

Diseño de un modelo matemático multiobjetivo para la localización de centros de distribución (bodegas) en Barranquilla y su Área Metropolitana, con objetivos críticos del entorno geográfico.

Rafael Antonio Ariza Avendaño

Luis Eduardo López Andrade



Universidad de la Costa CUC

Departamento de Ingeniería Industrial & Agroindustrial

Programa de Ingeniería Industrial

Barranquilla, Colombia

2017

Diseño de un modelo matemático multiobjetivo para la localización de centros de distribución (bodegas) en Barranquilla y su Área Metropolitana, con objetivos críticos del entorno geográfico.

Rafael Antonio Ariza Avendaño

Luis Eduardo López Andrade

Trabajo de investigación presentado para obtener el título de Ingeniero Industrial

Asesor:

Ms.C. Thalia Patricia Obredor Baldovino

Co-asesor:

Ms.C. Katherinne Salas Navarro

Universidad de la Costa CUC

Departamento de Ingeniería Industrial & Agroindustrial

Programa de Ingeniería Industrial

Barranquilla, Colombia

2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma jurado

Firma jurado

Barranquilla, / /

Dedicatoria

Le dedico este trabajo principalmente a Dios, porque creo firmemente que fue el que me permitió realizar este trabajo y cruzar mi camino con la Universidad de la Costa, a Él la gloria por siempre y los frutos de este trabajo.

Le dedico este trabajo a mi Madre Doris Esther Andrade Torrenegra, la cual con mucho esfuerzo y cariño me impulsó siempre y en todo, especialmente en mis estudios y charlas sobre el conocimiento. A mi padre Luis Eduardo López Tovar por el inmenso e infinito amor que nos tiene como hijos. A mi hermana Dairis Cecilia López Andrade que creo que es una persona muy valiosa y capaz.

A Yuleisy Paola Núñez Blanco, por su constante ayuda y apoyo en este trabajo, Ingeniera, científica y hermosa alma.

A mi compañero Rafael Ariza Avendaño, por su constante presencia y sacrificio para la construcción de este trabajo que Dios siempre bendiga su camino.

Dedicatoria

A Dios por permitirme llegar hasta esta etapa por regalarme salud y sabiduría para culminar este proyecto de vida, por su bondad y amor.

A mis Padres Dalida Avendaño y Antonio Ariza, por todo su apoyo, confianza, amor y por inculcarme todos esos valores y principios que hoy en día me llevaron a ser una gran persona.

A mis Hermanas Yolanis Ariza A y Yineth Ariza A, por ser ese ejemplo de hermanas mayor, por apoyarme en todos mis ideales y por manifestarme con gestos su amor y cariño.

A Marlibis Polo por apoyarme y alentarme en todo momento, por todo su amor y confianza.

A mi compañero Luis López Andrade, por todo su apoyo a lo largo de esta importante etapa de nuestras vidas.

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por todas las bendiciones que nos da cada día, por brindarnos la sabiduría y fortaleza para culminar esta importante etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres, hermanos y familia por ese apoyo incondicional, por ser esas personas que nos brindaron su atención, confianza y nos alentaron en todo momento en este duro camino.

A la Ingeniera Thalia Obredor Baldovino (Tutora) por toda su dedicación, apoyo por guiarnos y siempre alentarnos a continuar, A la Ingeniera Katherinne Salas (Co-tutora) por sus valiosos aportes que enriquecieron nuestro trabajo.

A la facultad de ingeniería de la Universidad de la Costa, por apoyarnos tanto, canalizar nuestros caminos e impulsar integralmente nuestra formación profesional, alma mater.

Resumen

El creciente aumento del sector industrial en la ciudad de Barranquilla ha traído consigo la necesidad de que las empresas tengan un lugar donde almacenar sus materias primas o productos terminados, los modelos de localización multiobjetivo son un conjunto de procedimientos matemáticos cuya finalidad es buscar soluciones al problema de donde situar centros de servicios, de manera que se optimicen ciertos criterios importantes a la hora de definir la ubicación de estos. El presente trabajo se encuentra orientado al diseño de un modelo de análisis de decisión y optimización de localización multiobjetivo de centros de distribución (bodegas) en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana, el cual permita la ubicación óptima, considerando la evaluación y determinación de centros potenciales, a partir de objetivos a minimizar como costos, distancia y seguridad, que influyen directamente en la decisión de localización de centros de distribución en la ciudad.

Palabras clave: Procedimientos, Localización multiobjetivo, Modelos Matemáticos, Optimización, Objetivos y Centros de Distribución

Abstract

The growing increase of the industrial sector in the city of Barranquilla, has brought with it the need for companies to have a place to store their raw materials or finished products, the multi-objective location models are a set of problem components of where the centers of services are located, so that the important criteria are optimized when defining the location of these. The present work is oriented to the design of a model of analysis and optimization of multi-objective localization of distribution centers (warehouses) in the city of Barranquilla and its surrounding area, which allows the optimal location, the analysis and the determination of potential centers, a starting from objectives to be minimized such as costs, distance and security, which directly influence the decision to locate the distribution centers in the city.

Keywords: Procedures, Multiobjective localization, Mathematical Models, Optimization, Objectives and Distribution Centers

Contenido

	Pág.
Capitulo I. Descripción del proyecto	15
1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivos del proyecto	19
1.3.1 Objetivo General:.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos:	20
1.4 Metodología	20
Capitulo II. Marco Referencial	26
2.1 Marco Teorico.....	26
2.2 Estado del arte.....	34
2.3 Marco Conceptual	47
Capitulo III. Modelo matemático multiobjetivo para la localización de centros de distribución (bodegas) en barranquilla, mediante la evaluación de costos, inseguridad y acceso vial.....	49
3.1 Descripción del entorno socioeconómico	49
3.2 Referentes del diseño	56
3.3 Modelación propuesta.....	61
3.4 Metodología para determinacion de parametros y solucion del modelo	69

Pág.

Capítulo IV. Resultados de la modelación.....	75
Capítulo V. Conclusiones y Trabajos Futuros	87
Capítulo VI. Bibliografía	89
Capítulo VII. Anexos	95

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. La clasificación de problemas de localización multicriterio	27
Figura 2. Frente de Pareto	29
Figura 3. Combinación de programación con metas (multiobjetivo) con AHP (multicriterio)....	34
Figura 4. Relación de términos con búsqueda multiobjetive optimization.....	36
Figura 5. Relación de términos con búsqueda optimización multiobjetivo.....	37
Figura 6. Importancia Seguridad.....	55
Figura 7. Importancia Accesibilidad o distancia.....	55
Figura 8. Mapa geográfico Área Metropolitana de Barranquilla en 2017	62
Figura 9. Mapa geográfico Localidades de Barranquilla en 2017	62
Figura 10. Rutas Euclidianas Localidades candidatas.	64
Figura 11. Puntos críticos Barranquilla	66
Figura 12. Estructura de solución	72

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Metodología objetivo específico frente actividad.....	21
Tabla 2. Matriz de Adquisición de Datos. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 3. Datos de homicidios y robos según localidad año 2014.....	69
Tabla 4. Caracterización de localidad por índice.....	71
Tabla 5. Factor de inseguridad para cada zona de estudio basado en robos y asesinatos.....	71
Tabla 6. Escenarios de localización bodegas en Barranquilla.....	73
Tabla 7. Tabla de Parámetros por localidades.....	75
Tabla 8. Conjunto de soluciones óptimas modelo multiobjetivo bodegas candidatas.....	78
Tabla 9. Ejemplo en la adición de adecuaciones para bodegas en Barranquilla.....	85

Introducción

En los últimos años la ciudad de Barranquilla ha presentado un gran crecimiento económico y comercial, lo cual ha generado nuevas dinámicas con las administraciones territoriales aledañas, expandiendo el campo empresarial e industrial no sólo en las zonas icónicas del distrito especial, Industrial y Portuario como lo son los clúster industriales de: la Vía 40, la Calle 30 y Barranquillita, sino también al Área Metropolitana de ésta, compuesta por los municipios de Puerto Colombia, Galapa, Soledad y Malambo a los cuales se ha ido transfiriendo gradualmente parte del sector industrial y logístico de la ciudad principal.

Las constructoras y comercializadores de bienes inmuebles se han interesado mucho en el Área Metropolitana de Barranquilla, por su cercanía con el puerto y el dinamismo comercial que ésta presenta, pero ¿realmente se están siguiendo tendencias correctas al migrar al Área Metropolitana? o ¿hace la diferencia ubicar un centro de distribución dentro de la ciudad de Barranquilla? Todas estas preguntas son respondidas brindando ubicaciones óptimas a la localización de bodegas teniendo en cuenta diversos objetivos de acuerdo con los intereses de la organización.

Es importante también aclarar que los objetivos pueden que no sean tenidos en cuenta de forma equitativa por parte de un inversionista o un gerente pensando en la localización de su bodega, y que jueguen prioridades para unos objetivos más que otros. Esta situación ha sido estudiada en la literatura por varios autores, pero se puede evidenciar que ha sido evaluada bajo la perspectiva de un solo objetivo. Por esta razón, en el presente trabajo se propone un modelo matemático multiobjetivo para la localización de centros de distribución (bodega) en

Barranquilla, satisfaciendo objetivos como la minimización de los costos, la minimización de la inseguridad y la maximización del acceso vial. Para ello, se hace una gran recolección de datos de tipo económico, geográfico y social de la ciudad y se crean y analizan escenarios de los objetivos planteados de acuerdo con la variación de importancia que se le puede atribuir a cada uno.

El proyecto está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 1 se aborda la descripción del proyecto o planteamiento del problema en el cual se describe la problemática tratada; en el capítulo 2 se presenta la revisión de la literatura teniendo en cuenta los principales autores que han hecho aportes al problema de localización multiobjetivo de instalaciones (bodegas); en el capítulo 3 se describe la aplicación de la problema en la localización de bodegas en Barranquilla y su Área Metropolitana, además se plantea la formulación del modelo matemático; en el capítulo 4 se encuentran los resultados y análisis del modelo y finalmente se encuentran las conclusiones y trabajos futuros en el capítulo 5 respectivamente.

Capítulo I. Descripción del proyecto

1.1 Planteamiento del problema

Cuando las empresas empiezan a ejercer actividades de almacenamiento y distribución es posible que necesiten un área de bodega dentro de su mismo lugar de fábrica o un lugar donde puedan almacenar sus productos, al momento que empiezan a manejar mayores volúmenes de inventario, outsourcing de productos finales y requerimientos de calidad para la bodega, es cuando se analiza la alternativa de adquirir una nueva bodega con mayor espacio o un centro de distribución que permita tener un balance entre distancias de los proveedores y el destino final.

A medida que los requerimientos aumentan los costos de almacenar en una bodega pequeña o en una sección dentro de la empresa empiezan a ser mayores y demandar un mayor número de personal capacitado, asumiendo también costos de mantenimiento, planeación de inventario, gestión de almacenamiento y procesamiento de pedidos (Saldarriaga, 2012), una empresa con un centro de distribución (bodega) pequeña, se puede afrontar a costos de oportunidad por no tener mercancía debido al espacio limitado, como también a distancias lejanas de sus objetivos y a factores como la seguridad de la mercancía. Por ello, se busca un lugar apropiado, el cual puede ser fuera de la empresa que permita minimizar los costos, manteniendo buenos niveles en las prestaciones.

Diferentes modelaciones asociadas con la localización de bodegas como problemas multiobjetivo han sido abordadas en la literatura, como por ejemplo: la minimización del costo total de la instalación, (Niño-Vargas & Lamos-Díaz, 2014), el problema de minimización en costos de instalación/construcción y minimización de la distancia más extensa desde la ubicación a su objetivo final, enfocándose en instalar estaciones auxiliares de bomberos (Yang, Jones, &

Yang, 2007); y la minimización del tiempo de acceso total hacia los proveedores y clientes con maximización de incentivos locales (Melachrinoudis & Min, 2000).

Cada vez son más los modelos matemáticos que permiten una optimización de los costos en el momento de tomar una decisión, pero a pesar de ellos, pocos son los modelos matemáticos que buscan la optimización de dos o más objetivos y con ello falta de diversidad (Arabani & Zanjirani, 2012). Dentro de la falta de diversidad de modelos multiobjetivo, se encuentra carencia en investigaciones que busquen la optimización en la localización multiobjetivo de bodegas. Además, la necesidad de proporcionar una herramienta efectiva que permita facilitar la toma de decisiones de empresas que desean localizar un centro de distribución en Barranquilla y su Área Metropolitana.

También se pueden encontrar trabajos con metodología multicriterio, sin embargo, esta metodología es mucho menos eficaz y ágil para el cambio de escenarios. Entre los criterios trabajados se pueden encontrar, instalaciones que manejen el menor costo posible, el mejor acceso a vías y mayores oportunidades de cerrar contratos cerca de la zona (en este factor trataban de buscar la mejor ciudad para ubicar) incentivos locales, entre otros. Min & Melachrinoudis (1999) desarrollaron un modelo híbrido de relocalización de producción/distribución de una cadena de suministro bajo el enfoque multicriterio y Melachrinoudis & Min (2000) desarrollaron un modelo de relocalización dinámica para una cadena de suministro de dos niveles utilizando la metodología multiobjetivo; ambos trabajos desarrollaron metodologías y metas parecidas, pero aun así llegaron a la conclusión que el método multiobjetivo es mucho mejor. Como criterios también se puede encontrar precio por unidad de m^2 de la bodega, capacidad de almacenamiento, flexibilidad de movimiento en la construcción y adaptación de la bodega (Özcan, Çelebi, & Esnaf, 2011), costo de transporte,

cubrimiento de la demanda (Moheb-Alizadeh, Rasouli, & Tavakkoli-Moghaddam, 2011), entre otros.

Los objetivos trabajados en las investigaciones multiobjetivo permiten dar una excelente perspectiva de la importancia de éstos. Sin embargo, éstos se encuentran en trabajos separados y en contextos diferentes al Área Metropolitana de Barranquilla. Por lo cual se desea generar un modelo matemático que permita brindarle al área información optimizada y veraz sobre cuál es el mejor lugar para ubicar bodegas.

Por lo tanto, se plantea el siguiente interrogante:

¿Mediante qué modelación matemática multiobjetivo podría establecerse la localización óptima de centros de distribución (bodega) en Barranquilla y su Área Metropolitana, considerando la minimización de costos e inseguridad y la maximización del acceso vial?

1.2 Justificación

El desarrollo del modelo de localización multiobjetivo de centros de distribución evaluará los diferentes criterios que influyen en el funcionamiento de una bodega, proporcionando así soluciones óptimas que faciliten la información estratégica necesaria para la toma de decisiones, impactando el área Científico-Tecnológico.

Arabani & Zanjirani (2012) sugieren como trabajos futuros abordar la metodología multiobjetivo frente a la metodología multiatributo (o multicriterio) y la necesidad de incluir funciones objetivo únicas que puedan generar valor a diversos sectores empresariales y que raramente son referenciados en la literatura, como lo es caso del objetivo seguridad en la presente investigación.

De igual forma, mencionan la preocupación en el rendimiento de las mediciones para la aplicación de nuevas funciones objetivos a diferencia de los ordinarios, como la minimización del costo/distancia y la maximización de la utilidad. En general, al revisar el estado del arte se encuentra que muchas investigaciones hacen énfasis en las funciones objetivo anteriormente mencionadas, en contraste de modelos prácticos relacionados con problemas del mundo real, los cuales han capturado mayor atención en años recientes debido a su aplicación diferencial que pueden brindar altos beneficios para las compañías.

Adicionalmente, la historia de Barranquilla ha estado estrechamente relacionada con su actividad industrial, la cual se ha visto impulsada por el comercio y la llegada de inversiones en los últimos años del siglo XIX y los primeros del XX. Hacia los años veinte del siglo pasado, la ciudad ostentaba el tercer lugar nacional en términos de industria y el primero en la región Caribe (Bonilla, 2010); sin embargo, en los últimos años Barranquilla y el Departamento del Atlántico se vienen destacando como territorios atractivos para inversionistas nacionales y extranjeros, hecho que ha permitido el desarrollo de nuevos proyectos empresariales y de infraestructura, ejecutados de manera coordinada entre los sectores público y privado (Cámara de comercio de Barranquilla, 2014).

