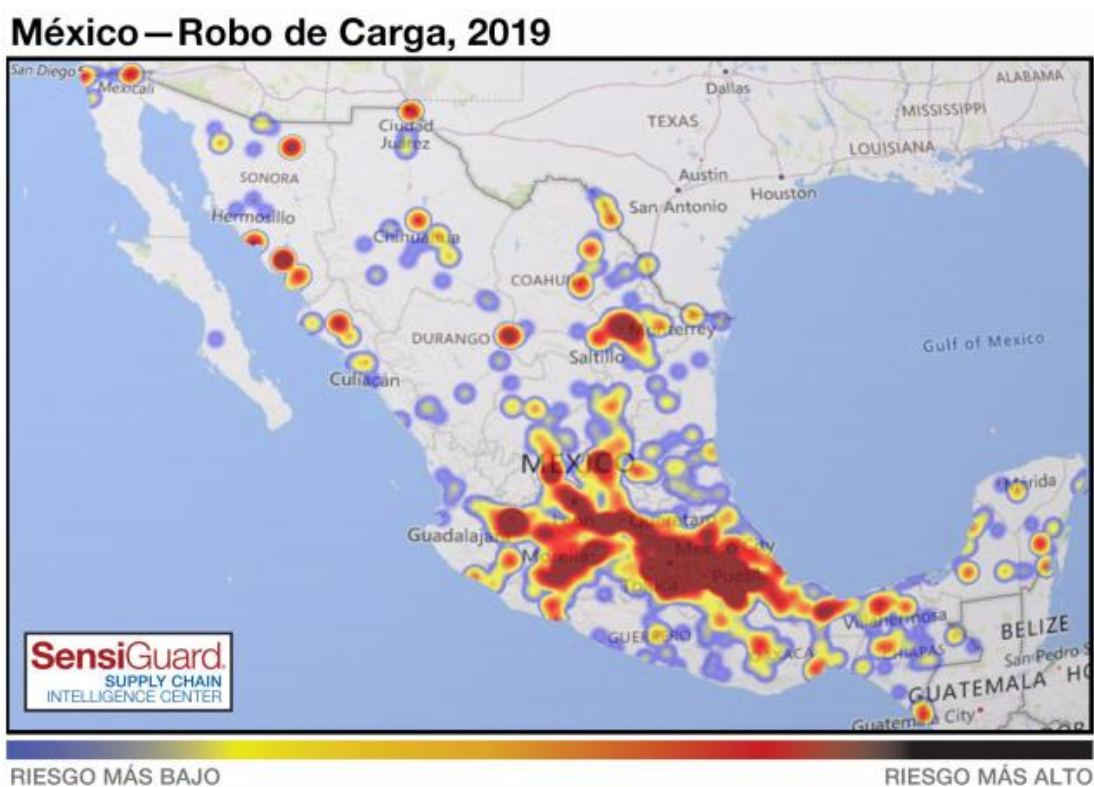


Figura 1.1. Zona de alto riesgo de robo de carga en México del 2019 [4].

Es en este contexto que, para desarrollar una adecuada solución al problema, es necesario estudiar el tipo de las mercancías transportadas, así como el riesgo que ello conlleva. En este sentido, el presente trabajo busca analizar y desarrollar un modelo matemático que desde el enfoque de Internet Físico o PI (por sus siglas en inglés “Physical Internet”), mitigue el riesgo en cadenas de suministro usuarias del

autotransporte de carga. Nuestra propuesta de base considera el evaluar la mezcla de diferentes productos con diferentes niveles de riesgo (dependiendo del segmento carretero que deberán recorrer), de forma que se obtenga un riesgo generalizado aceptable.

1.1 Antecedentes

En un interesante trabajo desarrollado por Sarraj, et al. [5], los autores comparan el modelo clásico de una cadena logística actual contra un nuevo concepto llamado Internet Físico (PI, π). Lo anterior, como una propuesta alternativa para satisfacer las necesidades económicas y ambientales, que actualmente enfrenta la sociedad. La pertinencia de abordar los desafíos logísticos actuales desde la perspectiva del “*Internet Físico*”, resulta evidente al constatar el crecimiento exponencial en el volumen de flujos de carga, costos ambientales y congestión en la infraestructura que se observa en la mayoría de los países. Si bien en el pasado se enfrentaron esos retos con la construcción de más infraestructura, actualmente, las crecientes restricciones económicas y preocupaciones ambientales, ponen de manifiesto la necesidad de proponer otros paradigmas de solución.

Es así que Sarraj, et al. [5] proponen que las redes de distribución actuales deben replantearse como un sistema que se pueda interconectar de manera efectiva. Traer la “*lógica*” del internet, al mundo físico. Es así que Yang, Ballot, y Cedillo-Campos [6], detectan que, hasta hoy, no se han desarrollado análisis ni modelos desde el enfoque del “*Internet Físico*”, los cuales lo haga más robusto ante el riesgo de robo en el transporte. En su contribución, hacen una exploración inicial sobre el potencial del Internet Físico para este fin. Por ejemplo, argumentan que, si los productos se combinan y son trasladados en contenedores inteligentes encapsulados de dimensiones modulares y fáciles de interconectar, habrá mejoras significativas al desempeño logístico y reducción de robo al transporte de carga.

Por su parte De la Torre et al. [7] destacan que en México el robo al autotransporte de carga se ha convertido en uno de los riesgos más importantes para la eficiencia y la competitividad de las cadenas de suministro. Analizan las variables que influyen en el

riesgo de robo a través del enfoque de estadística multivariada, como análisis de componentes principales, así como de la metodología Delphi y procesos de jerarquización analítica para obtener una función de índice de riesgo. Tanto De la Torre [7] como Cedillo-Campos [8] y Cedillo-Campos, et al. [9], señalan que obtener información sobre robos al autotransporte de carga, es muy difícil debido a que esa información no se localiza en una base de datos confiable, regularmente alimentada y fácilmente consultable.

Si bien existen varias razones, aquí mencionamos tres principales. Desde la perspectiva privada, las empresas afectadas no siempre reportan la información derivada de un robo. Si bien esto incluye a su vez, también varios motivos, una de ellas muy importante tiene que ver con el impacto negativo que un incidente de este tipo puede tener en sus marcas. Desde el punto de vista público, la falta de capacitación, así como de los medios tecnológicos adecuados para la correcta recolección, captura y análisis de la información sobre incidentes de robo, favorecen la inexactitud de los datos publicados por los organismos del sector público. Además, cuando se busca la colecta de información sobre robo por medios indirectos, se presentan desviaciones intrínsecas a las opiniones de los expertos, por mencionar una de las técnicas de recolección indirecta de información. En cualquier caso, en todas las bases de datos actuales, la información se encuentra clasificada por tipo de producto. Pero un enfoque que permita la evaluación del riesgo para embarques con productos combinados no existe aún. Es en esta área de oportunidad que se ubica nuestro trabajo.

En este sentido es que profundizamos el análisis de trabajos previos. Por ejemplo, sobre un aspecto clave del Internet Físico, los contenedores, el análisis expuesto por Montreuil, Ballot, y Tremblay [10], permite comprender mejor el funcionamiento del encapsulado de los productos. Este inicia con la caja de un camión llamada contenedor modular, donde adentro, se ubican los *“handling containers”* (contenedores de manipulación o contenedores H) que corresponde a los pallets formados con la mercancía y finalmente dentro de estos, los contenedores Π o π , los cuales son cajas que corresponden al empaque del producto. Los autores destacan que en países europeos ya se realizan modelos físicos de contenedores para su uso en la industria y transporte.

Sobre esta perspectiva avanzamos en el análisis sobre la seguridad de los flujos en las cadenas de suministro. Identificamos que, además del transporte, otra importante área de oportunidad la representa el manejo de las mercancías dentro de los almacenes. En este sentido, Cedillo-Campos, M. y Cedillo-Campos H. [11] proponen el método llamado w@reRISK, el cual evalúa el nivel de riesgo de seguridad al que están expuestos los productos dentro de un almacén. Los autores presentan un modelo cuantitativo que evalúa el nivel de riesgo de seguridad de cada producto y como resultado, impulsa una mejor clasificación y localización de los productos dentro del almacén para mejorar la efectividad de los flujos dentro del mismo.

En este contexto, la corporación RAND [12] ha desarrollado herramientas estadísticas que permiten ser aplicadas a la problemática aquí abordada. Entre ellas las estadísticas multivariantes como la “*clasificación*” y los “*conglomerados*”. La primera, se utiliza para predecir si un área dada será de alta, media o baja peligrosidad por un determinado periodo de tiempo (meses, trimestres, etc.). De este modo, la clasificación o análisis discriminante funciona con un conjunto de objetos ya clasificados en una serie de grupos. La segunda, permite agrupar datos con atributos similares, por ejemplo, en un robo los atributos pueden ser el vecindario, hora del día, objetos robados, entre otros. A pesar de que el trabajo no es alusivo al transporte, es factible su uso como herramienta para analizar el problema del robo al autotransporte de carga.

De manera general, fue posible constatar que, si bien existe un amplio número de reportes técnicos, artículos científicos y documentos de referencia sobre el tema de mejorar la seguridad del autotransporte de carga, en realidad, en la mayoría de los casos (excepto cuando se trata de mensajería), se supone que los embarques transportados son homogéneos, es decir, no son una mezcla de productos diversos. Lo anterior dejó visible el área de oportunidad para el desarrollo de un modelo cuantitativo que considere la mezcla de productos con diferentes niveles de riesgo, según la zona por la que se desplazan.

1.2 Definición del problema

Como lo señalan Yang, Ballot, y Cedillo-Campos [5], desde la perspectiva de seguridad de la cadena de suministro, la aplicación de PIC “(*Physical Internet handling Containers*)” reduce significativamente los riesgos en el robo de carga. Lo anterior, por dos razones principales.

Primero, los PIC están diseñados con la capacidad para contener diferentes productos en el mismo contenedor (mix de productos) o en varios contenedores. Inicialmente, esta propiedad tuvo el propósito de elevar el factor de carga de los vehículos, pero la misma mitiga el riesgo de robo al mezclar productos de alto valor con aquellos de bajo valor. Se trata de una propiedad en donde los embarques conteniendo productos de alto y bajo valor se mezclan. En este contexto, someten a los criminales a un reto similar al que deben enfrentar los participantes del “*juego de la bolita*”³ [5]. Sobre todo, porque aumenta la dificultad para encontrar los “*productos correctos*” que hacen “*rentable*” la acción de los criminales (tamaño económico de botín⁴), pero también, en caso de que el camión completo sea secuestrado, la “*pérdida total potencia*”⁵ se reduce.

Segundo, los PIC están diseñados en tamaños modulares para consolidar-desconsolidar bloques de contenedores, a través de la propiedad de ensamble. En comparación con el embalaje de pallet actual, esta propiedad aumenta las dificultades para la descarga. Lo anterior, si no se cuenta con acceso a los mecanismos que desbloquean el ensamble de contenedores.

Nuestro supuesto de base es que, derivado de la alta “*especialización logística por tipo de producto*” que han adquirido las bandas criminales, la captura de “*embarques completos*” de un mismo producto, es lo que está “*rentabilizando*” la acción criminal contra los medios de transporte⁶. Desde luego este supuesto deja de lado la potencial acción de

³ Juego denominado “*Trile*” que de acuerdo con la Real Academia Española (RAE) se define como: “*juego callejero de apuestas fraudulentas que consiste en adivinar en qué lugar de tres posibles se encuentra una pieza manipulada*”

⁴ Término inspirado del concepto de “*Tamaño Económico de Pedido (EOQ)*” utilizado en teoría de inventarios.

⁵ Término que refiere a la pérdida que se generaría si se pierde un embarque completo de un tipo “*valioso*” de producto. Valioso entendiéndolo que lo es para el grupo criminal especializado en ese tipo de producto y que, por lo tanto, le hace altamente rentable la operación.

⁶ Las bandas criminales también calculan los costos asociados que deben asumir para cada ocasión en que buscan capturar, mover, almacenar, distribuir y vender los productos robados. De este modo, una lógica de efectividad operativa priva también en sus acciones.

Estado para ejercer una acción coercitiva que penalice sustancialmente este tipo de actividades criminales. En consecuencia, se plantea que si el botín es de un “*embarque completo*”, el dispositivo criminal para el robo se vuelve “*rentable*” debido al volumen de mercancías capturado⁷. Sin embargo, si esa cadena de suministro criminal altamente especializada, se encuentra con que solo un porcentaje del envío es susceptible de reeditar en una “*ganancia*”, el incentivo del robo al autotransporte en carretera, podría disminuir. Desde luego para manejar mezclas de productos en cada embarque, se incurrirá en costos de organización logística. Sin embargo, se debe considerar que es válido argumentar que tenderían a reducirse a través del tiempo, como resultado de las eficiencias obtenidas tanto para el incremento en la curva de aprendizaje, por las mejoras operacionales y tecnológicas derivadas de la mejora continua del proceso.

En este trabajo se supone entonces que, con la adopción del enfoque aquí propuesto y debido a la especialización por producto y región de las bandas criminales, al capturar estos vehículos cargados con diversos porcentajes de diferentes tipos de productos, no alcanzarían la rentabilidad suficiente. Ante ello se prevén dos potenciales escenarios. Uno podría ser aquel en el que las bandas criminales se orienten a la captura de embarques de aquellas empresas que no hayan aún adoptado el enfoque propuesto. Otro podría ser aquel en el que, si las empresas adoptan masivamente el enfoque de mezclar productos en sus embarques, las bandas criminales deberán reducir el volumen de recursos humanos y tecnológicos para seguir siendo rentables. En el primer escenario, se tendría un impulso a la adopción del enfoque de Internet Físico, lo cual conllevaría, independientemente de la reducción de los riesgos de robo, reducción constante del costo logístico total. En el segundo escenario, además de reducir de forma constante el costo logístico total, se tendría el mismo efecto en la peligrosidad de las bandas criminales.

Sin embargo, podemos argumentar que si las bandas criminales persistieran en mantener el mismo nivel de recursos humanos y materiales, para alcanzar a cubrir sus “*costos mínimos de operación*”, más su ganancia, se verían obligados o a, capturar más envíos

⁷ Esto se hace aún más evidente si se observa que en lugares donde los productos robados son ofrecidos al cliente final (tianguis y mercados), los “*vendedores*” sólo cuentan con un único tipo de producto en su oferta. Esto demuestra la necesidad de las bandas criminales de “*masificar*” los flujos dentro de su cadena logística para alcanzar las economías de escala que hagan rentable su actividad.

o a dejar su especialización por producto y región o a desarrollar alianzas con otras bandas criminales especializadas en otros productos. En todos los casos anteriores, la pendiente en la curva de costos tendería a ser mayor que la de la curva de beneficios. De este modo, podemos decir que la capacidad logística para manejar diversidad de productos con diversos niveles de riesgo en cada embarque, es una “*tecnología*” de procesos, que permitirá incrementar la seguridad en el transporte de carga.

Es en este contexto, que el presente trabajo busca proponer un modelo que permita analizar la mezcla de mercancías para mitigar el riesgo de robo en el autotransporte de carga. Para ello, se propone un modelo cuantitativo que permita evaluar las ventajas organizacionales y tecnológicas desarrolladas con base en el enfoque del Internet Físico.

1.3 Justificación

El Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP) [13] es una entidad pública a través de la cual se colectan y difunden estadísticas de la actividad criminal en México. Entre ellas, el número de unidades robadas y denunciadas ante las autoridades. Dicha entidad reporta que para el año 2019 existieron un total de 11,662 denuncias de robo a transportistas, a diferencia del año 2018 con 13,068 registros, es decir, una diferencia de 1,406 registros que representa el 10.8% de disminución. Los datos anteriores muestran que el robo al autotransporte de carga es un tema crítico para la competitividad logística, y económica del país. Además se nota la gran diferencia de registros comparado con Sensiguard,[4] en el año 2019 con 17,503 incidentes de robos a transporte de carga, es decir la mayoría de los transportistas buscan ayuda privada.

Como una de las vulnerabilidades más importantes de las cadenas de suministros operando en México, y en general, en los países emergentes, son los robos al autotransporte federal de carga. Estos van desde el robo únicamente de las mercancías, hasta el robo de los vehículos de carga incluyendo la mercancía que transportan, para después, en algunos casos, abandonar los vehículos. Lo anterior, entre otros modos de operación. Mitigar este tipo de riesgo no solo favorecería a la reducción del costo logístico total de las empresas, sino que también, se incrementaría la competitividad del país al

reducir el número de eventos y pérdidas. En este sentido, partimos desde el enfoque de mitigación para atacar el problema establecido.

Se adopta el enfoque de “*mitigación*”, debido a que el problema abordado es dinámico y, por lo tanto, se debe aceptar que siempre es posible que las bandas criminales encuentren otras maneras de continuarlo. Es decir, se debe aceptar que esta problemática difícilmente desaparecerá totalmente, pero que es fundamental para el Estado, controlarlo en niveles mínimos.

1.4 Hipótesis

Si se desarrolla un modelo que permita calcular los costos de re-organizar los procesos logísticos desde el enfoque del Internet Físico, al mezclar diferentes productos con diferentes niveles de riesgo en un solo envío de carga, entonces, debido a la alta especialización de los grupos criminales por tipo de producto, la captura de lotes incompletos de productos de su interés, les redundará en sobre costos y tenderán a reducir los incentivos para su actividad.

1.5 Objetivos

Los objetivos tanto el general como los específicos para la presente investigación se enuncian a continuación.

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo cuantitativo que permita valorar el nivel de reducción del riesgo de robo en el autotransporte de carga, considerando para ello, el enfoque de Internet Físico.

1.5.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Calcular el tamaño económico de botín como medio para medir el potencial de reducción del robo al autotransporte con base a los costos asociados;
- Identificar las mercancías susceptibles de ser agrupadas en un solo embarque, considerando su nivel de riesgo de robo por zona geográfica de su traslado;
- Establecer la mezcla de mercancías que reduce el nivel global de riesgo de robo para un embarque consolidado.

1.6 Metodología

Para la presente investigación se adoptó un enfoque de investigación abductivo. Dicho enfoque combina aspectos teóricos y empíricos favoreciendo el desarrollo de nuevo conocimiento. Este enfoque inicia con un pequeño conjunto de información teórica, recolectada de fuentes primarias (entrevistas, visitas de campo, revisión de la literatura, etc.) y sirve para tener un primer acercamiento de la realidad del objeto de estudio.

Con esta información, se va hacia el terreno de operación real con el fin de contrastar la información teórica, con la realidad. Pero es en realidad a través de idas y vueltas entre la teoría y la práctica, que se va construyendo el nuevo conocimiento. Este enfoque propuesto por Kovács y Spens [14], es comúnmente usado en casos de estudio e investigaciones aplicadas.

Es desde esta perspectiva que, para lograr los objetivos de la presente investigación, se diseñaron las siguientes etapas:

Etapas 1. Contexto.

Se realizó una revisión de la literatura sobre investigaciones previas vinculadas al análisis de riesgo de robo en el autotransporte de carga. Asimismo, se revisó lo actualmente publicado y utilizable dentro del área del Internet Físico. Del mismo modo, se estudiaron referencias sobre herramientas estadísticas. Además, se estudiaron las medidas legales y reglamentarias vigentes que han buscado mitigar el riesgo de robo. Finalmente se procedió a conceptualizar el problema e identificar aspectos clave que contribuirían a la definición del contexto que debe medir el modelo desarrollado.

Etapa 2. Análisis.

Una vez realizada la etapa 1, se procedió a definir un primer modelo. Una vez consultada una parte de la literatura y bases de datos disponibles, se procedió a analizar, entre otros, las estadísticas de las principales mercancías transportadas, su índice de robo y el “a priori” sobre cómo agrupar las mercancías para su mezcla (ver figura 1.2). Para concluir esta etapa se analizó la metodología basada en el modelo de inventarios de un solo periodo, sin costo de preparación. Esto será un elemento clave que permitió mejorar la perspectiva de implementación del modelo.



