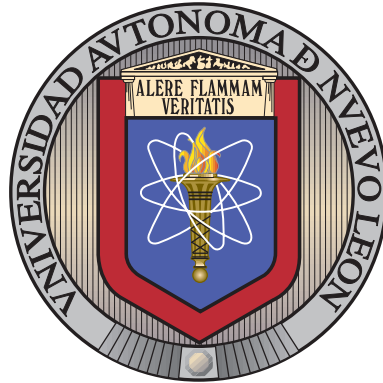


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA
DISTRIBUCIÓN EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO
MAXIMIZANDO SU ALCANCE DE COBERTURA

POR

ING. TANIA VALDÉS AVILA

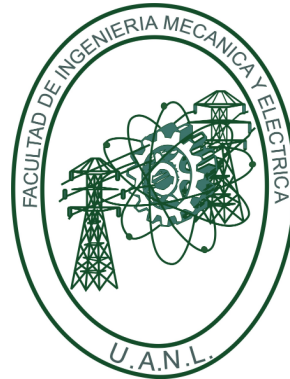
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

OCTUBRE 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA
DISTRIBUCIÓN EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO
MAXIMIZANDO SU ALCANCE DE COBERTURA

POR

ING. TANIA VALDÉS AVILA

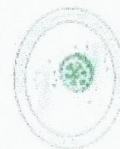
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

OCTUBRE 2020



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis “Localización de instalaciones para la distribución en el comercio electrónico maximizando su alcance de cobertura”, realizada por el alumno Ing. Tania Valdés Avila, con número de matrícula 1985774, sea aceptada para su defensa como requisito para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

Dr. Miguel Mata Pérez
Asesor

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa
Revisor

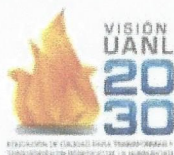
MSc. Carlos Alberto Álvarez Herrera
Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrados



San Nicolás de los Garzas, Nuevo León, Octubre 2020



*Esta tesis esta dedicada de todo corazón
a mis padres adorados Taniel Valdés y Migdalia Avila,
a mi hermano querido Tonito
a mi esposo amado Gilbert por su amor incondicional
a todos mis familiares y amigos.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	IX
Resumen	XI
1. Introducción	1
1.1. Situación problemática	2
1.2. Objetivo General	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	4
1.5. Estructura	5
2. Antecedentes	6
2.1. Antecedentes del problema	6
2.1.1. Crecimiento del comercio electrónico	8
2.1.2. Desafíos del comercio electrónico	10
2.2. Problemas de localización de instalaciones	11
2.2.1. Problema de Ubicación de Cobertura Máxima (MCPL)	12

2.3. Estrategias de solución	14
2.3.1. Criterios de evaluación	15
2.3.2. Herramientas de evaluación de criterios	17
2.3.3. Método proceso de Jerarquía Analítica (AHP)	20
3. Metodología	24
3.1. Metodología para la ubicación de instalaciones	24
3.1.1. Etapa 1 Selección de criterios	25
3.1.2. Etapa 2 Ponderación de los criterios	25
3.1.3. Etapa 3 Beneficio relativo por entidad federativa	27
3.1.4. Etapa 4 Modelo de optimización	29
3.1.5. Etapa 5 Experimentación	31
4. Experimentación	33
4.1. Etapa 1 Selección de criterios	33
4.2. Etapa 2 Ponderación de los criterios	35
4.3. Etapa 3 Beneficio relativo de las entidades federativas	37
4.4. Etapa 4: Modelo de optimización	38
5. Conclusiones	45
5.0.1. Contribuciones	46
5.0.2. Líneas de investigación para trabajos futuros	46

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Localización de los centros de distribución actualmente en la empresa caso de estudio. Fuente: Elaboración propia	7
2.2. Mayor porcentaje de internautas que utilizan el comercio electrónico (2019). Fuente: elaboración propia	8
2.3. Revisión bibliográfica de criterios de localización de instalaciones. Fuente: elaboración propia	16
2.4. Modelo jerárquico para la toma de decisiones con el AHP	21
4.1. Pesos normalizados de los criterios seleccionados	36
4.2. Curva costo-efectividad para S_j	42
4.3. Regiones cubiertas con $p = 6$ instalaciones	42
4.4. Regiones cubiertas con $p = 20$ instalaciones	43

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Facturación de América Latina	9
2.2. Clasificación de las técnicas MCDM	18
3.1. La escala de calificación de (Saaty, 1987)	26
3.2. Índice de consistencia aleatoria	27
4.1. Selección de criterios	34
4.2. Beneficio relativo de cada entidad federativa	38
4.3. Parámetros	40
4.4. Resultados obtenidos de CPLEX Studio	41
4.5. Tiempo de resultados del CPLEX	44

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer esta tesis

A mis padres y hermano adorados por su amor, a mi esposo por ser mi compañero de vida, a todos mis familiares y amigos por estar pendientes de mi en todo este proceso.

Agradezco a Dios y a la vida por permitirme vivir esta nueva experiencia llena de increíbles momentos, por encontrar amigos y compañeros nuevos que me brindaron su ayuda y apoyo.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a este posgrado especialmente por aceptarme en el programa.

A mi tutor el Dr. Miguel Mata Pérez, por su empatía, recomendaciones, consejos y su enseñanza.

Agradecer a mi asesor al Maestro Carlos Alberto Álvares Herrera por permitirme entrar en la empresa caso de estudio, por brindarme su sencillez, su humildad, su ayuda, apoyo y amistad.

Agradecer a mi asesora la Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa por sus consejos.

Agradecer a todos los profesores por los conocimientos tan valiosos aportados a lo largo de estos dos años.

Agradecer infinitamente al programa CONACyT por haber sido beneficiada

con una beca para la tranquilidad de mi estancia en el país, y el estudio del posgrado ya que sin su ayuda hubiese sido imposible cumplir con este sueño,

y por último agradecer a México por acogerme entre sus brazos y hacerme sentir que formo parte de esta sociedad.

Muchas gracias a todos sin ustedes esto no sería posible.

RESUMEN

Ing. Tania Valdés Avila.

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

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA DISTRIBUCIÓN EN
EL COMERCIO ELECTRÓNICO MAXIMIZANDO SU ALCANCE DE COBERTURA.

Número de páginas: 51.

OBJETIVO Y MÉTODO DE ESTUDIO: El objetivo de esta tesis es maximizar el alcance que tiene la empresa en la distribución al cliente final a través de una estrategia de localización de instalaciones mediante la aplicación de herramientas matemáticas de análisis y optimización.

Los métodos combinados utilizados para la solución del problema de investigación fueron los modelos multicriterios de Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), Técnica para la preferencia de orden por similitud con la solución ideal (TOPSIS), y herramientas de optimización como el Modelo de Ubicación de Cobertura Máxima (MCLP)

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Una de las principales contribuciones del proyecto de tesis es haber podido trabajar un problema basado en una situación y entorno real de una empresa multinacional, permitiendo desarrollar una estrategia de solución con la aplicación de herramientas académicas.

Otra de las contribuciones importante obtenidas es permitir entregar una metodología funcional, ajustable y basada en herramientas matemáticas cuantitativas de análisis.

Como última contribución y no menos importante es poder obtener con el estudio una metodología de análisis que brinde apoyo a los procesos estratégicos y logísticos de la empresa caso de estudio.

Mediante la metodología combinada propuesta logramos definir una estrategia de localización que ayude a la empresa caso de estudio conocer el número de instalaciones que necesitarían ubicar para cubrir la mayor demanda posible en la distribución de sus productos a través del nuevo modelo de negocio como es el comercio electrónico.

A continuación se presentan las siguientes conclusiones:

Los métodos combinados utilizados permitió considerar diversos criterios cualitativos y cuantitativos estratégicos de preferencias reales para los tomadores de decisión a través del análisis multicriterio, además se demostró que en el centro de la república mexicana se encontraban las entidades federativas más ideales para abrir una instalación.

El modelo de ubicación de cobertura máxima propuesto arrojó como resultados que se necesitarían 20 instalaciones para cubrir los puntos de demandas considerados en el estudio y seis instalaciones para cubrir el 71 % de los nodos demandados.

El crecimiento del comercio electrónico años tras años es una realidad latente en cada usuario final. Este vive un momento en el que móvil, ordenador, tienda física, publicidad digital (*on*) y no digital (*off*) y todas las variables, empiezan a perder las líneas divisorias para fundirse en una única experiencia de compra. Por lo que estar presente en estos distintos canales, apostando por una estrategia que pueda adaptarse a las diferencias de cada uno, parece ser el paso más lógico si lo que se pretende es competir en mercado cada vez más digital y dinámico.

Firma del asesor: _____


Dr. Miguel Mata Pérez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La globalización ha traído como consecuencia que las empresas deben ser más competitivas, por lo que éstas se han dado a la tarea de buscar elementos importantes que las puedan hacer diferenciadoras a las demás.

Cada vez más el comercio electrónico (e-commerce) es una parte integral de la vida cotidiana de los consumidores y de las empresas globales. Otras empresas sin embargo amplían su alcance de mercado al globalizarse y dirigirse a audiencias internacionales. Con eso, surgen nuevos desafíos, como reconstruir la marca y la confianza en esa región, diferentes preferencias de entrega y pago, o establecer nuevos canales de distribución y aplicar nuevas reglas de privacidad de datos (Lone y Quaglieri, 2019).

En la actualidad se observa un importante crecimiento del comercio electrónico en el mundo. Según el informe realizado por Ecommerce Foundation en su informe Ecommerce Report Global: 2019 en el cual agrupan las principales economías desarrolladas y economías emergentes se aprecia como el comercio electrónico B2C ha tenido un crecimiento constante de facturación global de 11 %, previendo que en el 2019 se alcanzara 2 trillones de dólares (Lone y Quaglieri, 2019), y para América Latina 84 billones de dólares (Ecommerce Foundation, 2019). Mientras tanto en México, el valor del comercio electrónico alcanzó los 491 mil millones de pesos en

el 2018, representando el 24% de crecimiento respecto a 2017; se previó que para el primer semestre de 2019 se alcanzara un crecimiento del 22%, 4% más que el crecimiento del primer semestre en el 2018 (Asociación de Internet MX, 2019).

Hoy en día el profundo impacto económico en el mundo que ha causado la pandemia Covid-19 desestabilizando la mayoría de los mercados y negocios ponen en peligro la estabilidad y rentabilidad de cualquier compañía a nivel mundial. En cambio, ante el confinamiento por el coronavirus, los usuarios han empezado a comprar más en línea, lo que causará un alza en las medianas y grandes empresas logrando generar crecimientos significativo mayor al 25% ante este nuevo panorama; mientras que las micro-empresas declaran el mayor impacto negativo en volumen de negocios, al ser las más vulnerables a una eventualidad tan masiva. Sin embargo se visualiza la peor tasa de aceptación y tiempo de respuesta de las pasarelas en años con un 32% (AMVO Asociación Mexicana de venta online, 2020), por lo que uno de los retos que enfrenta el sector del comercio electrónico con la demanda, es la logística y que los tiempos de entrega de los productos podrían triplicarse.

Las empresas dedicadas a la fabricación necesitan actuar con celeridad para asegurarse una posición de liderazgo en los complejos ecosistemas industriales del futuro. De hecho, el 33% de organizaciones aseguran haber alcanzado niveles avanzados de digitalización en la actualidad, mientras que el 72% espera lograrlo para 2020 (Reinhard Geissbauer, Ph.D Lübben y Schrauf, 2017).

Con independencia de su sector, todas ellas están obligadas a dar el salto al nuevo paradigma de la Industria 4.0. Ya no se trata de una opción de crecimiento sino de un requisito para la supervivencia.

1.1 SITUACIÓN PROBLÉMICA

El proyecto de tesis está orientado a una empresa multinacional manufacturera de línea blanca, con más de 40 años en el mercado, de alcance global y reconocida

por sus excelentes productos. Tiene un prestigio internacional, pero a pesar de ser una excelente empresa, no está exenta a todos estos cambios que trae consigo el siglo XXI. Por lo que también se ha tenido que enfrentar a la búsqueda de elementos diferenciadores de su competencia y entrar en este nuevo esquema de la digitalización o las llamadas ventas online.