Según la cámara de comercio de Barranquilla (2016) los resultados de las estadísticas del Registro Mercantil de la Cámara de Comercio de Barranquilla y Confecámaras, durante el primer semestre de 2016 versus el mismo periodo de 2015, el departamento del Atlántico experimentó un incremento del 24% en el número total de sociedades y personas naturales matriculadas, al pasar de 5.693 a 7.057, y se caracterizó por presentar el crecimiento más alto, frente a otras regiones importantes del país, con una participación de un 11% de crecimiento en el sector de las

industrias, lo que evidencia el creciente desarrollo que está teniendo la ciudad, encaminada a convertirse una de las ciudades colombianas con mayor proyección a nivel internacional.

En el caso de Barranquilla, en 2016 se están ejecutando grandes planes en el sector comercial e industrial con la presencia de al menos cuatro parques industriales que, sin duda, dispararán la economía y el empleo local, uno de estos proyectos es el de Green Park Atlántico, plataforma logística e industrial que se desarrolla en Galapa, Área Metropolitana de Barranquilla a solo 2,7 kilómetros de ésta (El Heraldó, 2016), lo cual trae consigo un aumento en el número de nuevas empresas que se instalarán en Barranquilla y su Área Metropolitana, las cuales tendrán la necesidad de arrendar o adquirir lugares óptimos (Bodegas) para almacenar y guardar sus productos, con ello se abarca varios problemas como son: escoger la mejor ubicación que permita la reducción de costos que comprende, costos de instalación, costos de transporte entre otros; distancias y seguridad dentro y a sus alrededores que pueda afectar los inventarios de manera directa.

Por último, es de gran relevancia mencionar que la investigación del presente trabajo se constituye en herramienta clave para el sector empresarial que puede ser contextualizada en cualquier sector de la economía, debido a las características que tiene la ciudad por ser un lugar de gran inversión y afluencia comercial.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo General:

- Diseñar un modelo matemático multiobjetivo para la localización de centros de distribución (bodega) en Barranquilla y su Área Metropolitana, mediante la evaluación de costos, inseguridad y acceso vial.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar los objetivos críticos que influyen en la decisión de ubicación de los centros de distribución (bodegas) en Barranquilla y su Área Metropolitana.
- Construir un modelo de localización multiobjetivo que permita determinar la localización óptima de un centro de distribución en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana.
- Realizar un análisis de los resultados generados por el modelo proporcionando conclusiones.

1.4 Metodología

La construcción de la presente investigación se realizó en base a datos de fuente secundaria y primaria. Con mayor incidencia la primera, debido a la difícil adquisición de datos de forma directa por la confidencialidad de la información por parte de las empresas. Sin embargo, se realizó un gran apoyo con informes, decretos y recopilación de información general por parte de las alcaldías de los municipios del Área Metropolitana como también tendencias investigativas globales, entre otros, para la localización de instalaciones a través de la optimización multiobjetivo. En la tabla 1 se presenta la metodología del proyecto, detallando las actividades requeridas para darle cumplimiento a los objetivos específicos del mismo.

Tabla 1.

Metodología objetivo específico frente actividad

OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDADES
Revisar el estado del arte con respecto a localización multiobjetivo en centros de distribución (bodegas)	Revisión de literatura y análisis de trabajos previos sobre técnicas de modelamiento multiobjetivo para la localización de instalaciones. Consolidación de información en matriz de adquisición de datos. Apropiación de la metodología de localización con múltiples objetivos.
Caracterizar las variables críticas que influyen en la decisión de ubicación de los centros de distribución (Bodegas)	Investigación de las variables con mayor incidencia en la localización de centros de distribución (Bodegas) en Barranquilla y su Área Metropolitana. Clasificación de las variables por naturaleza como: económicos, sociales, legales entre otros. Descripción de las variables críticas investigadas.
Construir un modelo de localización multiobjetivo que permita determinar la localización óptima de un centro de distribución en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana, teniendo en cuenta las variables críticas.	Definición de variables y de objetivos del sistema a modelar. Diseño de un modelo formal. Selección del método de solución y herramienta computacional. Verificación y validación del modelo propuesto. Análisis e interpretación sobre los resultados de la investigación.

Realizar un análisis de los resultados generados por el modelo proporcionando conclusiones

Elaboración de documento final y artículo de investigación.

Nota. Elaboración propia 2017.

En relación con la información primaria, se realizó a través del método encuesta; realizada a empresas con bodegas ubicadas en la Zona Industrial de Barranquilla, como la Vía 40, Barranquillita y Circunvalar, las cuales contribuyeron a confirmar la importancia de la investigación y los objetivos escogidos para la optimización. Aunque, ésta por la naturaleza del contexto del estudio obtuvo en el alcance de la muestra bajos índices, debido al difícil acceso de información confidencial.

Son muchos los objetivos que se pueden evaluar al momento de adquirir una bodega, tales como: costos, seguridad, transporte, impacto social, acceso a vías, entre otros, descritos a través investigaciones científicas relacionadas. Por lo cual es necesario clasificar y añadir nuevos objetivos, en la medida de lo necesario, en base a información estatal para poder ajustar las funciones objetivos usadas a nivel global con las necesidades puntuales que se presentaría en el Área Metropolitana de Barranquilla para un tomador de decisiones ubicar una nueva bodega. Información secundaria científica y estatal ver anexo 3.8.

Para poder identificar los objetivos que afectan en gran medida el Área Metropolitana de Barranquilla, se hizo uso de información presentada por parte de las administraciones públicas a través de datos disponibles en el Ministerio de Minas y Energía y Entidades Gubernamentales Territoriales de Barranquilla y Área Metropolitana; las cuales también utilizaron información de MEBAR (Policía Metropolitana de Barranquilla) y Medicina Legal, empresas de servicio

público, empresas inmobiliarias y softwares geográficos tales como Nominatim, Geonames y Google Earth®.

A partir de la revisión del estado del arte de modelos de localización de bodegas bajo el enfoque multiobjetivo y la búsqueda de información primaria y secundaria con respecto a la ubicación de bodegas, situación económica y de seguridad en la ciudad de Barranquilla y Área Metropolitana se determinaron 3 objetivos que permitieran abordar la problemática de localización teniendo en cuenta la situación del entorno. Los objetivos seleccionados son: la minimización de los costos de instalación de la bodega, la minimización de la inseguridad y maximización del acceso vial. Para efectos de la formulación del modelo propuesto, el objetivo maximización del acceso vial fue evaluada como la minimización de la distancia entre el centroide de la zona donde se localiza la bodega y el Puerto de Barranquilla, debido a que se toma la distancia en base al método de distancia Euclidiana y no Rectilínea, con el fin de seleccionar la mejor localidad en conjunto con los demás objetivos. Se selecciona como de referencia al Puerto de Barranquilla, debido al enfoque que las empresas interesadas en ubicar una bodega desarrollan actividades de importación y exportación de mercancías.

La información recopilada fue procesada y almacenada en matrices realizadas en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel® para 9 zonas, dentro de las cuales se encuentran las 5 localidades de la ciudad de Barranquilla y 4 municipios cercanos como, (Puerto Colombia, Galapa, Soledad y Malambo), los cuales se caracterizan por estar muy relacionados con el desarrollo comercial y productivo de esta ciudad.

Por cada zona se escogieron cinco bodegas candidatas en ubicaciones aleatorias, las cuales se ceñían por el criterio de acercamiento hasta 1000 metros a excepción de la zona Puerto

Colombia, la cual sólo hubo una bodega candidata, dado a la falta de bodegas en arriendo en la zona.

Los costos de arriendo de la bodega fueron extraídos de empresas inmobiliarias, con ello, se dedujo un cálculo de costo de arriendo por metro cuadrado en cada bodega. Para el costo de servicios públicos se utilizó la información tarifaria de las empresas ELECTRICARIBE S.A E.S.P y TRIPLE A S.A E.S.P (ver anexo 3).

Asumiendo las bodegas como bienes residenciales (debido a que en Colombia las empresas independientes de su zona obtienen un estrado comercial, y un nivel de conexión a red o conexión a transformador de forma dedicada o compartida, ésta última información sólo es obtenida con los recibos del inmueble lo cual es de gran complejidad adquirir), se calculó el costo de servicio público de los últimos 3 meses y el promedio de éstos para cada bodega. Para el costo de transporte, se utilizó la distancia aproximada desde la bodega de la zona hasta el Puerto de Barranquilla, en kilómetros el cual se ubicó en el edificio de Zona Franca de Barranquilla, dado que la mayoría de las empresas reciben su materia prima y productos a través de proveedores extranjeros que importan mediante el transporte marítimo, por otro parte, el promediado del costo de los últimos 3 meses sobre el galón de gasolina en Colombia publicado por el Ministerio de Minas y energía de Colombia, luego se realiza la multiplicación del galón de gasolina por kilómetro recorrido, lo cual nos da un primer indicio de la influencia del costo de transporte a través de la distancia.

Para el parámetro de transporte se escogieron los centroides para el Área Metropolitana (Municipios de Puerto Colombia, Galapa, Soledad y Malambo) a través de la recopilación del Ingeniero Electrónico Julián Andrés Giraldo de la Universidad Nacional con el software <http://Nominatim.openstreetmap.org/> y para las sub-divisiones de Barranquilla (localidades) se

utilizó <http://www.Geonames.org/> luego de esto se escogieron las bodegas candidatas para cada zona y la distancia fue calculada con la función ALEATORIO() de Excel® con 0.5 km hacía arriba y 0.5 km hacia abajo del centroide correspondiente a 0.5 km a la redonda del centroide de la zona.

De manera contigua se seleccionaron escenarios para los cuales un objetivo toma más importancia que otro y así adaptarnos en la solución un abanico de posibilidades para inversionistas o investigadores al tomar el escenario que mejor se le adapte. Todos los datos fueron tratados, recopilados y organizados en Excel® de Microsoft.

Capítulo II. Marco Referencial

2.1 Marco Teorico

Daskin (1995) considera que los problemas de localización se caracterizan por 3 elementos principales: el primero, un conjunto de puntos de demanda (clientes), que tienen que ser asignados para prestar un servicio a alguna instalación; el segundo, una lista de requerimientos que deben cumplir las instalaciones abiertas y la asignación de puntos de demanda a las instalaciones; y el tercero, una función que asocia cada una de las instalaciones con el costo/beneficio obtenidos si se abrieran todas las instalaciones en el conjunto y se asignarán los puntos de la demanda a ellos de manera que se satisfagan los requisitos.

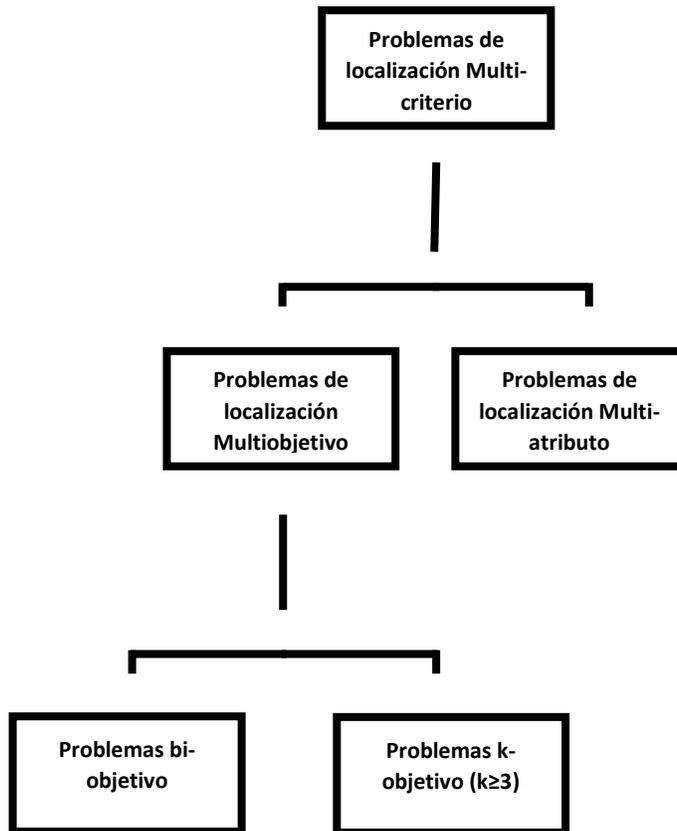
Colebrook (2003), establece tres tipos de problemas de localización: el primero, la localización continua, que permite que las localizaciones estén en cualquier lugar dentro de un espacio dimensional; el segundo, la localización discreta, que se especifican a priori un número finito de posibles localizaciones en el espacio. La cual también se denomina localización-asignación; y el tercero, la localización en redes, como un tipo especial de problemas de localización que se modelan en redes o árboles.

Minimizar o maximizar cualquier variable de rendimiento ha sido una de las funciones objetivos más utilizadas a lo largo del tiempo en los problemas de localización óptima. Los problemas de localización multiobjetivo surgen con la necesidad de evaluar 2 o más funciones objetivas, como por ejemplo minimizar los costos de producción del producto X, maximizando la calidad final del mismo producto. (Current, Min, & Schilling, 1990)

Según lo expuesto por Zanjirani, SteadieSeifi & Asgari (2010) las técnicas de problemas de decisiones multiobjetivo (MODM por sus siglas en Inglés Multi-Objective Decisión Making), consisten en encontrar la mejor alternativa, teniendo en cuenta las diversas restricciones que

satisfagan la toma de decisiones, obteniendo niveles óptimos del conjunto de objetivos. Las características principales de los MODM son las siguientes: un conjunto de objetivos cuantificables, un conjunto de restricciones bien definidas y un proceso de obtención de información.

Figura 1.



Nota. (Zanjirani, SteadieSeifi & Asgari, 2010).

Para la solución de modelos multiobjetivo es posible el desarrollo a través de los métodos:

a) Método multiobjetivo de Pareto

La optimización de Pareto, también llamado Eficiencia de Pareto, es uno de los métodos más antiguos para la solución de problemas matemáticos multiobjetivo, éste se basa en la búsqueda

de un punto óptimo el cuál permita el mejor resultado entre los dos objetivos (Coello, 2002), el cual se basa en los conceptos de:

Optimalidad de Pareto

Dado la búsqueda del vector $\vec{x}^* = [x^*_1, x^*_2, \dots, x^*_n]^T$ que satisfaga las restricciones desiguales.

Un punto $\vec{x}^* \in \Omega$ es un óptimo de Pareto si para toda $\vec{x} \in \Omega$ e $I = \{1, 2, \dots, k\}$ ya sea,

$$\forall i \in I (f_i(\vec{x}) = f_i(\vec{x}^*))$$

O sí existe por lo menos una $i \in I$ tal que,

$$f_i(\vec{x}) > f_i(\vec{x}^*)$$

Dominancia de Pareto

En el momento que un vector $\vec{u} = (u_1, \dots, u_k)$ domina otro $\vec{v} = (v_1, \dots, v_k)$ se expresa como:

$$\vec{u} \leq \vec{v}$$

Sí y sólo sí u se encuentra parcialmente menor que v .

Ejemplo:

$$\forall i \in \{1, \dots, k\}, u_i \leq v_i \wedge \exists i \in \{1, \dots, k\}: u_i < v_i$$

Conjuntos óptimos de Pareto

En problemas de objetivos múltiples dado que $\vec{f}(x)$, el conjunto de óptimos de Pareto (P^*) es:

$$P^* := \{x \in \Omega \mid \neg \exists x' \in \Omega \vec{f}(x') \leq \vec{f}(x)\}$$

Frente de Pareto

De la aplicación más importante del método de Pareto, debido a que el Frente de Pareto se toma como base para los métodos desarrollados por otros autores.

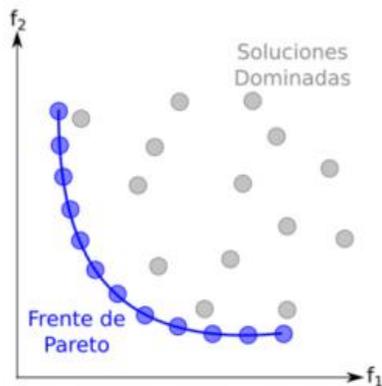
Para un problema multiobjetivo dado $\vec{f}(x)$ y conjunto óptimo de Pareto, P^* el frente de Pareto (PF^*) se define como:

$$PF^* := \{ \vec{u} = \vec{f} = (f_1(x), \dots, f_k(x)) \mid x \in P^* \}$$

Los frentes de Pareto pueden llegar a presentar formas de concavidad, convexidad, discontinuadas entre otras formas. (Martínez, 2013)

Ejemplo gráfico de Frente de Pareto:

Figura 2.