Figura 1.2. Diagrama del procedimiento sobre el análisis de las mercancías.

Etapa 3. Resultados

En esta última etapa, se procedió a realizar el análisis con escenarios de prueba. Se buscó determinar la importancia de la implementación del Internet Físico, para constituir embarques mezclados y así mitigar el robo al autotransporte. En esta etapa también se buscó la divulgación de los resultados en congresos y finalmente, establecer conclusiones finales. De manera esquemática se presentan las etapas en la figura 1.3.

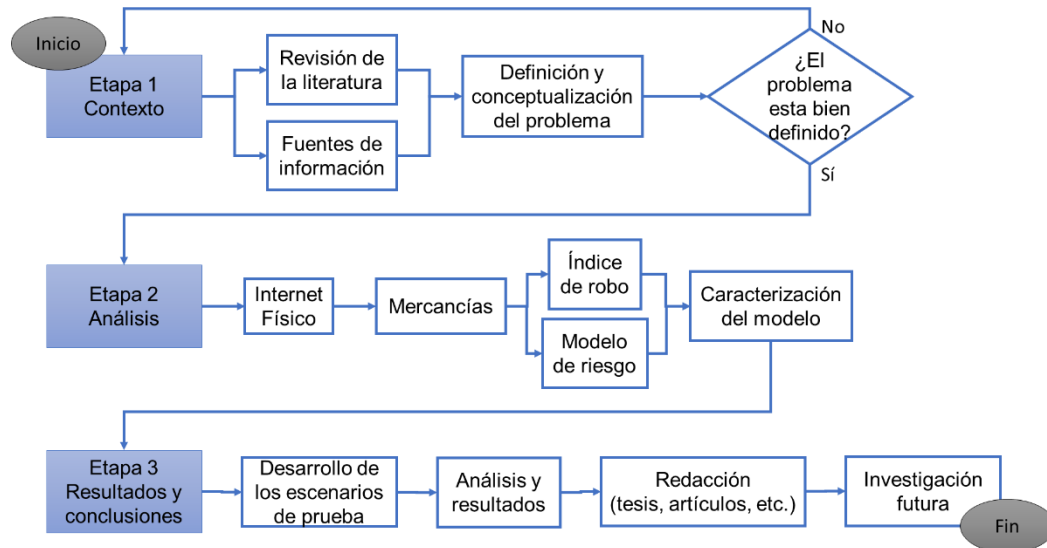


Figura 1.3. Metodología general.

1.7 Alcances y limitaciones

Para el presente trabajo de investigación, se establecieron los siguientes alcances y limitaciones:

Alcances

- Exponer el enfoque del Internet Físico como alternativa a la logística actual, delimitándolo a evaluar el uso de sus contenedores modulares con el interés de mezclar productos que se puedan combinar. Considerando además, los costos extras que se puedan originar por introducir candados a estos contenedores.
- Proponer un modelo basado en el modelo de inventario de un solo periodo, conocido como “*vendedor de periódicos*”. Se describirá cada una de sus variables y como este es de utilidad para el modelo propuesto.

Limitaciones

- Debido a las restricciones para utilizar datos reales, se optó por el desarrollo de una simulación altamente apegada a la realidad. Para ello se tomó como una base de datos importantes, la información que se tiene disponible en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), sobre los productos enviados y que queda registrado en las cartas de porte.

- Áreas de oportunidad no consideradas debido a que es aún necesaria una prueba de concepto en el terreno. Debido a lo anterior, el presente documento puede servir de base para el desarrollo de una “*Prueba Piloto*” en tiempo real, la cual permita más datos de campo para constatar las ventajas y limitaciones del modelo propuesto.

1.8 Resultados esperados

Los impactos esperados de la presente investigación pueden ser clasificados en tecnológicos, económicos, científicos y sociales, los cuales a continuación se exponen:

- **Tecnológicos:** Gracias al desarrollo de una herramienta informática operando bajo la nueva perspectiva de cadena de suministro basada en el Internet Físico, es posible contar con una herramienta que permite evaluar la cantidad de mercancías a embarcar de cada producto, para determinar la mezcla con menor riesgo de robo para los tramos carreteros a circular.
- **Económico:** Como resultado de adoptar el modelo aquí propuesto, se podría esperar un impacto positivo en la economía del país al hacer un mejor uso de su infraestructura de transporte y logística, así como un decremento en el costo logístico total, redundando en precios más accesibles para el consumidor final. Igualmente, la racionalización en el uso de los vehículos de carga, permitirá reducir el impacto al medio ambiente, incrementado la seguridad vial.
- **Científico:** La evidencia obtenida, muestra que el presente trabajo hace una contribución al cuerpo de conocimiento del área en logística, ya que propone un modelo cuantitativo capaz de medir una nueva forma de transportar mercancías reduciendo su riesgo de robo.
- **Social:** La implementación del modelo aquí propuesto, traería el beneficio social de reducir actos delictivos.

1.9 Estructura del documento

El documento se encuentra estructurado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se lleva a cabo una revisión de la literatura sobre el Internet Físico y el problema del robo al autotransporte de carga. Se incluye información sobre el modelo de inventarios de un solo periodo (vendedor de periódicos) y la base de datos sobre el movimiento de las mercancías en el país. En el capítulo 3 se describe a detalle el método propuesto para alcanzar los objetivos, como son i) aprovechar las características del Internet Físico para ii) mitigar el robo en el autotransporte de carga e iii) impulsar a las empresas a trabajar de manera colectiva por un bien común a través iv) de un conjunto de acciones (procedimiento). En el capítulo 4 se exponen los resultados al implementar la metodología propuesta, como son los π embarques resultado de la mezcla de mercancías, así como el análisis e interpretación correspondiente. En la parte final, el capítulo 5, formula las conclusiones del análisis a lo largo de la investigación, así como futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1 Introducción.

En el México previo a la conquista, el transporte de los productos se hacía sobre la espalda de hombres llamados “*tamemes*”. Estos individuos llevaban artículos en recipientes de bejuco entretejido llamados “*petlacalli*” (caja tejida de caña y cubierta de cuero) el cual era sostenido con mecapales (banda frontal ancha y gruesa de cuero). Su trabajo era transportar bultos de peso aproximadamente de 25 kg sobre sus espaldas alrededor de 21 a 25 km.

Posteriormente, durante el México colonial, se experimentaron reformas en el diseño y operación del transporte de carga. Una de ellas muy importante, fue la adopción del uso de bestias de carga (mulas) y de carretas, lo que aunado al desarrollo de una red de “*caminos reales*”, produjo un importante incremento en la eficiencia del transporte. Durante mucho tiempo se implementó este sistema de transporte, para luego, reconfigurarse como resultado de los subsecuentes desarrollos en la tecnología de los vehículos, así como en la infraestructura [15].

Una importante transformación derivada de la tecnología de los vehículos, surge en 1896, cuando Gottlieb Wilhelm Daimler construye el primer camión con motor de combustión. Con ello, una nueva era en los vehículos de transporte acababa de nacer. Es así que inició el transporte motorizado por carretera y, por lo tanto, la posibilidad de incrementar el tonelaje transportado [16]. Con el tiempo se sumaron otras innovaciones que mejoraron el desempeño de los vehículos. Se comenzaron a utilizar neumáticos de caucho, arrancadores eléctricos y frenos de disco, así como cabinas cerradas. La iluminación empezó a ser eléctrica y los motores ya contaron con 8 cilindros. Poco a poco se incorporaron los camiones pesados al mercado. Con el invento del motor de diésel, en 1933 se lanzó el primer camión de carga con esta tecnología [17]. La ambición expuesta en cada avance por mejorar el transporte de mercancías, tenía como objetivo primordial el incrementar el volumen de toneladas transportadas.

Actualmente se espera que el siguiente gran paso que transformará la operación de los vehículos de carga, sean el desarrollo tanto de vehículos de conducción autónoma [18], como los vehículos de propulsión eléctrica [19]. Sobre la conducción autónoma, Gómez Ginel [18] añade que *“con el tiempo los vehículos autónomos compartidos resultarán en una reducción del volumen general de transportes en circulación, debido a la maximización de la tasa de uso por cada vehículo y a la adaptación progresiva de la sociedad a este nuevo e inteligente hábito, es decir, cuanto más uso se le da a un solo vehículo menos vehículos son necesarios”*. Esto que en cuanto a la movilidad de personas nos parece *“normal”* (compartir vehículos), es de hecho la base sobre la que se funda el enfoque de *“Internet Físico”* para la movilidad de las mercancías. Es por ello que, en cuanto a la tecnología de flujos, mejor conocida como *“logística”*, se espera que la siguiente revolución sea guiada por la implementación del *“Internet Físico”*.

2.2 Internet Físico (PI o π)

El problema abordado en el presente trabajo surge con el interés por mejorar el desempeño de las cadenas de suministro, frente al riesgo que implica la interrupción de los flujos de mercancías debido al robo del autotransporte.

Nuestro análisis parte dándole seguimiento a la solicitud del cliente. Por lo tanto, se inicia con el análisis del flujo de producto que sale de una empresa, el cual es transportado hacia un almacén y de ahí, es transportado a centros de distribución, para finalmente llegar a los minoristas que lo entregan al cliente final, (ver figura 2.4).

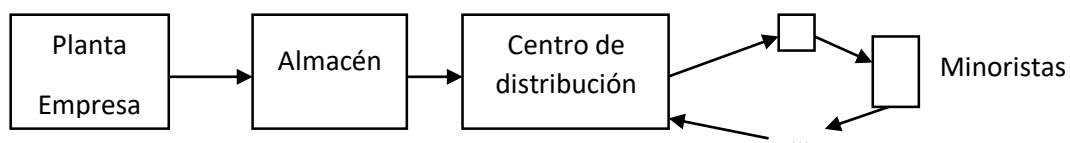


Figura 2.4. Estructura clásica de una cadena de suministro [5].

Cabe resaltar que hoy en día, debido al incremento de las compras en línea, la estructura clásica (ver figura 2.4), está en un proceso de transformación hacia una nueva. Lo anterior puede ser aprovechado para implementar una estructura tipo PI (ver figura 2.5). El enfoque PI plantea el uso “*en común*” de la infraestructura de transporte y logística. Se trata de contar con centros de distribución llamados “ π -hub”, los cuales también son abastecidos por otros π -hubs usados en común por las empresas. De esta manera, los π -hubs son los encargados de enviar las mercancías a las plantas y a los minoristas, (ver figura 2.5).

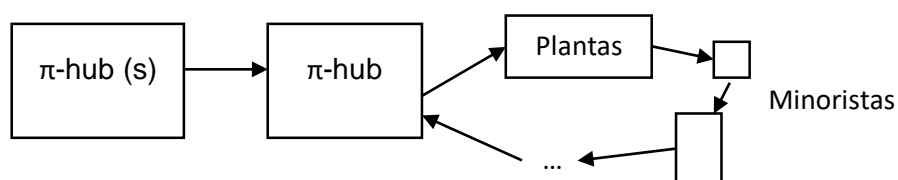


Figura 2.5. Estructura de una cadena de suministro a partir de la perspectiva del Internet Físico [5].

De forma general, se define el Internet Físico como un sistema logístico global abierto, fundado en la interconexión física, digital y operativa, mediante la encapsulación, interfaces y protocolos. Es un sistema en constante evolución impulsado por la innovación tecnológica, infraestructural y empresarial [20].

Dentro de la estructura del Internet Físico se identificó como clave, el traslado y encapsulamiento de las mercancías para analizar los movimientos de carga. De hecho, el encapsulamiento es fundamental. Los llamados π contenedores o contenedores inteligentes, se utilizan para encapsular las mercancías en contenedores modulares los cuales son reutilizables y/o reciclables. En los trabajos de Sallez, Montreuil y Ballot [20] y de Montreuil, Ballot y Tremblay [10, 21], se mencionan los aspectos físicos de estos contenedores. Como se puede observar en la figura 2.6: (a) es la ilustración de un contenedor modular de 6 metros de largo, 2.4 metros de ancho y 2.4 metros de alto, denominado T-20S; (b) muestra la encapsulación de los “*handling containers*” (contenedores de manipulación o contenedores H) que corresponde a los pallets formados con la mercancía en un contenedor modular; y (c) muestra los contenedores

de empaquetado (contenedor P modular o π cajas), es decir, el empaquetado del producto, los cuales son encapsulados en un contenedor de manipulación.

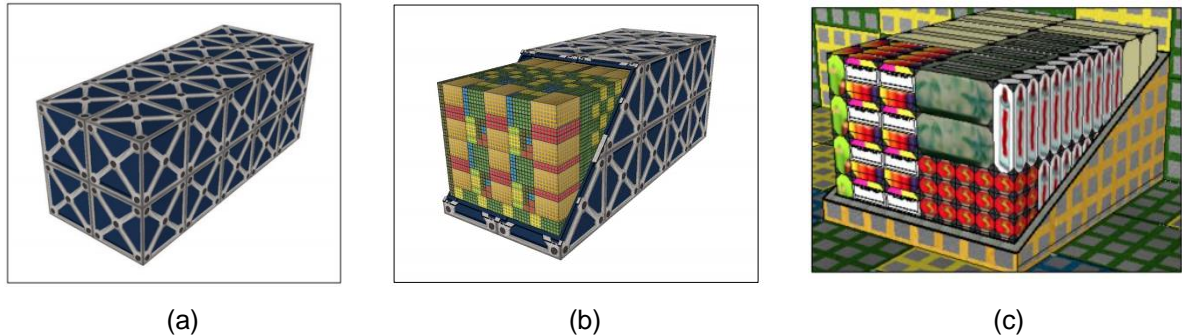


Figura 2.6. Ilustración de los contenedores modulares [18].

Como se puede observar, el encapsulamiento con candado es una forma de evitar los robos de mercancía. Sin embargo, su implicación genera costos que pueden complicar la rentabilidad de su uso por parte de las empresas, es por ello, que un modelo operativo deber ser diseñado e implementado. La idea del Internet Físico surge como una analogía de las redes informáticas, es decir, de los conceptos del internet digital como su interconexión, estructura y enrutamiento, pero aplicados a la logística del transporte de mercancías.

Considerando estas ventajas, analizaremos la factibilidad de consolidar envíos de forma que se integre una “mezcla” adecuada de mercancías, tomando en cuenta su nivel de riesgo. Para ello nuestro siguiente paso será, determinar el tamaño de lote económico, así como fortalecer un elemento clave para la medición del riesgo, lo que se denomina “Índice de riesgo”.

2.3 Tamaño económico de pedido (modelo del vendedor de periódicos)

El objetivo es establecer la cantidad a partir del cual, un asalto se vuelve rentable. Si bien se trata de una tarea compleja, nuestra ambición fue la de establecer un parámetro viable. El modelo del vendedor de periódicos resulta fundamental para el objetivo de establecer

la mezcla de productos dentro de un embarque que no cruce el umbral a partir del cual resulta rentable un asalto.

Los modelos de inventario de un solo periodo están diseñados para los productos perecederos, es decir mercancías que pueden mantenerse en inventario por un periodo de tiempo muy limitado antes de que no puedan venderse. Este modelo permite identificar la cantidad de pedido diario que maximiza el beneficio esperado [22]. Entre los tipos de perecederos con la característica de venderse durante un periodo limitado de tiempo (un día, una semana, un mes o incluso en conjunto de meses: bimestre, trimestre, etc.), se encuentran mercancías como: periódicos, revistas, flores, alimentos frescos, fruta y verdura, entre otros. Es decir, cualquier producto que quede obsoleto en un corto periodo de tiempo [20]. Para el caso del robo, un corto periodo, hace referencia a la mercancía atracada que se mueve en un viaje.

De este modo, el modelo del “Vendedor de Periódicos” se expresa matemáticamente como sigue:

$$G(Q) = CV * \min(Q, D) + CR * \max(0, Q - D) - CC * Q \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- D → Demanda de periódico (aleatoria);
- Q → cantidad a ordenar;
- CC → costo de compra. Lo que le cuesta al vendedor cada periódico;
- CV → cantidad de venta. Precio al que realiza sus periódicos el vendedor;
- CR → cantidad de remate. Precio de rescate por periódicos en remate; y
- G → Ganancia

El supuesto de este modelo incluye el que no se cuenta con un inventario inicial y costo de preparación. Otro punto importante es que se debe contar con información para determinar la función de distribución de probabilidad de la demanda. En caso de no contarse con ese dato, es posible recurrir al método de bondad de ajuste o apoyarse en

un software especializado como “EasyFit”, para generar una lista de posibles distribuciones.

Los costos y variables involucrados en la ecuación (1) permiten calcular un valor Q que maximiza la función, la cantidad óptima a ordenar. Aplicado a nuestro objetivo, este modelo nos permitió comprender el umbral mínimo que permitiera transportar un conjunto de mercancías, evitando que su robo resultara rentable a los grupos criminales prevaecientes en la ruta de transporte definida. Sin embargo, esto debió ser complementado con una valoración sobre su nivel de riesgo.

2.4 Índice de riesgo

El elemento fundamental que permite establecer el nivel de riesgo de un envío de mercancías es el índice de riesgo. El índice de riesgo fue calculado con base en los factores que involucran el robo al autotransporte como son: i) ruta, ii) tipo de vehículo, iii) tipo de mercancía transportada, iv) factor humano; y v) carreteras con o sin peaje por las cuales circulan las mercancías. Con base en este enfoque, De la Torre et al. [7] propusieron la siguiente formula:

$$I_R = Pp + Hh + Z \sum_{j=1}^n A_j z_{aj} + Vv + Cc \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- Pp → Proporción del factor tipo de producto.
- Hh → Proporción del factor humano.
- $Z \sum_{j=1}^n A_j z_{aj}$ → Proporción del factor zona Z, A_j porcentaje de la ruta en el estado j-ésimo y z_{aj} porcentaje del recorrido de la mercancía por los estados involucrados.
- Vv → Proporción del factor tipo de vehículo.
- Cc → Proporción del factor tipo de carretera.

En la ecuación (2) la letra mayúscula representa la ponderación de cada factor basada en la opinión de expertos, y la letra minúscula representa la ponderación para cada factor

según sus categorías. Esta última información toma como base el reporte de robos de carga en México emitidos por empresas como SensiGuard, por mencionar alguna.

De este modo, para el factor producto se tienen tres categorías: alta, media y baja. Siendo la categoría alta la de mayor ponderación, y así sucesivamente hasta la menor categoría, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. *Tabla de factores de riesgo y sus categorías respectivas.*

Factor	Categorías
Producto	Alto Medio Bajo
Humano	No aplica controles de seguridad Certifica solo operadores Identifica y certifica personal clave
Zona	Severo Alto Medio Bajo
Vehículo	Camión 3.5 toneladas Camión de dos ejes (C2) Camión de tres ejes (C3) Camión articulado
Carretera	Libre de peaje Con peaje Mixta

Este análisis permitió robustecer el modelo matemático que identifica las posibles variables de riesgo involucradas en el envío de mercancías desde el enfoque del Internet Físico. Sin embargo, para fortalecer la presente fórmula, se estimó necesario identificar las diferentes mercancías a través de una fuente de datos.

2.5 Fuente de datos

Para la presente investigación, se hizo uso de la base de datos de cartas de porte 2017 con la que cuenta el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Dicha base se alimenta de la captura y análisis de las cartas de porte. Documento oficial que deriva de las operaciones del autotransporte federal de carga en México. Entre los datos que aporta están: i) estado de origen; ii) estado de destino; iii) tipo de mercancías transportadas; iv) costos de flete; entre otras (ver tabla 2.2).