Actualmente la empresa caso de estudio vende y distribuye sus productos al cliente final a través de intermediarios y desea abrir un nuevo canal de distribución partiendo de las ventas en líneas de estos. Ellos conocen y están conscientes que la transición al comercio electrónico es el único camino para poder sobrevivir en estos últimos tiempos y no perder clientes, por lo que eliminar un eslabón en la cadena de suministro para que puedan entregarle directamente el producto una vez que el usuario compre a través de su plataforma en el menor tiempo posible permitiría eliminar inventario con los intermediarios y llegar a la mayor población posible.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Maximizar el alcance que tiene la empresa en la distribución al cliente final a través de una estrategia de localización de instalaciones mediante la aplicación de herramientas matemáticas de análisis y optimización.

1.3 HIPÓTESIS

A través de herramientas matemáticas de análisis y optimización de instalaciones es posible maximizar la cobertura geográfica de distribución en función de las ventas directas al cliente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Lograr introducirse en la distribución del comercio electrónico y cumplir con la promesa de ventas es uno de los retos más difíciles que enfrenta las empresas en estos últimos tiempos. La ubicación de instalaciones de almacenamientos permitirá a la empresa caso de estudio contar con un sistema de entrega ágil, eficiente y seguro, mejorando el servicio al cliente a partir de una experiencia de entrega satisfactoria ya que la logística es la única cara visible que el cliente final (comprador) tiene de la tienda en línea (Tapia, 2014).

No es menos cierto que los intermediarios al ser parte de la cadena de suministro hacen encarecer en gran medida el producto que llega hacia el cliente final, por lo que eliminando ese eslabón se ahorraría la paga del mismo y se aumentarían las ganancias que se obtienen.

La ubicación de instalaciones más cercanas al cliente final permitirá optimizar la distribución de la última milla agrupando envíos y reduciendo kilometraje ajustándose a que los márgenes de tiempo cada vez menores sean posibles (Jiménez, 2018). Otros de los beneficios que trae consigo la distribución del comercio electrónico es conocer y obtener más información sobre los clientes.

Ampliar la cobertura geográfica de los servicios de comercio electrónico de distribución directa hacia el cliente final permitiría que la logística del comercio electrónico siga ganando terreno (Jiménez, 2018), y que la logística inversa en caso necesario sea menos costosa. La nueva realidad electrónica entrega a la logística un rol fundamental al ser el nexo de unión entre el mundo en línea y el mundo real (Tapia, 2014).

1.5 ESTRUCTURA

El proyecto de tesis estará estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se describe una pequeña introducción del crecimiento del comercio electrónico, la problemática de la empresa, el objetivo, la hipótesis, la justificación, y la estructura de la tesis.

En el capítulo 2 se realiza la revisión de la literatura de la investigación, en el cual se detalla lo que se pretende lograr respecto a la problemática planteada. Así mismo como la búsqueda de las herramientas matemáticas de análisis, y optimización que le puedan dar respuesta a la misma.

En el capítulo 3 se expone la metodología propuesta de solución al problema, se definen las herramientas matemáticas de análisis y optimización, así como el modelo matemático que se desarrollará para maximizar la cobertura geográfica de distribución y su funcionamiento.

En el capítulo 4 se verán la experimentación de la metodología de solución en el capítulo 3 al detalle y los resultados que se han obtenido con cada una de las herramientas utilizadas lo que permite verificar el método propuesto.

Y en el capítulo 5 se proporcionaran las conclusiones del trabajo.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Esta nueva era digital ha llevado a las empresas a reingeniar sus nuevos canales de distribución. El comercio electrónico crece todos los años a un ritmo increíble y la competencia lo ha aprovechado al máximo. Según (Felipa, 2017) el futuro de los negocios está en cuánto la empresa puede aprovechar internet.

En este capítulo se analiza la problemática de la empresa caso de estudio y los antecedentes teóricos para la solución de la misma.

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El proceso de adopción de las empresas al comercio electrónico es diferente según las necesidades que presentan. El objetivo de que llegue el producto o servicio que brindan con las expectativas exigidas por el cliente final ha llevado a que las grandes y pequeñas empresas enfrenten diferentes desafíos.

Entre las estrategias empresariales que han adoptado las empresas para no desaparecer en el futuro es abrir un nuevo canal de distribución en el cual el producto que es comprado en línea sea entregado en el lugar que el cliente final desee, pero este reto que la sociedad está exigiendo a estas no puede suceder si no se cuenta con una estrategia e infraestructura logística.

El caso de estudio es una empresa norteamericana multinacional manufacturera con sede en México con más de 40 años en el mercado. Cuenta con tres plantas y centros de distribución en las locaciones de (Apodaca) Nuevo León, (Celaya) Guanajuato y Ciudad de México según se muestra en la figura 2.1. Manufactura productos de línea blanca para el mercado nacional e internacional.



FIGURA 2.1: Localización de los centros de distribución actualmente en la empresa caso de estudio. Fuente: Elaboración propia

La distribución y compra de sus productos al cliente final se realiza a través de intermediarios y se desea abrir un nuevo canal de venta a través del comercio electrónico. Llevar el producto una vez que el cliente final compre en línea en el menor tiempo posible, eliminando inventario con los intermediarios y llegando a la mayor población de México es el objetivo de la empresa.

Internet transforma el marketing y los negocios de las empresas. Hay millones de personas que ingresan a Internet en todo el mundo; las posibilidades de ser abastecidos por alguna empresa en sus necesidades explican la potencialidad de esta tecnología. Las empresas la añaden a las herramientas que les permite lograr sus objetivos. Así, Internet otorga valor a sus actividades tanto de provisión (comercio

electrónico por el lado de la compra) como de distribución (comercio electrónico por el lado de la venta), al tiempo que le permite a la empresa un amplio espectro para comercializar productos en el ámbito mundial, en tiempo real, y buscar proveedores con la misma capacidad de abastecimiento (Felipa, 2017).

2.1.1 CRECIMIENTO DEL COMERCIO ELECTRÓNICO

Según el Informe Global Digital 2019 de la agencia We are Social en colaboración con Hootsuite, nos muestra un panorama general en cuanto al porcentaje de internautas que utilizan el comercio electrónico como una herramienta de compra, y el crecimiento importante que tiene este año tras año. Hoy en día el 37% de los consumidores realiza sus compras en líneas, es decir, a través del comercio electrónico (ver gráfico 2.2).

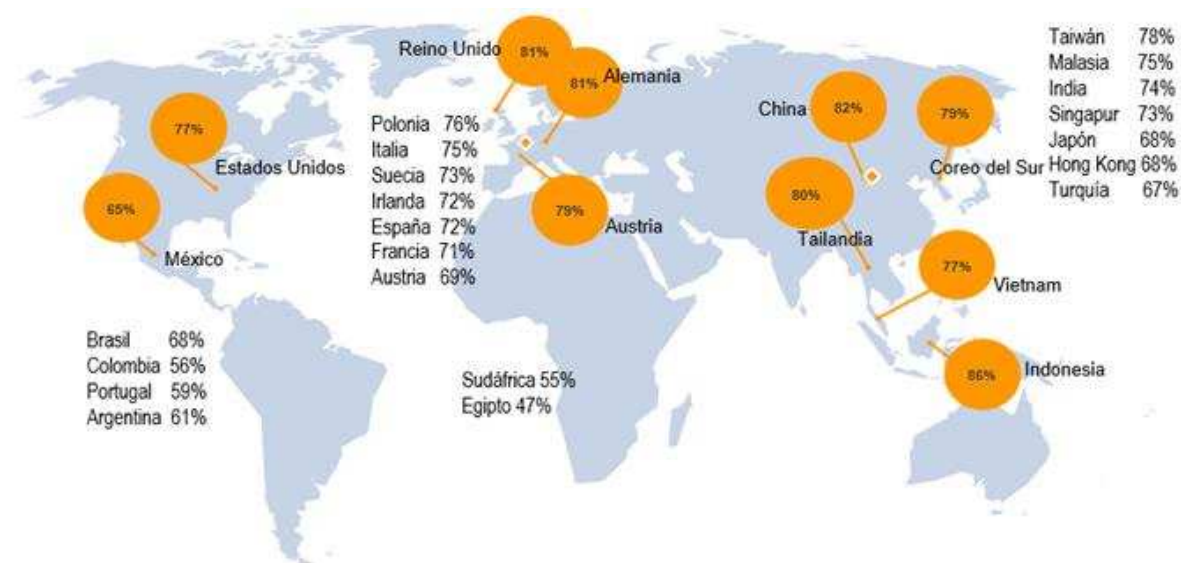


FIGURA 2.2: Mayor porcentaje de internautas que utilizan el comercio electrónico (2019). Fuente: elaboración propia

Hoy el comercio electrónico es una de las tendencias entre los consumidores y esto lo demuestra un estudio de Linio en el que se encontró que en Latinoamérica las ventas en comercio electrónico en esta área superan los 57000 millones de dólares 2.1.

Países	Ventas USD	% de penetración
<i>Brasil</i>	<i>19.7 billones</i>	<i>71</i>
México	17.6 billones	65
<i>Chile</i>	<i>5.8 billones</i>	<i>78</i>
<i>Argentina</i>	<i>4.2 billones</i>	<i>93</i>
<i>Perú</i>	<i>4 billones</i>	<i>68</i>
<i>Colombia</i>	<i>4 billones</i>	<i>63</i>
<i>Ecuador</i>	<i>800 millones</i>	<i>80</i>
<i>Venezuela</i>	<i>449 millones</i>	<i>53</i>
<i>Costa Rica</i>	<i>442 millones</i>	<i>86</i>
América Latina	57.1 billones	70

TABLA 2.1: Facturación de América Latina

En la tabla 2.1 se muestra como México y Brasil presentan en ventas 17.6 billones y 19.7 billones de dolares respectivamente encontrándose dentro de los países con mas ventas en comercio electrónico en Latinoamérica. Las ventas de México (país con una penetración del 65% en internet), cuadruplican las de Peru y equivalen a casi el triple de las de Chile. América latina aporta aproximadamente el 3.5% del reatil en la región, con un incremento del 15.7% para el mismo año.

El comercio electrónico nos permite la eficiencia de las empresa, haciendo que los pasos para comprar sean mas cortos y rápidos, mayor velocidad de las transacciones de venta sin necesidad de acudir a la empresa, con la comodidad de tener el producto en las puertas de tu casa, sin retrasos y teniendo en cuenta que las formas de pago son abundantes realizándose con mayor facilidad, seguridad y velocidad. Al mismo tiempo disminuye la producción para las empresas ya que se crean productos que solo los consumidores van a adquirir mediante pedidos en algunos casos. Otras ventaja y de las mas importantes es que como empresa podemos otorgar servicios las 24 horas del día los 365 días del año y el mejoramiento del trato con los clientes se hace posibles gracias al paralelismo independiente de sus características individuales como su nacionalidad o lugar de residencia entre otros (Palos Moreno, 2004).

Las empresas dedicadas a la fabricación necesaria actuar con celebridad para asegurarse una posición de liderazgo en los complejos ecosistemas industriales del futuro, De hecho, el 33 % de organizaciones asegura haber alcanzado niveles avanzado de digitalización en la actualidad mientras que el 72 % espera logrando para 2020 (Reinhard Geissbauer, Ph.D Lübben y Schrauf, 2017). Con independencia de su sector, todas ellas están obligadas a dar el salto al nuevo paradigma de la industria 4.0. ya no se trata de una opción de crecimiento sino de un requisito para la supervivencia.