Nota. (Martínez, 2013).

b) Método de ponderaciones

Es un método válido para problemas lineales y no lineales. En el método de ponderaciones cada objetivo se multiplica por un peso o factor no negativo, procediendo después agregar todos los objetivos ponderados en una única función objetivo. En este caso la suma de las

ponderaciones no necesariamente debe ser uno, lo que crea un conjunto de soluciones y no una sola respuesta óptima con una ponderación promedia y balanceada. La optimización de dicha función ponderada y agregada genera un elemento del conjunto eficiente. Por medio de la parametrización de los pesos asociados a los objetivos, se va aproximando el conjunto de soluciones eficientes; es así como el método de ponderaciones se formula de la siguiente manera (Pliego, 2012):

Dadas las funciones objetivo en forma individual:

$$\text{Max } z_1 = c^1 x, \quad \text{Max } z_2 = c^2 x, \dots, \quad \text{Max } z_p = c^p x$$

Se consideran ponderaciones para cada una de las funciones objetivo:

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p,$$

Es decir, se considera de forma sistemática una serie de conjuntos de pesos positivos de cada objetivo:

$$\lambda = (1, 0, \dots, 0), (0, 1, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, 1)$$

Se obtiene una función objetivo compuesta, la cual está determinada por la suma del peso de las funciones objetivo.

$$\text{Max } z = \sum_{k=1}^p \lambda_k c^k x$$

El problema lineal por $LP(\lambda)$ se denota:

$$\text{Max } \sum_{k=1}^p \lambda_k f_k(x)$$

s. a

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

Donde cada $\lambda_k \geq 0$ para Z_k es la importancia (peso) de la k-esima función objetivo con respecto del resto de las otras funciones. Este método garantiza la obtención de soluciones eficientes si los pesos son no negativos. (Pliego, 2012)

De acuerdo con lo anterior se establece el siguiente teorema.

1. Sea $\lambda \in \mathfrak{R}_{\geq}^p$, donde λ es un problema lineal con óptima solución o con única solución

Si $x \in X$ es una solución óptima de $LP(\lambda)$, entonces $x \in X_{WE}$

Si $x \in X$ es una única solución óptima de $LP(\lambda)$, entonces $x \in X_E$

2. Sea $\lambda \in \mathfrak{R}_{>}^p$, donde λ es un problema lineal con óptimas soluciones

Si $x \in X$ es una solución óptima de $LP(\lambda)$, entonces $x \in X_{SE}$

3. El problema multiobjetivo debe ser convexo

4. Un punto $x \in X$ una solución óptima de $LP(\lambda)$, para algún entonces $\lambda \in \mathfrak{R}_{>}^p$ es si y solo

si $x \in X_{SE}$

Si los pesos expresan las preferencias del decisor y este es capaz de asignarlos de una manera coherente, la solución óptima de $LP(\lambda)$ es la mejor solución para el decisor. Hay que tomar en cuenta que, si el decisor es razonablemente certero acerca de escoger los pesos específicos, la optimización de la función objetivo compuesta (con la combinación de pesos) resultará la combinación deseada. No obstante, comúnmente es difícil precisar los pesos específicos, ya que en los modelos reales existe un gran número de funciones objetivo que requerirán muchas combinaciones de pesos a examinar. Por lo tanto, es deseable la cooperación de aquel que toma la decisión y el analista para resolver los problemas, en la cual la función objetivo compuesta es construida usando combinaciones de pesos que muestran ser razonables (Pliego, 2012).

c) Método de promedios ponderados

El método de promedios ponderados es un caso particular del método de ponderaciones, la diferencia que existe es $\sum_{k=1}^p \lambda_k = 1$. Este método obtiene una solución factible que maximiza la suma ponderada de todos los objetivos (Pliego, 2012).

El problema lineal por $LP(\lambda)$ se denota como:

$$\text{Max} \sum_{k=1}^p \lambda_k f_k(x)$$

s. a

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

Donde $\sum_{k=1}^p \lambda_k = 1$ para $\lambda \geq 0$ y donde Z_k es la importancia de la K-esima función objetivo con respecto del resto. (Pliego, 2012)

d) Método de restricciones

Este método consiste en optimizar una función objetivo que se supone más importante que las otras. El resto de las funciones objetivo se reescriben como restricciones, donde los valores de las z_i restantes, se introducen con números reales que corresponden a cotas inferiores para los términos independientes del lado derecho. Por tanto, el PPLMO (Problema de programación lineal multiobjetivo) se transforma a un problema de PL (Programación lineal) con un objetivo.

El problema de las restricciones $P(\varepsilon)$ se denota como:

$$\text{Max} f_k(x)$$

s. a.

$$f_i(x) \leq \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, p; i \neq k$$

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

Sea $\varepsilon_{-k} \in \mathfrak{R}^{p-1}$, $\varepsilon_{-k} = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{k-1}, \varepsilon_{k+1}, \dots, \varepsilon_p)$

Sea el conjunto $\Psi = \{ \varepsilon \in \mathfrak{R}^p \}$ del PPLMO es factible para $\varepsilon_{-k} =$

$(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{k-1}, \varepsilon_{k+1}, \dots, \varepsilon_p) \forall k = 1, \dots, p$.

Por tanto, se establece el siguiente resultado:

1. Si para alguna k , $k \in \{1, \dots, p\}$, existe $\varepsilon_{-k} \in \mathfrak{R}^{p-1}$ tal que x es una solución óptima del PPLMO entonces $x \in X_{WE}$
2. Si para alguna k , $k \in \{1, \dots, p\}$, existe $\varepsilon_{-k} \in \mathfrak{R}^{p-1}$ tal que x es una solución óptima del PPLMO entonces $x \in X_E$.
3. Un punto $x \in X$ es eficiente si y solo si existe $\varepsilon \in \Psi$ tal que x es una solución óptima del PPLMO para cada $k = 1, \dots, p$ y con $f_i(x) = \varepsilon_i$, $i = 1, \dots, p; i \neq k$

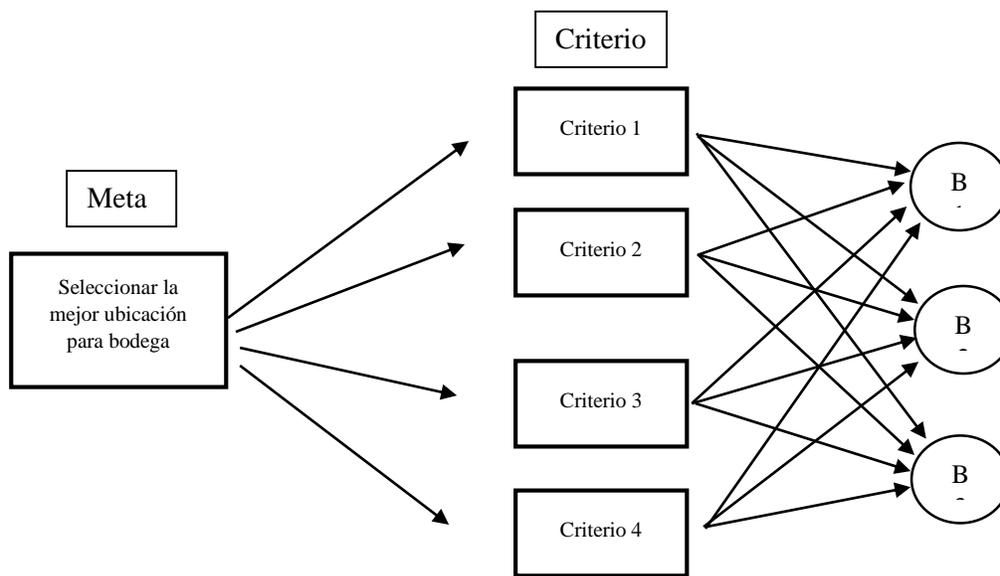
Para este nuevo problema de programación lineal con un objetivo, la elección de la función objetivo y las cotas ε_k representan preferencias por parte del decisor; de manera que si no existiera solución para el problema $P(\varepsilon)$ habría que suavizar al menos una de las cotas, donde la solución del problema $P(\varepsilon)$ será eficiente si es una solución única (Pliego, 2012).

e) Método por metas

El método multiobjetivo por metas permite al modelo brindar una proporción de subjetividad cuando el decisor plantea las metas (García, 1998). Éste método fue inicialmente desarrollado para solucionar problemas de programación lineal que permitieron minimizar las desviaciones absolutas al momento de determinar las compensaciones salariales de los directivos como caso

aplicativo (Charnes, Cooper, & Ferguson, 1955). Éste método busca cumplir todas las metas planteadas en el modelo, como también dar prioridades a cada una de ellas y permitir el cumplimiento preferente de una meta sobre otra (Romero, 2002).

Figura 3.



Nota. (Ho & Emrouznejad, 2009)

2.2 Estado del arte

Colebrook (2003), estudia los problemas de localización de centros de conmutación en centros absolutos y medianas de un gráfico, estableciendo su investigación como antecedente para el desarrollo de futuros problemas de localización.

Actualmente, los métodos de localización multiobjetivo han sido llevados al campo ambiental y de localización de instalaciones no deseadas (Troncoso & Tapia, 2011), tal como rellenos sanitarios y captación de materiales usados como el desarrollado por Costa & Abreu (2009) en el cuál ubican almacenes intermedios de captación de vidrio para el reciclaje de éste.

Otras categorías que se pueden encontrar en la literatura es la combinación de energía eléctrica y propósitos ambientales tal como el desarrollo de un modelo de localización que busca la ubicación de puntos para energías renovables (Fernández, 2011) y la metodología multiobjetivo para pequeños puntos generadores de energía eléctrica renovable en ciudades, los cuales alimentan una red principal de electricidad (Tarôco, Takahashi, & Carrano, 2016).

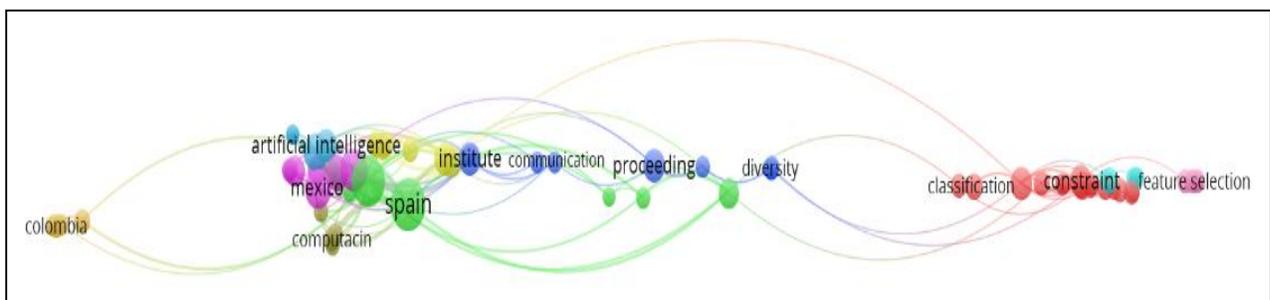
Los métodos multiobjetivo que buscan mejorar la ubicación de dispositivos eléctricos consideran los siguientes objetivos: minimizar costos fijos (instalación de dispositivos, mano de obra, etc.) y maximizar la confiabilidad de la red, objetivos que son satisfechos por un conjunto de restricciones técnicas y operativas, tales como, ubicación máxima de los dispositivos, regulación de voltaje y la cantidad máxima de potencia eléctrica soportada por la red eléctrica (Pulgarín, 2013). Por otro lado, Yang et al. (2007) consideran un modelo matemático para la localización óptima de sedes de bomberos en la ciudad de Derbyshire, Inglaterra. Adicionalmente, el uso de la programación multiobjetivo con algoritmos genéticos para optimizar el proceso de molido en seco el cual busca identificar la importancia y los roles de prioridad en el proceso para evitar la dependencia de expertos y métodos empíricos (Suárez & Oliveros-Colay, 2015).

Así mismo la optimización multiobjetivo fue utilizada en investigaciones para combatir *Aedes aegypti* (Dengue) usando controles químicos y biológicos a escalas alternadas con el objetivo de minimizar costos sociales y económicos usando un modelo matemático dinámico, combinando insecticidas (químicos) y la inserción de mosquitos varones estériles (biológico) usando algoritmos evolutivos, concluyendo que la inserción de mosquitos estériles es un procesos altamente costoso frente a la alta oferta de insecticidas en el mercado. (Dias, Wanner, & Cardoso, 2015).

Al realizar una revisión de la literatura existente de la temática de localización de bodegas, se encontraron alrededor de 300 artículos (288 en inglés en la base de datos ScienceDirect® con el campo de búsqueda “multi-objective” y 77 trabajos en español con el campo de búsqueda “multiobjetivo”), los cuales se encuentran relacionados por temática en la Figura 4, realizado con la herramienta VosViewer®, que permite presentar la relación de términos frente a la búsqueda realizada.

El procedimiento para la generación del diagrama de relación de términos es el siguiente: se realiza la búsqueda de los términos en la base de datos Scopus®, luego se exportan todos los resultados en un archivo *.ris*, el cual, se traslada hacia el programa VosViewer® y se añade para el procesamiento con un método de conteo binario y un número mínimo de ocurrencias de 5; obteniendo un número de términos a mostrar de 130 en inglés (ver figura 4) y 23 en español (ver figura 5), excluyendo los términos irrelevantes como *https*, *reference*, *date* y en un tipo de visualización por líneas curvas.

Figura 4.

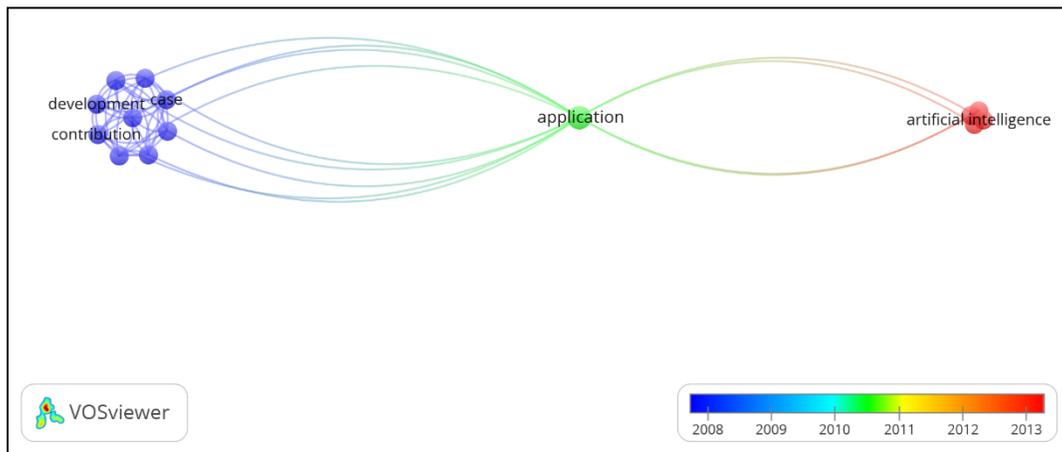


Nota. Relación de términos con búsqueda multiobjetive optimization (2017).

También se realiza una búsqueda en la lengua española donde se observa la relación de términos en la literatura (figura 5) para encontrar las tendencias en ésta última, en este caso la

literatura usa títulos en inglés luego en español, debido a esto los términos se encuentran en inglés, aunque fueron realizadas por autores latinoamericanos, adicionalmente, en esta presentación el programa VosViewer® nos permitió la clasificación por fechas, en contraste de la relación en inglés.

Figura 5.



Nota. Relación de términos con búsqueda optimización multiobjetivo (2017)

En la literatura, existen conjuntos de métodos para dar resultado a problemas de ubicación de instalaciones (FLP), todas ellas matemáticas, pero cada una de ellas característica para manejar diferentes tipos de problemas o soluciones deseadas. Arabani & Zanjirani (2012) realizan un extenso resumen donde se pueden identificar los métodos publicados en búsqueda de dar resultado a un problema de localización. Entre ellos se encuentran problemas de localización relacionados, con elegir una instalación y un sólo objetivo de optimización (SIFLP-Single Facility location problem), con elegir varias ubicaciones finales (MUFLP- Multi-facility location problem) manteniendo un solo objetivo. En tipos de localización como: la localización de una planta, red eléctrica o instalaciones jerárquicas, entre otras; es posible encontrar métodos

multiobjetivo y multi-criterios (multi-atributos), pero de los cuales no se encuentra extensa información de diversos modelos generados para centros de distribución que permitan estos ser contrastados y evaluados. Es importante aclarar que el termino multi-criterio en la literatura hace referencia a las optimizaciones multi-atributo.