Tabla 2.2. Base de datos de las cartas de porte 2017.

id	id_r	nombre	carta	RFC	FECHA	mes	id_cit	nombre	direccion	rfeR	nombre	direccion	rfeD	id_ruta	estadoR	ciudadR	estadoD	ciudadD	distancia	
1	1	VFP TRAF	1758	VTM0605	#####	7	1	CEDESM	BLVD. OSI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	618	CHIHUAH	CD. JUÁRI	NUEVO LE	MONTERREY	114	
2	2	VFP TRAF	1673	VTM0605	#####	7	2	CEDESM	BLVD. OSI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	618	CHIHUAH	CD. JUÁRI	NUEVO LE	MONTERREY	114	
3	3	VFP TRAF	1657	VTM0605	#####	7	3	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
4	4	VFP TRAF	1674	VTM0605	#####	7	4	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
5	5	AUTOLINE	11977	ACA69072	09/10/2017	10	5	BACHOCI	FRAY MA	BAC80020	BACHOCI	CALLE FR	BAC80020	4003	SINALOA	CULIACÁN	HIDALGO	TEPEJIL DEL RÍO	1151	
6	6	VFP TRAF	1679	VTM0605	#####	7	6	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
7	7	AUTOLINE	11973	ACA69072	18/10/2017	10	7	BACHOCI	CARR. EL	BAC80020	BACHOCI	CALLE FR	BAC80020	4015	SINALOA	CULIACÁN	ESTADO C	CUAUTITLÁN	1182	
8	8	VFP TRAF	1680	VTM0605	#####	7	8	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
9	9	AUTOLINE	11757	ACA69072	#####	7	9	COMERCI	AV. ANTIG	CEL47022	COMERCI	CALZ. AEF	CEL47022	2710	ESTADO C	XALOSTO	SINALOA	CULIACÁN	1210	
10	10	VFP TRAF	1686	VTM0605	10/07/2017	7	10	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
11	11	AUTOLINE	11759	ACA69072	#####	6	11	COMERCI	CARR. EL	CEL47022	COMERCI	CARR. INT	ND	3732	SINALOA	CULIACÁN	SONORA	CD. OBERGÓN	1445	
12	12	AUTOLINE	11759	ACA69072	01/07/2017	7	12	COMERCI	AV. ANTIG	CEL47022	COMERCI	CALZ. AEF	CEL47022	2710	ESTADO C	XALOSTO	SINALOA	CULIACÁN	1210	
13	13	VFP TRAF	1690	VTM0605	10/07/2017	7	13	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
14	14	AUTOLINE	11761	ACA69072	01/07/2017	7	14	COMERCI	CARR. EL	CEL47022	COMERCI	CALZ. AEF	CEL47022	2710	ESTADO C	XALOSTO	SINALOA	CULIACÁN	1210	
15	15	VFP TRAF	1691	VTM0605	11/07/2017	7	15	LARROC	L 6420	BOEI	ND	CEDESM	CAMINO	ND	168	TEXAS	EL PASO	NUEVO LE	MONTERREY	1208
16	16	AUTOLINE	11764	ACA69072	#####	7	16	TRANSPC	CALZ. DE	TPI730201	TRANSPC	CALZ. DE	TPI730201	5711	JALISCO	TEPATITL	SONORA	HERMOSILLO	1426	

2.6 Conclusión

A través del presente capítulo, hemos elaborado una revisión de la literatura relacionada con el robo en el autotransporte de carga y sus impactos al sistema logístico de las empresas y del país. Con el interés de identificar soluciones viables para mitigar este flagelo, se estudió el trabajo realizado por Yang, Ballot, & Cedillo-Campos [6], donde los autores argumentan que: *“si los productos se combinan y son trasladados en contenedores inteligentes encapsulados de dimensiones modulares y fáciles de interconectar habrá mejoras significativas al desempeño logístico y reducción de robo al transporte de carga”*. Es de aquí que tomamos las bases teóricas del enfoque de Internet Físico como potencial solución. Lo anterior fue enriquecido con el concepto de índice de riesgo, el cual favoreció la comprensión del problema y sus aspectos.

Cabe resaltar que estos temas combinados en la búsqueda de la bibliografía resultaron escasos, por lo que se recurrió a un efecto de bola de nieve a partir de [6]. A partir de esta publicación, se analizaron temas por separado. Sobre Internet Físico, se limitó la búsqueda a contenedores modulares, y a como se estructura dicho tema. Como lo señala Sallez, Montreuil y Ballot [20], la idea del Internet Físico surge de conceptos del internet digital como lo son su interconexión, estructura y enrutamiento, pero aplicados a la logística del transporte de mercancías. También Montreuil, Ballot y Tremblay [21] describen los contenedores modulares que se han tomado en cuenta para el análisis de la mezcla de mercancía a enviar. Lo que llevó a investigar modelos sobre el tamaño de pedido a embarcar y el riesgo latente por transportar dicha mercancía.

En cuanto al índice de riesgo se identificó la propuesta De la Torre et al. [7], en donde se destacan factores que involucran el robo al autotransporte como son la ruta, el tipo de

vehículo, tipo de mercancía transportada, el factor humano y carreteras con o sin peaje por las cuales circulan las mercancías.

La conexión entre el Internet Físico y el índice de riesgo como lo comentan Yang, Ballot, & Cedillo-Campos en [6] es por medio del tipo de mercancías. Al ser robada la mercancía por los atracadores, ellos se ven en la necesidad de vender lo más pronto posible. Es así que se consideró a la mercancía robada como perecedero y llevarnos a investigar el modelo de inventarios de un solo periodo. En consecuencia, un reto importante fue integrar una metodología que involucrara todos estos componentes, y así enriquecer la documentación científica en logística sobre el tema de robo en el autotransporte de carga, como parte de un riesgo disruptivo en una cadena de suministro.

3.1 Introducción

Para la presente investigación se adoptó un enfoque de investigación abductivo (ver figura 3.7), que favorece el desarrollo de conocimiento nuevo. Es decir, a través de idas y vueltas entre la teoría y la práctica se desarrolla conocimiento y nuevas aplicaciones prácticas [24].

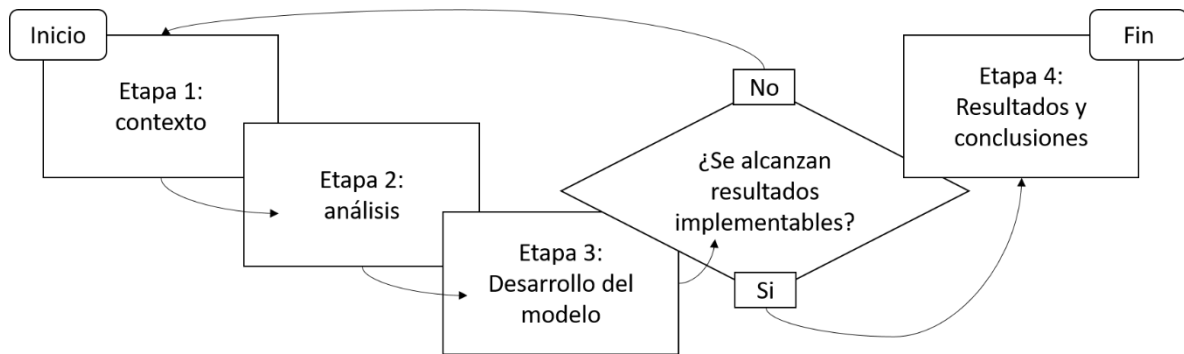


Figura 3.7. Método.

El método utilizado para lograr nuestro objetivo consistió de cuatro etapas. La primera etapa involucró la revisión de la literatura, así como fuentes de información y teoría relacionada, todo lo cual, nos permitió definir y conceptualizar el problema. La segunda etapa consistió en el análisis y la implementación de los conceptos que conforman el cuerpo de conocimiento del Internet Físico. La tercera etapa involucró el desarrollo del modelo aquí propuesto. Finalmente, la cuarta etapa involucró el análisis de los resultados, así como la obtención de conclusiones.

Con ayuda de la revisión de la literatura y la base de datos de cartas de porte 2017, el siguiente paso fue desarrollar un análisis detallado del robo al autotransporte de carga desde el enfoque del Internet Físico. Se consideró que, dada la especialización por tipo

de producto de las bandas criminales, las mismas, para rentabilizar su operación necesitan la captura de embarques completos del tipo de productos que les interesa.

De este modo, en la medida en la que se logre operar un modelo de transporte mixto de productos, con suficiente eficiencia logística para las empresas embarcadoras, las bandas criminales se verían afectadas en sus costos, ya que no lograrían rentabilizar sus atracos. Es decir, los costos en los que incurren las bandas en cada operación de robo, no alcanzarían a ser cubiertos al capturar un botín (productos de su interés) en un volumen “*mínimo viable*”. De esta manera, se propuso el diagrama mostrado en la figura 3.8. El mismo fue de ayuda para analizar el conjunto de acciones cuyo objetivo es mitigar el robo.

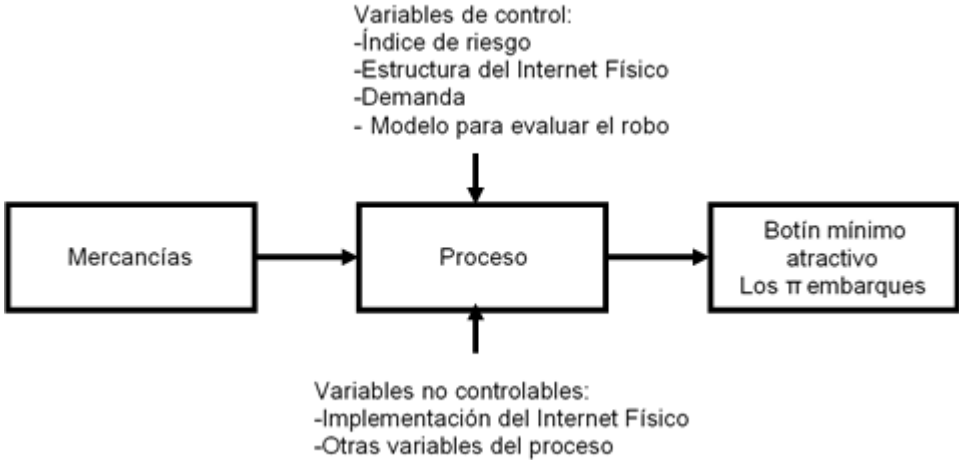


Figura 3.8. Proceso de análisis para definir el tamaño de los π embarques.

En consecuencia, para avanzar en el proceso expuesto en la figura 3.8, fue necesario contar con información de las mercancías que se mueven en el país, y posteriormente, proceder a analizar las variables del proceso. Finalmente, se evaluó la mezcla de mercancías. Entre las variables no controlables se detectó que, en la actualidad, la implementación del Internet Físico en México está aún en una etapa muy temprana. Lo cual plantea al mismo tiempo, tanto un reto, como una oportunidad. Por un lado, el reto de sensibilizar a los diferentes actores de la logística sobre las ventajas. Por otro lado, se presenta la oportunidad de diseñar soluciones innovadoras que tienen altas

probabilidades de influir en el diseño de la futura implementación del Internet Físico en México. Es desde esta perspectiva que se decidió integrar este enfoque en la solución por nosotros diseñada. La figura 3.9 muestra el diagrama de flujo del proceso metodológico realizado para alcanzar los objetivos de nuestra investigación.

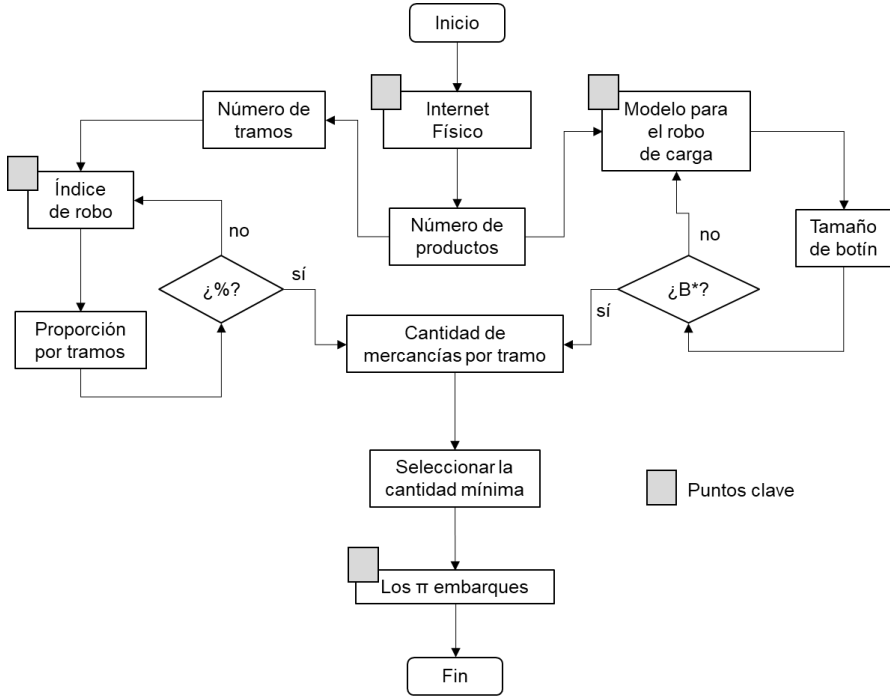


Figura 3.9. Diagrama de flujo metodológico.

3.2 Análisis de las mercancías

Para el análisis de las diferentes mercancías que se transportan en el país, se utilizó la base de datos de cartas de porte 2017 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Esta base se desarrolló bajo un muestreo estratificado. En dicho documento, se encontraron datos como origen, destino, monto del flete, fecha de envío, entre otras. La tabla 3.3, muestra los primeros cinco tipos de mercancías clasificadas por su importancia en el flujo de carga del país.

Tabla 3.3. Muestra de cartas de porte correspondiente a 11, 771 cartas

tipo de mercancía	Total de cartas	porcentaje acumulado
Productos derivados del petróleo y del carbón	4,983	42.33
Industria alimentaria	1,431	54.49
Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	997	62.96
Productos a base de minerales no metálicos	985	71.33
Industria química	956	79.45
Otros	2,419	100

Dentro de los tipos de mercancías detallamos los primeros tres. Primero, dentro del segmento “*productos derivados del petróleo y del carbón*”, se ubican productos como gasolina, diésel y gas L.P. entre otros. Segundo, en el segmento “*industria alimentaria*” se encuentran como: abarrotes, bebidas, cereales, alimentos para animales, entre otras. Tercero, el segmento de productos de la “*agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza*”, incluye el maíz, tomate, pollo vivo, entre otros.

De esta manera, una vez identificados los principales productos que se mueven en la red de carreteras del país, fue necesario conocer las mercancías más robadas. Para ello se consultó el reporte del 2019 emitido por la empresa Sensiguard [4]. Entre ellos se destacó: i) alimentos y bebidas con un 39%; ii) construcción e industrial 9%; y iii) químicos con un 8%. El resto lo representan productos electrónicos y autopartes, entre otros. Puede analizarse la coincidencia entre los productos robados y el volumen de movimientos terrestres. Esto nos permitió, por ejemplo, agrupar “*a priori*” a productos alimenticios y bebidas, con productos de índice de robo menos frecuente como son ropa y zapatos.

3.3 Distribución de probabilidad de la demanda

El siguiente paso fue el conocer la distribución de probabilidad de la demanda. Es decir, se debe conocer bajo cuál función probabilística se encuentra la demanda de los productos que se envían. Una de las limitantes es que frecuentemente no se conoce. Por lo tanto, para ello fue necesario utilizar software especializado o realizar un análisis de bondad de ajuste.

Es así que se procedió a utilizar la prueba de bondad de ajuste a los datos iniciales {12, 23, 43, 54, 23, 21, 22, 11, 43, 23, 43, 54}. Estos corresponden a la demanda de un producto A en cada mes del año respectivamente. Los datos aquí presentados están orientados con el fin de hacer un análisis de bondad de ajuste.

Una vez realizado el paso anterior, se realizó la prueba para verificar si correspondían a una distribución normal. La prueba de bondad de ajuste se rige bajo la siguiente hipótesis:

$$\begin{aligned} H_0 & : \text{ Los datos observados se ajustan a una distribución normal} \\ H_1 & : \text{ Otra distribución} \end{aligned}$$

Basados en Levin y Rubin [25], la prueba de Kolmogorv – Smirnov (K - S), nos permitió comprobar si existía una diferencia significativa entre una función de distribución acumulada empírica y una función de distribución acumulada teórica. Esta prueba puede ser utilizada para muestras pequeñas. Para ello se consideró que el valor estadístico de K – S, $D_n = \max |F_e - F_o|$, se tomó en cuenta que el valor F_o es la frecuencia observada relativa acumulada, y F_e son las frecuencias esperadas relativas acumuladas calculadas con la probabilidad de la distribución en cuestión en este caso la normal para cada clase o intervalo.

De esta manera fue necesario construir una tabla de frecuencias (ver tabla 3.4). El número de clases se define como la raíz del número de datos, en este caso $\sqrt{12} \cong 4$. El ancho que tendrá los intervalos será el rango (dato mayor – dato menor), entre el número de clases, así se determina un ancho de $(54 - 11)/4 = 10.75$. Como ejemplo, el primer intervalo fue (11, 21.75) del cual $21.75=11+10.75$.

Tabla 3.4. Valores para el cálculo del estadístico $K - S$.

i	Clase	Frecuencia f_i	Punto medio x_i	Frecc. Acum.	f_o	f_e	D_n
1	11 – 21.75	3	16.365	3	0.25	0.2187	0.03129
2	21.75 – 32.5	4	27.125	7	0.5833	0.5617	0.02162
3	32.5 – 43.25	3	37.875	10	0.8333	0.8615	0.02819
4=m	43.25 – 54	2	48.625	12	1	1	0
	Total	12				Max	0.03129

El complemento de análisis de datos en Excel al seleccionar “*histograma*”, nos permitió encontrar la columna “*frecuencia*” de los datos en la tabla 3.4, una vez calculadas las clases. De acuerdo con la figura 3.10, primero se debió introducir el rango de entrada (los datos), y en una columna, colocar los valores supremos del intervalo de cada clase, es decir: 21.75, 32.5, 43.25 y 54 e indicarlos en el rango de clases. El siguiente paso fue indicar las opciones de salida, de este modo se obtuvieron los valores deseados. La siguiente columna es el punto medio de los intervalos ($[\text{límite inferior} + \text{límite superior}]/2$)

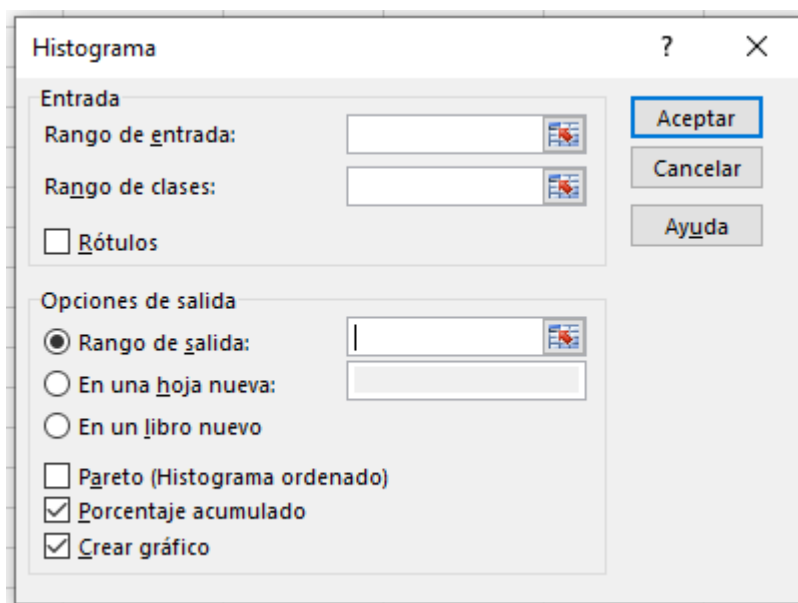


Figura 3.10. Máscara del Complemento de Excel: *histograma*.