2.1.2 DESAFÍOS DEL COMERCIO ELECTRÓNICO

Según un estudio realizado en la India por (Reddy y Divekar, 2014) ha revelado que los servicios de logística y son el mayor desafío que se enfrentan las empresas de comercio electrónico en este país, el aumento de los cargos por combustibles en la India dificulta mucho las entregas fijas y los precios de envío y , por lo tanto, afecta constantemente el resultado final de las empresas. el fraude en línea, los correos de loterías falsos y la estafa de información de tarjetas de crédito que han sido robadas han sacudido la confianza de los clientes en este sistema por lo que la opción de pago contra reembolso es el segundo mayor desafío. La estructura tributaria en los servicios de mensajería, otro problema son los impuestos diferentes para las ventas B2B y B2C debido a que cuando la compañía entrega ambos, se hace difícil demarcar e identificar que transacción pertenece a que categoría.

Otras de las problemáticas que se enfrentan las empresas para adaptar este nuevo esquema digital son: las experiencias de compra del cliente debido a que estos abandonan el carrito de comprar en línea por los elevados costos de envíos seguido del tiempo que lleve recibir un paquete; los operadores logísticos también se enfrenta a disimiles desafíos como la preocupación por la suba e impuestos, el aumento de combustibles y peajes que asfixia a la actividad ; a la hora de realizar el proceso de entrega de un producto en el comercio electrónico se presentan errores en las

direcciones, la ausencia del recepto del envío y la disponibilidad de stock y no muchos minoristas tienen los recursos para operar múltiples centros de distribución en ubicaciones estratégicas.

En servicio logístico exitoso es aquel en el cual se concreta la entrega no aquel en el que se intenta entregar el producto. El operador logístico debe interiorizar este objetivo, ya que si el cliente no recibe su producto lo más probable es que nunca más compre en línea. En este negocio, el boca a boca es potente y la mala propaganda que recibe la tienda en particular y el comercio electrónico en general es muy fuerte.

2.2 PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

Los problemas de localización parten de la necesidad de encontrar el sitio más conveniente para ubicar instalaciones como: una planta de producción, un centro de distribución, un vertedero de basuras, estaciones de policía, e inclusive una tienda. Dependiendo de la instalación que se quiera ubicar, se consideraran diferentes variables y objetivos en el problema (Aponte Penagos y Rosas Castro, 2009). Weber introdujo por primera vez la teoría de la ubicación (Badri, 1999), quien consideró el problema de ubicar un único almacén para minimizar la distancia total de viaje entre el almacén y un conjunto de clientes distribuidos espacialmente (Chakraborty *et al.*, 2013).

Un modelo de localización tiene cuatro características básicas: (1) los clientes que se encuentran localizados en puntos o rutas dependiendo del caso, (2) instalaciones que deben ser localizadas, (3) un espacio en el que los clientes y las instalaciones deben ser localizadas, y (4) una métrica que indique las distancias, costos o tiempos entre los clientes y las instalaciones (Revelle y Eiselt, 2005). Con estas características se espera que pueda responder a las siguientes cuatro preguntas (Daskin, 1995):

1. ¿Cuántas instalaciones debo utilizar/localizar?
2. ¿Dónde deben ser ubicadas?
3. ¿Qué tamaño deben tener?
4. ¿Cuáles clientes debe atender cada instalación para minimizar los costos o tiempos totales?

Un modelo de asignación de ubicación es un método utilizado para determinar las ubicaciones óptimas de las instalaciones y para asignarlas espacialmente en función de las demandas. La investigación clásica sobre los modelos de asignación de ubicación incluye el modelo de P-centro, el modelo de P-mediana y el modelo de cobertura. El modelo de cobertura incluye el modelo de cobertura del conjunto de ubicaciones y el modelo de ubicación de cobertura máxima (Zhu *et al.*, 2016).

En 1995, Daskin dividió el LCM en un modelo de ubicación de cobertura (SCLM), modelo de ubicación de cobertura máxima (MCLM) y extensiones de estos modelos (Daskin, 1995) los cuales serán explicados en la sección siguiente.

2.2.1 PROBLEMA DE UBICACIÓN DE COBERTURA MÁXIMA (MCPL)

El Problema de Ubicación de Cobertura Máxima (MCLP) fue presentado por primera vez por Church y ReVelle en (Murray, 2016). El MCLP no requiere que todos los centros de demanda sean atendidos, su propósito es localizar un número dado de instalaciones maximizando el número, o el peso total, de los centros de demanda atendidos (Colombo *et al.*, 2016).

El problema ha sido estudiado en numerosos trabajos desde su primera publicación y ha tenido más de 1,550 citas en la literatura académica. Las aplicaciones de problemas de ubicación van desde gas estaciones y locales de comida rápida a

vertederos y plantas de energía. Uno de los problemas tradicionales de ubicación, que ha sido bien estudiado desde su introducción, es el problema de ubicación de cobertura. En una cubierta problema de ubicación, uno busca una solución para cubrir un subconjunto de clientes considerando uno o más objetivos. El lugar de cobertura el problema a menudo se clasifica como un conjunto de ubicaciones que cubre el problema (LSCP) y problema de ubicación de cobertura máxima (MCLP). En un estándar MCLP, uno busca la ubicación de una serie de instalaciones en una red de tal manera que la población cubierta se maximice. Una la población está cubierta si al menos una instalación está ubicada dentro de una distancia predefinida de la misma. Esta distancia predefinida a menudo se llama radio de cobertura. La elección de esta distancia tiene un papel vital y afecta la solución óptima del problema en gran medida. MCLP es de suma importancia en la práctica para localizar muchas instalaciones de servicio (Fazel Zarandi *et al.*, 2011).

En la literatura, existen varios métodos para resolver MCLP incluyendo métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos. Su diversidad hace que diferentes autores trabajen este tipo de problema a diferentes objetivos. El problema de (Qu y Weng, 2009) es ubicar los centros p para que los flujos atendidos sean maximizado. El método propuesto para resolver un problema de este tipo es evolutivo, tiene un enfoque basado en la vinculación de ruta. (Corrêa *et al.*, 2009) analizaron la versión probabilística de MCLP en que hay un servidor por centro. Utilizaron una combinación de columnas de generación y cubriendo enfoques gráficos para resolver esto problema. (Davari *et al.*, 2011) uso de la búsqueda Tabu (-% 1.35 según la mejor solución) y la heurística de simulación difusa al considerar el tiempo de viaje difuso.

Por otra parte en la literatura más reciente a estos problemas encontramos como (Coco *et al.*, 2018) trabaja un optimización robusta el cual trabaja con una incertidumbre de datos, estos problema de ubicación máxima de cobertura NP-Hard (MCLP) consiste en encontrar un subconjunto X_M con la suma máxima de beneficios. (Colombo *et al.*, 2016) presenta un problema de la ubicación de la cubierta multimodo el cual es una generalización del (MCPL) pero que a su vez es un problema

desafiante e intrínsecamente mucho más difícil que su versión básica. Sin embargo, admite una garantía de aproximación de factor constante, que se puede lograr combinando dos algoritmos codiciosos. (Blanquero *et al.*, 2016) aborda una variante del problema clásico, el cual lo conduce a un programa no lineal entero mixto (MINLP) la cual busca ubicar las instalaciones p a lo largo de los bordes de una red.

Este caso de estudio está orientado a la ubicación de instalaciones en un espacio continuo para maximizar la cobertura de la demanda regional, problema difícil de resolver ya que la demanda se distribuye continuamente en una región y las instalaciones pueden ubicarse en cualquier lugar de la región, lo que se sugiere que un número infinito de ubicaciones debe considerarse tanto como demanda de servicio como una instalación potencial. (Wei y Murray, 2015) examina un estudio de MCLP de espacio continuo donde sugiere caminos potenciales con ideas empíricas.

2.3 ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN

El grado del desarrollo en la adopción del comercio electrónico a nivel mundial es diferente según la zona geográfica. Algunas regiones presentan un letargo digital, especialmente en Latinoamérica y el Caribe, donde es contundente que existe un retraso en el desarrollo de la infraestructura y en la adopción de servicios de Internet, en el despliegue de alta capacidad de transmisión, en la oferta de servicios de acceso, en la calidad a precios asequibles y en la extensión del acceso a las regiones y poblaciones más pobres o apartadas (Sánchez y Arroyo, 2016). Por tal motivo en esta sección se realiza una revisión de la literatura para conocer que criterios o factores de evaluación que tuvieron en cuenta diferentes autores para la ubicación de instalaciones. La selección de búsqueda de estos criterios estarán centrados en la localización de instalaciones según las características de la región mexicana y el comercio electrónico.

2.3.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

En la economía global dinámica y volátil de hoy, muchos investigadores subrayan la importancia de los factores de ubicación de las instalaciones. Los problemas asociados a con la ubicación de las instalaciones de distribución incluyen entornos políticos, económicos, legales, sociales y culturales. Las decisiones de ubicación de las instalaciones implican una inversión de capital sustancial y dan como resultado restricciones a largo plazo en la distribución de bienes. Estos problemas son complejos y, como la mayoría de los problemas del mundo real, depende de una serie de factores tangibles e intangibles que son exclusivos del problema. La complejidad se deriva de una multitud de factores cualitativos y cuantitativos que influyen en las decisiones de ubicación, así como de la dificultad intrínseca de hacer compensaciones entre esos factores (Ko, 2005).

El problema de localizaciones de instalaciones (FLP según sus siglas en inglés) es un problema macro logístico que consiste en determinar el local adecuado para posicionar estratégicamente algunas facilidades, tales como: instalaciones industriales, centros de distribución, instalaciones de asistencia, medicas instalaciones indeseables, entre otros. Para cualquier tipo de instalaciones a ser localizada, diferentes variables y objetivos deben ser considerados simultáneamente. Particularmente, la localización de centros de distribución es un problema discreto que relaciona un conjunto de locales (alternativas) que deben ser evaluados contra un conjunto de criterios ponderados independientes uno del otro. La mejor alternativa para localización es aquella que obtiene mayor valor considerando diversos criterios de acuerdo con las preferencias prioridades de los tomadores de decisiones (Soto-de la Vega *et al.*, 2014).

Es evidente el aumento de las transacciones a través del comercio electrónico hoy en día. Por lo tanto es importante que las futuras áreas de negocios y las redes de logísticas y distribución se configuren de manera que se adapte a este desarrollo.

Los criterios de selección de ubicación tradicionales han enfatizado en variables de costo como las economías de escala y los gastos de transporte. Sin embargo, estos días las variables de no costo tienen también un papel importante para escoger la ubicación de un centro de distribución, variables como infraestructura, características del mercado y los factores institucionales (Giraldo Botero, 2014).

A continuación en la figura 2.3 se muestra los criterios más utilizados en la literatura para la ubicación de instalaciones ya sea almacenes, centros de distribución, cross docking o sitios de negocios.

Criterios de selección	(Basave Kunhardt & Gutiérrez-Haces, 2013)	Álvarez (2011)	(Flores Flores, Álvarez Herrera, & García Fernández, 2017)	(Duarte, 2007)	(Virtual & Sociales, 2007)	(Benume n & Redondo, 2007)	(Thom pson, 2011)	(Romita Chakrabortya*, 2013)	(Ko, 2005)	(Soto de la Vega, Vidal Vieira, & Vitor Toso, 2013)
Producto interno bruto (PIB)	x		x							
Ventas y su tasa de crecimiento	x									
Números de empleados	x		x					x		
Índice de regionalización	x		x							
Recursos naturales		x								
Densidad de población			x			x			x	
Potencia de mercado			x							
Economía de urbanización			x	x	x					
Remuneración			x		x				x	
Personal ocupado en el sector de servicio			x							x
Coficiente de localización.			x							
Accesibilidad				x					x	x
Jerarquía social				x						
Proximidad a los proveedores					x					x
Vías de comunicación					x					
Disponibilidad de medios de transporte					x					x
Condiciones climáticas favorables				x	x					x
Cargas fiscales					x					
Servicios públicos y privados					x					
Número de empresas						x				
Número de desempleados						x				x
Impuestos sobre ventas							x			
Cercanía al mercado								x		
Posibilidad de terremoto								x		
Costo de renta									x	
Impuesto sobre tierras										x
Costos asociados a los almacenes										x

FIGURA 2.3: Revisión bibliográfica de criterios de localización de instalaciones. Fuente: elaboración propia

(Engelen, 2013) explica como los factores o los criterios de ubicación dan forma a las decisiones de (re)ubicación en las empresas, En su estudio empírico demuestra como el comercio electrónico y su cumplimiento ha cambiado las decisiones de ubicación especialmente para los diferentes tipos de comercio electrónico, centrándose en el B2C el cual es de nuestro interés sirviendo de base importante para la base importante para la búsqueda de estos criterios o factores de ubicación. La investigación fue realizada a los sub-sectores del comercio electrónico más demandados y conocidos como son: electrónica de consumo, misceláneas internacional y nacional,

moda, proveedores de servicios orientado internacionalmente, proveedor de servicios especializados. Entre los resultados finales de la investigación se muestran que los criterios o factores más dominantes son: distancia a proveedores y/o edificios, personal experimentado (potencial) en la región, distancia a los centros de entrega de paquetes, acceso a autopistas y cerca de posibles clientes.