Se logró encontrar que la localización es muy importante en el desarrollo de modelos de optimización, pero poco énfasis se le ha dado a la ubicación de bodegas industriales, entre ellos podemos encontrar autores que han comenzado a ahondar en la localización de bodegas como por ejemplo, relacionados con la optimización para la localización de centros de distribución (Niño-Vargas & Lamos-Díaz, 2014). En la localización de toda la cadena de suministro Báez (2011), se encuentra el diseño de una cadena de suministro en base a una optimización multiobjetivo (Zhang, Lee, Wu, & Choy, 2016) y modelaciones matemáticas para la localización de empresas manteniendo un enfoque de prioridad a la cadena de suministro (Melachrinoudis & Min, 2000), cómo además es posible encontrar modelo multiobjetivo para la localización de parques industriales, como se realizó en Ecuador (Yerovi, 2012).

Algunas investigaciones en literatura realizadas con método multicriterio, se basan en resultados cuantitativos como cualitativos (Soto-de la vega, Vidal-Viera, & Vitor-Toso, 2014), algunos hasta basados en criterios cualitativos totalmente diferenciales como pesos de opinión dado las partes interesadas de la empresa (Macharis, Milan, & Verlinde, 2014). Adicionalmente, otras investigaciones multi-criterio basadas en la localización dependiendo de factores económicos y calidad de vida del entorno (Min & Melachrinoudis, 1999), otras investigaciones han profundizado en la implementación de modelos para la localización y asignación de la demanda (Moheb-Alizadeh, Rasouli, & Tavakkoli-Moghaddam, 2011).

En conclusión, las diversas investigaciones en el campo multiobjetivo están siendo ahondadas con cautela, poco ha sido escrito sobre ello, pero las investigaciones que logran ser realizadas brindan un impacto en este naciente campo. Por otra parte, la localización con estos métodos multiobjetivo se encuentra excesivamente escasa aún más en la localización de centros de distribución o bodega, en los cuales es necesaria muchas más investigaciones.

En la Tabla 2 se presenta la matriz de adquisición de datos que incluye las investigaciones revisadas por autor, tipo de documento, país de publicación, año de publicación, idioma de la publicación, tipo de publicación y sector económico objeto de estudio. En la matriz se relacionan 47 trabajos con los métodos para localización de bodegas por diferentes enfoques.

Tabla 2.

Matriz de Adquisición de Datos. Fuente: Elaboración propia.

N ^o	Área de conocimiento en Investigación de Operaciones	Título del documento	Tipo de Documento	Autor	País de Publicación	Año Public	Idioma	Revista y/o Evento	Sector Económico
1	Localización multiobjetivo	Método para localización óptima de centrales de energías renovables	Tesis	A. Fernandez	Chile	2011	Español		Industrial
2	Programación por metas	Programación estocástica por metas. Teoría y aplicaciones económicas	Tesis	A. García	España	1998	Español		Industrial
3	Actividad empresarial	Decreto N°0785 del 2014.	Decreto	Alcaldía de Barranquilla	Colombia	2014	Español		Industrial

	multiobj etivo	industriales en ecuador.							
1 1	Actividad empresarial Barranquilla	Dinamismo empresarial en el Departamento del Atlántico durante Enero- Septiembre de 2014.	Boletín Económico	Cámara de comercio Barranquilla	Colombia	20 14	Español		Económico
1 2	Actividad empresarial Barranquilla	Buen cierre en el primer semestre de 2016	Boletín Económico	Cámara de comercio Barranquilla	Colombia	20 16	Español		Económico
1 3	Actividad empresarial Barranquilla	Dinamismo empresarial en el atlántico (2017)	Boletín Económico	Cámara de comercio Barranquilla	Colombia	20 17	Español		Económico
1 4	Optimización multiobjetivo	Optimal estimation of executive compensation by linear programming	Artículo investigación	Charnes, Cooper, & Ferguson	USA	19 55	Inglés	Management Science	Industrial
1 5	Optimización multiobjetivo	Introducción a la Optimización Evolutiva Multiobjetivo Ubicación De	Artículo investigación	Coello, C.	México	20 07	Español	Cinvestav -Ipn	Industrial
1 6	Localización multiobjetivo	Instalaciones Industriales: Metodología Para Reducción Del Impacto Industrial Estrategia de	Artículo investigación	Correa, G	Perú	20 11	Español		Industrial
1 7	Localización multiobjetivo	localización con enfoque multiobjetivo para almacenes intermedios en procesos de	Artículo investigación	Costa, Y. & Abreu, R.	Cuba	20 09	Español	Industrial Vol. XXX/No. 1/2009	Industrial

reciclaje de
envases de vidrio

18	Localización multiobjetivo	Multiobjective analysis of facility location decisions.	Artículo investigación	Current, J., Min, H. & Schilling, D.	United Kingdom	1990	Inglés	European Journal of Operational Research	Industrial
19	Localización multiobjetivo	Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications	Artículo investigación	Daskin, M.	USA	1995	Inglés	John Wiley & Sons.	Industrial
20	Seguridad en Barranquilla	Puntos críticos de la seguridad en Barranquilla.	Boletín de información	El Heraldo	Colombia	2015	Español	El Heraldo	Seguridad
21	Actividad empresarial Barranquilla	Grandes proyectos que le apuestan a la Región, Barranquilla	Boletín de información	El Heraldo	Colombia	2016	Español	El Heraldo	Económico
22	Seguridad en Barranquilla	Robos a comercios en el mundo - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990	Boletín de información	El Tiempo	Colombia	2015	Español	El Tiempo	Seguridad
23	Seguridad en Barranquilla	Puntos críticos de inseguridad: Un tratamiento diferente a los problemas persistentes	Boletín de información	FIP	Colombia	2015	Español	Gobierno de Colombia	Seguridad
34	Localización multicriterio	Multi-criteria logistics distribution network design using SAS/OR	Artículo investigación	Ho, W., & Emrouznejad, A.	United Kingdom	2009	Inglés	Expert Systems with Applications	Industrial
42	Localización	System Machine Selection in a Dry Grinding	Artículo investigación	L. Suarez, M. &	España	2015	Inglés	Procedia Engineering	Industrial

	multiobj etivo	Process: Cost and Energy Savings A fuzzy multi- objective		Oliveros- Colay					
2 5	Localiza ción multiobj etivo	programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. Localización simple de	Artículo investig ación	L. Yang, B. Jones & S. Yang	United Kingdo m	20 07	Inglé s	European Journal of Operation al Research	Industr ial
2 6	Localiza ción multiobj etivo	servicios deseados y no deseados en redes con múltiples criterios. Un estudio	Tesis	M. Colebrook	España	20 03	Espa ñol		Industr ial
2 7	Localiza ción multiobj etivo	empírico de dos algoritmos evolutivos para clustering multiobjetivo. Análisis del Sistema de Almacenamiento y Propuesta de	Tesis	M. Martínez	México	20 13	Espa ñol		Industr ial
2 8	Localiza ción multiobj etivo	Mejoras en la Distribución en la Bodega de Materia Prima y Producto Terminado de una Procesadora de Grasa Lubricante	Tesis	M. Molina	Ecuado r	20 12	Espa ñol		Industr ial
2 9	Localiza ción multicrit erio	A stakeholder- based multicriteria evaluation framework for city distribution.	Artículo investig ación	Macharis, C., Milan, L., & Verlinde, S	Bélgica	20 14	Inglé s	Research in Transport ation Business & Managem ent	Industr ial

31	Cadenas de suministro	Dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehouse facility: a multiple objective approach	Caso Estudio	Melachrinoudis, E., & Min, H.	USA	2000	Inglés	Operational Research	Industrial
32	Cadenas de suministro	A multiobjective model for the dynamic location of landfills	Caso Estudio	Melachrinoudis, E., Min, H., & Wu, X.	USA	1995	Inglés	Location Science	Industrial
30	Cadenas de suministro	The relocation of a hybrid manufacturing/distribution facility from supply chain perspectives	Caso Estudio	Min, H. & Melachrinoudis, E.	USA	1999	Inglés	Omega	Industrial
33	Localización multicriterio	The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment	Artículo investigación	Moheb-Alizadeh, H., Rasouli, S. M., & Tavakkoli - Moghaddam, R.	Irán	2011	Inglés	Expert Systems with Applications	Industrial
35	localización multiobjetivo	Modelo matemático para determinar la ubicación de Centros de Distribución en un contexto real	Artículo investigación	Niño-Vargas, J & Lamos-Diaz, H.	Colombia	2014	Español	Scientia et Technica,	Industrial
36	Localización multiobjetivo	Programación Lineal Multiobjetivo: Análisis, técnicas y casos de aplicación	Tesis	O. Pliego	México	2012	Español		Industrial

37	Análisis multicriterio	Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem.	Caso Estudio	Özcan, T., Çelebi, N., & Esnaf, S.	Turquía	2011	Inglés	Expert Systems with Applications	Industrial
38	Localización multiobjetivo	Localización Óptima de Reconectores Normalmente Abiertos para Transferencia de Carga.	Artículo investigación	Pulgarín, C.	Colombia	2013	Español	Mundo Eléctrico	Industrial
39	Programación por metas	Programación por Metas (Goal Programming): pasado, presente y futuro	Artículo investigación	Romero, C.	España	2002	Español	Revista Electrónica de Comunicaciones Y Trabajos de ASEPUM A	Industrial
40	Localización multiobjetivo	Multi-objective optimization for sustainable supply chain network design considering multiple distribution channels	Artículo investigación	S. Zhang, C. Lee, K. Wu et al.	USA	2016	Inglés	Expert Systems with Applications	Industrial
41	localización multiobjetivo	Diseño, optimización y gerencia de centros de distribución: almacenar menos y distribuir más	Artículo investigación	Saldarriaga, D	Colombia	2012	Español	INCAE Business School	industrial

4 2	Localización multicriterio	Metodología para localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización System Machine	Artículo investigación	Soto-de la vega, D., Vidal-Viera, J., & Vitor-Toso, E.	Brasil	20 14	Español	Dyna	Industrial
4 3	Localización multicriterio	Selection in a Dry Grinding Process: Cost and Energy Savings	Artículo investigación	Suárez, L., & Oliveros-Colay, M.	España	20 15	Español	Procedia Engineering	Industrial
4 5	Centros de distribución	Seguimiento administrativo de los productos más filtrados por categoría de la súper tienda olímpica Modelo de localización	Boletín Económico	Tabares, N.	Colombia	20 11	Español	Universidad Católica de Pereira	Industrial
4 4	Localización multiobjetivo	Modelo de localización óptima de actividades no deseadas aplicado a los residuos sólidos en la región metropolitana	Artículo investigación	Tapia M.M. & Troncoso J.C.	Chile	20 08	Español	Ingeniare	Industrial
9	Cadenas de suministro	Adopción de medidas preventivas ante los riesgos logísticos que enfrentan las compañías de transporte en el manejo internacional de carga.	Tesis	Torres, C.	Ecuador	20 15	Español	Universidad de Machala	Industrial
4 6	Localización multiobjetivo	A multiobjective optimization approach for combating Aedes aegypti using chemical	Artículo investigación	W. Dias, E. Wanner & R. Cardoso	Brasil	20 15	Inglés	Mathematical Biosciences	Industrial

		and biological alternated step-size control						
4	Localización multicriterio	Multiple criteria facility location problems: A survey.	Artículo investigación	Zanjirani, R., SteadieSeifi, M. & Asgari, N.	Irán	2010	Inglés	Applied Mathematical Modelling Industrial

2.3 Marco Conceptual

A continuación, se definen algunas palabras utilizadas en este trabajo, con el fin de familiarizar a las personas interesadas en el estudio de este trabajo.

Seguridad: En el contexto de este trabajo la palabra seguridad hace referencia a la tasa de homicidios y robos por sectores en la ciudad o zona candidata.

Distancia Euclidiana: Es la distancia ordinaria que se medirá en línea recta entre 2 puntos de un espacio euclídeo.

Acceso vial: Para el estudio de este trabajo se define como la distancia que conlleva el trayecto entre dos puntos. En este caso entre el centroide de la zona y el puerto de Barranquilla.

Localización: Podemos entender por localización, la región o zona factible donde se desarrollará un proyecto, escogida dentro de un conjunto de lugares posibles que cumplan con ciertas características, con el fin de minimizar o maximizar algunos criterios específicos de rendimiento, que acerquen la distancia máxima entre los puntos de demanda (Clientes) y el servidor más cercano.

SIFLP-Single Facility location problem: Problema de localización de una sola instalación, SIFLP, por sus siglas en inglés. Se basa en problemas matemáticos donde solo se desea ubicar una sola instalación frente a múltiples candidatos de localización.

MUFLP-Multi-facility location problem: Problema de localización de múltiples instalaciones, MUFLP, por sus siglas en inglés. Se basa en problemas matemáticos donde se desea ubicar múltiples instalaciones frente a múltiples candidatos de localización.

Capítulo III.

Modelo matemático multiobjetivo para la localización de centros de distribución (bodegas) en barranquilla, mediante la evaluación de costos, inseguridad y acceso vial.

3.1 Descripción del entorno socioeconómico

a) Entorno socioeconómico y justificación objetivos

El objetivo de costos es inherente a la modelación matemática (Lee, 1993) a los problemas de localización para bodegas, debido a que hace parte de un factor de gran importancia en cualquier compra, ésta forma ha estado evolucionando para combinarse con otros objetivos y generar mejores resultados. Así mismo, la minimización de costos ha sido abordado matemáticamente por diversos autores en la literatura, como lo es el caso de Moheb-Alizadeh, Rasouli, & Tavakkoli-Moghaddam (2011) ellos propusieron un modelo multi-criterio con análisis envolvente de datos para ambientes difusos, el objetivo de costos se desglosó principalmente como costo fijo de localización y costo de transporte.

Los objetivos de costos fijos de localización y de transporte se han utilizado en gran manera en la literatura, como es el caso de: Özcan, et al. (2011), Zhang, et al. (2016), Moheb-Alizadeh, Rasouli, & Tavakkoli-Moghaddam (2011), entre otros. También costos operativos o de mantenimiento pudieron ser encontrados (Soto-de la vega, Vidal-Viera, & Vitor-Toso, 2014) y (Tarôco, Takahashi, & Carrano, 2016). Los costos asociados a un proyecto son muy importantes para toda empresa por lo que siempre buscan la mejor opción que permita poder minimizarlos, sin afectar otros objetivos, no es una excepción la apertura de una bodega, por lo que es vital evaluar distintos candidatos antes de tomar una decisión.

El objetivo de distancia en modelos multiobjetivo ha sido de gran importancia, por lo cual diversos autores han trabajado este objetivo. Como se evidencia en el trabajo de (Fernández, 2011), donde evalúan la distancia entre el emplazamiento (lugar candidato) y el puerto (Recibimiento de materiales) para minimizar el costo de la instalación de centrales de energías renovables. Al momento de localizar una bodega uno de los principales objetivos que se debe tener en cuenta es el acceso a las vías, debido a que de esto depende que los productos puedan ser almacenados optimizando el tiempo y los costos de la operación.

La seguridad es uno de los factores más determinantes al momento de ubicar una Bodega, dado que ésta se ve grandemente afectada por filtraciones, pérdidas y robos de mercancías (Molina, 2012). A nivel mundial, el robo a entidades comerciales en sus unidades de inventario de cualquier modalidad asciende a 123.390 millones de dólares la cual es la diferencia entre el inventario en stock y el inventario real (El Tiempo, 2015). Es fundamental combinar éste objetivo ya que por muchas vías pueden darse los robos en las Bodegas no solamente dentro de la bodega como *modus operandi* sino también en las zonas de carga y descarga o en las rutas de sectores hacia o desde la Bodega (Torres, 2015). En Colombia y empresas autóctonas de la ciudad saben que esto es un factor fundamental en los cuales se han creado departamentos de contabilidad de inventarios y perdidas como lo es en una de las empresas de grandes superficies de Barranquilla (Tabares, 2011), la seguridad del sector es un parte principal para el buen funcionamiento y además excelente ambiente laboral de la bodega. Adicionalmente los costos de éstos robos ascienden de gran manera lo cual ha llevado a gerentes y dueños de bodegas contraten sistemas especializados y de alto valor operativo contra robos (Armas & Ruiz, 2012) lo cual se podría inicialmente evadir sí se localiza la bodega primordialmente en un sector seguro.