El siguiente paso es obtener la media ($\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m f_i * x_i$) de 30.708 y desviación estándar ($var = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m f_i (x_i - \bar{x})^2$) de 11.536 con la tabla 3.4 construida hasta el momento. Continuando con la elaboración de la tabla 3.4, se obtiene la frecuencia acumulativa “*Frecc. Acum.*” y a partir de ella se obtiene la columna f_o , resultando de dividir cada valor de Frecc. Acum. Entre $n=12$.

El comando de Excel para calcular las probabilidades acumuladas de una distribución normal es “=DISTR.NORM.ESTAND.N(z,acumulado)” donde “z” es el valor estandarizado de los datos, que más adelante tomaremos como dato “x” el intervalo superior de cada clase. Para obtener el valor estandarizado de los datos “x” se utilizó “=NORMALIZACION(x,media,desviación_estándar)” con la media de 30.708 y desviación estándar de 11.536. De esta manera se obtiene la columna f_e de la tabla 3.4. El último intervalo, por ser el resto de probabilidad acumulado, es indicado como “1”. Finalmente, “acumulado” es para indicar si el valor es o no acumulado al indicar “VERDADERO/1 o FALSO/0” respectivamente, que en este caso fue el valor de “1”. Por lo tanto, el estadístico K – S es $D_n = 0.03129$.

El siguiente paso fue compararlo con el valor crítico con base en los datos de la figura 3.11. Si consideramos un nivel de significancia de 0.05 y el número de datos corresponde a 12, entonces tiene un valor crítico $D^* = 0.375$. La condición para rechazar la hipótesis nula sería si $D^* < D_n$. Para este caso, no se rechaza la hipótesis nula, es decir los datos se pueden ajustar a una distribución normal.

Tamaño de muestra, n	Nivel de significancia para $D = \text{máximo } F_e - F_o $				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
más de 35	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Figura 3.11. Valores críticos de D para la prueba de bondad de ajuste de $K - S$ [25].

El caso alternativo es utilizar un software especializado como “*Easy Fit*”, para el cual solo hay que incluir los datos e indicar en el menú “*analizar*” la opción “*ajustar distribuciones*”. Indicar los datos y el tipo de dato (continuo o discreto) para arrojar las posibles distribuciones. Esto con la finalidad de tener una idea de la distribución de sus datos en caso que no se ajusten a una distribución normal.

Otra opción fue utilizar “*Matlab*”. En los anexos se incluye el código para obtener la prueba $K - S$. Con el código se obtuvo un valor lógico h . Este valor contrasta la hipótesis sobre si los datos provienen de una distribución normal o no. Si $h=0$, indica que los datos provienen de una distribución normal, pero si $h=1$, los datos provienen de otra distribución. La figura 3.12, representa la gráfica “*Q - Q plot*” de los datos contra los valores normales estandarizados. Podemos observar que los datos encajan bien con la línea de tendencia. Por lo tanto, es un buen indicador de que los datos originales son aproximadamente normales.

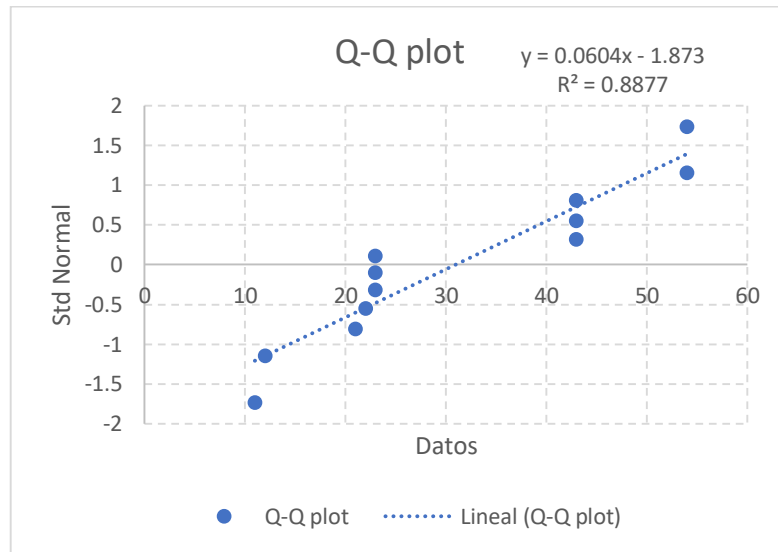


Figura 3.12. Q-Q plot de los datos

Las alternativas que se mostraron tienen la finalidad de conocer la distribución de probabilidad de la demanda. Esta probabilidad se necesitó para los cálculos que requiere el modelo propuesto. A partir de aquí fueron separadas las mercancías. Por un lado, se analizó el cálculo del índice de robo para los productos seleccionados. Por otro lado, con base en el modelo, se identificó el mínimo de productos atractivos a enviar.

3.4 Cálculo del índice de robo.

El cálculo del índice de robo por tramos carreteros se obtuvo al utilizar la herramienta de cálculo interno diseñada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), la cual funciona utilizando parámetros como:

- Ruta, es decir, el origen y destino;
- Tipo de mercancía, es decir, el producto que transporta;
- Factor humano, por ejemplo, si la empresa cuenta con controles de confianza como investigación de antecedentes penales, tanto para los operadores de las unidades como para el personal que tiene contacto con la mercancía o información de despacho de embarques;

- Tipo de vehículo, es decir, la configuración de la unidad que transporta la mercancía; y
- Tipo de carretera, si es de cuota, libre o mixta.

Esta herramienta se encuentra en constante actualización (ver figura 3.13). Ella arroja como resultado un mapa en donde se indica el valor del índice y cómo es catalogado ese valor.

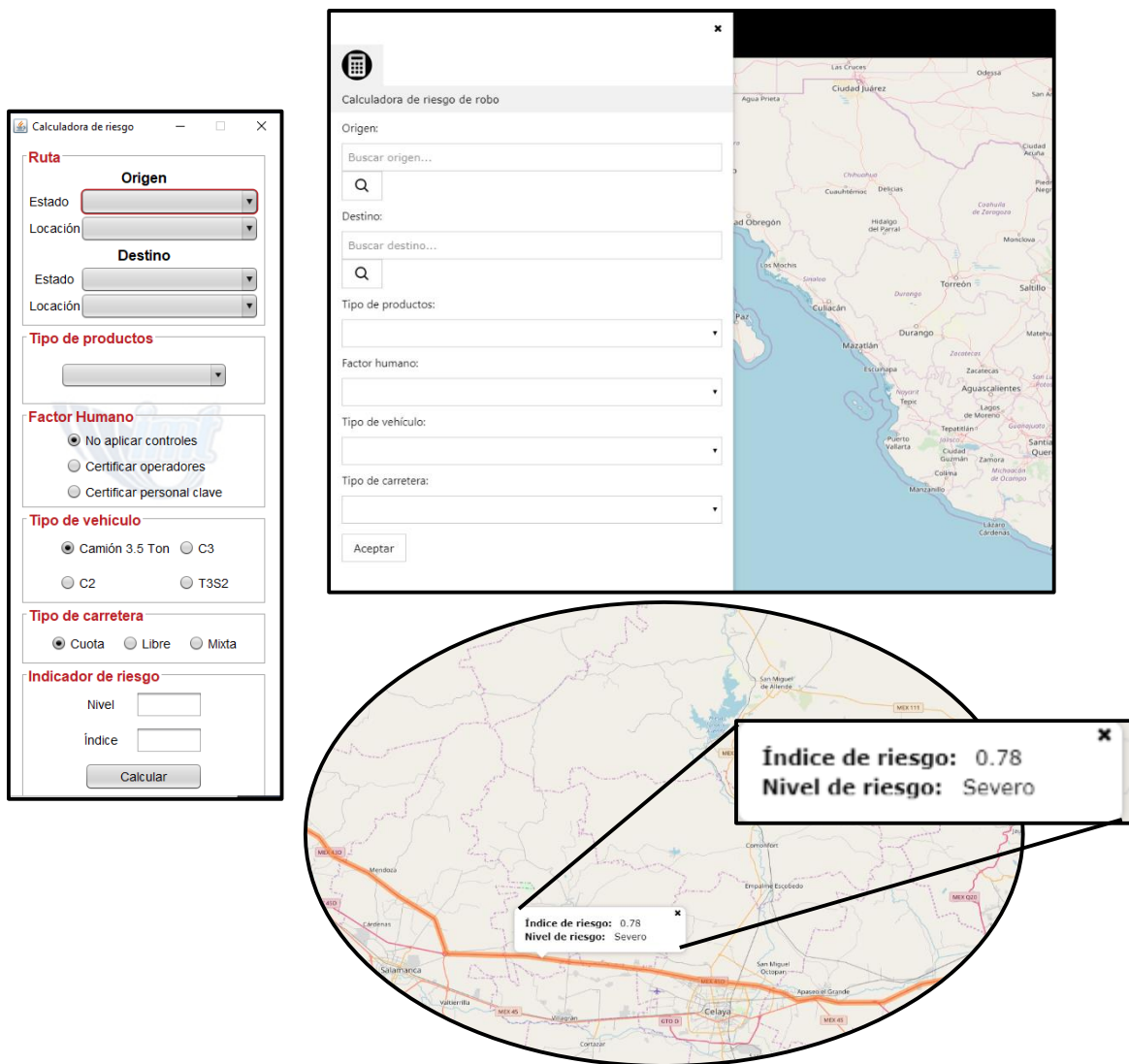


Figura 3.13. Máscara de la herramienta del índice de robo.

Su uso es bastante amigable al seleccionar los factores involucrados. Un dato importante es que el índice es un valor entre 0 y 1. Esto permitió identificar el riesgo por tramos, desde el mayor hasta el menor en cuanto a peligrosidad de robo, clasificados en cuatro niveles. Entendiendo como “*bajo*” los valores entre 0 y 0.25, “*medio*” entre 0.25 y 0.5, “*alto*” entre 0.5 y 0.75 y “*severo*” entre 0.75 y 1.

Por lo tanto, a cada tramo involucrado en nuestro modelo le llamaremos I_{t_i} . De este modo, se obtiene la ecuación (3) como la proporción del total de tramos involucrados:

$$p_i = \frac{I_{t_i}}{\sum_{i=1}^r I_{t_i}} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- p_i → Proporción del tramo i .
- I_{t_i} → Índice de robo en el tramo i . Ecuación (2).
- $\sum_{i=1}^r I_{t_i}$ → Suma del índice de robo de todos los tramos.
- i → Número de tramos, donde $i = 1, 2, \dots, r$.

Las condiciones iniciales para el cálculo del índice de robo, definidos en la ecuación (2), fueron que: factor humano, tipo de vehículo y tipo de carretera sean valores fijos. Esto es que, suponemos honestidad en los empleados de cada empresa, por lo tanto, para el factor humano fue seleccionado: “*identifica y certifica personal clave*”. Para el tipo de carretera la opción seleccionada fue “*mixta*”. Debido al interés en el ahorro de combustible y casetas, y por transitar en el tipo de carreteras mixtas se seleccionó una configuración vehicular de C2 o C3. Estos son camiones de carga de dos o tres ejes de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) [26].

3.5 Modelo para evaluar el robo de carga

Los costos y variables involucrados en la ecuación (1), representando las ganancias de una determinada demanda, nos permiten calcular un valor Q , el cual maximiza la función. Donde Q es la cantidad óptima a ordenar. La tabla 3.5, muestra las analogías involucradas en el modelo del vendedor de periódicos y el modelo para evaluar el “*tamaño de botín mínimo atractivo*”⁸, lo que permitió entender mejor las variables y costos asociados en el nuevo modelo aquí propuesto.

Tabla 3.5. Analogía de modelos.

Modelo del vendedor de periódicos	Modelo del robo de carga
D es la demanda aleatoria que se le presenta al vendedor. Q es la cantidad a ordenar.	D es la demanda aleatoria que puede ser desplazada en el mercado informal. B es el botín del atraco. La cantidad a ordenar en un envío.
CC : costo de compra Costo de adquirir un periódico.	CA : costo de atraco El costo de realizar un atraco (costo del personal, vehículos, etc.) para hacerse con las mercancías.
CV : cantidad de venta Precio al cliente.	PV : precio de venta Precio al cual venderá la mercancía robada (mercado informal).
CR : cantidad de remate Periódico no vendido.	PR : precio de remate Precio de la mercancía no vendida por lo cual la banda criminal estará dispuesta a rematarla.
G es la ganancia estimada como resultado de las ventas por la cantidad Q .	G es la ganancia estimada gracias a la venta del botín B.

De esta manera, la ecuación (4) propuesta, calcula la cantidad óptima, es decir el “*tamaño de botín mínimo atractivo*”. Este concepto lo definimos como la cantidad de mercancías que se van a transportar y es el límite, a partir del cual, el embarque puede resultar económicamente atractivo para una operación criminal de robo. Para las ecuaciones (1) y (4), los términos positivos hacen referencia a las ventas y los negativos a los gastos.

⁸ Se trata del tamaño de botín, a partir del cual las operaciones de robo resultan viables (rentables) para una banda dedicada al robo.

$$G(B) = PV * \min(B, D) + PR * \max(0, B - D) - CA * B \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- $G(B)$ → Ganancia estimada por la venta del botín.
- PV → Precio de venta en mercado informal.
- PR → Precio de remate de mercancía acumulada.
- CA → Costo de atraco para hacerse con la mercancía.
- B → Botín del atraco.
- D → Demanda de producto robado que se presenta en el mercado negro (aleatoria).

En el cálculo del costo asociado a la implementación del Internet Físico, se consideró la utilización de los contenedores modulares, sus candados y la necesaria mezcla de mercancías para: a) consolidar el embarque; y b) elevar los costos del delincuente (al incluir a más personas y equipos en el atraco). Un ejemplo con los siguientes costos iniciales correspondientes de acuerdo a la ecuación (4) son {CA=20, PV=35, PR=5}.

De esta forma, con base en la demanda propuesta, primeramente se obtuvo la demanda máxima y la demanda mínima, con ello se establecieron seis demandas iniciales. En cada una se debió calcular su probabilidad dada, en este caso, la distribución normal. Finalmente, se procedió a trabajar con el modelo del robo de carga para obtener el valor mínimo atractivo. Para ello el proceso empezó con el uso de la tabla 3.6. Es necesario obtener la probabilidad acumulativa para poder obtener intervalos de límite inferior y límite superior.

Tabla 3.6. Condiciones iniciales para la obtención de la ganancia máxima.

	Cantidad	Probabilidad	P. acumulativa	lim. Inf.	lim. Sup.
Min	11	0.10	0.10	0	0.10
	20	0.13	0.23	0.10	0.23
	28	0.20	0.43	0.23	0.43
	37	0.22	0.65	0.43	0.65
	45	0.17	0.82	0.65	0.82
Max	54	0.18	1.00	0.82	1.00

El siguiente paso fue realizar la simulación con la ecuación (4), este proceso se realizó para cada cantidad o botín dado (ver tabla 3.7). Para el primer caso, el botín 11, el paso fue generar números aleatorios y detectarlos en los intervalos (lim. Inf. y lim. Sup.) de la tabla 3.6. La función “=BUSCAR(valor_buscado, vector_de_comparación, [vector resultado])” se utilizó en excel, esto determinó la columna demanda. Al final se realizó el mismo proceso para cada uno y se obtuvo el promedio de una primera corrida. El uso de una simulación Monte – Carlo con 1,000 corridas aproximó el valor promedio como el mejor resultado.

Tabla 3.7. Muestra con siete corridas de la simulación.

	Aleatorio	demanda	Botín	costo de atraco	precio de venta	precio de remate	utilidad esperada
1	0.47	37	11	220	385	0	165
2	0.58	37	11	220	385	0	165
3	0.35	28	11	220	385	0	165
4	0.33	28	11	220	385	0	165
5	0.27	28	11	220	385	0	165
6	0.71	45	11	220	385	0	165
7	0.71	45	11	220	385	0	165
Promedio							165

Este procedimiento fue replicado 5 veces, ello con la finalidad de tener un promedio final para el botín de valor 11. El mismo procedimiento fue realizado para las demás cantidades de botín, al final obtuvimos una matriz de 6X5. La tabla 3.8 muestra una recopilación de estos datos. En el anexo también se muestra el código en Matlab como ayuda para calcular una réplica de la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Réplicas de la simulación del modelo propuesto.

B	Réplicas					Promedio
	R1	R2	R3	R4	R5	
11	165	165	165	165	165	165
20	269	267	267	268	268	268
28	336	343	341	337	337	339
37	357	361	354	359	358	358
45	324	321	319	317	128	282
54	238	239	237	233	231	235

Al graficar los valores promedio de la tabla 3.8, en la figura 3.14 se observó el tamaño de botín mínimo atractivo (la máxima ganancia), lo cual corresponde al valor del botín óptimo $B^* = 37$, que es el valor máximo promedio. Este se asignó al producto tipo A. En caso de existir más productos se requiere realizar el mismo procedimiento para cada uno de ellos.

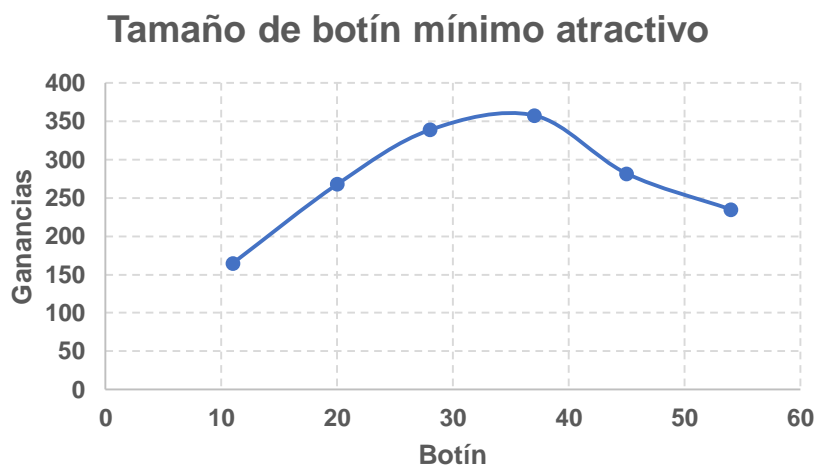


Figura 3.14. Valor máximo del tamaño de botín mínimo atractivo.

Para el operativo del robo, se consideró que los involucrados solo tendrán una oportunidad para atracar y hacerse con el botín. Saben que esta mercancía tendrá valor a corto plazo (por ejemplo, una semana o un mes) y a largo plazo ya no tenga valor (por ejemplo, un año) por lo obsoleto de la mercancía, temporada, nuevos modelos de mercadotecnia, etc. Por lo tanto, de la figura 3.14: i) si el botín fue demasiado tendrá que

absorber las pérdidas de lo que no vendió o se encontró con mercancía no deseada el grupo criminal y ii) si el botín fue muy poco tendrá beneficios perdidos y molestias en el mercado informal, o simplemente no fue rentable el atraco entre su equipo. El primer punto tiene de resultado un análisis de sensibilidad al agregar en la ecuación (4) un costo de oportunidad por la cantidad de mercancía faltante ocasionado por que se realizó una mezcla. Es decir, no cumple con las expectativas del mercado negro. De esta manera, si se obtuvo el índice de riesgo por tramo carretero y el valor mínimo atractivo de cada mercancía mezclada, el último paso fue calcular el número de productos a enviar.