Uno de los clientes más interesantes que se encontraron en la literatura relacionados con la ubicación de centros de distribución que presentan servicios al comercio electrónico se encuentran la proximidad de estos centros de paquetes a los clientes finales y grupos de trabajo suficiente y flexibles.

2.3.2 HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS

Los procesos de toma de decisiones empresariales son cada vez más complejos debido al creciente número de criterios conflictivos que deben considerarse (Guerrero-Baena *et al.*, 2014). La búsqueda de la eficiencia y la productividad contribuyen a la exploración de metodologías de apoyo para la toma de decisiones en escenarios donde intervienen múltiples variables o criterios de selección (Berumen y Redondo, 2007).

El análisis de decisiones de criterios múltiples (MCDA) o la toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) es la rama de investigación de operaciones subdisciplinaria y desarrollada que se ocupa del diseño de herramientas matemáticas y computacionales (Karim y Karmaker, 2016), con el objetivo de apoyar situaciones complejas de toma de decisiones con objetivos múltiples y a menudo conflictos que los grupos de interés y/o los tomadores de decisiones valoran de manera diferente (Saarikoski *et al.*, 2015). MCDM se refiere a la decisión, priorización, clasificación o selección de un conjunto de alternativas bajo atributos generalmente independientes, inconmensurables o conflictivos.

En la tabla 2.2 se puede observar algunas de las técnicas más estudiadas del MCDM y su clasificación

1. Programación de objetivos y multi-objetivos	3. Enfoque de relaciones superiores
<i>1.1 Programación multi-objetivo</i>	<i>3.1 Método ELECTRE</i>
<i>1.2 Programación de objetivos</i>	<i>3.2 Método PROMETHEE</i>
2. Teoría de utilidad multiatributo	4. Enfoque de desagregación de preferencias
<i>2.1 AHP</i>	<i>4.1 UTA</i>
<i>2.2 ANP</i>	<i>4.2 UTADIS</i>
<i>2.3 TOPSIS</i>	<i>4.3 MHDIS y MINORA</i>
<i>2.4 MAUT Clásico</i>	<i>4.4 Otros</i>
<i>2.5 Otros</i>	

TABLA 2.2: Clasificación de las técnicas MCDM

La propuesta de estos métodos para resolver problemas relacionados es un problema importante de MCDM ya que estas diferentes técnicas pueden arrojar resultados diferentes para el mismo problema (Karim y Karmaker, 2016).

Según (Soto-de la Vega *et al.*, 2014), los métodos mas conocidos para dar pesos a los criterios en los problemas de localización de ubicaciones son: el método AHP, ELECTRE, TOPSIS y PROMETHEE.

A continuación se realiza una breve descripción de los mismos:

- El método PROMETHEE fue desarrollada por J.P Brans y presentados por primera vez en 1982. La metodológica PROMETHEE ha tratado un número considerable de aplicaciones exitosas en varios campos, tales como banca, ubicaciones industrial, planificación de recursos humanos, recursos hídricos, inversiones, medicina, química, atención medica, turismo, ética en quirófano, gestión dinámica, etc. de la metodología se debe básicamente a sus propiedades matemáticas y a su particular amabilidad de uso (Brans y Smet, 2016).
- El método de ponderación lineal (scoring) es probablemente el más conocido y el mas comúnmente utilizado de los métodos de decisión multicriterio. con este se obtiene una puntuación global por la simple suma de las contribuciones obtenidas de cada atributo. Si se tienen varios criterios con diferentes esca-

las (dado que ellos no se pueden sumar que pueda efectuarse la suma de las contribuciones de cada uno de los. Debe tomarse en cuenta que, sin embargo, el orden obtenido con este método no es independiente del procedimiento de normalización aplicado (Berumen y Redondo, 2007).

- TOPSIS (Técnica par ala preferencia de orden por similitud con la solución ideal), desarrollado por Yoon y Hwang en 1985, es uno de los métodos MC-DA/MCDM para resolver satisfactoriamente problemas de decisión del mundo real. TOPSIS intenta ubicar la mejor alternativa que tiene simultáneamente la distancia mas corta desde la solución ideal positiva y la distancia mas remota desde la solución ideal negativa. La solución ideal positiva es una solución que intenta maximizar los criterios de ganancia y minimizar los criterios de costo, mientras que la solución ideal negativa es justo opuesta a la anterior. Según (Wand, 2007), la solución ideal positiva se compone de todos los buenos valores alcanzables de los criterios, mientras que la solución ideal negativa consisten en todos los peores valores alcanzables de los criterios. En el método TOPSIS, los puntajes preciosos que recibe cada alternativa de todos lo criterios se utilizan en la formación de una matriz de decisión y una matriz de decisión normalizada (Karim y Karmaker, 2016).
- El método ELECTRE desarrollado por Roy y Vincke (1981) se basa en la teoría de la utilidad de múltiples atributos con la intención de mejorar la eficiencia sin afectar el resultado, considerando menos información. El objetivo de este método de superación es encontraros todas las alternativas que dominen otras alternativas mientras que no puedan ser denominadas por ninguna otra alternativa mientras que no puedan ser dominadas por ninguna otra alternativa (Chakraborty *et al.*, 2013).

A partir de la revisión bibliográfica de los métodos se muestran como los autores, trabajan en resolver problemas de localización de instalaciones con ayuda del modelo multicriterio AHP dando pesos a los criterios seleccionados combinándolos con otros métodos como TOPSIS y herramientas de optimización.

2.3.3 MÉTODO PROCESO DE JERARQUIA ANALÍTICA (AHP)

El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) se desarrolló a principios de la década de 1970 el cual fue introducido por primera vez por Thomas Saaty (1980) en respuesta a la planificación de contingencia militar, la escasa asignación de recursos y la necesidad de participación política en los acuerdos de desarme.

AHP es la técnica más utilizada para resolver los problemas asociados con las empresas. Es una herramienta eficaz para hacer frente a la toma de decisiones complejas y puede ayudar al tomador de decisiones a establecer prioridades y tomar la mejor decisión. Al reducir las decisiones complejas a una serie de comparaciones por pares, y luego sintetizar los resultados, el AHP ayuda a capturar los aspectos subjetivos y consistencia de las evaluaciones de los tomadores de decisiones, reduciendo así el sesgo en el proceso de toma de decisiones.

El método AHP puede ser especialmente útil para construir un modelo de evaluación sistemática y consistente que integre criterios cualitativos y cuantitativos. El AHP se basa en la descomposición de criterios globales en criterios locales, que a su vez, están compuestos por conjunto de indicadores de desempeño. Este método también permite la evaluación y asignación de la importancia relativa entre los criterios (Saaty, 1987).

El modelo AHP proporciona un marco para ayudar a los gerentes a analizar varios factores o criterios de ubicación, evaluar las alternativas de ubicación del sitio y hacer las selecciones finales de ubicación. Una de las partes más relevantes del modelo AHP consiste en la estructuración de la jerarquía del problema de forma visual. En esta etapa, los tomadores de decisiones implicados deben desglosar el problema y sus componentes principales en partes. Los pasos para obtener la estructuración del modelo jerárquico se muestran en la figura 2.4, donde (i) definición del objetivo; (ii) identificación de criterios, (iii) identificación de subcriterios y (iv) identificación de alternativas (Berumen y Redondo, 2007).

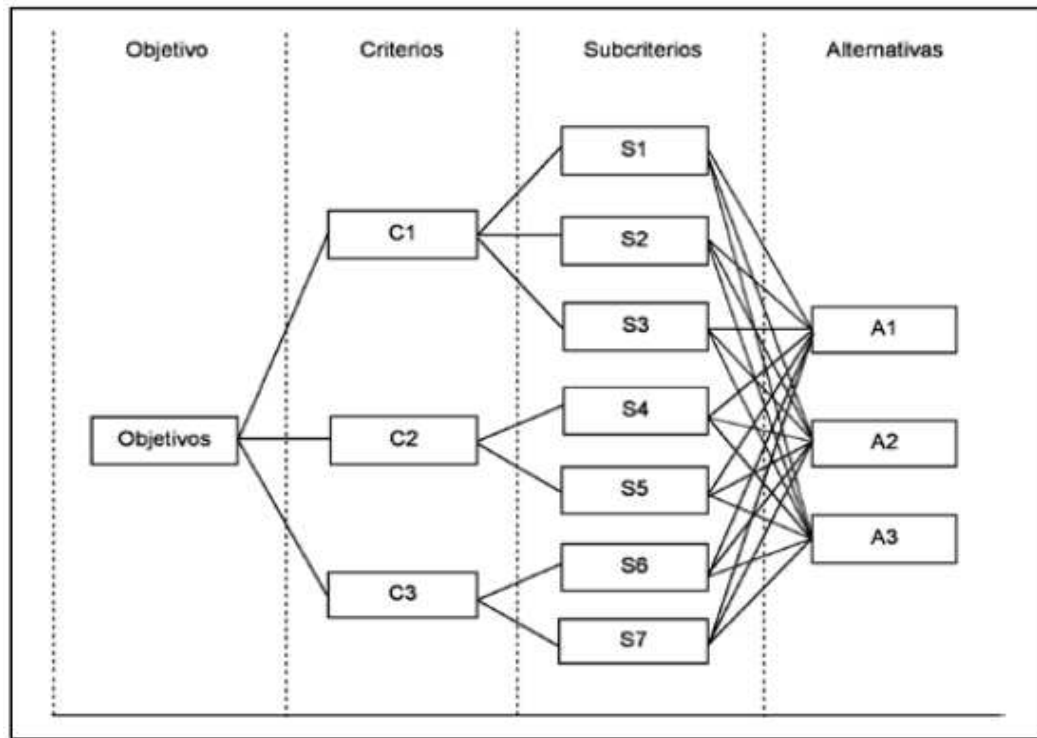


FIGURA 2.4: Modelo jerárquico para la toma de decisiones con el AHP

(Vaidya y Kumar, 2006) presenta una revisión bibliográfica de las aplicaciones del AHP. El artículo analiza críticamente algunos de los artículos publicados en revistas internacionales de gran reputación, y da una breve idea sobre muchas de las publicaciones referidas. Los trabajos son clasificados de acuerdo a los temas, y sobre la base de las áreas de aplicaciones. Las referencias son agrupadas por región y año para rastrear su crecimiento. Se hace referencia a un total de 150 documentos de solicitud en este documento. En los últimos años el método AHP ha sido muy utilizado en varias de las más grandes empresas, en algunos sectores industriales y en regiones territoriales (Berumen y Redondo, 2007).

Muchos autores han utilizado el AHP como un método independiente para resolver los problemas de ubicación de instalaciones. Tales son los casos de (Yang y Lee, 1997) que presenta un modelo AHP para la ubicación o la reubicación de instalaciones con factores cualitativos y cuantitativos de evaluación. (Ko, 2005) elabora un modelo para determinar la ubicación de las instalaciones de distribución,

incluye 20 criterios divididos en 5 grupos. Este modelo demuestra la aplicabilidad práctica de los resultados de la investigación. (Rahman *et al.*, 2018) aborda sobre la mejor ubicación para las industrias de fabricación de plástico, tomando 10 criterios a evaluar. (Azad *et al.*, 2014) presenta un modelo para ubicación las instalaciones en el mercado de frutas y verduras, este incluye dos criterios importante como la geografía del mercado y la infraestructura de servicio existente.