La seguridad es un aspecto muy importante para tener en cuenta al momento de situar una bodega, debido a que se trata de proteger el inventario de la empresa; así como ha crecido la ciudad, en igual proporción se ha visto el aumento de la delincuencia, (El Tiempo, 2015), Las cosas en materia de seguridad en Barranquilla no andan bien desde hace rato, y la percepción de inseguridad entre los ciudadanos es creciente ante la ola de crímenes y atracos que a diario suceden. Si bien la Alcaldía, a través del Sistema Unificado de Información de Seguridad Ciudadana, reportó hasta el 26 de enero, 356 casos de robo denunciados y la Policía Metropolitana de Barranquilla, 277 casos. Los robos a bodegas son constantes, no sólo en el inventario sino también en equipos tecnológicos utilizados en la planta física y daños a éstos los cuales son indispensables para el buen funcionamiento en el proceso de almacenamiento. Además, en una planta física la cual puede llegar a ser faltante de equipos que hayan sido robados, no sólo disminuye la productividad, sino que también hace un ambiente laboral de baja calidad que influye directamente en la productividad de la bodega. Es importante destacar que el objetivo de minimizar la inseguridad no ha sido considerado ni planteado por autores anteriores de acuerdo con la revisión de la literatura, lo cual se constituye como un aporte valioso dentro de la investigación presentada en el presente documento.

Dado a la descripción del entorno socioeconómico, los objetivos críticos en los cuales se enfoca la siguiente investigación (obteniendo el objetivo seguridad como objetivo inédito) se ordenan como:

- Minimizar costo de localización de bodega
- Minimizar la distancia entre el puerto y la localización de la bodega la cual determina el acceso vial.
- Maximizar la seguridad en la zona candidata.

b) Diseño de la encuesta

La finalidad de la encuesta fue generar la confirmación de las variables que juegan un rol importante en el entorno socioeconómico de Barranquilla y su Área Metropolitana, se realizó en base a la información secundaria recopilada, con la cual se caracterizaron necesidades críticas en las áreas metropolitanas en relación con la ubicación de nuevas instalaciones, como también tendencias de artículos internacionalmente. Con ello la identificación de objetivos como costos, distancia (como parte de objetivos fundamentales para la localización de instalaciones) y la seguridad como aporte fundamental para la ubicación en Barranquilla y su Área Metropolitana. A pesar de que la información presenta poca muestra alcanzada debido al difícil acceso por la confidencialidad que manejan las empresas; la encuesta permitió tener más soporte para los objetivos de costos y distancia en el Área Metropolitana, además la importancia de este para las empresas en Barranquilla. Fundamentalmente la encuesta permitió la medición e importancia de la función objetivo característica de la región: la seguridad, previamente enfocada gracias a las investigaciones de la administración pública.

Autores que inspiraron la realización de la presente encuesta son aquellos que trabajaron la modelación multiatributo, como Melachrinoudis & Min (2000) o Özcan, et al. (2011) que, a pesar de que ésta es una investigación multiobjetivo, ayudaron a combinar los atributos que puedan ser aplicables a una optimización y con ello evaluar la importancia de objetivos seleccionados por la investigación y análisis científico.

La encuesta está estructurada por 8 preguntas, 6 preguntas cerradas con opción múltiple de única respuesta, 1 pregunta abierta que hace referencia a la pregunta número 4, donde se busca que el receptor de la herramienta brinde un poco más de información en las motivaciones para adquirir una nueva bodega, este tipo de información permite encontrar nuevas necesidades por

las empresas del Área Metropolitana de Barranquilla en el caso que fuere o adicionalmente brindar información para futuras funciones objetivos de las cuales pueda ser necesario aplicar, por su parte, también se encuentra una 1 pregunta tipo escala Likert con la que se busca medir el grado de importancia de la variable “Seguridad de la bodega”, para su compra o alquiler siendo en este la menor escala 1 y la mayor 10 donde, 1 como poco importante y 10 como muy importante, en esta pregunta se logró identificar la importancia de la seguridad en las bodegas, ya que no se ha realizado investigaciones científicas en la literatura a nivel internacional que tomen la seguridad como objetivo fundamental para una modelación matemática. (Anexo 1).

Para la realización de la siguiente encuesta es de suma importancia calcular la muestra a encuestar, con lo cual se procede a identificar la población objetivo; en la población objetivo se buscan empresas medianas a grandes las cuales tengan la necesidad de tener un centro de distribución independiente o una bodega en punto diferente que sus oficinas, primeramente se identifica la cantidad de empresas o sociedades activas, con lo cual la Cámara de comercio de Barranquilla (2017) presente a 18.730 empresas, posteriormente identificamos en una base de datos las empresas que se encuentren en Barranquilla y Área Metropolitana que cuenten con tamaños de empresa medianas a grandes y que poseen gran probabilidad de presentar centros de distribución. De esta manera se identifican 80 empresas importantes como población objetivo, con lo cual procedemos a realizar el cálculo de la muestra para obtener intervalo de confianza porcentual de 95%:

n = Tamaño de muestra a encuesta para obtener margen de error y confianza esperada

Z = Nivel de confianza dado por la desviación estándar

p = Proporción esperada o de éxito (de que los resultados se inclinen hacia un resultado ya esperado)

q = Proporción no esperada o de fracaso

d = Margen de error

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Dado el nivel de confianza de 95%, proporciones esperadas balanceadas (incertidumbre) de 50%, margen de error de 7% y población objetivo de 80:

$$n = \frac{80 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.07^2 \times (80 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

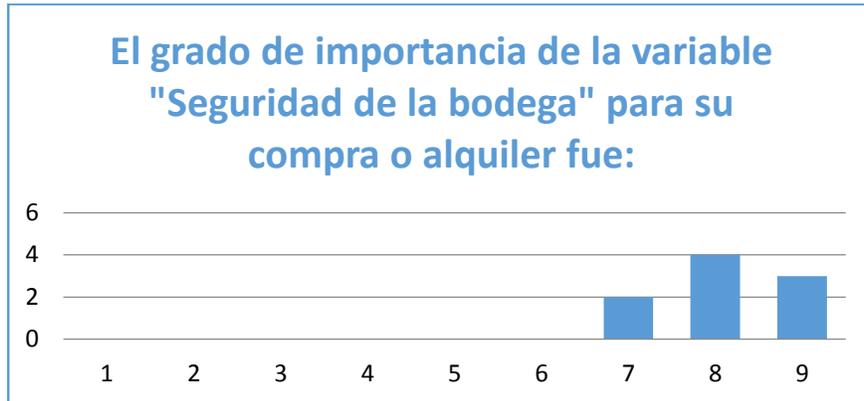
Lo que nos genera un tamaño de muestra de 58 empresas a encuestar.

Debido a lo sensible de la información, dado que se trata de capacidades de las bodegas de las empresas, de sus lugares de arriendo y el pago que ellos están generando por el arriendo o construcción, se presentó una gran dificultad para la recolección de la información.

Primeramente, se realizó de forma indirecta vía telefónica (ver anexo 3.7) con lo cual fue posible la recopilación de información de 3 empresas alrededor del Área Metropolitana, luego debido a la dificultad de la recolección de manera indirecta, se procedió a ir directamente a las empresas y presentar el instrumento, con lo que se lograron recoger 6 adicionales, impidiendo el alcance de tamaño de muestra inicial, por la naturaleza de la información. Con lo cual el alcance de la encuesta no se pudo alcanzar con sólo 15.5% de lo necesario, para un total de 9 encuestas recopiladas, se presenta como un impedimento específico de la investigación para este tipo de caracterización de información primaria.

La seguridad para las empresas es muy importante, debido a que se trata de salvaguardar los activos que posee. La encuesta realizada resalta la importancia que tiene este objetivo al momento de adquirir una nueva bodega, como se evidencia en la siguiente figura 6:

Figura 6.



Nota. Importancia Seguridad. Encuesta a bodegas 2017. Elaboración propia

Otro objetivo importante que las empresas tienen en cuenta al momento de adquirir una bodega es la accesibilidad (distancia a puerto o proveedores), seguido de la capacidad de la bodega, como se evidencia en la figura 7:

Figura 7.



Nota. Importancia Accesibilidad o distancia. Encuesta a bodegas 2017. Elaboración propia.

Para la anterior figura el ítem otro corresponde a factores importantes al momento de adquirir una bodega como son, distancia hacia clientes y proveedores, precio, cercanía con la compañía principal.

3.2 Referentes del diseño

a) Modelación de referencia costos

Un modelo matemático de gran referencia para ésta investigación en el objetivo de costos es la realizada por (Niño-Vargas & Lamos-Díaz, 2014) el cual considera un modelo matemático formulado mediante Programación Lineal Entera Binaria y representa el objetivo en función de costos de transportes, costos fijos (servicios públicos e impuestos) y costos de demanda en los productos de la bodega. Este modelo matemático fue desarrollado por un autor colombiano en un problema de localización que cubre la ciudad de Barranquilla entre otras ciudades, donde se definieron las siguientes variables y parámetros:

Conjuntos

i = Conjunto de productos i

j = Conjunto de clientes j

k = Conjunto de bodegas k

Variables

X_{ijk} variable binaria (1) si el producto i que demanda el cliente j se despacha desde la bodega k ; (0) de lo contrario.

Y_k variable binaria (1) si se abre la bodega k ; (0) de lo contrario.

Parámetros

- D_{ij} es la demanda del producto i para cada cliente j .
- C_{ijk} es el costo de transportar una unidad de producto i , hasta el cliente j desde la bodega k .
- F_k es el costo fijo de instalación, servicios públicos e impuestos de Industria y Comercio, asociado a la bodega k .
- N es el número de bodegas que serán abiertos.
- M parámetro denominado “número muy grande”. $M=i * j * k$ aproximadamente.

El modelo matemático se plantea a continuación.

Minimizar:

$$Costo = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (D_{ij} * \sum_{k \in K} C_{ijk} * X_{ijk})) + \sum_{k \in K} F_k * Y_k \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall (i \in I), (j \in J) \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} Y_k = N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq M * Y_k \quad \forall (k \in K) \quad (4)$$

$$X_{ijk} \in [0, 1] \quad \forall (i \in I), (j \in J), (k \in K) \quad (5)$$

$$Y_k \in [0, 1] \quad \forall (k \in K) \quad (6)$$

Donde (2) Garantiza la existencia de una sola ruta para enviar el producto i al cliente j desde el CEDI o bodega k , (3) Es la restricción que establece el número de CEDI a instalar, (4) garantiza que los pedidos sean despachados únicamente desde el/los k CEDI abierto(s), (5)

garantiza la naturaleza binaria de la variable X_{ijk} , (6) garantiza la naturaleza binaria de la variable Y_k .

b) Modelación de referencia distancia

En la literatura se ha hablado mucho sobre la importancia de reducir las distancias entre dos puntos candidatos en modelos de localización multiobjetivo como es el caso de (Correa, 2011), trabajo donde se propuso el desarrollo de un modelo matemático para la localización de centros de distribución, con el objetivo de minimizar las distancias entre proveedores y clientes buscando reducir el impacto ambiental, definiéndose los siguientes conjuntos, variables y parámetros:

Conjuntos

J : Conjunto de Instalaciones potenciales

K : Conjunto de Contaminantes producidos

I : Conjunto de Poblaciones

S : Conjunto de proveedores

R : Conjunto de Clientes

N : Subconjunto de instalaciones que pertenecen al conjunto J

Variables

X : Variable de decisión, 1 si la instalación j es abierta y 0 en caso contrario.

Z : Variable auxiliar que almacena las distancias mínimas entre el conjunto de proveedores r y el conjunto de clientes s con el subconjunto de instalaciones n que pertenecen al conjunto de instalaciones J . $N \in J$

Parámetros

d_{sj} : Distancia en Kilómetros del conjunto de clientes s al conjunto de instalaciones j

d_{rj} : Distancia en Kilómetros del conjunto de proveedores r al conjunto de instalaciones j

d_{ij} : Distancia de las poblaciones i al conjunto de instalaciones j

C_{ijk} : El nivel de contaminante k , emitido por la instalación potencial j , recibido por el punto i .

G : Nivel de contaminante permitido

El modelo matemático se describe así:

$$\text{Maximizar } \sum_{j \in J} Z_j \quad (7)$$

$$\text{Minimizar } \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} d_{rj} x_j + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} d_{sj} x_j \quad (8)$$

Sujeto a:

$$\sum_{l \in J} d_{lj} x_l x_j \geq Z_j \quad \forall j \in J, j \neq l \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = n \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ijk} x_j \leq g_k, \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J \quad (12)$$

Donde, la restricción (9) maximiza la distancia mínima entre las nuevas instalaciones. La restricción (10) selecciona los n puntos para la relocalización de las nuevas instalaciones. La restricción (11) Asegura la concentración C_{ijk} de contaminante k emitido por la instalación j . Y la restricción (12) describe la variable binaria x_j .

c) Modelación de referencia seguridad

Para la modelación multiobjetivo basado en el factor de seguridad no se encuentran artículos en la ciencia que trabajen un problema de localización y tenga en cuenta el factor inseguridad de la zona en donde se piensa ubicar (Zanjirani, SteadieSeifi & Asgari, 2010), es muy probable que esta situación se presente debido a que la seguridad en Colombia es algo de gran sensibilidad e importancia debido a su anterior estado de conflicto. Sólo fue posible encontrar un artículo que tuviera en cuenta la calidad de vida de la zona donde se iba a ubicar dado que querían una buena zona para sus empleados, entre ese criterio, logró encontrarse un sub-criterio llamado frecuencia de crimen. Esta investigación (Melachrinoudis, Min, & Wu, 1995) no fue considerada como referente, ya que era una modelación para calidad de vida, no para seguridad pública como tal. Adicionalmente fue resuelto con un modelo Multiatributo no multiobjetivo.

d) Consideraciones adicionales referentes

Las siguientes restricciones se seleccionaron comparando diferentes fuentes bibliográficas con relación a modelos matemáticos de localización, de la cual se escogió como mejor referente a Melachrinoudis et al. (1995). En muchos de ellos se logró conseguir variables intrínsecas de cada modelo independiente, adicionalmente de restricciones generales que buscan no sobrepasar la capacidad de presupuesto, la cantidad de localizaciones a abrir y definir también la naturaleza de las variables para ubicar un punto o no.

$$\sum_{i \in I} z_{it} \leq m_t \quad \forall t \quad (13)$$

$$\sum_t z_{it} \leq 1 \quad i \in I_0 \quad (14)$$

$$z_{it} \in \{0, 1\} \quad \forall t, i \in I_0 \quad (15)$$

Las anteriores restricciones realizadas por Melachrinoudis et al. (1995) hacen parte de un modelo matemático que busca generar una ubicación óptima para la localización de rellenos sanitarios entre poblaciones humanas en peligro por la cercanía con éste tipo de instalaciones.

Donde:

$z_{it} = 1, i \in I_0$, sí la instalación abre al comienzo del periodo t , en el sitio i , y 0 de lo contrario.

m_t = el número máximo de nuevos sitios los cuales pueden ser abiertos en el periodo t , debido a restricciones de presupuesto o consideraciones de oposición.

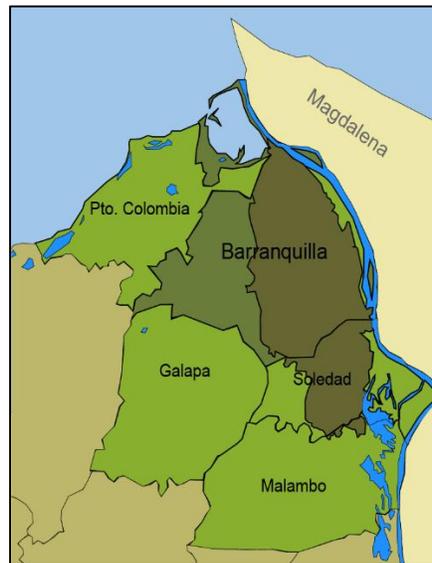
I_0 = El arreglo de sitios en los cuales los rellenos pueden ser abiertos.