3.6 Los π embarques

El siguiente paso fue calcular el número de mercancías para cada tramo T_i a través de la ecuación (5). Para ello se multiplicó la proporción p_i por el valor óptimo B^* del modelo.

$$T_i = p_i * B^* \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

- T_i → Numero de producto a transportar del tramo i .
- p_i → Proporción del tramo i . Ecuación (3).
- B^* → Tamaño de botín mínimo atractivo. La máxima ganancia de la ecuación (4).
- i → Número de tramos, donde $i = 1, 2, \dots, r$.

Entonces, al tomar de (5) el valor de los diferentes tramos, se definió la ecuación (6) la cual es realizada para cada tipo de mercancía.

$$x_j = \min\{T_i\} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

- x_j → Cantidad mínima del producto j .
- T_i → Número de producto a transportar del tramo i . Ecuación (5).
- i → Número de tramos, donde $i = 1, 2, \dots, r$.
- j → Número de productos, donde $j = 1, 2, \dots, n$.

Finalmente, con la ecuación (6) la mezcla de productos se propuso en la ecuación (7), la cual nos indicó la cantidad total de cada tipo de producto para realizar la mezcla en el llamado π embarque (πE).

$$\pi E = \sum_{j=1}^n x_j \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

- πE → Cantidad total en el π embarque.
- x_j → Cantidad mínima del producto j . Ecuación (6).
- j → Número de productos, donde $j = 1, 2, \dots, n$.

La ecuación (7) se analizó desde la perspectiva de que en un inventario se tienen diferentes mercancías, las cuales fueron enviadas en embarques a través de vehículos de carga. La integración de todas las ecuaciones (3) – (7) se analizó en la figura 3.15.

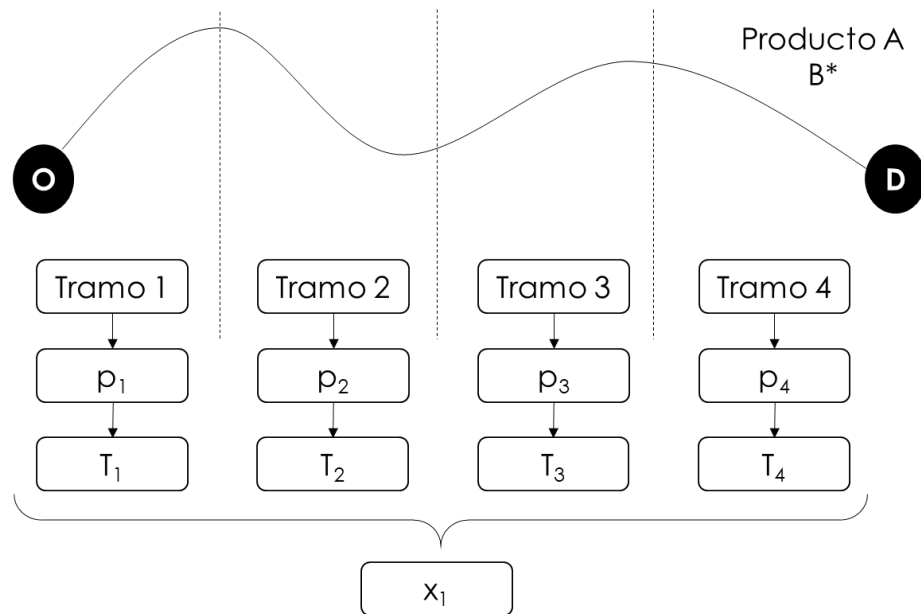


Figura 3.15. Propuesta para la mezcla de mercancías desde el enfoque del PI.

La figura 3.15 muestra el caso de una empresa transportista que debe mover diferentes productos entre un origen (O) y un destino (D). Para este segmento Origen – Destino, se definieron varios tramos del trayecto con la finalidad de analizar los niveles de riesgo en cada tramo y con ello, definir la cantidad de mercancía a enviar por tipo de producto. Es decir, para cada tramo (Tramo 1, Tramo 2, Tramo 3, Tramo 4) se calculó su índice de riesgo de robo y se obtuvo la proporción (p₁, p₂, p₃, p₄) de productos a transportar para cada tramo (T₁, T₂, T₃, T₄). El objetivo es definir un tamaño de lote máximo a transportar desde la perspectiva que será un botín, para definir su tamaño máximo antes de ser atractivo para rentabilizar un robo (B*). De esta manera, se seleccionó (por ejemplo, x₁ que correspondiente a un producto A), el mínimo de los productos a transportar para cada tramo. Finalmente, se obtuvo la integración de las fórmulas mencionadas en este capítulo.

3.7 Conclusiones

Este capítulo presentó la metodología de investigación utilizada bajo un enfoque abductivo. Se enunciaron los puntos clave a utilizar y se desarrolló el modelo de análisis. La figura 3.9 mostró la metodología utilizada para analizar qué elementos del Internet Físico serían viables para el presente trabajo.

Como se mencionó en capítulos pasados, se confirmó que un componente clave para realizar la mezcla de mercancías son los contenedores modulares. Después se procedió a trabajar en la identificación de las mercancías transportadas en México. Durante el procedimiento, las mercancías pasaron por dos filtros: i) el cálculo del índice de robo en los tramos involucrados de un origen a un destino, y ii) el modelo de evaluación propuesto. Sobre el primero, se estableció la herramienta a través de la cual se obtiene el valor del índice de robo, y sobre el segundo, se explicó la analogía del modelo propuesto con el modelo del vendedor de periódicos. Además, en el modelo propuesto, se debió establecer la función probabilística bajo la cual, se encuentra la demanda de los productos que se envían. Mencionado para ello, tres formas de obtenerlo: i) a través de la bondad de ajuste ($K - S$); ii) a través de “*Easy Fit*”; y iii) a través de programación en Matlab.

Finalmente, dado que para cada mercancía se estableció su proporción (%) del índice de riesgo de cada tramo y el tamaño de botín mínimo atractivo (B^*), a través del modelo propuesto, entonces, se definió un tamaño de lote de cada mercancía a transportar para cada tramo. Se seleccionó el mínimo de productos a transportar de cada tramo por cada mercancía, al suponer “*a mayor valor, mayor índice de robo*”. El algoritmo terminó con los π embarques realizado con la suma de los mínimos en cada producto. Es decir, se realizó la mezcla. Tres conclusiones principales pueden ser extraídas como resultado de los análisis desarrollados sobre la metodología en este capítulo.

Primero, el cálculo del índice de riesgo permitió establecer claramente dos variables clave: a) ruta; y b) tipo de mercancía. Estas dos variables son importantes pues la ecuación (2), aplicada a través de la herramienta desarrollada por el IMT, permitió conocer el valor de riesgo de cada tramo. Segundo, la analogía al modelo del vendedor de periódicos nos permitió definir el “*tamaño de botín mínimo atractivo*”. Es decir, se estableció el valor máximo para la cantidad de mercancías que puede resultar

económicamente atractiva para los criminales. Tercero, se obtuvo una pertinente definición de los π embarques. Se detalló como la cantidad total de cada producto y la mezcla en un embarque. Este último, es el desenlace para realizar la mezcla de mercancías donde desembocan las dos conclusiones anteriores. De esta manera, dado que la integración metodológica propuesta arrojó resultados confiables, es ahora posible, avanzar hacia su implementación y análisis de resultados, tema del siguiente capítulo.

Otra conclusión del presente capítulo, es el establecer que la metodología propuesta, tiene alto potencial para ser usada desde la perspectiva de establecer el número de viajes, y su combinación, tomando en cuenta el tamaño de la flota vehicular de una empresa. En este punto se sigue manteniendo la esencia del Internet Físico pues al detectar el número de viajes mínimo atractivo, es decir, reducir el número de envíos a un punto que no sea rentable al delito, reducimos también el CO₂, que es otro de los objetivos que busca alcanzar de este nuevo enfoque propuesto.

CAPÍTULO IV

4. Resultados

4.1 Introducción

La presente sección expone una simulación cuantitativa muy próxima a la realidad denominada aquí como: “caso I”. Esta simulación se desarrolló con base en la metodología propuesta y con los datos iniciales previamente mencionados. Posteriormente, se analizó un “caso II”, el cual se trata de un caso real tomando datos de las cartas de porte 2017. El primer caso representa una demanda y una distribución de probabilidad conocidas. El segundo caso se conoce la demanda, pero no la función de probabilidad, es por ello que se analizarán las opciones para cuando la probabilidad “a priori” sea mayor dado que: i) la demanda de productos sea baja; ii) la demanda sea moderada; y iii) la demanda sea alta. Además, se muestran las capturas de pantalla de la herramienta informática utilizada para ambos casos.

4.2 Caso I: implementación del modelo simulado

Para este caso se tomaron cuatro tramos ($n=4$) de un origen X a un destino Y . Se formó una matriz de m productos con n tramos, para este caso consideramos a una empresa trabaja con cuatro productos ($m=4$). Por lo tanto, obtuvimos una matriz utilizable de 4×4 . Con respecto al índice de robo, utilizamos números aleatorios entre $[0,1]$ y procedimos a calcular los valores de las fórmulas. Primero obtuvimos el valor del índice de riesgo para cada producto. Los valores iniciales de este valor se observan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Índice de riesgo por cada producto y su proporción.

Tramos	A	B	C	D	p_1	p_2	p_3	p_4
1	0.25	0.48	0.73	0.76	0.141	0.403	0.282	0.376
2	0.54	0.12	0.23	0.4	0.305	0.101	0.089	0.198
3	0.58	0.14	0.89	0.39	0.328	0.118	0.344	0.193
4	0.4	0.45	0.74	0.47	0.226	0.378	0.286	0.233

La tabla 4.9 también proporciona información para la ecuación (3), la proporción del total de tramos involucrados, p_i con $i = 1,2,3,4$ respectivamente a cada producto (A,B,C,D). Con este valor pudimos observar el tramo donde se encontraba el mayor porcentaje de riesgo de robo. Por ejemplo, el producto C en el tramo 3 tiene una clasificación “severa” de robo al tener un valor de 0.89. Por lo tanto, la proporción de valor mayor del total de tramos involucrados ocurre en esa ubicación de tramo, $p_3 = 0.344$ del tramo 3.

El siguiente paso fue obtener el tamaño de “Botín Mínimo Atractivo” para cada tipo de producto a través del uso de la ecuación (4). Los valores iniciales fueron los siguientes:

$$A \rightarrow \{12, 23, 43, 54, 23, 21, 22, 11, 43, 23, 43, 54\} \text{ con } N(31, 15.44^2)$$

$$B \rightarrow \{34, 31, 35, 48, 34, 43, 50, 31, 49, 32, 50, 29\} \text{ con } N(38.83, 8.43^2)$$

$$C \rightarrow \{23, 24, 23, 25, 28, 24, 29, 26, 23, 29, 25, 28\} \text{ con } N(25.58, 2.35^2)$$

$$D \rightarrow \{38, 70, 72, 22, 35, 82, 88, 35, 100, 94, 70, 22\} \text{ con } N(60.67, 28.58^2)$$

Los doce datos de cada producto corresponden a la demanda para cada mes del año respectivamente. Cada conjunto de datos cumplió la prueba de bondad de ajuste de K – S con el fin de verificar que los datos se ajustaran a una distribución normal. Los costos iniciales correspondientes para cada producto fueron:

$$A \rightarrow \{CA=20, PV=35, PR=5, CO=10\}$$

$$B \rightarrow \{CA=30, PV=60, PR=15, CO=18\}$$

$$C \rightarrow \{CA=20, PV=30, PR=5, CO=8\}$$

$$D \rightarrow \{CA=25, PV=36, PR=7, CO=10\}$$

Dadas estas condiciones (a excepción de CO por el momento) y con la implementación de la ecuación propuesta (4), se obtuvo el tamaño del “Botín Mínimo Atractivo” B^* de cada

producto A, B, C y D, los cuales correspondieron a {37, 46, 25, 53} respectivamente. A continuación, se procedió a calcular la ecuación (5), es decir la cantidad de productos a enviar por tramo (ver Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Número de mercancías a enviar por tipo de producto en cada tramo.

Producto	Tamaño de botín mínimo atractivo	T1	T2	T3	T4	Σ
A	37	6	12	13	9	40
B	46	19	5	6	18	48
C	25	8	3	9	8	28
D	53	20	11	11	13	55

NOTA: Debe notarse que las sumas de productos en cada tramo difieren del total de productos definido como: “Tamaño de botín mínimo atractivo”, esto es por un efecto de redondeo hacia arriba con la finalidad de tener al menos un producto para cada tramo a recorrer.

Por ejemplo, de la tabla 4.10 observamos el primer renglón del producto A y aplicamos la ecuación (5). Como resultado, se identificó que, del producto A, se podrían enviar 6 unidades que se transportarían por el tramo 1, 12 unidades para el tramo 2, 13 unidades para el tramo 3 y 9 para el tramo 4. Puede observarse que, las sumas de productos en cada tramo difieren del total de productos definido como: “Tamaño de botín mínimo atractivo”, esto es por un efecto de redondeo hacia arriba con la finalidad de tener al menos un producto para cada tramo a recorrer. Entonces, el flujo máximo que podría pasar por esta ruta dividida en tramos es $x_1 = 6$, la cantidad mínima.

La figura 4.16 nos muestra el paso a paso hasta este punto, para llegar a seleccionar el número de mercancías $x_1 = 6$, del producto A. Es decir: i) en el primer renglón mostramos el índice de riesgo en cada tramo, ii) en el segundo renglón su proporción correspondiente, iii) en el tercer renglón la correspondiente cantidad de mercancía que sugerimos para enviar, y iv) en el último renglón en conjunto con el paso iii) en el trayecto O – D y bajo nuestra suposición de que “a mayor valor, mayor índice de robo”, seleccionamos la cantidad mínima.

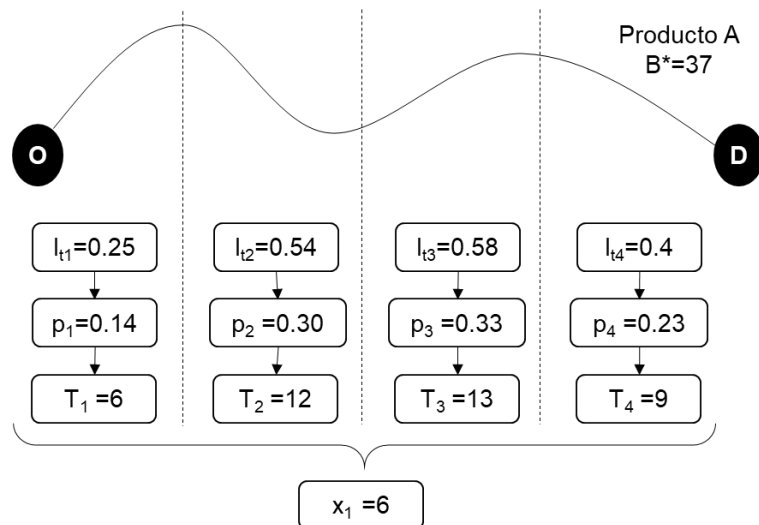


Figura 4.16. Diagrama de la metodología del producto A.

Continuando con el proceso para integrar la ecuación (6) y la tabla 4.10, se definieron los siguientes valores $x_2 = 5$, $x_3 = 3$ y $x_4 = 11$. Los cuales corresponden a la cantidad de productos a enviar del producto B, C y D respectivamente.

Finalmente, la ecuación (7) el π embarque (πE), es la suma de los resultados que obtuvimos por la ecuación (6), es decir $\pi E = 6 + 5 + 3 + 11 = 25$. Siendo este número, 25, la cantidad de mercancías a colocar dentro de los contenedores con 6 piezas del producto A, 5 piezas del producto B, 3 piezas del producto C y 11 piezas del producto D. En la figura 4.17 observamos un resumen de lo anterior, implementando la perspectiva del Internet Físico para el embarque “mezclado” de mercancías.

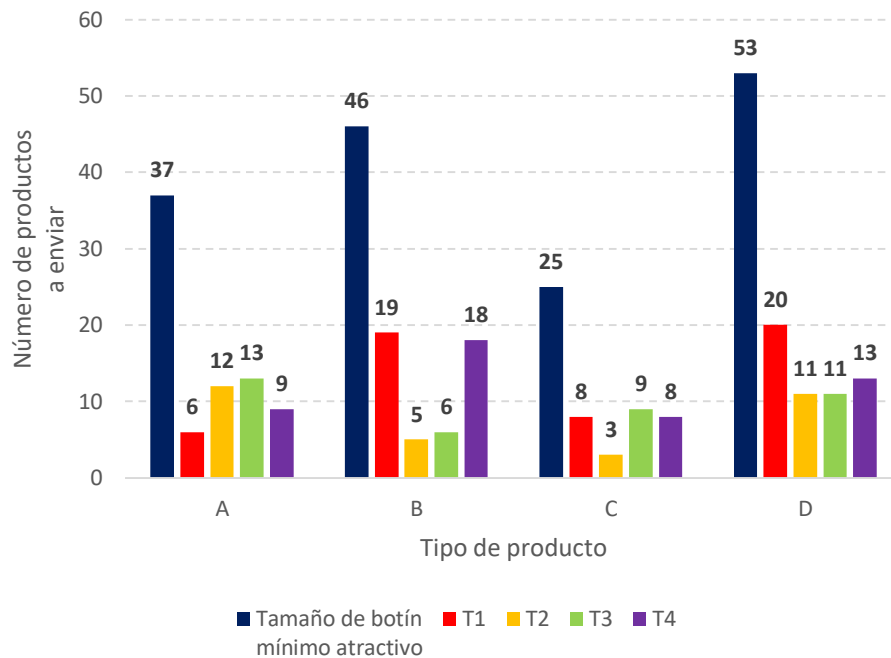


Figura 4.17. Cantidades a ordenar para la mezcla de mercancías.

La implementación del enfoque de Internet Físico hasta este punto, radica únicamente en la mezcla de diferentes productos. Los costos iniciales se verán afectados al considerar más aspectos del Internet Físico, como lo es la utilización de candados, o empaquetado dentro de un contenedor modular. Todo ello para evitar mostrar los productos que contienen. Esto puede resultar en que el costo inicial del atraco (CA), aumente como resultado de la dificultad para los atracadores de hacerse con el botín.

La figura 4.18. muestra un análisis derivado de realizar cambios en el valor del costo por atraco. Se observa que conforme aumenta el número de productos mezclados, pero con medidas de seguridad por contenedor como lo sugiere la perspectiva del "Internet Físico", se generan mayores pérdidas para los atracadores. Es decir, se desincentiva de forma creciente, el desarrollo de un atraco, comparado con el llevar embarques de un solo producto sin contenerizar.

Los cálculos donde la variable x representa, en el modelo tradicional la cantidad a ordenar bajo nuestro modelo, tamaño de botín, lo realizamos con la fórmula siguiente: $G(x) = PV * x - CA * x$, lo anterior sin considerar el precio de remate de la ecuación (4).

Considerando la “seguridad en los contenedores” el análisis de pendientes de la figura 4.18 son como sigue. Los casos del producto A y C, donde se muestran pendientes negativas $m_{A2} = -5$ y $m_{C2} = -5$ corresponden a eventos donde el costo de atraco superó el precio de venta con valores de {40, 35} respectivamente, provocando pérdidas para los criminales en la ejecución de ese atraco. El caso del producto B ocurre cuando el costo del atraco y el precio de venta son iguales {60}, por lo tanto, no les genera ganancia alguna, su pendiente es $m_{B2} = 0$. El caso del producto D, es cuando el costo del atraco aumenta a {30}, pero no supero al precio de venta del producto, por lo tanto, se observan ganancias con pendiente $m_{D2} = 6$. Sin embargo, en todos los casos, las ganancias están por debajo de aquellas realizadas como resultado de un atraco donde no se tiene seguridad por cada contenedor colocado dentro del embarque (caja del camión).