Otros estudios como (Schniederjans y Garvin, 1997) han usado AHP en combinación con programación matemática en disciplinas distintas de la ubicación, ya que si bien el método AHP proporciona un proceso de clasificación ideal para la selección de ubicaciones, no considera las restricciones relevantes que existen en el entorno de decisión, por lo que muchos otros (Badri, 1999).

Para la solución de problemas de localización de instalaciones, se observa una tendencia al uso de enfoques pluralista de combinación de varios métodos integrados (Soto-de la Vega *et al.*, 2014), por lo que en este proyecto realiza un método combinado para la solución del problema en cuestión.

Según (Karim y Karmaker, 2016) entre los beneficios y ventajas que podemos encontrar del método AHP encontramos que:

- Un enfoque más estructurado para medir la idoneidad dividiendo el problema en criterios jerárquicos.
- Un análisis más sistemático y profundo de los factores, que puede entenderse mejor cuando se observan específicamente sus formas o indicadores más bajos y más específicos.
- AHP permite la participación de expertos y partes interesadas en el aporte. Dicho marco permite la incorporación y acomodación de criterios cualitativos y cuantitativos y el aporte de conocimiento experto.

Este capítulo muestra como existen diferentes estrategias de solución a través

de herramientas matemáticas cuantitativas para poder enfrentar problemas de localización de instalaciones según las características de este. En el siguiente capítulo se describe paso a paso la metodología diseñada.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La necesidad de incursionar en un nuevo modelo de negocio como es el comercio electrónico es una realidad presente que en estos últimos años las empresas han tenido que enfrentar para poder sobrevivir en este mundo cada vez más globalizado. La empresa caso de estudio asumiendo dicho reto desea abrir su tienda en línea y distribuir sus productos a la mayor cantidad de clientes finales posibles los cuales se encuentran en las 32 entidades federativas de la república de México. Debido a que la empresa cuenta con tres centros de distribución y tiene la necesidad de entregar los productos en el menor tiempo posible y eliminando inventarios con los intermediarios, se tiene como objetivo ubicar nuevas instalaciones que permita el almacenamiento de los productos y su acercamiento a los puntos de mayor demanda, logrando así la distribución del comercio electrónico, cumpliendo la promesa de venta, mediante un sistema de entrega ágil, eficiente y seguro.

3.1 METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE INSTALACIONES

La metodología propuesta consta de 5 etapas las cuales serán descritas a continuación:

3.1.1 ETAPA 1 SELECCIÓN DE CRITERIOS

1. Revisión de la literatura sobre problemáticas similares con el fin de conocer los criterios predominantes o su estudio en el tema de investigación. Es importante aclarar que como se observa en el capítulo 2 los autores definen sus criterios según sus casos, evidenciándose la diversidad de estos.
2. Encuentro con los tomadores de decisiones de la empresa para la selección y definición de los criterios según sus opiniones, preferencias, la revisión bibliográfica y la problemática a solucionar.
3. Descripción de los criterios y definición de las unidades de medidas y sus límites. Según (Soto de la Vega *et al.*, 2013) cada criterio debe obedecer a cinco propiedades: no ser ambiguo, ser exhaustivo, ser operacional, tener aplicación directa y ser de fácil comprensión.
4. Búsqueda de fuentes confiables para la captura de datos estadísticos de organizaciones gubernamentales como: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), además de bases de datos de la empresa, entre otros.

3.1.2 ETAPA 2 PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

Una vez seleccionado los criterios se necesita conocer cuál es el peso de cada uno de ellos para indicar su jerarquía, por lo que se utiliza el método AHP ya que permite un análisis comparativo entre pares partiendo de la evaluación de los tomadores de decisión lo cuales proporcionan valores numéricos a los criterios para obtener la prioridad de cada elemento usando la escala de calificación de (Saaty, 1987) como se observa en la tabla 1.1.

Seguidamente se describen los pasos de aplicación del método AHP:

<i>Escala</i>	<i>Definición</i>	<i>Explicación</i>
1	<i>Igual Importancia</i>	<i>El criterio A es de igual importante que el B</i>
3	<i>Importancia moderada</i>	<i>Experiencia y juicio favorecen ligeramente el criterio A del B</i>
5	<i>Importancia grande</i>	<i>Experiencia y juicio favorecen fuertemente el criterio A al B</i>
7	<i>Importancia muy grande</i>	<i>El criterio A es mucho más importante que el B</i>
9	<i>Importancia extrema</i>	<i>La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda</i>
2, 4, 6 y 8	<i>Valores intermedio entre las escalas adyacentes</i>	

TABLA 3.1: La escala de calificación de (Saaty, 1987)

1. Establecer los criterios a comparar por los decisores de la empresa.
2. Construir la matriz de comparación de criterios. Partiendo de la escala de calificación de Saaty (ver tabla 1.1) se conforma la matriz por cada uno de los evaluadores, el factor a_{ij} en la matriz indica el grado de importancia que tiene un criterio sobre otro. Para esto se requiere $n(n-1)/2$ comparaciones, donde n es el número de criterios a evaluar considerando que en la diagonal de la matriz sea equivalente a "1", y los otros valores de la matriz serán simplemente sus valores recíprocos.
3. Construir la matriz de decisión normalizada según la fórmula:

$$c_{ij} = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3.1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.2)$$

4. Obtener el vector de ponderación de los criterios (es el vector de columna n) el cual se construye promediando las entradas c_{ij} de las filas.

A pesar que se obtiene en el paso 4 el valor del vector de ponderación de los criterios, el método AHP incorpora una técnica efectiva para verificar la consistencia de las evaluaciones realizadas por los tomadores de decisiones para

la construcción de cada una de las matrices. Esta técnica se basa en el cálculo de la consistencia que se explica en los siguientes pasos.

- Realizar los cálculos para obtener el índice de consistencia a través de la fórmula siguiente, donde λ_{max} calcula el valor propio máximo.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.3)$$

- Encontrar el valor del índice de consistencia aleatoria.

<i>n</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>IA</i>	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

TABLA 3.2: Índice de consistencia aleatoria

- Calcular la razón de consistencia según la fórmula (3.4):

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (3.4)$$

Una consistencia perfecta sería que $RC = 0$ pero este método permite en una escala de 0-1 tener una inconsistencia que no exceda a 0.10. De existir una inconsistencia superior a 0.10 se debe de reevaluar la comparación de los criterios por los tomadores de decisiones y repetir nuevamente los pasos.

3.1.3 ETAPA 3 BENEFICIO RELATIVO POR ENTIDAD FEDERATIVA

Con el peso ponderado de cada uno de los criterios se puede calcular el beneficio relativo de cada una de las entidades demandada, utilizando la Técnica para la preferencia de orden por similitud con la solución ideal (TOPSIS).

- Construir la matriz de decisión normalizada de las entidades federativas a evaluar, los criterios de selección, sus datos y sus pesos ponderados.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J x_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (3.5)$$

donde r_{ij} y x_{ij} respectivamente son originales de la matriz de decisión.

2. Construir la matriz de decisión normalizada ponderada multiplicando los pesos con los criterios de evaluación y con la matriz de decisión normalizada r_{ij} .

$$v_{ij} = w_i r_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (3.6)$$

3. Determinar la posición ideal positiva (PIS) y negativa (NIS).

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \text{valores máximos.} \quad (3.7)$$

donde $v_i^* = \{max(v_{ij}) \dots \text{si } \dots j \in J; min(v_{ij}) \dots \text{si } \dots j \in J\}$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \text{valores mínimos.} \quad (3.8)$$

donde $v_i^- = \{min(v_{ij}) \dots \text{si } \dots j \in J; max(v_{ij}) \dots \text{si } \dots j \in J\}$

4. Calcular las medidas de separación de cada alternativa de PIS y NIS.

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (3.9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, J \quad (3.10)$$

5. Calcular el coeficiente de cercanía relativa a la solución ideal de cada alternativa.

$$w_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, J \quad (3.11)$$

6. En función de los valores decrecientes del coeficiente de cercanía, las alternativas o entidades federativas se clasifican de más valiosas a peores. Las alternativas que tiene el coeficiente de cercanía o su beneficio relativo w_i más alto significa que son regiones demandadas más atractivas para ubicar una instalación.

3.1.4 ETAPA 4 MODELO DE OPTIMIZACIÓN

1. Determinar el modelo de optimización a trabajar.

Como se desea ubicar instalaciones que cubran la mayor cantidad de población posible maximizando los beneficios de cada región demandada se decide seleccionar el Modelo de Ubicación de Cobertura Máxima (MCLP).

2. Formulación del modelo matemático definiendo los supuestos, parámetros, variables de decisión, la función objetivo y las restricciones de utilizar.

Supuestos

- Existe un número conocido y finito de regiones potenciales para ubicar instalaciones el cual representa un punto de demanda.
- Existe un número conocido y finito de zonas de demanda a cubrir, igual al número de ciudades potenciales.
- Una vez localizado las instalaciones la demanda de cada punto puede ser suplida por una o más instalaciones.
- Cada región de demanda para ser ubicada una instalación tiene un beneficio relativo de atracción y es conocido.
- El problema consiste en maximizar el número de puntos de demandas cubiertas.
- Es conocido la distancia que existe entre cada una de las zonas de demandas.

- Se define una distancia de cobertura asociada al nivel de servicio máximo que puede cubrir cada instalación

Conjuntos

I : Conjunto de nodos de demandas $I = 1, 2, 3, \dots, 32$.

J : Conjunto de sitios potenciales a ubicar una instalación $J = 1, 2, 3, \dots, 32$

Parámetros

a_i : población que contiene cada nodo de demanda $i \in I$.

d_{ij} : distancia más corta que existe entre el nodo de demanda $i \in I$ a la instalación potencial en el nodo $j \in J$.

w_i : beneficio relativo de cada punto de demanda $i \in I$

p : número de instalaciones a ubicar.

S_j : capacidad de servicio máximo en distancia (o tiempo) que puede cubrir una instalación $j \in J$.

N_i : $\{j \in J \mid d_{ij} \leq S_j\}$. nodos $j \in J$ que están dentro de una distancia de S_j al nodo $i \in I$

N_i es el conjunto de sitios de instalaciones elegibles para proporcionar cobertura al punto de demanda i . Un nodo de demanda está cubierto cuando la instalación más cercana a ese nodo está a una distancia menor o igual a S . Un nodo de demanda está descubierto cuando la instalación más cercana a ese nodo está a una distancia mayor que S .

Variable de decisión

x_j : variable binaria, toma valor de 1 si una instalación es ubicada en el nodo $j \in J$; 0 en caso contrario.

y_i : variable binaria, toma valor de 1 si el nodo $i \in I$ está cubierto por una o más instalaciones establecidas del nodo $j \in J$ dentro de S_j ; 0 en caso contrario.

Función objetivo y restricciones

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i \in I} a_i w_i y_i \quad (3.12)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I \quad (3.13)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad \forall j \in J \quad (3.14)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (3.15)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (3.16)$$

donde (3.12) representa la función objetivo que maximiza el número de personas atendidas o cubiertas según su beneficio relativo dentro de la distancia de servicio deseada, (3.13) permite que y_i sea igual a 1 solo cuando uno o más instalaciones se establezcan en sitios en el conjunto N_i (es decir, una o mas instalaciones se encuentra dentro de las unidades de distancia S del punto de demanda i), (3.14) asegura que no se exceda el número máximo de instalaciones disponibles para ubicar, (3.15) y (3.16) son las restricciones lógicas o restricciones de estados.

3. La modelación matemática presentada será resuelta por programación lineal. El optimizador que se utilizará es CPLEX y el software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Versión 12.10.

3.1.5 ETAPA 5 EXPERIMENTACIÓN

1. La metodología propuesta se encuentra desarrollada detalladamente en el capítulo 4. Partiendo de la evaluación de los criterios y obteniendo el beneficio relativo de cada región o entidad federativa se ejecutará un modelo matemático para

la ubicación de instalaciones con los diferentes parámetros encontrados y obtenidos por la empresa caso de estudio, el cual permitirá evaluar diferentes escenarios y elegir la mejor solución según los objetivos del proyecto.