Donde, la restricción (13) determina la cantidad disponible de instalación a abrir, la restricción (14) determina que por área solo puede ser abierta una instalación y la restricción (15) determina la naturaleza de la variable z_{it}

3.3 Modelación propuesta

El modelo propuesto busca evaluar e identificar los n mejores sitios potenciales en la ciudad de Barranquilla y sus municipios teniendo en cuenta un enfoque multiobjetivo, se trata de un problema que busca un balance entre distintos objetivos como la seguridad, los costos de instalación y la distancia entre el puerto y las localidades candidatas. En la figura 8 se observa la ciudad de Barranquilla con color fuerte y los municipios con colores claros; el color fuerte dentro de Barranquilla y soledad es el casco urbano que atraviesa estos dos. Y en la figura 9 se puede observar la división administrativa de la ciudad de Barranquilla con sus respectivos nombres y ubicaciones geográficas.

Figura 8.



Nota. Mapa geográfico Área Metropolitana de Barranquilla en 2017. Elaboración Propia

Figura 9.



Nota. Mapa geográfico Localidades de Barranquilla en 2017. Elaboración propia. (Foto satelital Google Earth, 2017)

El costo total de la bodega corresponde al precio de arriendo comercial en las distintas zonas candidatas, el costo de transporte y el costo de los servicios públicos.

- ✓ Costo fijo de localización: Costo comercial por el arriendo de bodegas en las distintas zonas candidatas. por lo cual se investigó por zona un total de 5 bodegas dentro de un rango especificado de tamaño (localidad/municipio) y su costo para calcular un promedio del arriendo de las bodegas ubicadas en las distintas localidades definidas para el estudio de este proyecto. Los datos obtenidos fueron tabulados y se establecieron los costos fijos de arriendo de una bodega por localidad.
- ✓ Costo de distancia: Costo de transporte representado por la distancia entre la bodega hasta el puerto. Se investigó el costo del galón de gasolina de los últimos 3 meses para sacar un promedio del valor del combustible, este valor se multiplica por la distancia recorrida desde cada localidad definida hasta el puerto para hallar el costo total de distancia.
- ✓ Costo de servicios públicos: Hace referencia al valor promedio para cada servicio público, tomando como referencia el consumo de luz y agua, a lo largo de un periodo de tiempo (costo operativo).

Expresado matemáticamente:

Minimizar Costo = C_i

$$MIN \sum (X_i) * (C_{ai} + C_{ti} + C_{si}) \quad (16)$$

Dónde:

C_a = Costo de arriendo

C_t = Costo de transporte

C_s = Costo de servicios públicos

El segundo objetivo propuesto para la solución del problema determina las distancias entre el puerto y las distintas localidades en las cuales se puede instalar una bodega, la función objetivo minimiza la distancia total: Distancia entre el centroide de la localidad y el puerto de la ciudad. Primeramente, se investigó el centroide de cada sitio candidato, a través del método de distancia euclidiana se estima la distancia desde el centroide de cada localidad hasta el puerto de la ciudad, (ver figura 10) utilizando la herramienta de Google Earth la cual calcula la distancia entre 2 puntos establecidos, para que el modelo evalúe en conjunto con los demás objetivos y determine la mejor localización para la instalación de una bodega en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana.

Figura 10.



Nota. Rutas Euclidianas Localidades candidatas. Elaboración propia, base Google Earth, 2017.

Expresado matemáticamente:

Minimizar distancia = D_i

D_i = Distancia en Kilometro desde centroide de zona i hasta puerto

$$MIN \sum D_i * X_i \quad (17)$$

Dónde:

D_i : Es la distancia entre el puerto y las localidades candidatas.

X_i : Es la variable binaria.

El tercer objetivo propuesto busca evaluar y maximizar la seguridad de los sitios candidatos para la instalación de la bodega, se encontró relación entre las zonas con altos índices de delincuencia y los robos a bodegas, así maximizando la seguridad del área en la cual se situará la empresa donde los trabajadores se trasladarán, se aumenta también, la satisfacción del trabajador debido a que no será víctima de asaltos y no convivirá en zonas peligrosas.

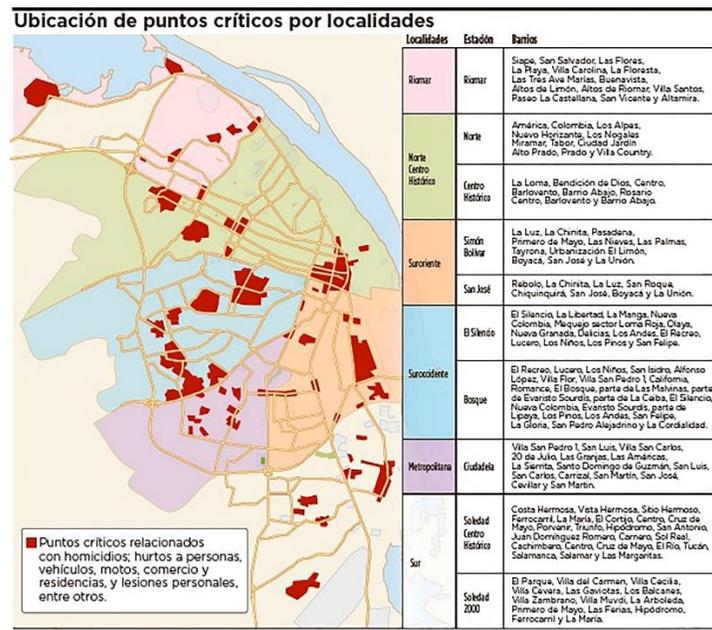
Según (FIP, 2015), la forma como determinan los puntos críticos las autoridades pertinentes (Centros de Información Estratégica Policía Seccional), es a través de una metodología cualitativa y cuantitativa (Mapa de densidad por años) a partir de datos recopilados por distintas entidades gubernamentales, (ver Anexo 2) donde se evalúan y comparan los datos por años y sector para determinar el grado de inseguridad. Los puntos críticos de la ciudad de Barranquilla se muestran en la figura 11.

Teniendo en cuenta el Título II, Capítulo 1, artículo 11 de la constitución Política de Colombia en el cual se expone que, “El derecho a la vida es inviolable. No abra pena de muerte” y el Título I, Artículo 138 del código penal donde se expone que “El que matare a otro será castigado, como reo de homicidio, con la pena de prisión”, otorgando una pena carcelaria que va de 10 a 15 años a la persona que viole este derecho fundamental de las personas, además del

Título XIII, Artículo 234 del Código Penal, el cual expone “ El que, con ánimo de lucro, tomare las cosas muebles ajenas sin la voluntad de su dueño, será castigado, como reo de hurto” con una pena carcelaria menor que va de 6 a 18 meses, por lo cual para la evaluación de nuestro modelo matemático el homicidio tendrá un ponderado mayor que el de hurto. Teniendo que, el número de meses promedio de condena de un asesinato son 150 meses y el número de meses promedio de condena de un robo en Colombia, según el código penal, es de 12 meses, la relación sería aproximadamente 10 veces más, en relación con esto:

- ✓ El parámetro robo tendrá una ponderación de 1.
- ✓ El parámetro asesinato en zona tendrá una ponderación de 9.

Figura 11.



Nota. Puntos críticos Barranquilla. Puntos críticos en Barranquilla (El Heraldo, 2015).

Expresado matemáticamente:

Seguridad inversamente proporcional a Inseguridad

Factor de inseguridad en zona (FI_i) =

$$\frac{\text{Robos en zona}}{\text{Robos Totales}} * \text{Ponderacion} + \frac{\text{Homicidios por zona}}{\text{Homicidios Totales}} * \text{Ponderacion} * 100 \quad (18)$$

La principal restricción del modelo es que la variable binaria X_i debe ser igual a S, donde S es el número de bodegas candidatas a abrir con el fin de evaluar el modelo, adicionalmente que la sumatoria de X_i en todas las zonas sea igual a S, para así asegurar la apertura de S bodegas en la mejor ubicación, optimizando los objetivos teniendo en cuenta las distintas localidades, para el desarrollo de este modelo se definieron los siguientes conjuntos, variables y parámetros:

Subíndices

$i =$ Subíndice de bodegas candidatas $i = \{1,2,3 \dots, I\}$

Conjuntos

$R =$ Conjunto de bodegas candidatas i dentro de zona geográfica Riomar.

$N =$ Conjunto de bodegas candidatas i dentro de zona geográfica Norte-centro histórico.

$Suc =$ Conjunto de bodegas candidatas i dentro de zona geográfica Suroccidente.

$Me =$ Conjunto de bodegas candidatas i de zona geográfica Metropolitana.

$Sur =$ Conjunto de bodegas candidatas i de zona geográfica Suroriente.

$P =$ Conjunto de bodegas candidatas i de zona geográfica Puerto Colombia.

$G =$ Conjunto de bodegas candidatas i de zona geográfica Galapa.

$Ma =$ Conjunto de bodegas candidatas i de zona geográfica Malambo.

$Sol =$ Conjunto de bodegas candidatas i de zona geográfica Soledad.

Variables

X_i = Variable binaria 1 sí se abre una bodega, 0 de lo contrario.

Parámetros

C_{ai} = Costo de arriendo en bodega i .

C_{ti} = Costo de transporte en bodega i .

C_{si} = Costo de servicios públicos en bodega i .

D_i = Distancia en Kilometro desde de bodega i hasta puerto marítimo.

FI_i = Factor de inseguridad en bodega i .

n = Número total de bodegas i .

λ = Promedio ponderado.

S = Número de bodegas i a abrir.

El modelo matemático formulado mediante el método de promedios ponderados se plantea a continuación.

$$Z_{MIN} = \lambda_1 * [\sum(X_i) * (C_{ai} + C_{ti} + C_{si})] + \lambda_2 * \sum[D_i * X_i] + \lambda_3 * \sum[FI_i * X_i] \quad (19)$$

Sujeto a:

$$\sum X_i = S \quad (20)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in R \quad (21)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in N \quad (22)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in Suc \quad (23)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in M \quad (24)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in Sur \quad (25)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in P \quad (26)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in G \quad (27)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in M \quad (28)$$

$$\sum X_i \leq 1 \quad i \in Sol \quad (29)$$

$$X_i \in \{0, 1\} \quad (30)$$

Donde (20) Garantiza la apertura de S bodegas i , ubicadas en diferentes zonas; y las ecuaciones 21 a 29 hacen referencia a que solo se puede abrir una bodega i en cada zona.

3.4 Metodología para determinación de parámetros y solución del modelo

A partir de la actividad de recolección de datos se logró estimar los parámetros necesarios para la evaluación de este trabajo, además se escogió el método óptimo para resolver esta problemática y poder dar una solución confiable a quienes se interesen por utilizar este proyecto. En la tabla 2 se detallan por localidades los hurtos y homicidios en el año 2014, a excepción del municipio de Puerto Colombia, en el que después de revisar las bases de datos no se logró encontrar información actualizada, solo hasta el año 2012, tomándose como referencia para el estudio de este proyecto.

Tabla 3.

Datos de homicidios y robos según localidad año 2014

MATRIZ HOMICIDIOS Y ROBOS, BARRANQUILLA Y SUS LOCALIDADES		
AÑO 2014		
LOCALIDADES	Robos	
	Entidades Comerciales	Homicidios
Riomar	53	15
Norte-centro histórico	231	42
Suroccidente	82	137
Metropolitana	33	53

Suroriente	108	96
Puerto Colombia	14	7
Galapa	6	3
Malambo	24	13
Soledad	83	108
Total	634	Total 474

Nota: Adaptación de (Alcaldía de Barranquilla, 2014)

Teniendo en cuenta como referencia la similitud del número de habitantes entre los municipios de Galapa y Puerto Colombia, calculamos el valor de los hurtos a entidades comerciales de este municipio tomando como referencia el porcentaje de hurtos a establecimientos comerciales del municipio Galapa que corresponde al 10%, del total de los hurtos, calculando para el municipio de Puerto Colombia se obtuvo un valor de 14 hurtos, (ver Anexo 2, Hurtos Puerto Colombia).

$$\text{Hurto Entidades Comerciales PC} = (\text{Total Hurtos} * 10\%)$$

Calculando:

$$\text{Hurto Entidades Comerciales PC} = (140 * 10\%) = 14 \text{ Hurtos}$$

Los hurtos en el municipio de soledad en la literatura se encuentran como una tasa por cada 100.000 habitantes, por lo cual se realiza el cálculo según la cantidad de habitantes y la tasa de hurtos, el cual arroja un número de hurtos por año de 83.

$$\text{Hurtos Entidades Comerciales Soledad} = \frac{\# \text{ Habitantes totales} * \% \text{ Tasa Hurtos}}{\# \text{ Habitantes} * \text{Tasa}}$$

$$\text{Hurtos Entidades Comerciales Soledad} = \frac{634000 * 13,19}{100000} = 83 \text{ Hurtos}$$

A partir de los datos encontrados en el proceso de recolección de datos, se procede a evaluar el factor de Inseguridad por cada localidad X_i , lo cual se puede observar en la tabla 3 y 4:

Tabla 4.

Caracterización de localidad por índice

FACTOR DE INSEGURIDAD:	Índice <i>i</i>
RIOMAR	1
NORTE, CENTRO HISTORICO	2
SUROCCIDENTE	3
METROPOLITANA	4
SURORIENTE	5
PUERTO COLOMBIA	6
GALAPA	7
SOLEDAD	8
MALAMBO	9

Nota. Elaboración propia (2017)

Tabla 5.

Factor de inseguridad para cada zona de estudio basado en robos y asesinatos

FACTOR DE INSEGURIDAD:	FI<i>i</i>
RIOMAR	3,68
NORTE, CENTRO HISTORICO	11,62
SUROCCIDENTE	27,31
METROPOLITANA	10,58
SURORIENTE	19,93
PUERTO COLOMBIA	1,55
GALAPA	0,66
SOLEDAD	21,82
MALAMBO	2,85

Nota. Elaboración propia (Datos en base a documentos de robos y homicidios Alcaldía). (2017)

De entre las metodologías encontradas en la literatura, se puede encontrar Algoritmos evolutivos y metodologías de Pareto, sobre ésta última derivándose la eficiencia de Pareto, por restricciones y por metas. Todas buscando puntos de optimización, unas más eficaces que otras.

Los algoritmos evolutivos han sido tratados en la metodología, pero más en problemas de largo alcance, debido a la complejidad que lleva evaluar este método, por tal motivo para la solución de este modelo se escogió el software Solver de Excel el cual brinda un lenguaje de modelación sencillo que facilita el análisis del problema.

Entre los programas desarrollados se puede encontrar IBM ILOG CPLEX Optimization Studio V12.6.1, GAMS y MatLab éste último de la mano de la herramienta MatPower.

Se resolvió el modelo matemático con los parámetros obtenidos a través del método de promedios ponderados este método permite optimizar varios objetivos, multiplicando cada uno por un peso o factor no negativo, para luego colocar todos los objetivos ya ponderados en una única función objetivo que minimiza la suma ponderada de todos los objetivos, se visualiza la estructura de solución (ver figura 12).

Figura 12.



Nota. Estructura de solución (2017)

La formulación matemática se realizó mediante el método de promedios ponderados, teniendo en cuenta los siguientes supuestos, primero, se cuenta con varias localizaciones candidatas para ubicar el (las) bodega(s); segundo, el costo de instalación corresponde al costo del arriendo en las distintas zonas candidatas, el costo de servicios públicos y el costo de transporte.

La ecuación compuesta que soluciona el modelo matemático se muestra a continuación:

$$Z_{MIN} = \lambda_1 * [\sum(X_i) * (C_{ai} + C_{ti} + C_{si})] + \lambda_2 * \sum[D_i * X_i] + \lambda_3 * \sum[FI_i * X_i] \quad (19)$$

Para la solución del modelo se crearon 15 escenarios distintos, en el cual se les asignó un peso diferente a cada uno de los 3 objetivos evaluados, los cuales pueden ser visualizados en la siguiente tabla:

Tabla 6.

Escenarios de localización bodegas en Barranquilla.

Escenario	Costo	Distancia	Inseguridad	Total	
1	0,6	0,1	0,3		1
2	0,1	0,1	0,8		1
3	0,3	0,6	0,1		1
4	0,8	0,1	0,1		1
5	0,1	0,3	0,6		1
6	0,1	0,8	0,1		1
7	0,05	0,6	0,35		1
8	0,35	0,6	0,05		1
9	0,1	0,45	0,45		1
10	0,5	0,5	0		1
11	0	0,5	0,5		1
12	0,5	0	0,5		1

13	0,2	0,8	0	1
14	0	0,2	0,8	1
15	0,8	0	0,2	1

Nota. Elaboración propia (2017)

En la tabla 5 se observa que se le asignan a cada objetivo diferentes pesos que fueron obtenidos de manera aleatoria, esto con el fin de evaluar la función objetivo con diferentes combinaciones, dándole mayor importancia a distintos objetivos para simular las diferentes necesidades que pueden tener las distintas empresas para evaluar y seleccionar el lugar óptimo para ubicar su bodega.