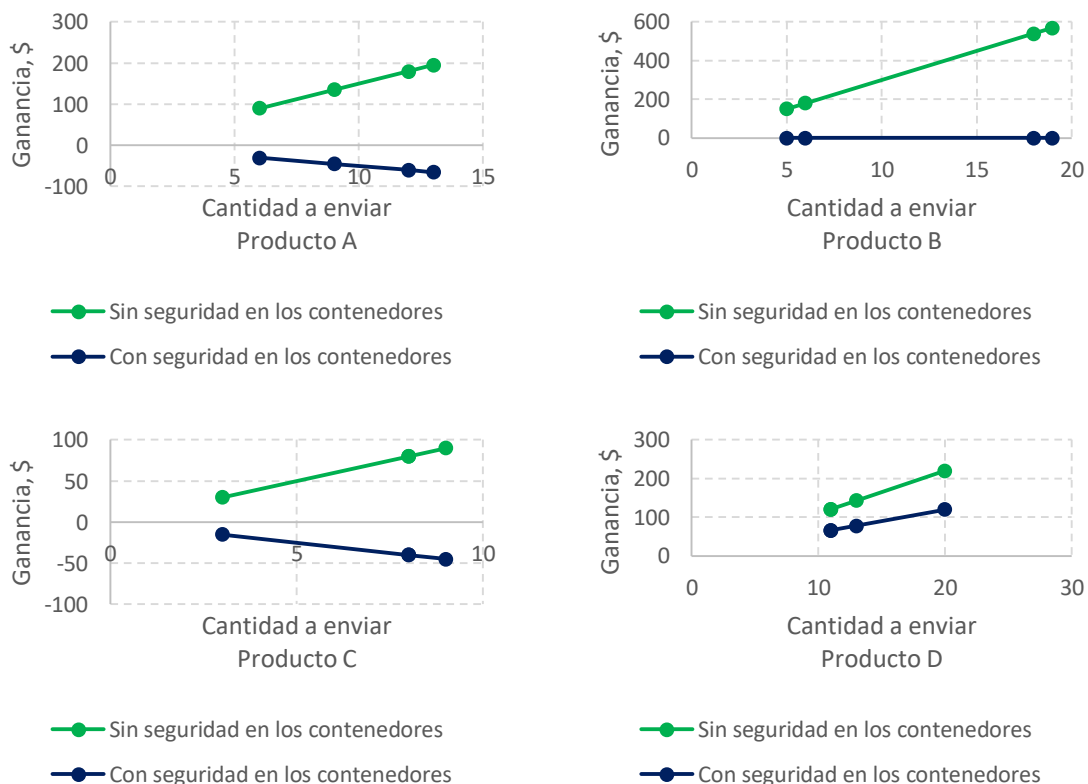


Figura 4.18. Comparación de las ganancias o pérdidas criminales al considerar seguridad en los contenedores.

En los anteriores casos se observa también una menor ganancia si, al hecho de mezclar mercancías dentro de un contenedor, le agregamos seguridad individualizada por contenedor, Es decir, colocación de candados electrónicos u otras medidas.

Por último, esta misma comparación puede ser observada en la figura 4.19, pero con una diferencia, se considera la mezcla de todos los productos. Es decir, consideramos las 25 mercancías antes mencionadas de cada tipo de producto, que es la cantidad a colocar en los contenedores. De este modo, al agregar seguridad a los contenedores, lo que aumenta el costo del atraco, observamos que las ganancias criminales disminuyen ostensiblemente.

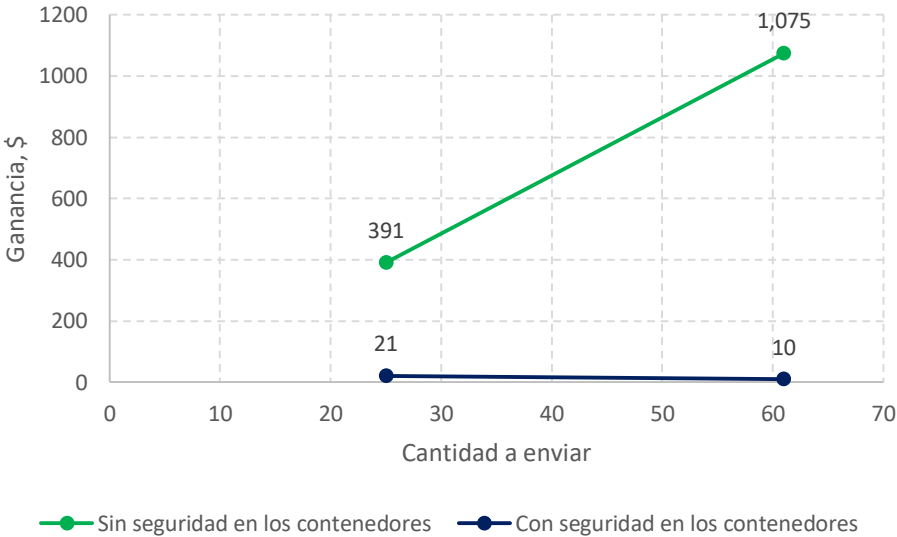


Figura 4.19. Comparación de las ganancias criminales al mezclar mercancías en los contenedores.

En la figura 4.19. se muestra dos lados de las ganancias criminales tomando en cuenta la tabla 4.10. El lado izquierdo, de valores 391 y 21, corresponde a cuando consideramos los 25 productos mezclados a enviar (el mínimo de cada producto), y el lado derecho, con valores de 1,075 y 10 cuando consideramos enviar 61 productos (el máximo de cada producto).

Como resultado, observamos dos comportamientos en cada pendiente. La primera, cuenta con una pendiente $m_1 = 19$ como resultado de utilizar contenedores sin seguridad individualizada (ganancia creciente). La segunda, presenta una pendiente $m_2 =$

– $11/36 \cong -0.31$, derivado de la utilización de seguridad individualizada en cada contenedor dentro de los embarques (cajas de tráiler).

El primer caso es evidente que es el más favorable para la potencial acción criminal ya que sus ganancias se incrementan. Por lo tanto, para este caso (sin seguridad en los contenedores), no es la mejor opción para las empresas. El segundo caso considera una mayor adopción de las ventajas que propone el Internet Físico. Por lo tanto, se considera que una adopción “*completa*” del enfoque de Internet Físico mejora en una mucho mayor proporción la seguridad de los embarques.

Para el análisis de sensibilidad de la ecuación (4), se integró el costo de oportunidad CO para las bandas criminales, es decir, el costo por tener faltante de producto frente a la oportunidad de venderlo en el mercado negro. Esto, ocurre cuando la demanda supera al botín obtenido. En consecuencia, se enuncia la ecuación (8) con un nuevo término negativo.

$$G(B) = PV * \min(B, D) + PR * \max(0, B - D) - CA * B - CO * \max(0, D - B) \dots\dots (8)$$

Donde:

- $G(B)$ → Ganancia estimada por la venta del botín.
- PV → Precio de venta en mercado informal.
- PR → Precio de remate de mercancía acumulada.
- CA → Costo de atraco para hacerse con la mercancía.
- B → Botín del atraco.
- D → Demanda solicitada en el mercado informal.
- CO → Costo de oportunidad ante la falta de vender.

En la figura 4.20 se muestra la ganancia máxima calculada a través de la ecuación (8). Ahí puede observarse que conforme el número de botines obtenidos aumenta, las ganancias son mayores. Del análisis de las gráficas, se puede observar que si se reduce el volumen embarcado de productos “*atractivos*” para las bandas criminales, las cuales operan en los tramos por donde circulará el cargamento, baja la rentabilidad para quienes realizan el atraco.

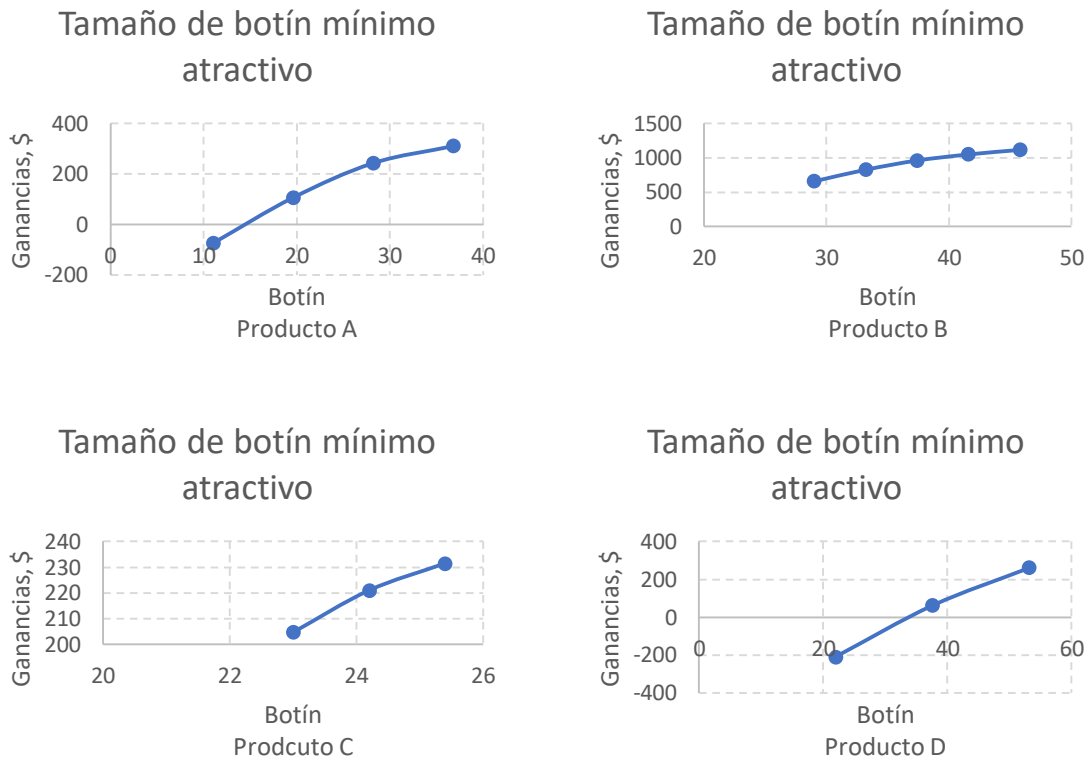


Figura 4.20. Ganancias de los criminales a través del análisis de sensibilidad.

Al incluir el costo oportunidad a la fórmula de ganancias, los gráficos son acotados hasta el tamaño de botín mínimo atractivo, porque estamos ante cierta incertidumbre de enviar o no hasta este valor óptimo. Entonces la ganancia se muestra a la baja por el faltante de productos y esto lo estamos ocasionado por disminuir el tamaño del embarque. Por ejemplo, cuando las bandas criminales se especializan en cierto producto o en productos atractivos, el contar con cantidades menores de estos productos por cada embarque asaltado, les provoca una “*interrupción*” del flujo de esos productos hacia los mercados que “*atienden*”, por lo tanto, baja rentabilidad de las operaciones.

De esta manera, se confirma que se reduce el nivel de riesgo de robo al embarcar un volumen acorde a lo definido como “*tamaño de botín mínimo atractivo*” para las bandas criminales operando en los tramos origen-destino por donde debe circular el embarque. Los resultados muestran que el enfoque de Internet Físico es altamente viable y con amplio potencial para reducir el riesgo de robo a los embarques en países emergentes como México. Dado que el autotransporte de carga es el de mayor utilización en estos

mercados, el análisis aquí desarrollado tiene una amplia área de aplicación en los diferentes países considerados como “*emergentes*”.

4.3 Caso II: caso aplicado

Utilizando la base de datos “*Cartas de Porte del 2017*” identificamos un caso con los siguientes datos:

Empresa. Debido a las cláusulas de confidencialidad protegidas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), la llamaremos como “Transportes JOSE S. A. de C. V.”.

Tipo de mercancía. La selección de la mercancía tuvo como lógica, el identificar productos con posibilidad de ser combinados en un embarque. Por ejemplo, por supuesto no es viable mezclar detergentes con productos alimenticios. Con esta información, logramos identificar a la empresa adecuada para este análisis.

Origen – destino. La ruta que más transportación registró y que se va analizar es el trayecto que va desde el estado de Chihuahua al de Sinaloa. Donde consideramos los siguientes tramos carreteros:

T1: Ciudad Juárez, Chihuahua - Chihuahua, Chihuahua

T2: Chihuahua - Torreón, entronque el Vergel en Gómez Palacios, Durango

T3: Torreón - Culiacán, Sinaloa

Demanda. Debido a que es una muestra estratificada por el estado de origen, tomando como variable el peso (toneladas transportadas), supondremos que no se conoce la función de probabilidad por no contar con los datos completos.

Por lo tanto, la demanda será observada a través del número de envíos, es decir que esta vez nuestro modelo identifica el número de envíos (en vez de mercancías). Los datos de la demanda mensual son los siguientes:

Partes automotrices → {19, 15, 9, 35, 23, 57, 17, 19, 27, 26, 19, 31}

Debido a que se trabajó con el número de envíos, los resultados mencionaron la cantidad mínima de envíos atractivos.

Dado que se desconoce la función de probabilidad, se tendrán tres opciones para analizar la demanda; i) seleccionar la cantidad mínima a utilizar, es decir su probabilidad será alta en una demanda baja; ii) seleccionar una cantidad moderada,

su probabilidad será alta en una demanda media; y iii) seleccionar la cantidad alta, su probabilidad será alta en una demanda de mayor valor.

Los costos. Desde la perspectiva de las bandas criminales, los costos relacionados de la ecuación (4) son:

Partes automotrices → {CA=5 000, PV=10 000, PR=1 250, CO=2 500}

Estos valores, fueron propuestos considerando el costo promedio del flete, información que se encuentra en la base de datos. El cual para partes automotrices es de 11, 903.

Aplicando el modelo propuesto, los valores del índice de riesgo para este producto se presentan en la tabla 4.10. Los valores pueden presentar sesgo al no considerar el tramo completo, y en ese caso, se buscó un tramo que involucrara al mencionado. Además, cabe señalar que este valor puede cambiar año tras año, esto debido a que las bandas criminales se especializan en un tipo de producto, siguiendo la tendencia de consumo o “*moda*”. Por ejemplo, la escasez de un producto determinado (medicamentos, papel sanitario, etc.), es motivo para que haya un incremento en su índice de riesgo.

Tabla 4.11. Valores del índice de riesgo

Tramos	Partes automotrices	p_1
1	0.46	0.343
2	0.45	0.336
3	0.43	0.321

La tabla 4.12. nos indica el “*tamaño de botín mínimo atractivo*” de acuerdo a las tres posibilidades de la demanda seleccionada. Por ejemplo, si la demanda es catalogada como “*menor*”, el tamaño de botín mínimo atractivo será de 19 envíos, de los cuales su valor mínimo de acuerdo a los tramos es 7.

Tabla 4.12. Número de envíos a realizar en cada tramo.

Producto	Probabilidad alta en demanda	Tamaño de botín mínimo atractivo	T1	T2	T3
Partes automotrices	Menor	19	7	7	7
	Media	28	10	10	9
	Mayor	47	17	16	16

En la figura 4.21, se muestran los resultados de los tres casos. Se observa que el número de envíos cuando se tiene una demanda considerada “*menor*” resulta en un valor de 7. De forma similar, si la demanda se cataloga como de probabilidad “*media*”, el número de envíos es de 9 y para una demanda con probabilidad “*mayor*”, el número de envíos es de 16. Para este caso en particular, se necesita enviar 7 embarques al menos. La decisión puede cambiar si se conoce la distribución de probabilidad de la demanda.

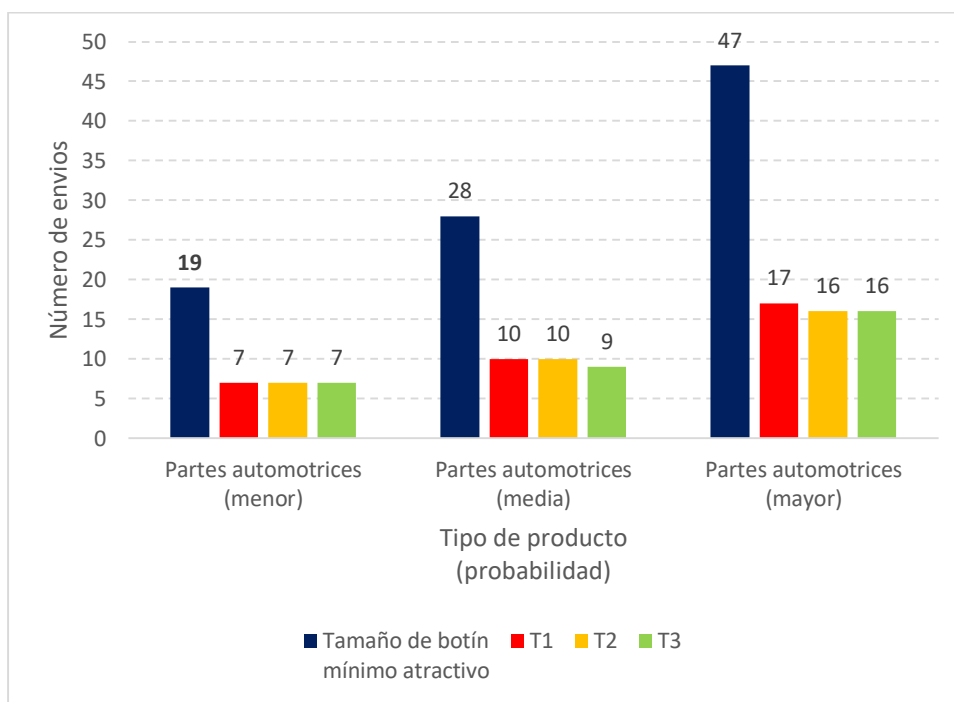


Figura 4.21. Cantidad de envíos.

Los resultados mínimos en esta ocasión {7,9,16}, son cantidades que puede considerar a enviar y por lo tanto, analizar desde el punto de vista de costos.

De igual manera que en el caso 1, al considerar solamente $G(x) = PV * x - CA * x$ donde x representa el tamaño del botín, y suponiendo que el costo de atraco se incrementó a 7,000 (debido a que se identificó como previsiblemente necesario aumentar el número de recursos humanos y materiales necesarios para concretar el atraco). De esta manera, la figura 4.22. presenta estas dos comparaciones.