Como ya se ha abordado en capítulos anteriores la aplicación de esta metodología traerá como resultados conocer cuáles entidades federativas de la república mexicana serán más atractivas para ubicar instalaciones de almacenamientos y a su vez maximizar la población demandada para distribuir sus productos al cliente final.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos por cada una de las etapas que compone la metodología propuesta combinada por métodos multicriterios y optimización matemática con el objetivo de localizar instalaciones para la distribución del comercio electrónico maximizando el alcance de cobertura.

4.1 ETAPA 1 SELECCIÓN DE CRITERIOS

Para el desarrollo de la etapa 1 se realiza primeramente la revisión bibliográfica de la literatura la cual se encuentra en el capítulo 2 de la presente tesis. Seguidamente los resultados obtenidos se llevan ante los tres decisores de la empresa donde cada persona involucrada en el proyecto expresa su opinión llegando a un consenso unánime. Finalmente se seleccionan los criterios que evaluarán las entidades federativas más atractivas según las preferencias, opiniones, los criterios encontrados en la literatura y la problemática a solucionar.

A continuación en la tabla 4.1 se muestran los 7 criterios seleccionados y su unidad de medida.

Seguidamente se describe cada uno de los criterios seleccionados:

No.	Criterios	Unidades
C1.	Pobreza y pobreza extrema	Miles de personas
C2.	Ventas de productos	Pesos mexicanos
C3.	Unidades vendidas de productos	Unidades
C4.	Compras en comercio electrónico	% de población
C5.	Densidad poblacional	hab/km ²
C6.	Robo a vehículos	Robo cada 100000 hab
C7.	Promedio de ingreso por hogares	Pesos mexicanos

TABLA 4.1: Selección de criterios

Pobreza y pobreza extrema: suma de las poblaciones por entidad federativa en la república mexicana que se encuentran en situación de pobreza vulnerable por carencias sociales y vulnerable por ingresos.

Ventas de productos: suma de las ventas obtenidas en pesos mexicanos para el período del año 2018 según cada entidad federativa de México.

Unidades vendidas de productos: suma de las unidades vendidas por la empresa en cada entidad federativa de la república en un año. Datos obtenidos del historial de ventas de la empresa.

Compras en comercio electrónico: porcentaje de la población según cada entidad federativa que compra a través del comercio electrónico.

Densidad poblacional: medida de distribución de población de un país o región que es equivalente al número de habitantes dividido entre el área donde viven. Indica, por lo tanto, el número de personas en cada unidad de superficie, y normalmente se expresa en habitantes por km².

Robo a vehículos: suma de todos los vehículos robados en cada entidad federativa divididos entre los km² de cada entidad federativa.

Incorporar esta categoría como evaluación de regiones en especial en el territorio mexicano es de suma importancia debido a su alto grado de violencia

encontrándose entre los primeros 10 países más violentos del mundo según el informe IISS (Instituto Internacional de Estudios Estratégicos) del año 2016. El traslado de la mercancía por vía terrestre hasta las instalaciones posibles de almacenar y la repartición de la misma hacia el cliente final hace necesario que se tenga en cuenta como criterio.

Promedio de ingreso por hogares: ingreso corriente total promedio trimestral por hogar por cada entidad federativa según principales fuentes de ingreso las cuales comprenden (remuneraciones por trabajo subordinado, ingresos por trabajo independiente e ingresos de otros trabajos).

Las estimaciones de la pobreza y pobreza extrema y el promedio de ingresos por hogares en México 2018 se calcularon a partir de las bases de datos del Modelo Estadístico para la continuidad del Módulo de Condiciones Socioeconómicas de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2018 que realizó el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) entre agosto y noviembre de 2018, y que fueron publicadas el 31 de julio 2019. Los criterios ventas de productos en pesos mexicanos y las unidades vendidas fueron obtenidos de las bases de datos históricas de la empresa.

4.2 ETAPA 2 PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

Una vez seleccionados los criterios se necesita conocer cuál es el peso de cada uno de ellos para poder indicar su jerarquía, por lo que se utiliza el método AHP ya que permite un análisis comparativo entre pares partiendo de la evaluación de los tomadores de decisión lo cual proporciona valores numéricos a los criterios para obtener la prioridad de cada elemento usando la escala de calificación de (Saaty, 1987).

Individualmente cada uno de los tomadores de decisiones realiza su comparación construyendo la matriz normalizada según la ecuación (3.1) obteniendo segui-

damente el vector propio de ponderación de los criterios (0.03, 0.11, 0.40, 0.23, 0.10, 0.07, 0.06). Para confirmar si la evaluación de los decisores fue efectiva se calcula el índice de consistencia (IC) utilizando la ecuación (3.3) y el índice de consistencia aleatoria (IA) (1.35) a través de la tabla 3.2, obteniendo como resultado de la división de estos valores la razón de consistencia (RC) según la fórmula (3.4). Como los valores obtenidos por cada uno de los tomadores de decisión es menor a 0.10, se acepta.

Promediando los vectores obtenidos por los tomadores de decisión se obtiene como resultados los mostrados en la figura 4.1.

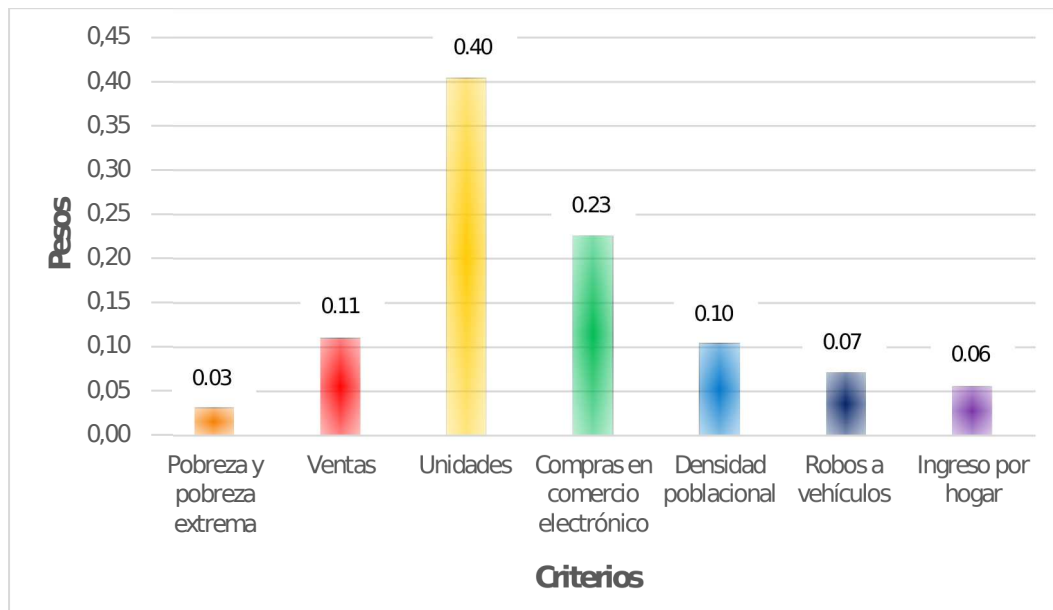


FIGURA 4.1: Pesos normalizados de los criterios seleccionados

De acuerdo con la figura 4.1 el criterio más valioso que tiene una prioridad de 0.40 es el criterio C3 *unidades*, seguido del criterio C4 *compras en comercio electrónico* con 0.23. El criterio que alcanzó el menor valor por lo tanto representa el menos valioso para tomar una decisión es el criterio C1 *pobreza y pobreza extrema*.

Estos criterios pueden ser modificables por la empresa caso de estudio en dependencia de sus prioridades y el objetivo que desee obtener.

4.3 ETAPA 3 BENEFICIO RELATIVO DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS

Como se indicó anteriormente en los capítulos 2 y 3 el método TOPSIS se utiliza para clasificar las alternativas considerando el peso de los criterios obtenidos por el método AHP. Partiendo del algoritmo descrito en el capítulo 3 de la metodología del método TOPSIS primeramente se realiza la matriz de decisión normalizada utilizando las 32 alternativas y los valores numéricos de los siete criterios seleccionados por los tomadores de decisiones los cuales fueron obtenidos por fuentes confiables como se expuso en el capítulo anterior ecuación (3.5). Luego, se calcula la matriz de decisión normalizada ponderada a través de la ecuación (3.6), seguidamente de los valores máximos y mínimos con las ecuaciones (3.7) y (3.8) respectivamente. Después calculando las medidas de separación de cada alternativa a través de las ecuaciones (3.9) y (3.10) se calcula el coeficiente de cercanía a la solución ideal de cada alternativa como se muestra en la tabla 4.2. La solución ideal positiva y negativa se determina tomando los valores máximo y mínimo para cada criterio en el método TOPSIS.

Como podemos observar en la tabla 4.2 las tres entidades federativas más atractivas de las 32 que existen en la república mexicana fueron Estado de México (0.7826015), Nuevo León (0.4404870) y Jalisco (0.350947), mientras que las tres entidades federativas menos atractivas fueron Yucatán (0.09799462), Chiapas (0.098619) y Durango (0.105999).

Resulta destacar que a pesar que la Ciudad de México representa la ciudad más relevante del país esta no alcanzó estar entre los tres primeros lugares, esto se debe al peso de los criterios obtenidos en el método AHP debido a que el criterio (C3 unidades vendidas) resultó obtener el peso más alto con un 40,40 %, incidiendo en los resultados del método TOPSIS a pesar que obtuvo la sexta posición en dicho criterio pero representando el 10 % respecto al Estado de México que obtuvo el mejor

No.	Entidades federativas	Wi	No.	Entidades federativas	Wi
1	Aguascalientes	0,14019553	17	Morelos	0,1253840
2	Baja California	0,17341587	18	Nayarit	0,106598
3	Baja California Sur	0,15654936	19	Nuevo León	0,4404870
4	Campeche	0,1212612	20	Oaxaca	0,1077315
5	Coahuila de Zaragoza	0,1139253	21	Puebla	0,1570689
6	Colima	0,1508705	22	Querétaro	0,1377168
7	Chiapas	0,098619	23	Quintana Roo	0,1443185
8	Chihuahua	0.14750329	24	San Luis Potosí	0,12653628
9	Ciudad de México	0,279868	25	Sinaloa	0,1496616
10	Durango	0,1059990	26	Sonora	0,15348531
11	Guanajuato	0,1633721	27	Tabasco	0,15124379
12	Guerrero	0,1098603	28	Tamaulipas	0,1387877
13	Hidalgo	0,1866696	29	Tlaxcala	0,11872648
14	Jalisco	0,350947	30	Veracruz de Ignacio de la Llave	0,11322602
15	Estado de México	0,7826015	31	Yucatán	0,09799462
16	Michoacán de Ocampo	0,1277652	32	Zacatecas	0,11699672

TABLA 4.2: Beneficio relativo de cada entidad federativa

resultado.

4.4 ETAPA 4: MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Para obtener los resultados del Modelo de Ubicación de Cobertura Máxima (MCPL) formulado en la sección 1.1.4 de la presente tesis, se utilizó el software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Versión 12.10 en una PC con procesador AMD A6-9220 RADEON R4, COMPUTE CORES 2C+3G, con 4.00 GB de RAM y espacio de almacenamiento disponible de 340 GB.

El problema de ubicación de cobertura máxima busca la población máxima que puede ser atendida dentro de una distancia o tiempos de servicios establecidos dado un número limitado de p instalaciones.

Se utilizaron 32 nodos de demandas los cuales coinciden con las capitales de las entidades federativas que presenta el país de México. En caso de que la empresa desee contemplar otros nodos de demandas y de posibles sitios a ubicar, el modelo puede ser modificado fácilmente e incorporar nuevos datos para su análisis.