Capítulo IV. Resultados de la modelación

La presente modelación se realizó en un equipo Acer Aspire E11 (ES1-111-C7FM) el cual cuenta con un procesador Intel Celeron N2840 DE 2.16 GHz con RAM de 4 GB arquitectura 64 bits. Los datos fueron recopilados y solucionados a través del complemento de Excel® Solver, y método de resolución Simplex LP con la selección Convertir variables sin restricción en no negativas.

El modelo matemático propuesto fue ejecutado en el programa Solver Simplex LP Excel®, debido a que no se trata de un problema NP HARD, además el software Solver facilita la solución de problemas de optimización y adicionalmente, su lenguaje de modelación que se asimila a la formulación matemática tradicional se convierte en una ventaja para las personas interesadas en la aplicación de este modelo.

Los datos necesarios para resolver el modelo fueron datos recopilados mediante la herramienta de recolección de datos, a través de la plataforma web donde incluye los costos, distancias y factor de inseguridad de cada localidad.

Tabla 7.

Tabla de Parámetros por localidades.

Zonas	Xi	Tamaño	Valor	Valor m2	Estrato	Valor de servicios Csi	Distancia	Transporte	Factor de inseguridad FI
Riomar	X1	1000	11000000	11000,0 0	6	103510, 36	8,41	70990,91	3,68
	X2	1000	11000000	11000,0 0	6	103510, 36	7,92	66854,70	3,68

			18000,0			103510,			
	X3	850	15300000	0	6	36	8,03	67783,24	3,68
			14266,0			41753,1			
	X4	750	10699500	0	4	1	8,09	68289,71	3,68
			14000,0			41753,1			
	X5	1338	18732000	0	4	1	7,92	66854,70	3,68
			12857,1			41753,1			
Norte-centro histórico	X6	1400	18000000	4	4	1	7,43	62718,49	11,62
			17345,4			34919,4			
	X7	1326	23000000	0	3	3	7,72	65166,45	11,62
			11000,0			41753,1			
	X8	1000	11000000	0	4	1	7,97	67276,76	11,62
			11785,7			41753,1			
	X9	1400	16500000	1	4	1	7,89	66601,46	11,62
			13846,1			41753,1			
	X10	1300	18000000	5	4	1	7,30	61621,13	11,62
			11958,0			103510,			
Sur occidente	X11	1061	12687500	6	6	36	7,23	61030,24	27,31
						24298,8			
	X12	1000	9000000	9000,00	2	3	7,61	64237,91	27,31
			11000,0			103510,			
	X13	1050	11550000	0	6	36	7,07	59679,64	27,31
			15003,4			103510,			
Metropolitana	X14	984	14763350	0	6	36	6,95	58666,69	27,31
			12500,0			41753,1			
	X15	1500	18750000	0	4	1	7,30	61621,13	27,31
			60000						
	X16	750	00	8000,00	2	24298,83	5,52	46595,70	10,58
		66000	11000,0						
Sur oriente	X17	600	00	0	2	24298,83	5,15	43472,44	10,58
			22200	12333,3					
	X18	1800	000	3	6	103510,36	5,83	49212,49	10,58
			22100	13000,0					
	X19	1700	000	0	2	24298,83	5,61	47355,41	10,58
			10000	10000,0					
	X20	1000	000	0	6	103510,36	6,00	50647,50	10,58
			80000						
	X21	1000	00	8000,00	2	24298,83	2,08	17557,80	19,93
		16800	12000,0						
Sur oriente	X22	1400	000	0	2	24298,83	2,07	17473,39	19,93
			13216						
	X23	1595	000	8285,89	3	34919,43	2,00	16882,50	19,93
			17296	16000,0					
	X24	1081	000	0	3	34919,43	1,95	16460,44	19,93
		16000	16000,0						
X25	1000	000	0	6	103510,36	2,16	18233,10	19,93	

Puerto Colombia	X26	105	20000 00	19047,6 2	2	24298,83	15,90	134215,88	1,55
	X27	874	1400000 0	16018,3 1	5	85773,87	15,00	126618,75	0,66
Galapa	X28	1275	1402500 0	11000,0 0	3	34919,43	15,17	128053,76	0,66
	X29	1141	1600000 0	14022,7 9	3	34919,43	15,31	129235,54	0,66
	X30	790	8690000 1794644	11000,0 0	3	34919,43	15,47	130586,14	0,66
	X31	1061	8	16914,6 5	3	34919,43	14,63	123495,49	0,66
Soledad	X32	1147	1721550 0	15009,1 5	5	85855,82	6,94	58582,28	21,82
	X33	1016	1524915 0	15009,0 1	5	85855,82	6,76	57062,85	21,82
	X34	1017	1525500 0	15000,0 0	5	85855,82	7,25	61199,06	21,82
	X35	1008	1411200 0	14000,0 0	3	34919,43	6,53	55121,36	21,82
	X36	1008	1411200 0	14000,0 0	2	24298,83	7,33	61874,36	21,82
	X37	768	8500000 11067,7	1 1	4	41753,11	13,70	115645,1 3	2,85
Malambo	X38	776	1050000 0	13530,9 3	4	41753,11	13,25	111846,5 6	2,85
	X39	1000	1000000 0	10000,0 0	2	24298,83	13,44	113450,4 0	2,85
	X40	762	9000000 2160000	11811,0 2	2	24298,83	14,00	118177,5 0	2,85
	X41	1800	0	12000,0 0	2	24298,83	13,93	117586,6 1	2,85

Nota. Elaboración propia (2017)

Se evaluaron 9 zonas, las cuales se dividieron en 5 sub-localidades más a excepción de Puerto Colombia, para obtener datos más reales se evaluaron 15 escenarios distintos en los

X31	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
X32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
X35	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
X36	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X39	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
X40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Elaboración propia (2017)

La anterior tabla (tabla 7) nos presenta las soluciones binarias de todos los escenarios generados con los puntos óptimos de localización, en el que 1 representa el abrir una bodega en el candidato X_i y 0 representa no abrir la bodega en el candidato X_i , teniendo en el eje horizontal los escenarios según prioridad y en el vertical las bodegas ejemplares. Cabe mencionar la iteración de algunas bodegas ya sea en 1, abrir; o en 0, no abrir. Esto nos permite identificar las múltiples ventajas de localizar una bodega que permita flexibilidad y ganancia en los tres objetivos exhibidos.

Los tiempos de solución para cada uno de los escenarios fueron: Escenario 1: 0,250 segundos, escenario 2: 0,187 segundos, escenario 3: 0,203 segundos, escenario 4: 0,203 segundos, escenario 5: 0,203 segundos, escenario 6: 0,250 segundos, escenario 7: 0,250 segundos, escenario 8: 0,235 segundos, escenario 9: 0,218 segundos, escenario 10: 0,235 segundos, escenario 11: 0,234 segundos, escenario 12: 0,234 segundos, escenario 13: 0,25 segundos, escenario 14: 0,25 segundos, escenario 15: 0,25 segundos.

Con un promedio de 0.22 segundos de procesamiento y rangos de 0.25 segundos como mayor tiempo de procesamiento de datos para solución óptima con 0.18 segundos como el mejor tiempo de procesamiento, esto nos permite deducir cuales fueron los escenarios que tuvieron el

mayor tiempo de procesamiento y cuál fue el de menor, varios escenarios obtuvieron altos tiempos de procesamiento y el escenario 2 obtuvo el menor tiempo, si observamos bien el escenario más rápido nos presenta valores de prioridad despreciables para la distancia y el costo y un alto valor a la seguridad, el cual a su vez, presenta un número de una sola unidad con dos puntos después de la coma. Sin embargo, es muy riesgoso generar una afirmación total sobre el tiempo debido a que sólo en ese caso cumplió bajos tiempos, teniendo un caso muy parecido, el escenario número 6, en el que la distancia presentada en kilómetros es un número bajo y con valores de prioridad despreciables para los otros objetivos no se presenta el mismo comportamiento que en el escenario número 2.

En los 15 escenarios (tabla 7) debidamente ejecutados en el programa Solver Simplex LP Excel®, las zonas predominantes fueron X2, X5, esta hace referencia exacta a la localidad de Riomar, en la que se observa que es seleccionada en 11 de los 15 escenarios posibles a pesar de los cambios entre cada uno de ellos, la segunda y tercera localidad con mayor número de instalaciones abiertas por el modelo son X17 y X21, Suroccidente seguida de Suroriente las cuales guardan concordancia debido a que tiene bajos costos de arriendo, manejan moderados precios de servicios públicos, bajas distancias hacia al puerto pero manejan un alto índice de inseguridad en comparación a otras zonas en la ciudad. (Ver Excel de escenarios).

Para el escenario número 1, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,6 para el objetivo de distancia 0,1 y para la inseguridad: 0,3. Arrojando las bodegas candidatas X5, X17 y X21 correspondiendo a las áreas: Riomar, Metropolitana y Suroriente teniendo el costo como la prioridad. Para el escenario número 2, tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,1 para el objetivo de distancia 0,1 y para la

inseguridad: 0,8. Arrojando las bodegas candidatas X5, X26 y X31 correspondiendo a las áreas: Riomar, Puerto Colombia y Galapa teniendo la seguridad como la prioridad.

Para el escenario número 3, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,3 para el objetivo de distancia 0,6 y para la inseguridad: 0,1. Arrojando las bodegas candidatas X5, X17 y X21 correspondiendo a las áreas: Riomar, Puerto Colombia y Suroriente teniendo la distancia como la prioridad. Para el escenario número 4, tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,8 para el objetivo de distancia 0,1 y para la inseguridad: 0,1. El cual arrojó las bodegas candidatas X17, X21 y X36 los cuales corresponden a las áreas: Puerto Colombia, Suroriente y Soledad teniendo el costo como la prioridad.

Para el escenario número 5, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,1 para el objetivo de distancia 0,3 y para la inseguridad: 0,6. Arrojando las bodegas candidatas X5, X31 y X39 correspondiendo a las áreas: Riomar, Galapa y Malambo teniendo la seguridad como la prioridad. Para el escenario número 6, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,1 para el objetivo de distancia 0,8 y para la inseguridad: 0,1. Arrojó las bodegas candidatas X5, X17 y X21 que corresponden a las áreas: Riomar, Metropolitana y Suroriente teniendo la distancia como la prioridad.

Para el escenario número 7, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,05 para el objetivo de distancia 0,6 y para la inseguridad: 0,05. Arrojando las bodegas candidatas X5, X17 y X21 correspondiendo a las áreas: Riomar, Metropolitana y Suroriente teniendo la distancia como la prioridad. Para el escenario número 8, donde se tiene una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,35 para el objetivo de distancia 0,6 y para la inseguridad: 0,05. Generó las bodegas candidatas X17, X21 y X35 los cuales

corresponden a las áreas: Metropolitana, Suroriente y Soledad teniendo la distancia como la prioridad.

Para el escenario número 9, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,1 para el objetivo de distancia 0,45 y para la inseguridad: 0,45. Arrojando las bodegas candidatas X5, X17 y X31 correspondiendo a las áreas: Riomar, Metropolitana y Galapa teniendo la distancia y seguridad como la prioridad. Para el escenario número 10, donde se tiene una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,5 para el objetivo de distancia 0,5 y para la inseguridad: 0. Éste resultó con las bodegas candidatas X17, X21 y X35 los cuales corresponden a las áreas: Metropolitana, Suroriente y Soledad teniendo el costo y distancia como la prioridad.

Para el escenario número 11, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0 para el objetivo de distancia 0,5 y para la inseguridad: 0,5. Arrojando las bodegas candidatas X2, X17 y X31 correspondiendo a las áreas: Riomar, Metropolitana y Galapa teniendo la distancia y la seguridad como la prioridad. Para el escenario número 12, se tiene una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,5 para el objetivo de distancia 0 y para la inseguridad: 0,5. Formó las bodegas candidatas X5, X28 y X39 los cuales corresponden a las áreas: Riomar, Galapa y Malambo teniendo el costo y la seguridad como la prioridad.

Para el escenario número 13, en el cual tenemos una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,2 para el objetivo de distancia 0,8 y para la inseguridad: 0. Brindando las bodegas candidatas X17, X21 y X35 que se relacionan a las áreas: Metropolitana, Suroriente y Soledad teniendo la distancia como la prioridad. Para el escenario número 14, se obtuvo una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0 para el objetivo de distancia 0,2 y para la inseguridad: 0,8. Resultó las bodegas candidatas X2, X26 y X31 concernientes a las áreas:

Riomar, Puerto Colombia y Galapa teniendo la seguridad como la prioridad. Últimamente, el escenario número 15, se logra una ponderación promedio para el objetivo de costos: 0,8 para el objetivo de distancia 0 y para la inseguridad: 0,2. Generando las bodegas candidatas X5, X17 y X21 correspondiendo a las áreas: Riomar, Metropolitana y Suroriente teniendo los costos como la prioridad.

Riomar, obtiene los mejores resultados y esto se debe a que cuenta con un muy bajo índice de inseguridad frente a otras zonas de Barranquilla, presentando una menor distancia en contraste a las áreas externas de Barranquilla, áreas metropolitanas. Se logró identificar que las bodegas en Barranquilla y fuera de ella, mantenían un patrón de precios, lo que no permitía que el costo total variara mucho de bodega a bodega, esto propició un bajo índice de variabilidad en el momento de definir los costos como objetivo primordial en los escenarios. Es por ello por lo que las variables de seguridad y distancia toman un papel fundamental en la optimización de localización. La zona Suroriente, presenta otro gran resultado, pero a diferencia de Riomar, éste tiene un alto índice de inseguridad asociado con una baja distancia al puerto, aunque ésta última no fue suficiente para vencer los precios y beneficios de seguridad asociados.

Finalmente, la estructura de escenarios permite generar un abanico de opciones para que próximos tomadores de decisiones puedan tener diferentes prioridades para escoger. En la presente investigación los escenarios preferibles son los escenarios 3 y 5, para los cuales el objetivo de seguridad se encuentra en mayor proporción frente a los demás objetivos. Los resultados nos ayudan a confirmar las zonas comerciales del Área Metropolitana de Barranquilla, una parte del sector de la Vía 40 en Riomar, los centros de distribución de grandes compañías en Galapa y los parques industriales del municipio de Malambo. Al momento de escoger la seguridad como el objetivo primordial aseguramos que gastos dirigidos para la prevención de

robos y seguridad en la bodega se vean aliviados, sin dejar de tener en cuenta los objetivos de distancia y costos. En escenarios donde se cambien los parámetros del modelo, como el parámetro S , es posible que el modelo se comporte de las siguientes maneras: dado que el parámetro S , es un parámetro que busca restringir el número de bodegas a abrir en un solo sector, sea Riomar o Galapa, al aumentarlo lo que hará es dar a cada una bodega para abrir, debido a que éste parámetro S en el número de bodegas a abrir que se relaciona directamente con la restricción de zonas, no permitirá una localización óptima, a su vez permitirá escoger la mejor bodega para cada una de las zonas.

a) Adecuaciones adicionales a bodegas

Es muy posible el caso, aún más en el Área Metropolitana que sean necesarias adecuaciones a las bodegas elegidas, debido a que algunas de ellas son entregadas sin tener en la cuenta las condiciones en las que deba trabajar dado su actividad económica, algunas de ellas no se encuentran aptas para la carga pesada, o no cuentan con muelles de descargue; y también como es el caso de las bodegas arrendadas muchas veces no cuentan con sistemas contra incendio o circuito cerrado de tv para la vigilancia. Con esto se recomienda a los tomadores de decisión realizar ajustes dinámicos a la bodega que desean ubicar, dado que el ajuste es lineal para todas las bodegas, lo dejamos a criterio del decisor si desea estos servicios adicionales para la realización de la actividad económica. En base a (Min & Melachrinoudis, 1999) en el cual se tuvo en cuenta un rubro de “operación de la instalación y costos de mantenimiento” con un puntaje de prioridad de 0.28 y teniendo en cuenta que ya se tuvo en la cuenta el rubro de costos por servicios en la bodega sugerimos para decisores y futuras investigaciones realizar un

aumento del 28% al costo de servicios para tener en la cuenta adecuaciones adicionales para realizar en la bodega, debido a que es posible la necesidad de éstas.