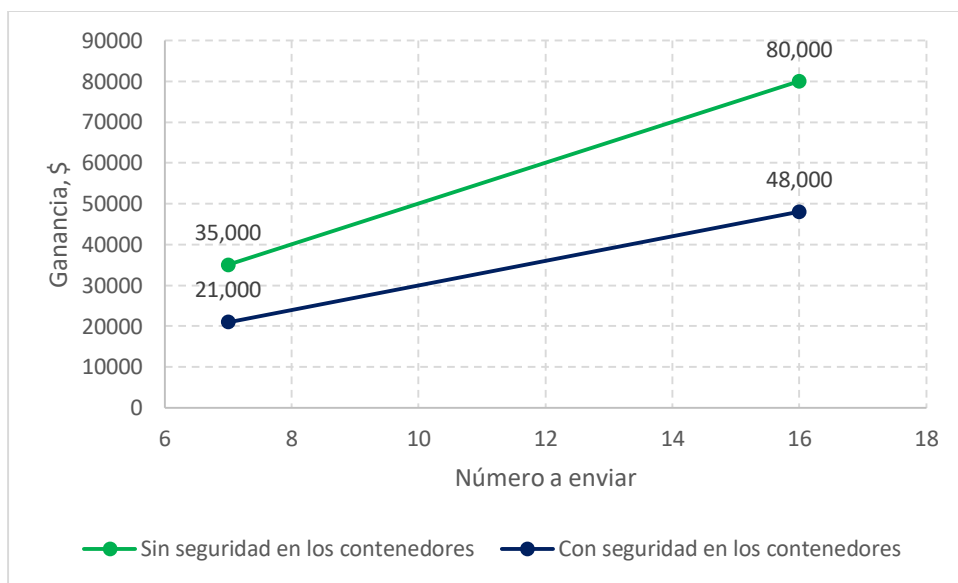
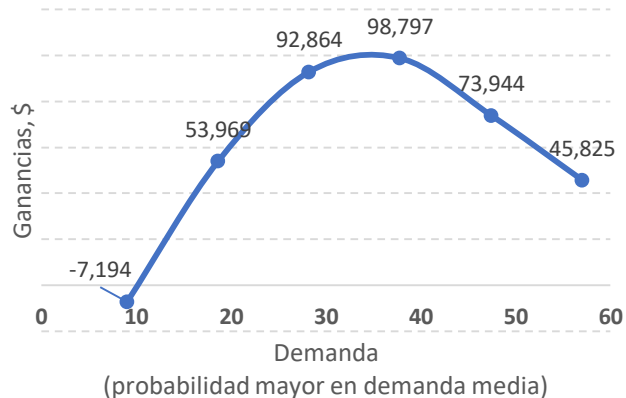
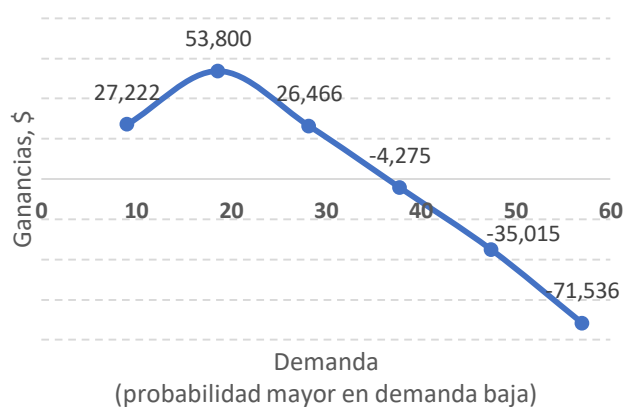


Figura 4.22. Comparación de las ganancias criminales en el número de envíos.

En la figura 4.22. se muestra dos lados de las ganancias criminales. El lado izquierdo, de valores 35,000 y 21,000, resultan de considerar 7 envíos (el mínimo) y el lado derecho, con valores de 80,000 y 48,000 cuando consideramos 16 envíos (el máximo). Tomando como referencia estos puntos se observan dos pendientes; $m_1 = 5,000$ y $m_2 = 3,000$ siendo ambas con una pendiente positiva. Ambos casos son benéficos para los criminales, las ganancias van creciendo. Por lo tanto, tomar el mínimo es lo ideal. Sin embargo, la pendiente m_2 correspondiente a “con seguridad en los contenedores” es la mejor para las empresas. Lo cual es un reflejo de utilizar el enfoque del Internet Físico. Es decir, observamos que las ganancias de los criminales disminuyen tanto en el valor mínimo o como en el valor máximo cuando se adopta un enfoque más “amplio” en la adopción del Internet Físico.

Para el caso del análisis de sensibilidad, es decir al agregar el costo de oportunidad (ecuación (8)), en la figura 4.23. se observa que, a menor número de envíos, menor serán las ganancias de los criminales. El primer caso al tratarse de una demanda catalogada “baja”, sobrepasar el “nivel de botín óptimo” para los criminales ya no es rentable. Esto ocasionará rematar e inclusive no vender todo el producto del atraco. En los siguientes casos, si disminuyen los envíos estos les ocasionan pérdidas. Por lo tanto, se reafirma que el número de envíos pueden ser {7, 9, 16}. Inclusive para este ejercicio se puede optar por realizar 16 envíos, y con esto, mitigar el riesgo de robo, bajo cualquier circunstancia de la demanda.



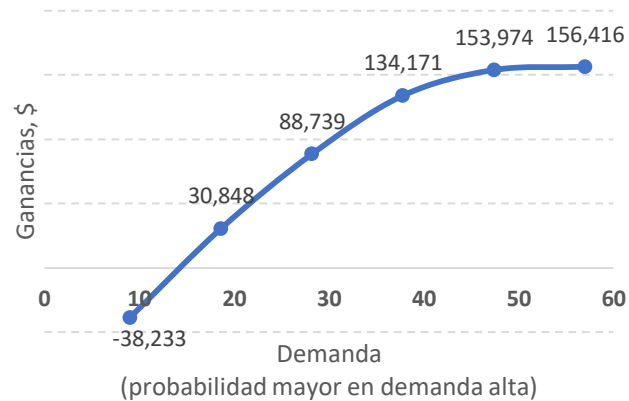


Figura 4.23. Análisis del número de envíos con un costo de oportunidad.

Es así que se observa una importante utilidad en la definición del tamaño de embarque que reduce el riesgo de robo. En casos en donde no se conozca la demanda, se elegiría el valor mínimo viable y con ello, tener certeza de que no se incrementa la atraktividad para el robo.

En este caso, para mitigar el robo, debe considerarse envíos entre {7,9,16}. Sin embargo, si a estos envíos se adhieren más elementos del Internet Físico como mezclar estos productos con otras mercancías, utilizar candados electrónicos individualizados por contenedor, entre otros, el atraco perderá el interés de los criminales (ya que las ganancias se reducen).

4.4 Herramienta informática.

La presente herramienta informática tiene el propósito de servir a los usuarios tanto de la investigación, como para el sector empresarial en la toma de decisiones. Los usuarios son los que tendrán el poder de usar la herramienta, en favor de disminuir los incidentes del robo en el autotransporte de carga. Para la realización de los resultados antes mencionados, se programaron las fórmulas y algoritmos en una hoja de cálculo de Excel. A continuación, se presenta la imagen general en la figura 4.24.

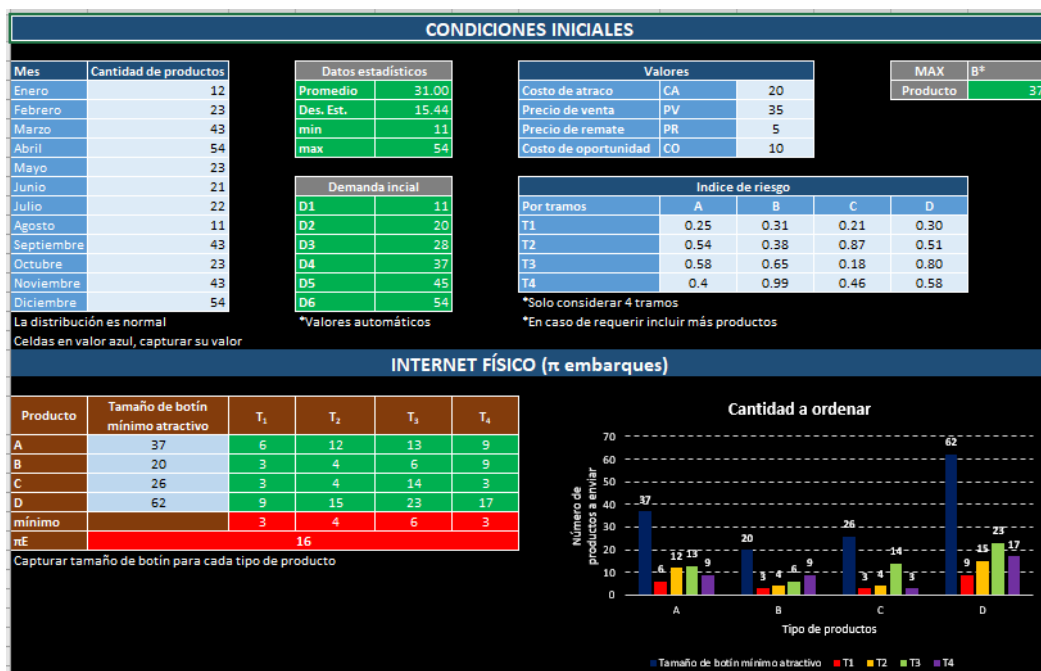


Figura 4.24. Máscara de la herramienta informática.

Esta herramienta funciona al agregar las condiciones iniciales (ver figura 4.25). Estos son: los valores de la demanda, el índice de riesgo y los costos. Valores importantes para calcular el número de productos a enviar de cada producto. Antes es necesario determinar cuántas mercancías y cuantos tramos son los involucrados, ya que las mercancías deben ser analizadas una por una. Para ello deben ser consideradas las siguientes características:

- Cada mercancía debe contar con sus valores de demanda mensual;
- Para los valores de cada mercancía, se debe tener una noción “a priori” de los precios del producto en el mercado negro;
- Calcular el índice de riesgo de cada mercancía, para cada tramo por donde vaya a circular.

Los costos parten de bajar cierto porcentaje del precio en el mercado formal. Por ejemplo, una persona en el mercado formal se puede encontrar con un producto “X” de valor \$10 unidades y en el mercado informal encontrarlo a un valor de \$8 unidades. En ese sentido, establecer un porcentaje de diferencia. A partir de ello se pueden construir los demás costos. También los tramos involucrados para todas las mercancías deben ser de un

mismo origen a un mismo destino. Definidos bien estos puntos se procede a introducir los valores iniciales.

Mes	Cantidad de productos
Enero	12
Febrero	23
Marzo	43
Abril	54
Mayo	23
Junio	21
Julio	22
Agosto	11
Septiembre	43
Octubre	23
Noviembre	43
Diciembre	54

Valores		
Costo de atraco	CA	20
Precio de venta	PV	35
Precio de remate	PR	5
Costo de oportunidad	CO	10

Indice de riesgo				
Por tramos	A	B	C	D
T1	0.25	0.12	0.15	0.51
T2	0.54	0.76	0.08	0.58
T3	0.58	0.18	0.46	0.14
T4	0.4	0.49	0.22	0.80

Figura 4.25. Condiciones iniciales de la herramienta informática.

Al introducir los valores iniciales, se generan los datos de la figura 4.26. “Los datos estadísticos” que servirán para revisar si los datos de la demanda mensual siguen alguna distribución de probabilidad. Para posteriormente introducir la probabilidad de cada demanda inicial, o puede hacer el análisis del segundo caso con los tres casos de probabilidades y tomar decisiones de las probabilidades en la demanda inicial. La “demanda inicial”, son valores calculados para construir una tabla de frecuencias (mencionado en el capítulo 3). Finalmente, con la tabla de frecuencias se ejecuta el modelo propuesto y se muestra el valor “MAX B*” que corresponde al tamaño del Botín mínimo atractivo.

Datos estadísticos	
Promedio	31.00
Des. Est.	15.44
min	11
max	54

Demanda inicial	
D1	11
D2	20
D3	28
D4	37
D5	45
D6	54

MAX	B*
Producto	45

Figura 4.26. Resultados automáticos al introducir los valores iniciales.

Dentro de la herramienta, un apartado es para el análisis del modelo propuesto a partir de la demanda inicial. La obtención de los valores se explicó en el capítulo 3. Solo es necesario explicar al usuario que, si la demanda mensual sigue una distribución normal, los valores serán automáticos al introducir los valores iniciales. Caso contrario, introducir la probabilidad acumulada de cada demanda inicial si sigue otra distribución (utilizar la función de distribución acumulada – cdf) ya sea continua o discreta. Un último caso, introducir la probabilidad “a priori” del caso dos que se mencionó en este capítulo. En la figura 4.27 se indica donde introducir la probabilidad. Todo lo demás valores son calculados.

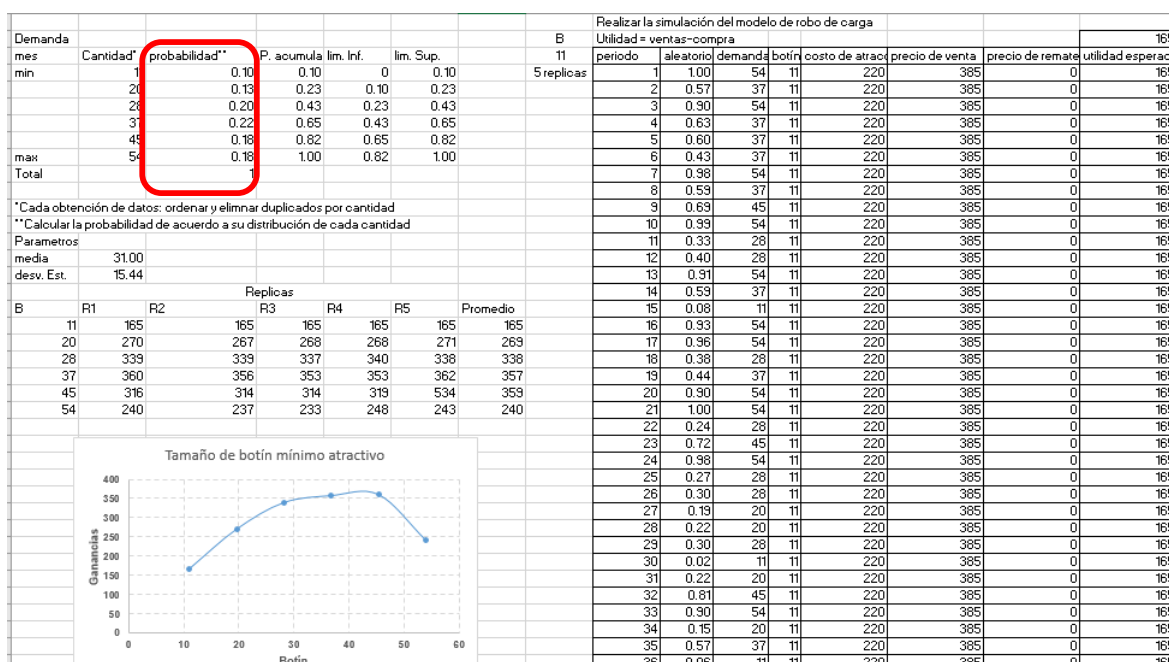


Figura 4.27. Cálculos del modelo para obtener el botín mínimo atractivo.

Finalmente se dan los resultados del π embarque por utilizar el enfoque del Internet Físico, es decir, realizar una mezcla de productos (ver figura 4.28). Se introduce el tamaño de botín mínimo atractivo para cada producto y muestra los resultados presentados en el caso uno y caso dos de este capítulo.

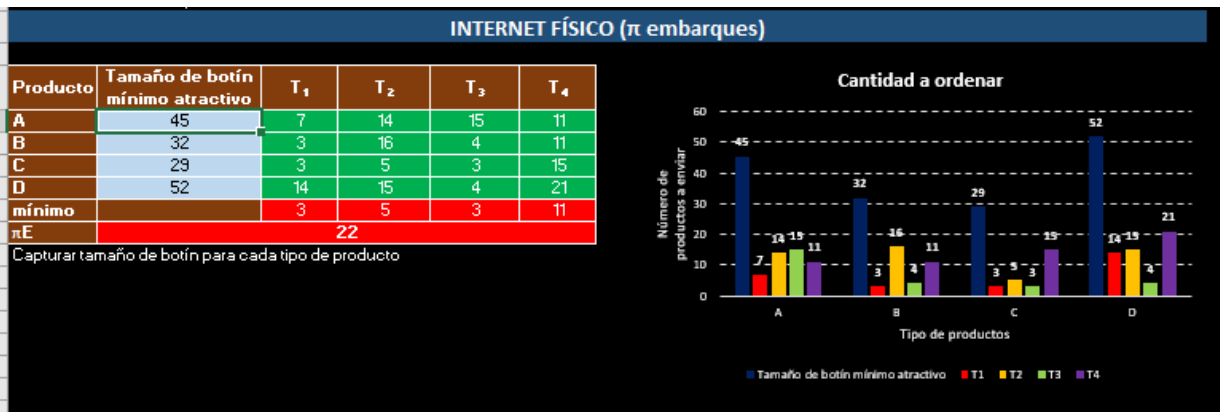


Figura 4.28. Cálculo de la cantidad a enviar de cada producto en el π embarque.

La figura 4.28. tiene un par de detalles. El primero es que el máximo de productos a utilizar son 4, si el usuario requiere introducir más, es necesario agregarlos manualmente. La ventaja que tiene es que, al introducir los valores iniciales de un nuevo producto, se pueden obtener los resultados automáticos y solo es cuestión de capturar el tamaño de botón mínimo atractivo e índice de riesgo. El segundo va con este último, el índice de riesgo, que solo considera 4 tramos. La razón para considerar 4 tramos, es con la simple finalidad de tener menos estimaciones de las proporciones de la ecuación (3). Por lo que se sugiere que, si existe un tramo 5 o más, hay que considerar un reajuste en el origen-destino para solo considerar 4 o menos si es el caso. Sin embargo, se pueden agregar más tramos, pero se tendría que hacer de manera manual, y reacomodar la condición inicial del índice de riesgo para ajustarla con lo demás cálculos.

Un elemento a favor de esta herramienta y que es de gran valor, es su utilidad para introducir las condiciones iniciales de cada producto, pues determinará el tamaño de botón mínimo atractivo. Por lo que no se tendría problema en construir los π embarques. De este modo, la presente herramienta tiene la función de apoyo para el presente trabajo. Esta primera versión, consideremos importante recrearla en Excel con la finalidad de explicar la metodología y en un futuro se tengan mejoras. La evolución prevista es el desarrollarla en un lenguaje de programación más sofisticado.

4.5 Conclusión

El análisis del modelo propuesto, muestra que al considerar el volumen mínimo de mercancías “*atractivas*” en combinación con mercancías “no atractivas”, resulta para las bandas criminales, en una reducción de sus ganancias y por lo tanto, mitiga el riesgo de robo para las empresas. Los resultados muestran que el enfoque de Internet Físico es un poderoso enfoque logístico con amplio potencial para reducir el riesgo de robo en los países emergentes como México. Esto se concluye en La tabla 4.13. al mostrar el tamaño de volumen de cada caso por cada categoría:

Tabla 4.13. Resultados del análisis.

Caso	Ganancias por producto	Ganancias por la mezcla	Costo de oportunidad
I	Mínimo	Mínimo	Mínimo
II	Mínimo	Mínimo	Mínimo

Ambos casos confirman el supuesto: “*a mayor valor, mayor índice de robo*”. Tanto en las ganancias por productos individuales, como en los mezclados, es necesario reducir el número de mercancías a partir del tamaño del botín mínimo atractivo. Incluso, con el costo de oportunidad se presentan pérdidas.

También se presenta la herramienta informática como una solución de apoyo en el uso de la presenta metodología para la toma de decisiones. A través de ella, los usuarios pueden consultar y analizar sus productos, como una estrategia para la reducción de robos. Algo importante a resaltar es la determinación de la función de probabilidad de la demanda mensual de los productos. La figura 4.29. hace un diagrama de árbol para aplicar la probabilidad en la demanda.

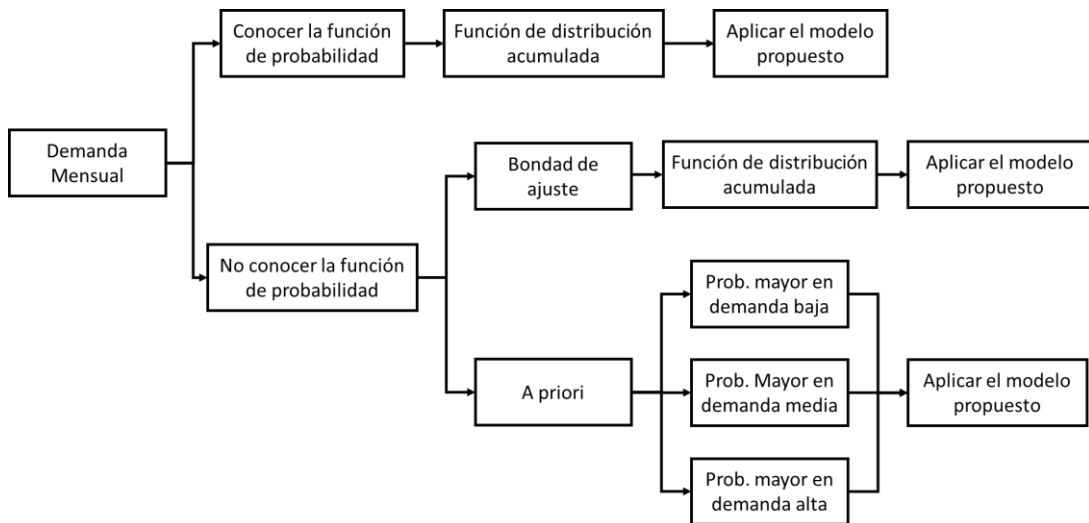


Figura 4.29. Diagrama para definir la probabilidad de la demanda.