Es posible incorporar al modelo los costos de instalación y distribución para calcular de forma óptima el mejor número de instalaciones a ubicar. En este trabajo no se realizó de tal manera debido a que no existió certeza de estos valores por su variación entre entidades federativas y proveedores.

Los datos que se presentan a continuación en la tabla 4.3 son obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) correspondiente a una estimación de la población total realizada con base en la Encuesta Intercensal (EIC) 2015 según las entidades federativas del país, y de los datos correspondientes a la capacidad de servicio máximo con que cuenta la empresa los cuales son proporcionados por ella.

Debido a que este modelo matemático es susceptible al número de instalaciones que se desea ubicar se definieron diferentes escenarios para observar el comportamiento de los datos y conocer cuál sería el valor de p óptimo para cubrir totalmente la población mexicana.

Los resultados se pueden observar en la tabla 4.4, la cual presenta el número de p instalaciones posibles a ubicar, las capitales de las entidades federativas que se asignan a la ubicación de estas instalaciones x_j , las capitales que serán cubiertas y el porcentaje de la población que se cubrirían.

Como se muestra en la tabla 4.4 el número de p instalaciones que se necesitan ubicar para cubrir la totalidad de la población mexicana es de 20 instalaciones. La representación gráfica de todas las instalaciones se encuentran en los apéndices de la presente tesis.

La figura 4.2 muestra la curva de costo-efectividad para el problema de ubi-

Nodos	a_i	S_j	Nodos	a_i	S_j
1	1312544	150	17	1903811	120
2	3315766	150	18	1181050	120
3	712029	120	19	5119504	250
4	899931	120	20	3967889	120
5	2954915	150	21	6168883	150
6	711235	120	22	2038372	250
7	5217908	120	23	1501562	120
8	3556574	150	24	2717820	120
9	8918653	250	25	2966321	120
10	1754754	120	26	2850330	120
11	5853677	250	27	2395272	120
12	5853677	120	28	3441698	120
13	2858359	150	29	1272847	120
14	285839	250	30	8112505	120
15	16187608	250	31	2097175	120
16	4584471	120	32	1579209	120

TABLA 4.3: Parámetros

cación de máxima cobertura definido en el problema de 32 nodos con una distancia de servicio máximo de 120 km a 250 km según el nodo de ubicación. Esta curva representa el porcentaje de población que será cubierta según el número de instalaciones a ubicar. El aumento en el número de personas cubiertas por la adición de una instalación disminuye a medida que aumenta el número total de instalaciones.

Se puede apreciar como con una sola instalación que se ubique se podría cubrir el 31,21 % de la población total, con 2 instalaciones se cubriría 11.65 % más que la primera instalación y con tan solo 6 instalaciones cubriríamos el 71.08 % de la población total, ver figura4.3.

Un dato muy importante a destacar es que a partir de ubicar 8 instalación solo se cubre el nodo en el que será ubicada la nueva instalación por lo que del punto de vista económico este no sería una solución muy rentable para la empresa con este servicio de cobertura.

p	x_j	y_i	% Cobertura
1	15	9,13,15,16,17,21,22,29	31,20 %
2	14,15	1,6,9,13,14,15, 16,17,18,21,22,29	42,86 %
3	14,15,19	1,5,6,9,13,14, 15,16,17, 18,19,21,22,29	47,23 %
4	11,14,15,19	1,5,6,9,11,13,14,15,16,17,18,19,21,22,24,29	56,14 %
5	11,14,15,19,30	1,5,6,9,11,13,14,15, 16,17,18,19,21,22,24,29,30	62,93 %
6	2,11,14,15,19,30	1,2,5,6,9,11,13,14,15, 16,17,18,19,21,22,24,29,30	71,08 %
7	2,8,11,14,15,19,30	1,2,5,6,8,9,11,13,14,15, 16,17,18,19,21,22,24,29,30	74,03 %
8	2,7,8,11,14,15,19,30	1,2,5,6,7,8,9,11,13,14,15, 16,17,18,19,21,22,24,29,30	76,81 %
9	2,7,8,11,14,15,19,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,13,14,15, 16,17,18,19,21,22,24,28,29,30	79,69 %
10	2,7,8,11,14,15,19,25,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,13,14,15, 16,17,18,19,21,22,24,25,28,29,30	82,17 %
11	2, 7,8,11,14,15,19,20,25,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,13, 14,15, 16, 17,18,19,20,21,22, 24,25,28,29,30	85,49 %
12	2,7, 8,11,12,14,15,19,20,25,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15, 16, 17,18,19,20,21,22, 24,25,28,29,30	87,87 %
13	2,7,8, 11,12,14,15,19,20,25,26,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15, 16, 17,18,19,20,21,22, 24,25,26,28,29,30	89,88 %
14	2,7,8,11, 12,14,15,19,20,25,26,27,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,12,13, 14,15, 16, 17, 18,19,20,21,22, 24,25,26,27,28,29,30	92,85 %
15	2,7,8,11,12, 14,15,19,20,23,25,26,27,28,30	1,2,5,6,7,8,9,11,12,13, 14,15, 16, 17, 18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30	94,11 %
16	2,7,8,11,12,14, 15,19,20,23,25,26,27,28,30,31	1,2,5,6,7,8,9,11,12,13, 14,15,16, 17, 18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30,31	95,86 %
17	2,7,8,10,11,12,14, 15,19,20,23,25,26,27,28,30,31	1,2,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15, 16, 17, 18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30,31	97,33 %
18	1,2,7,8,10,11,12,14,15, 19,20,23,25,26,27,28,30,31	1,2,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15, 16, 17, 18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30,31,32	98,65 %
19	1,2,3,7,8,10,11,12,14,15, 19,20,23,25,26,27,28,30,31	1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15, 16, 17, 18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30,31,32	99,25 %
20	1,2,3,4,7,8,10,11,12,14,15, 19,20,23,25,26,27,28,30,31	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15, 16, 17, 18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30,31,32	100,00 %

TABLA 4.4: Resultados obtenidos de CPLEX Studio

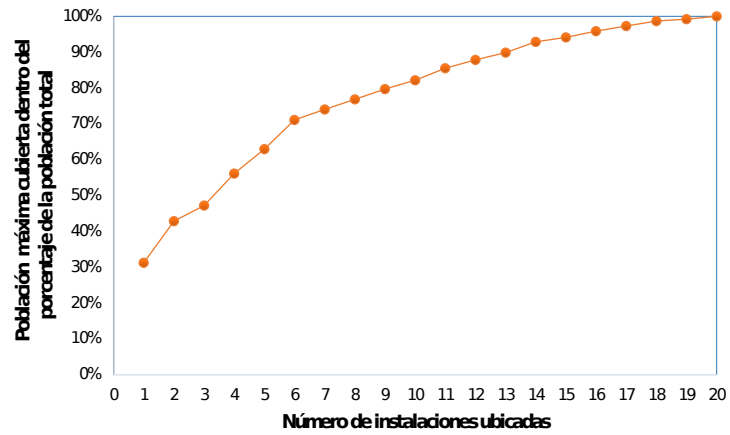


FIGURA 4.2: Curva costo-efectividad para S_j



FIGURA 4.3: Regiones cubiertas con $p = 6$ instalaciones

En la figura 4.3 muestra como a pesar de que algunas ciudades adyacentes no fueron solución del modelo matemático y no fue presentada dentro de los resultados, podrían ser satisfechas por las instalaciones ubicadas.

Cada nueva instalación presupone una disminución en los costos de distribución hacia los clientes porque al abrir una nueva instalación va a existir un mejor servicio al cliente ya que se cubrirán nuevo clientes y los antiguos quedarán más cerca por hay una nueva instalación.

Para términos prácticos de nuestro caso estudio estas decisiones no nos corresponde sino a los decisores de la empresa.

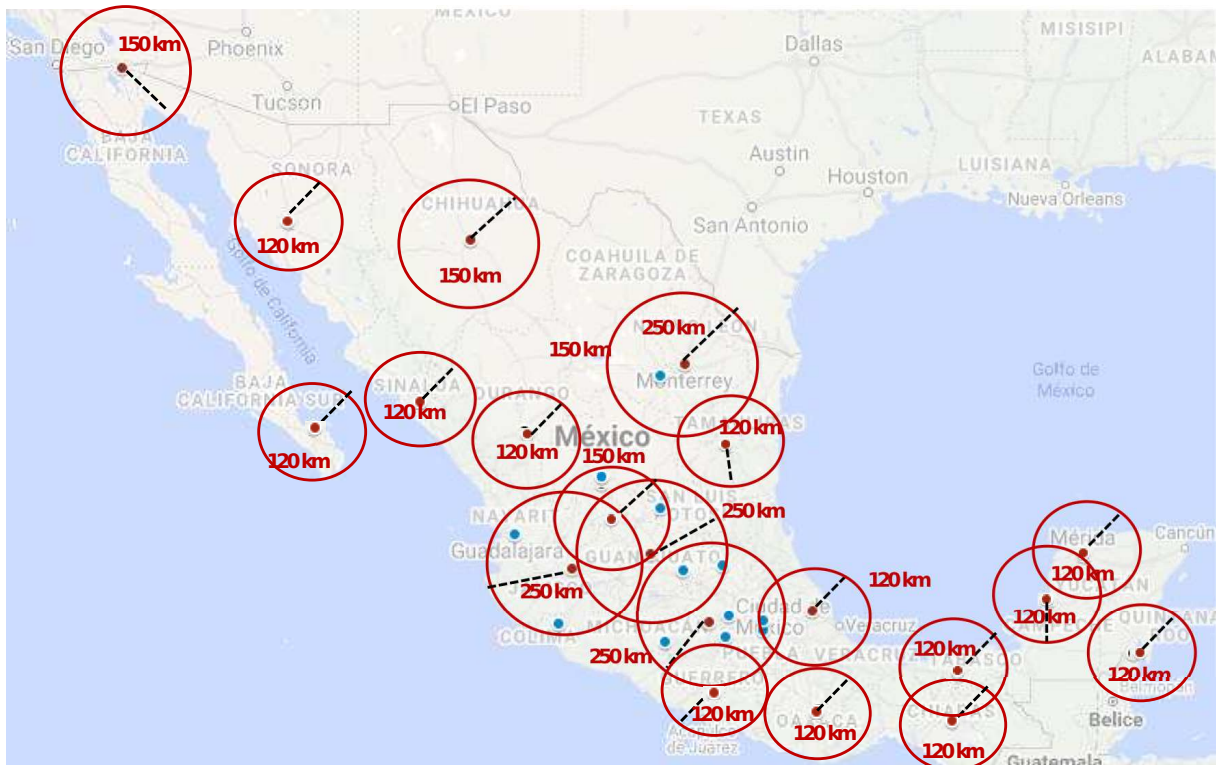


FIGURA 4.4: Regiones cubiertas con p 20 instalaciones

Podemos observar en la figura 4.4 la ubicación de las 20 instalaciones y como en el Noroeste del país las instalaciones que pudiesen ser abiertas solo podrían cubrir una parte de la región debido al nivel de servicio y el valor de atracción de las entidades federativas según el Método TOPSIS.

A continuación se presentan los tiempos obtenidos por el software utilizado:

p	<i>Tiempo de solución (s)</i>	p	<i>Tiempo de solución (s)</i>
1	24:85	11	3:20
2	4:46	12	3:45
3	3:54	13	3:79
4	3:85	14	3:64
5	3:50	15	2:89
6	4:36	16	3:42
7	9:37	17	4:59
8	3:28	18	3:28
9	3:92	19	3:82
10	3:15	20	2:62

TABLA 4.5: Tiempo de resultados del CPLEX

La tabla 4.5 muestra como los tiempos se fueron reduciendo cada vez que se incorporaba un mayor número de p instalaciones.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Mediante la metodología combinada propuesta logramos definir una estrategia de localización que ayude a la empresa caso de estudio conocer el número de instalaciones que necesitarían ubicar para cubrir la mayor demanda posible en la distribución de sus productos a través del nuevo modelo de negocio como es el comercio electrónico.

Los métodos combinados utilizados permitió considerar diversos criterios cualitativos y cuantitativos estratégicos de preferencias reales de los tomadores de decisión a través del análisis multicriterio, además se demostró que en el centro de la república mexicana se encontraban las entidades federativas más ideales para abrir una instalación.

El modelo de ubicación de cobertura máxima propuesto arrojó como resultados que se necesitarían 20 instalaciones para cubrir los puntos de demandas considerados en el estudio y seis instalaciones para cubrir el 71 % de los nodos demandados.

El crecimiento del comercio electrónico años tras años es una realidad latente en cada usuario final. Este vive un momento en el que móvil, ordenador, tienda física, publicidad digital (*on*) y no digital (*off*) y todas las variables, empiezan a perder las líneas divisorias para fundirse en una única experiencia de compra. Por lo que estar presente en estos distintos canales, apostando por una estrategia que pueda

adaptarse a las diferencias de cada uno, parece ser el paso más lógico si lo que se pretende es competir en mercado cada vez más digital y dinámico

5.0.1 CONTRIBUCIONES

Una de las principales contribuciones de nuestro proyecto de tesis es haber podido trabajar un problema basado en una situación y entorno real que presenta la empresa caso de estudio, permitiendo desarrollar una estrategia de solución con la aplicación de herramientas académicas.

Otra de las contribuciones importante obtenidas es permitirnos entregar una metodología funcional, ajustable y basada en herramientas matemáticas cuantitativas de análisis.

Como última contribución y no menos importante es poder obtener con el estudio una metodología de análisis que brinde apoyo a los procesos estratégico y logístico de la empresa caso de estudio.

5.0.2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA TRABAJOS FUTUROS

Incorporar al MCLP parámetros de costos para obtener valores más precisos.

Realizar un estudio a través de modelos matemáticos de planificación de rutas con el objetivo de minimizar los costos tanto en la última milla como en la distribución de los productos desde las plantas hasta las instalaciones de almacenamientos.

Agregar más puntos geográficos de demanda ya que este trabajo solo tuvo en cuenta una sola ciudad importante por cada entidad federativa de la república mexicana, por lo que enriquecería mejor la solución si se agregan al modelo matemático otros puntos de demandas y parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

- AMVO ASOCIACIÓN MEXICANA DE VENTA ONLINE (2020), «Reporte 2.0 IMPACTO COVID-19 EN VENTA ONLINE MÉXICO», *Informe técnico*, AMVO Asociación Mexicana de venta online, URL www.amvo.org.mx/estudios/ estudio.
- APONTE PENAGOS, A. F. y P. A. ROSAS CASTRO (2009), *Propuesta de solución al problema de LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN BASÁNDOSE EN LA META-HEURÍSTICA GRASP*, Tesis Doctoral, Universidad Javeriana.
- ASOCIACION DE INTERNET MX (2019), «Estudio sobre Comercio Electrónico en México 2019. Décima tercera entrega.», *Informe técnico*, Asociacion de Internet MX.
- AZAD, N., M. SAFAEI y M. S. FARAHANI (2014), «An application of AHP for facility location in fruit and vegetable markets», *Uncertain Supply Chain Management*, **2**, págs. 151–154.
- BADRI, M. A. (1999), «Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem», *Production Economics*, **62**, págs. 237–248.
- BERUMEN, S. A. y F. L. REDONDO (2007), «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (AHP) en un entorno de competitividad creciente», *Grupo de*

- Investigación Competitividad y Desarrollo Local en la Economía Global*, **20**(34), págs. 65–87.
- BLANQUERO, R., E. CARRIZOSA y B. G.-TÓTH (2016), «Maximal Covering Location Problems on networks with regional demand», *Omega (United Kingdom)*, **64**, págs. 77–85, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2015.11.004>.
- BRANS, J.-P. y Y. D. SMET (2016), «PROMETHEE Methods», *Operations Research & Management Science*, págs. 187–218.
- CHAKRABORTY, R., A. RAY y P. K. DAN (2013), «Multi criteria decision making methods for location selection of distribution centers», *International Journal of Industrial Engineering Computations*, **4**, págs. 491–504.
- COCO, A. A., A. C. SANTOS y T. F. NORONHA (2018), «Formulation and algorithms for the robust maximal covering location problem», *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, **64**, págs. 145–154, URL <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.01.016>.
- COLOMBO, F., R. CORDONE y G. LULLI (2016), «The multimode covering location problem», *Computers and Operations Research*, **67**, págs. 25–33, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2015.09.003>.
- CORRÊA, F. D. A., L. A. N. LORENA y G. M. RIBEIRO (2009), «A decomposition approach for the probabilistic maximal covering location-allocation problem», *Computers and Operations Research*, **36**(10), págs. 2729–2739.
- DASKIN, M. (1995), «Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications», *Journal of the Operational Research Society (1997)*, págs. 756–765.
- DAVARI, S., M. H. FAZEL ZARANDI y A. HEMMATI (2011), «Maximal covering location problem (MCLP) with fuzzy travel times», *Expert Systems with Applications*, **38**(12), págs. 14 535–14 541, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.031>.

- ECOMMERCE FOUNDATION (2019), «Informe Ecommerce Report: LATAM», *Informe técnico*, Ecommerce Foundation, URL ecommercefoundation.org/reports.
- ENGELÉN, C. (2013), *E-fulfillment and location decisions*, Tesis Doctoral, Radboud University Nijmegen.
- FAZEL ZARANDI, M. H., S. DAVARI y S. A. HADDAD SISAKHT (2011), «The large scale maximal covering location problem», *Scientia Iranica*, **18**(6), págs. 1564–1570, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.scient.2011.11.008>.
- FELIPA, P. B. (2017), «Marketing+ internet = e-commerce: Oportunidades y desafíos», *Universidad Católica de Colombia*, **9**(1), págs. 41–56, URL <http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2017.9.1.3>.
- GIRALDO BOTERO, M. (2014), *PROPONER UN MODELO PARA LA UBICACIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS IMPORTADOS*, Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- GUERRERO-BAENA, M. D., J. A. GÓMEZ-LIMÓN y J. V. F. CARDOSO (2014), «Are Multicriteria Decision Making Techniques Useful for Solving Corporate Finance Problems A Bibliometric Analysis», *Revista de Metodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, **17**(17), págs. 60–79, URL https://search.proquest.com/docview/1908769523?accountid=14744%0Ahttps://cbua-us.primo.exlibrisgroup.com/discovery/openurl?institution=34CBUA{}_US{&}vid=34CBUA{}_US:VU1{&}lang=es?url{}_ver=Z39.88-2004{&}rft{}_val{}_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal{&}genre=article{&}sid=ProQ:.
- JIMÉNEZ, L. (2018), «El E-Commerce revoluciona la logística», *Cadena de Suministro*, págs. 1–60, URL www.cadenadesuministro.es.
- KARIM, R. y C. L. KARMAKER (2016), «Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods», *American Journal of Industrial Engineering*, **4**(1), págs. 7–13.

- KO, J. (2005), *SOLVING A DISTRIBUTION FACILITY LOCATION PROBLEM USING AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPROACH*, Tesis Doctoral, University Gwangju.
- LONE, S. y L. QUAGLIERI (2019), «Informe Ecommerce Report: Global 2019», *Informe técnico*, Ecommerce Foundation, URL <https://www.ecommercefoundation.org/report><https://www.ecommercefoundation.org/>.
- MURRAY, A. T. (2016), «Maximal Coverage Location Problem: Impacts, Significance, and Evolution», *International Regional Science Review*, **39**(1), págs. 5–27.
- PALOS MORENO, M. (2004), *Comercio electrónico y su impacto en la globalización*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, España, URL <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/mx/2014/comercio-electronico.html>.
- QU, B. y K. WENG (2009), «Path relinking approach for multiple allocation hub maximal covering problem», *Computers and Mathematics with Applications*, **57**(11-12), págs. 1890–1894, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.camwa.2008.10.004>.
- RAHMAN, M. S., M. I. ALI, U. HOSSAIN y T. K. MONDAL (2018), «Facility Location Selection for Plastic Manufacturing Industry in Bangladesh by Using AHP Method», *International Journal of Research in Industrial Engineering*, **7**(3), págs. 307–319.
- REDDY, N. A. y B. R. DIVEKAR (2014), «A Study of Challenges Faced By E-commerce Companies in India and Methods Employed to Overcome Them», *Procedia Economics and Finance*, **11**(14), págs. 553–560, URL [http://dx.doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00220-2](http://dx.doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00220-2).
- REINHARD GEISSBAUER, PH.D LÜBBEN, E. y S. SCHRAUF (2017), «Global Digital Operations Study 2018. How industry leaders build integrated operations ecosystems to deliver end-to-end customer solutions», *Informe técnico*, PwC Stra-

- tegy& Germany, Global Head of the Digital Operations Impact Center, URL <http://www.pwc.com/m1/en/about-us.html>.
- REVELLE, C. S. y H. A. EISELT (2005), «Location analysis : A synthesis and survey», *European Journal of Operational Research* 165, **165**, págs. 1–19.
- SAARIKOSKI, H., D. N. BARTON, J. MUSTAJOKI y H. KEUNE (2015), «Multi-criteria decision analysis (MCDA) in ecosystem service valuation», *OpenNESS Ecosystem Service Reference Book*, **1**, págs. 1–6, URL www.openness-project.eu/library/reference-book.
- SAATY, R. (1987), «THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-WHAT AND HOW IT IS USED», *Pergamon Journals*, **9**(3), págs. 161–176.
- SÁNCHEZ, J. A. y F. ARROYO (2016), «Diferencias de la adopción del comercio electrónico entre países», *Suma de negocio*, **7**, págs. 141–150, URL www.elsevier.es/sumanegociosArt{\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{\OT1\i\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\accent19\OT1\iegroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\penalty\@M\hskip\z@skip}culo.
- SCHNIEDERJANS, M. J. y T. GARVIN (1997), «Using the Analytic Hierarchy Process and multi-objective programming for the selection of cost drivers in activity-based costing», *European Journal of Operational Research*, **2217**(96).
- SOTO DE LA VEGA, D., J. G. VIDAL VIEIRA y E. A. VITOR TOSO (2013), «Metodología para localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización», *DYNA (Colombia)*, **81**(2014), págs. 1–11, URL <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.39654>{%}0AMethodology.
- SOTO-DE LA VEGA, D., J. G. VIDAL-VIEIRA y E. A. VITOR-TOSO (2014), «Metodología para localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización», *DYNA (Colombia)*, **81**(184), págs. 28–35.

- TAPIA, L. (2014), «Distribucion e-commerce como cumplir con la promesa de venta», *Revista Logistec*, págs. 14–24, URL www.revistalogistec.com.
- VAIDYA, O. S. y S. KUMAR (2006), «Analytic hierarchy process : An overview of applications», *European Journal of Operational Research*, **169**, págs. 1–29.
- WEI, R. y A. T. MURRAY (2015), «Continuous space maximal coverage: Insights, advances and challenges», *Computers and Operations Research*, **62**, págs. 325–336, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.04.010>.
- YANG, J. y H. LEE (1997), «An AHP decision model for facility location selection», *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, **60**(12), págs. 241–254.
- ZHU, Y., Q. DU, F. TIAN, F. REN, S. LIANG y Y. CHEN (2016), «Location Optimization Using a Hierarchical Location-Allocation Model for Trauma Centers in», *International Journal of Geo-Information*.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Ing. Tania Valdés Avila

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

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA DISTRIBUCIÓN EN EL
COMERCIO ELECTRÓNICO MAXIMIZANDO SU ALCANCE DE
COBERTURA

Lugar de nacimiento: Las Tunas, Cuba

Fecha de nacimiento: 15 de marzo de 1991

Nombre del padre: MSc. Toniel Valdés Martínez

Nombre de la madre: MSc. Migdalia Avila León

Universidad: Universidad Vladimir Ilich Lenin

Títulos Obtenidos: Ingeniero Industrial

Experiencia Profesional:

Jefa de Auditores del Órgano Nacional de Certificación de la República de Cuba

Auditor Líder de Calidad y Medio Ambiente

Gerente Estratégico de ITESA Ingeniería Térmica Especializada