Si se conoce la función de probabilidad o la probabilidad en la demanda, estas se aplican a las demandas iniciales, se introducen a la herramienta que aplica el modelo y se obtienen los resultados. En el caso de no conocerse, se procede a: i) bondad de ajuste, detectar la función de probabilidad y aplicar el modelo, ii) hacer un análisis de probabilidades a priori en demanda alta, media y baja, se aplica el modelo y de ambos incisos obtener resultados.

Se puede concluir que los resultados obtenidos de la implementación de la metodología propuesta fueron satisfactorios, por lo tanto, podemos afirmar que su uso es viable y recomendable. Dado que el autotransporte de carga es el de mayor utilización en los mercados denominados como emergentes, podemos afirmar que la metodología propuesta tiene una amplia área de aplicación.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones

5.1 Introducción

El éxito en la implementación del Internet Físico con el enfoque propuesto, radica en la correcta definición de la mezcla de diferentes productos (cada uno con riesgo de robo diferente para cada tramo que recorre el embarque). Los costos iniciales se verán afectados al considerar procesos inherentes al Internet Físico, como la utilización de candados electrónicos individualizados, o empaquetado dentro de un contenedor modular, evitando así, conocer los productos que contienen. Esto puede resultar en un mayor costo por atraco para las bandas criminales, derivado de la dificultad para los atracadores de hacerse con el botín.

Como resultado, aumentar el número de productos provocaría mayores pérdidas para los criminales, pero también tiende a aumentar los costos iniciales de manejo para las empresas (implementación tecnológica, capacitación de personal, mayor número de toques de la mercancía). Sin embargo, si se considera la reducción en los costos de interrupción en las cadenas de suministro, así como el daño patrimonial a las empresas, la balanza se inclina hacia la implementación del Internet Físico para mitigar el riesgo de robo en el autotransporte.

El riesgo de robo en logística es un área de oportunidad muy grande para reducir el costo logístico total de operar en mercados emergentes como México. Nuestra revisión de la literatura nos mostró que existen pocos trabajos científicos que desarrollen propuestas novedosas para mitigar el riesgo de robo desde una perspectiva logística (tecnología en la organización de los flujos). Este documento analiza la posibilidad de implementar el enfoque de Internet Físico para mitigar el riesgo de robo al autotransporte de carga, a través de la consolidación de embarques combinados de productos como estrategia para reducir la “*atractividad*” de los embarques ante bandas criminales altamente especializadas por tipo de producto.

De esta forma, derivado de los resultados obtenidos se puede concluir con respecto al objetivo general enunciado como:

“Desarrollar un modelo cuantitativo que permita valorar el nivel de reducción del riesgo de robo en el autotransporte de carga, considerando para ello, el enfoque de Internet Físico”.

Se cumplió al desarrollar un modelo cuantitativo, basado en un modelo de inventarios de un solo periodo, que permite valorar el nivel de reducción del riesgo de robo en el autotransporte de carga desde el enfoque del Internet Físico. Lo anterior se puede afirmar ya que mide acciones de gestión con relación a costos, demanda y transporte. Con la propuesta del modelo se calculó un tamaño económico de botín (tamaño de botín mínimo atractivo), como medio para medir el potencial de reducción del robo al autotransporte de carga con base en los costos asociados porque considera este valor como un umbral para definir la demanda y afectar costos en el atraco. También, se identificaron, las mercancías susceptibles de ser agrupadas en un solo embarque, considerando su nivel de riesgo de robo por zona geográfica de su traslado. Ello con base en la herramienta de índice de riesgo propuesta por De la Torre et al. [7], la cual permite calcular un valor para cada tipo de mercancía de un origen a un destino. Y finalmente se estableció la mezcla de mercancías, es decir los π embarques, los cuales reducen el nivel global de riesgo de robo para un embarque consolidado, implementando acciones para reducir ganancias, aumentar costos e implementar el enfoque del Internet Físico.

En este sentido y con respecto a la hipótesis enunciada como:

“Si se desarrolla un modelo que permita calcular los costos de re-organizar los procesos logísticos desde el enfoque del internet físico al mezclar diferentes productos con diferentes niveles de riesgo en un solo envío de carga, entonces, debido a la alta especialización de los grupos criminales por tipo de producto, la captura de lotes incompletos de productos de su interés, les redundará en sobre costos tenderán a reducir los incentivos para su actividad”.

Podemos aseverar que se cumplió positivamente ya que el modelo de inventarios de un solo periodo, permitió considerar al robo como un perecedero, de ahí realizar las analogías correspondientes y proponer un modelo plantándonos en un enfoque de Internet Físico como es el mezclar mercancías. Bajo este enfoque, cada mercancía con distinto nivel de riesgo en la captura del botín tuvo efectos en los costos para los criminales, por lo tanto, en sus ganancias. Esto es debido a capturar lotes “incompletos” de productos de su interés. Esto puede considerarse como un detonante a reducir la actividad criminal, al reducir su rentabilidad.

5.2 Contribuciones

Podemos aseverar que, además de que el enfoque propuesto permite dar viabilidad a la consolidación de embarques de productos combinados y moverlos de forma eficiente de un punto de origen, a uno de destino, se favorece la colaboración entre empresas. De este modo, se contribuye a alcanzar otro objetivo importante de nuestros tiempos, la reducción de las emisiones de CO₂ y transformar los sistemas de distribución actuales, a unos más sostenibles.

Desde el punto de vista del costo logístico total, es verdad que si bien el envío de embarques completos es la estrategia que permite reducir los costos de transporte, esta misma también otorga a cada embarque la “atractividad” suficiente para ser objetivo de las bandas criminales. De este modo, es importante considerar que la reducción en el volumen de los envíos va a requerir del desarrollo de alianzas entre empresas, y sobre esa base, consolidar los productos que le son “atractivos”, con los “no atractivos” para la delincuencia operando en los diferentes pares origen-destino por los que deben circular.

Como principal contribución de la presente investigación al conocimiento en el área de sistemas de transporte y logística, podemos declarar que, ante la falta de trabajos sobre el tema, la presente propuesta cubre una laguna de conocimiento sobre las mejores formas de reducir el riesgo de robo, más allá del uso de aparatos tecnológicos. Se muestra aquí que el uso de la “tecnología de flujos” (la efectiva organización logística), es una fuente de importantes posibilidades para mejorar la operación de las cadenas de suministro.

Como principal contribución a la práctica logística, el presente documento ha logrado establecer que la utilidad metodológica en cuanto a la originalidad del instrumento de implementación (herramienta informática). El modelo propuesto integra diferentes enfoques de forma coherente y con una fácil implementación por parte de las empresas.

Como principal contribución social, se puede establecer que, al enfocar nuestro trabajo a la mitigación de un importante flagelo de la sociedad y economía de mercados emergentes, se puede utilizar para definir mejores políticas públicas en cuento al diseño de la infraestructura de transporte y logística por parte del Estado. Pero también, la adopción de la metodología aquí propuesta por parte de las empresas, les permite contribuir a reducir este problema.

El problema del robo al autotransporte de carga nos implica a todos, bajo esa perspectiva, la presente metodología da una vía para la colaboración que permita lo que Cedillo-Campos [27] llama, *"inteligencia colectiva en logística"*.

Finalmente, es posible afirmar que analizar el tema de robo en el autotransporte de carga desde el enfoque de Internet Físico, es un parteaguas para futuras investigaciones. Para el futuro se podría desarrollar esquemas de colaboración entre empresas para elevar la agilidad en la implementación del enfoque aquí propuesto. Así como el desarrollo de herramientas de cálculo más detalladas con base en modelos de programación lineal, toma de decisiones bajo incertidumbre, análisis de costos y elaboración de mapas geoespaciales.

5.3 Investigaciones futuras.

Dentro de las líneas de investigación futuras, el presente trabajo nos ha permitido establecer al menos los siguientes dos potenciales vías de investigación futura.

En primer lugar, el desarrollo de un mapa geoespacial para realizar análisis gráficos derivados de los resultados presentados en este trabajo y de este modo, sirvan para la toma de decisiones. Esta herramienta podría apoyar también el análisis sobre qué productos se pueden combinar. Pero lo más importante, empezar a generar bases de datos de productos enviados, de robos detectados, y de esta manera desarrollar

inteligencia o colaboración colectiva entre los diferentes actores. Este último punto es clave para implementar el enfoque del Internet Físico.

En segundo lugar, empezar por redefinir la red interconectada que funcione para el futuro desarrollo del Internet Físico en mercados emergentes. Para ello es importante considerar el diagnóstico del estado actual de las infraestructuras de transporte y logística tanto públicas, como privadas. Igualmente, una hoja de ruta que permita la implementación del Internet Físico de forma ágil para los siguientes años.

Finalmente, y no menos importantes son otros dos aspectos de interés: i) realizar un estudio para conocer si el índice de riesgo identificado como bajo, se mantuvo igual o empeoró con la implementación de la metodología aquí presentada. También, ii) mejoras en la herramienta informática presentada para facilitar aún más al usuario su uso.

Con una era digital a la vuelta de la esquina, donde todos los actores de las cadenas de suministro se encontrarán interconectados, la implementación del Internet Físico (y por ende de la propuesta metodológica aquí expuesta) será más ágil. Conviene comenzar a sentar las bases que nos permitirán ser más competitivos. Nuestro trabajo, pretende sentar las bases que mejoren el desempeño logístico de las cadenas de suministro, aportando una solución para reducir un flagelo para la economía y la sociedad en países en desarrollo.

Referencias bibliográficas

- [1]. Hernández, L. "La inseguridad en autotransporte le cuesta a México 92 mil 500 mdp anuales". El Financiero, junio, [En línea]: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/la-inseguridad-enautotransporte-le-cuesta-a-mexico-92-mil-500-mdp-anuales> (diciembre 2018)
- [2]. Cedillo-Campos, M. "Primera encuesta nacional Evaluación del Riesgo en Cadenas de Suministro." Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Reporte de Investigación GC-74-78/2011, México (2011).
- [3]. Wagner, S. M., y Silveira-Camargos, V. "Decision model for the application of just-in-sequence". International Journal of Production Research, 49(19), 5713-5736, (2011). Doi: 10.1080/00207543.2010.505216.
- [4]. Sensiguard. Reporte anual 2019: Robo de Carga en México (2019).
- [5]. Sarraj, R., Ballot, E., Pan, S., y Montreuil, B. "Analogies between Internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection". Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 25, No. 6, pp. 1207-1219, (2014). Doi: 10.1007/s10845-012-0697-7.
- [6]. Yang, Y., Ballot, E. & Cedillo-Campos, M. "Contribution of Physical Internet Containers to Mitigate the Risk of Cargo Theft". 15th IMHRC Proceedings, Savannah, Georgia, U.S.A., (2018). [Disponible en]: https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/pmhr_2018/22.
- [7]. De la Torre, E., Martner, C., Moreno Quintero, E. Martínez, J. L., & Olivares Benítez, E. "Herramienta para la evaluación del riesgo de robo en el autotransporte de carga". Nova scientia 7.13: 438- 469, (2015). [Disponible en]: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100022.
- [8]. Cedillo-Campos, M. "Evaluación del Riesgo en Cadenas de Suministro". Editorial AML, Mexico (2011). ISBN: 978-607-96403-0-9, 10.13140/2.1.1111.5846.
- [9]. Cedillo-Campos, M., Bueno, A., González-Ramírez, R., JiménezSánchez, E. & Pérez-Salas, G. "Supply Chains under Security Threat: The First National Exploratory Study in Mexico", In: Ochoa-Zezzatti, A., Sánchez, J., Cedillo-Campos, M. & Margain de Lourdes (Ed). Handbook of Research on Military, Aeronautical, and Maritime Logistics and Operations. IGI Global, pp. 32-55, (2016). Doi: 10.4018/978-1-4666-9779-9.ch003.
- [10]. Montreuil, B., Ballot, E., & Tremblay, W. "Modular Design of Physical Internet Transport, Handling and Packaging Containers". Progress in material Handling Research: 2014, 13, MHI, International Material Handling Research Colloquium,978-1-882780-18-3. (hal-01487239). (2015). [Disponible en]: <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-01487239>.

- [11]. Cedillo-Campos, M. y Cedillo-Campos H. "w@areRISK method: security risk level classification of stock keeping units in a warehouse". *Safety Science*, Volume 79, pp. 358–368, (2015). Doi: 10.1016/j.ssci.2015.06.009.
- [12]. Perry, W. L., McInnis, B., Price, C. C., Smith, S. C., y Hollywood, J. S. "Predictive Policing: The Role of Crime Forecasting in Law Enforcement Operations". RAND corporation. (2013).
- [13]. Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública. SESNSP. "Víctimas y unidades robadas, nueva metodología". [En línea]: <https://www.gob.mx/sesnsp/acciones-y-programas/incidencia-delictiva-del-fuero-comun-nueva-metodologia?state=published>, (2020).
- [14]. Kovács, G., & Spens, K. M. "Abductive reasoning in logistics research". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 35 No.2, pp. 132-144. (2005). Doi: 10.1108/09600030510590318.
- [15]. Jáuregui, L. "La historia de los transportes en México (primera parte)". (2016).
- [16]. RoadStars. Revistas. "El primer camión de la historia: con él empezó todo". [En línea]: https://roadstars.mercedes-benz.com/es_ES/magazine/2018/july/first-truck-history.html, (julio 2018).
- [17]. Noemí de Moverdis. "Historia del transporte terrestre: descubre la evolución del sector". [En línea]: <https://www.moverdis.com/blog/transporte/historia-transporte-terrestre>, (abril 2019).
- [18]. Gómez Ginel, David. "Implicaciones éticas de los vehículos de conducción autónoma." (2019).
- [19]. U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information (OSTI). Hybrid and Plug-In Electric Vehicles (Spanish Version); Clean Cities, Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE). United States: N. p., 2015. [en línea]: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1215370>.
- [20]. Sallez, Y., Montreuil, B., y Ballot, E. "On the Activeness of Physical Internet Containers". In: Borangiu T., Thomas A., Trentesaux D. (eds) *Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing. Studies in Computational Intelligence*, vol 584, pp. 259-269. Springer, Cham. (2015). Doi: 10.1007/978-3-319-15159-5_24.
- [21]. Montreuil, B., Ballot, E., & Tremblay, W. "Modular Design of Physical Internet Transport, Handling and Packaging Containers". *13th IMHRC Proceedings (Cincinnati, Ohio, USA - 2014)*. 1. (2014). [Disponible en]: https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/pmhr_2014/1.
- [22]. Cachon, G. y Terwiesch, C. "Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management". 3rd Edition, McGraw-Hill Education, (2012).
- [23]. Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. "Investigación de operaciones". Décima edición, editorial McGraw-Hill, (2015).

- [24]. Cedillo-Campos, M. y Sánchez, C. "Análisis dinámico de sistemas industriales". Editorial Trillas, (2008).
- [25]. Levin, R. U. y Rubin, D. S. "Estadística para administración y economía". Pearson Educación, México, (2010).
- [26]. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. Diario Oficial de la Federación. 14 de noviembre de 2014. México, (2014).
- [27]. Cedillo-Campos, M. "Nuevo orden industrial: el valor logístico de la infraestructura". ISBN-13: 979-8748837576, (2021) [Disponible en]: https://www.amazon.com/-/es/Miguel-Gaston-Cedillo-Campos/dp/B0947RX2QM/ref=sr_1_1?_mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=gaston+cedillo&qid=1621615761&sr=8-1#detailBullets_feature_div

Códigos

1. Prueba de K – S para determinar normalidad de datos.

```

clc
clear

%Valores Iniciales (obtenemos media y desviacion estandar)
x=[12 23 43 54 23 21 22 11 43 23 43 54];
media = mean(x);
desest = std(x);

%Se realiza la prueba de una muestra Kolmogorov-Smirnov
%Graficar el cdf empírico y el cdf normal estándar para una comparación visual
y=(x-media)./ desest;
[h,p,k,c] = kstest(y,'tail','larger')

%Si el valor h=0, hay evidencia de distribución normal, h=1 otra
%distribucion
cdfplot(y)
hold on
y_values = linspace(min(y),max(y));
plot(y_values,normcdf(y_values,0,1),'r-')
legend('Empirical CDF','Standard Normal CDF','Location','best')

```

2. El siguiente código continua del anterior para obtener una réplica de la Tabla 3.8

```

%Costos iniciales
c1=20; %Valor del costo de atraco
c2=35; %Valor del precio de venta
c3=5; %Valor del precio de remate
c4=0; %Valor del costo de oportunidad

% Obtenemos las demandas iniciales (D1, D2,...,D6)
a= min(x);
b= max(x);
n=6;
aux=zeros(1,n);
aux(1,1)=a;
aux(1,6)=b;
x_min=a;

for i=2:n-1
    xr=(x_min)+((b-a)./ 5);
    fxr=xr;
    aux(1,i)=fxr;
    x_min=fxr;
end

```

```

aux;

% Calcular la probabilidad acumulativa
prob = normcdf(aux,media,desest);
prob(1,n)=1;
prob;

% calcula el limite inferior y superior de acuerdo a la prob, acumulativa
liminf=zeros(1,n);
liminf(1,1)=0;

for i=2:n
    liminf(1,i)=prob(1,i-1);
end
liminf;

limsup=prob;

H = [aux' prob' liminf' limsup'];

%Montecarlo
% Obtener números aleatorios "R" e identificamos su demanda de acuerdo
% a los intervalos liminf y limsup
n1=5;
d=zeros(1,n1);
R = rand(n1,1);

for i=1:n1
    for j=1:n
        if (R(i,1) < limsup(1,j)) && (R(i,1) >= liminf(1,j))
            d(1,i)=aux(1,j);
        %else
        % disp('No se encontro el intervalo')
        end
    end
end

R;
H1 = [R d'];

%Modelo de robo
%Matrices a rellenar
d1=zeros(1,n1);
ca=zeros(1,n1);
pv=zeros(1,n1);
pr=zeros(1,n1);
co=zeros(1,n1);
% utilidad esperada
u1=zeros(1,n1);
% utilidad esperada (más el costo de oportunidad)
u2=zeros(1,n1);
% Matriz de una réplica

```

```

E=zeros(1,n);

for j=1:n
    for i=1:n1
        d1(1,i) = aux(1,j);
        ca(1,i) = d1(1,i) .* c1;
        aux2=[d1(1,i) d(1,i)];
        pv(1,i) = min(aux2) .* c2;
        aux3=[0 d1(1,i)-d(1,i)];
        pr(1,i) = max(aux3) .* c3;
        aux4=[0 d(1,i)-d1(1,i)];
        co(1,i) = max(aux4) .* c4;
        u1(1,i) = pv(1,i) + pr(1,i) - ca(1,i);
        u2(1,i) = pv(1,i) + pr(1,i) - ca(1,i) - co(1,i);
    end
    E(1,j)= mean(u1);
    %Activar la siguiente linea si hay costo de oportunidad
    %E(1,j)= mean(u2);
end

H2= [R d' d1' ca' pv' pr' co' u1' u2'];
E'

```