Tabla 9.

Ejemplo en la adición de adecuaciones para bodegas en Barranquilla.

Zonas	Xi	Tamaño	Valor	Valor m2	Estrato	Valor agua	Valor luz	Valor de servicios Cs	Distancia	Transporte	Factor de inseguridad FI
Riomar	X5	1338	18732000	14000,00	4	41376,07	377,04	53443,98	7,92	66854,70	3,68
Metropolitana	X17	600	6600000	11000,00	2	23921,79	377,04	31102,50	5,15	43472,44	10,58
Sur oriente	X21	1000	8000000	8000,00	2	23921,79	377,04	31102,50	2,08	17557,80	19,93

Nota. Elaboración propia (2017)

b) Comparación de modelo frente POT (*Plan de ordenamiento territorial*)

Teniendo en cuenta el POT de la ciudad en donde están destinadas varias zonas por su ubicación y valor logístico como zonas industriales, que permiten hacer más eficiente el manejo de los flujos de carga, programación de llegada de vehículos a los puertos a las zonas francas y otros aspectos relacionados con la cadena logística, como es el caso del parque logístico

california el cual se encuentra ubicado estratégicamente para estar cerca de las vías principales y menor distancia con el puerto, aeropuerto con el fin de hacer el flujo logístico más eficiente.

El sector industrial está experimentando un cambio con respecto a la ubicación de los centros logísticos y empresariales, como es la relocalización de las empresas ubicadas en la vía 40 (El Herald, 2015), las cuales cuentan con una movilidad moderada debido al tráfico generado por no ser vías aptas para el tráfico pesado, nuestro modelo matemático no obstante en su resultado valido esta información seleccionando las localidades con mejor ubicación, además de evaluar en conjunto con los demás objetivos como la seguridad del sector y los costos asociados a la instalación de la bodega.

Capítulo V. Conclusiones y Trabajos Futuros

Finalmente, luego de generar la recopilación de datos socio económicos de Barranquilla y su Área Metropolitana, teniendo en cuenta objetivos intrínsecos de problema de localización: costos y distancia, adicionalmente un objetivo importante para el Área Metropolitana y el cual la literatura no ha tenido en cuenta, la seguridad; se logró evidenciar la importancia que tiene la evaluación y análisis del modelo matemático para la localización de bodegas en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana además identificar cuáles eran las mejores áreas de localización dependiendo también según los escenarios que se construyeron.

Los 3 objetivos evaluados en el presente trabajo son una combinación de modelos tratados por otros autores, y un valor agregado seleccionado a través de la evidencia recopilada mediante método de recolección de datos, encuesta que fue realizada a las diferentes empresas de la ciudad de Barranquilla la cual permitió afirmar 2 objetivos que se habían tratado en la literatura como la los costos y distancias; además justificar un nuevo objetivo que es muy importante y que nunca había sido evaluado por otros autores como es la seguridad.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Barranquilla no todas las vías son aptas para el transporte de vehículos de carga pesada, la Alcaldía de Barranquilla en conjunto con el departamento de movilidad, mediante el Decreto N°0785 de 2014 establece las rutas activas para el uso de tráfico pesado, de tal forma que el peso bruto vehicular no exceda los límites establecidos. (Alcaldía de Barranquilla, 2014). Sin embargo, este tipo de cálculo de distancia rectilínea no fue ejecutado en esta investigación y se hace recomendación para futuras investigaciones, en su lugar de la forma euclidiana utilizada en esta investigación.

Como conclusión, se recomienda a futuros investigadores en problemas de localización multiobjetivo en Barranquilla y su Área Metropolitana, evaluar por cada localidad zonas y subzonas (Barrios) candidatas, con el fin de generar soluciones óptimas del modelo. También es importante obtener la mejor fuente posible, en este caso para los servicios públicos, debido a que una de las mayores restricciones se presentó en la información referente a la tarificación del fluido eléctrico, ya que es de vital importancia validar si al sistema que se encuentra conectada la bodega es un transformador compartido, de cliente u operador de red.

Capítulo VI. Bibliografía

- Alcaldía de Barranquilla. (2014). Decreto N°0785 del 2014.
- Arabani, A., & Zanjirani, R. (2012). Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 408–420.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.09.018>
- Armas, A., & Ruiz, J. (2012). Diseño e implementacion de un sistema de supervision laboral y de seguridad contra robos para un galpon industrial controlado via internet y iphone, 151.
- Báez, M. (2011). Apoyo a la decisión para el diseño y la planeación integrados de una cadena de suministro, 9101666–9101666.
- Bonilla, L. (2010). El sector industrial de Barranquilla en el siglo XXI: ¿Cambian finalmente las tendencias?
- Cámara de comercio de Barranquilla. (2014). Dinamismo empresarial en el Departamento del Atlántico durante Enero- Septiembre de 2014.
- Cámara de comercio de Barranquilla. (2016). Buen cierre en el primer semestre de 2016: CCB. Retrieved October 30, 2016, from <http://www.camarabaq.org.co/buen-cierre-en-el-primer-semestre-de-2016-ccb/>
- Cámara de comercio de Barranquilla. (2017). Dinamismo empresarial en el atlántico. Retrieved from <http://www.camarabaq.org.co/wp-content/uploads/2017/09/dinamismo-empresarial-enero-agosto-2017.pdf>
- Charnes, A., Cooper, W., & Ferguson, R. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Managment Science*, 138–151.
- Coello, C. (2002). Introducción a la Optimización Evolutiva Multiobjetivo. *Cinvestav-Ipn*, (4),

1–37.

Colebrook, M. (2003). Localización simple de servicios deseados y no deseados en redes con múltiples criterios.

Correa, G. (2011). Ubicación De Instalaciones Industriales : Metodología Para Reducción Del Impacto Industrial Facility Location : a Methodology for Environmental Impact, 69–84.

Costa, Y. & Abreu, R. (2009). Estrategia de localización con enfoque multiobjetivo para almacenes intermedios en procesos de reciclaje de envases de vidrio. *Ingeniería Industrial*, 30(1), 4.

Current, J., Min, H. & Schilling, D. (1990). Multiobjective analysis of facility location decisions. *European Journal of Operational Research*, 49(3), 295–307.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90401](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90401)

Daskin, M. (1995). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. Jhon Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118032343>

Dias, W., Wanner, E., & Cardoso, R. (2015). A multiobjective optimization approach for combating *Aedes aegypti* using chemical and biological alternated step-size control. *Mathematical Biosciences*, 269, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2015.08.019>

El Heraldo. (2015, June). Puntos críticos de la seguridad en Barranquilla.

El Heraldo. (2016, January 25). Grandes proyectos que le apuestan a la Región. Retrieved from <http://www.elheraldo.co/economia/grandes-proyectos-que-le-apuestan-la-region-239931>

El Tiempo. (2015). Robos a comercios en el mundo - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com.

Fernández, A. (2011). Método para localización óptima de centrales de energías renovables.

FIP. (2015). Puntos críticos de inseguridad: Un tratamiento diferente a los problemas

persistentes.

García, A. (1998). Programación estocástica por metas. Teoría y aplicaciones económicas., 276.

Ho, W., & Emrouznejad, A. (2009). Multi-criteria logistics distribution network design using SAS/OR. *Expert Systems with Applications*, 36(3 PART 2), 7288–7298.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.09.012>

Lee, C. (1993). The Multiproduct Warehouse Location Problem: Applying a Decomposition Algorithm. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 23(6), 3–13. <https://doi.org/10.1108/09600039310044858>

Macharis, C., Milan, L., & Verlinde, S. (2014). A stakeholder-based multicriteria evaluation framework for city distribution. *Research in Transportation Business and Management*, 11, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.06.004>

Martínez, M. (2013). Un estudio empírico de dos algoritmos evolutivos para clustering multi-objetivo.

Melachrinoudis, E., & Min, H. (2000). Dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: a multiple objective approach. *European Journal of Operational Research*, 123(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00166-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00166-6)

Melachrinoudis, E., Min, H., & Wu, X. (1995). A multiobjective model for the dynamic location of landfills. *Location Science*, 3(3), 143–166. [https://doi.org/10.1016/0966-8349\(95\)00012-7](https://doi.org/10.1016/0966-8349(95)00012-7)

Min, H., & Melachrinoudis, E. (1999). The relocation of a hybrid manufacturing/distribution facility from supply chain perspectives: A case study. *Omega*, 27(1), 75–85. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(98\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(98)00036-X)

Moheb-Alizadeh, H., Rasouli, S. M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). The use of multi-

criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5687–5695.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.065>

Molina, M. (2012). Análisis del Sistema de Almacenamiento y Propuesta de Mejoras en la Distribución en la Bodega de Materia Prima y Producto Terminado de una Procesadora de Grasa Lubricante, 153.

Niño-Vargas, J., & Lamos-Díaz, H. (2014). Modelo matemático para determinar la ubicación de Centros de Distribución en un contexto real. *Scientia et Technica*, 19(4), 385–391.

Özcan, T., Çelebi, N., & Esnaf, S. (2011). Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9773–9779.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.022>

Pliego, O. (2012). Programación Lineal Multiobjetivo: Análisis, técnicas y casos de aplicación, 86. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5090/TESIS.pdf?sequence=1>

Pulgarín, C. (2013). Localización Óptima de Reconectores Normalmente Abiertos para Transferencia de Carga.

Romero, C. (2002). Programación por Metas (Goal Programming): pasado, presente y futuro. *Revista Electrónica de Comunicaciones Y Trabajos de ASEPUMA*, 75–89. Retrieved from http://www.uv.es/sala/malaga/recta/extraordinarios/Vol_01/04t.pdf

Saldarriaga, D. (2012). Diseño, optimización y gerencia de centros de distribución : almacenar menos y distribuir más. *INCAE Business School*, 10.

- Soto-de la vega, D., Vidal-Viera, J., & Vitor-Toso, E. (2014). Methodology for distribution centers location through multicriteria analysis and optimization. *Dyna*, 81(184), 28–35. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.39654>
- Suárez, L., & Oliveros-Colay, M. (2015). System Machine Selection in a Dry Grinding Process: Cost and Energy Savings. *Procedia Engineering*, 132, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.465>
- Tabares, N. (2011). Seguimiento administrativo de los productos mas filtrados por categoría de la súper tienda olímpica. 351 Pereira, 54.
- Tarôco, C., Takahashi, R., & Carrano, E. (2016). Multiobjective planning of power distribution networks with facility location for distributed generation. *Electric Power Systems Research*, 141, 562–571. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.08.020>
- Torres, C. (2015). Adopción de medidas preventivas ante los riesgos logísticos que enfrentan las compañías de transporte en el manejo internacional de carga., 12.
- Troncoso, J. & Tapia, M. (2008). Modelo de localización óptima de actividades no deseadas aplicado a los residuos sólidos en la región metropolitana. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Yang, L., Jones, B., & Yang, S. (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 181(2), 903–915. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.003>
- Yerovi, C. (2012). Propuesta para la localización de zonas industriales en ecuador.
- Zanjirani, R., SteadieSeifi, M. & Asgari, N. (2010). Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7), 1689–1709. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.10.005>

Zhang, S., Lee, C., Wu, K., & Choy, K. (2016). Multi-objective optimization for sustainable supply chain network design considering multiple distribution channels. *Expert Systems with Applications*, 65, 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.037>

Capítulo VII. Anexos

ANEXO 1

ENCUESTA TESIS: LOCALIZACIÓN MULTIOBJETIVO DE BODEGAS EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA

PREGUNTAS EMPRESAS – TESIS: LOCALIZACIÓN MULTIOBJETIVO DE BODEGAS EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA

Investigación académica

*Obligatorio

RESPONSABLES: RAFAEL ARIZA AVENDAÑO – LUIS LOPEZ ANDRADE. Estudiantes INGENIERÍA INDUSTRIAL CUC.



1. Tamaño de la empresa *
Marca solo un óvalo.

Pequeña

Mediana

Grande

2. ¿Ha adquirido la empresa en los últimos 2 años una bodega? *
Marca solo un óvalo.

Sí

No

3. ¿Por qué motivo se vio en la necesidad de adquirir una nueva bodega? *
Marca solo un óvalo.

Capacidad

Precio (Si se encuentra en alquiler)

Accesibilidad

Otro

4. Por favor, si escogió opción "otro" cuéntenos un poco ¿por qué?

5. Si han comprado bodega, ¿Cuál fue su precio de compra? *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 1 Mil millones
- Entre 1 Mil y 5 Mil millones
- Entre 6 Mil y 10 Mil millones
- Más de 10 Mil millones
- No ha comprado

6. Si por el contrario, ha alquilado bodega, ¿Cual fue su precio de alquiler? *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 1 millón
- Entre 1 millón y 5 millones
- Entre 6 millones y 10 millones
- Más de 10 millones
- No es alquilada

7. La capacidad de la bodega (comprada o alquilada) se encuentra alrededor de: *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 100 m²
- Entre 100 m² y 500 m²
- Entre 600 m² y 1000 m²
- Más de 1000 m²

8. El grado de importancia de la variable "Seguridad de la bodega" para su compra o alquiler fue: *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Como poco importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Como muy importante

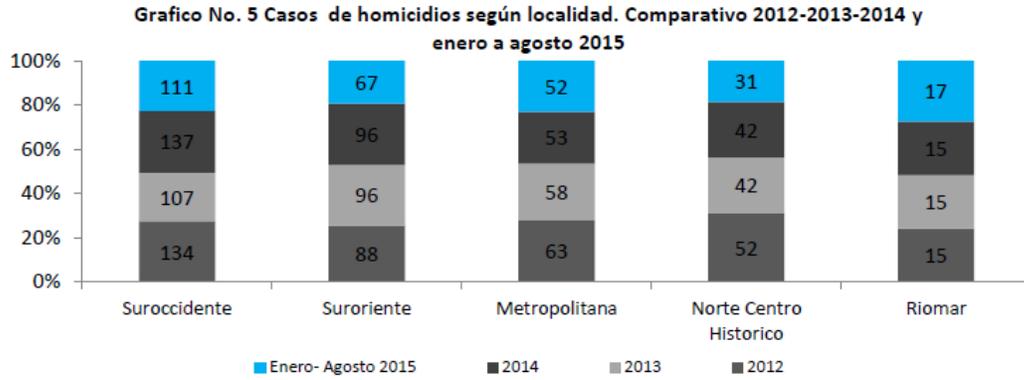
MUCHAS GRACIAS

Muchas gracias por ayudarnos a realizar esta investigación académica.

Nota. Elaboración propia (2017)

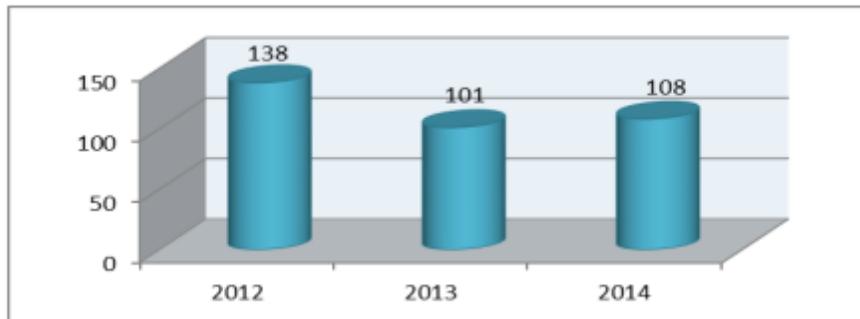
ANEXO 2

2.1 ANEXO HOMICIDIOS SEGÚN LOCALIDAD.



Nota. Mebar, Instituto de medicina legal (2015)

2.2 ANEXO HOMICIDIOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE SOLEDAD.



Nota. Instituto de medicina legal (2014)

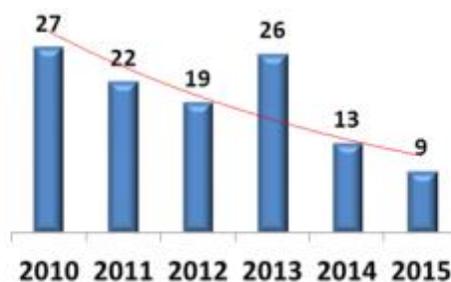
2.3 ANEXO HOMICIDIOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE GALAPA

Homicidios	
2014	2015
3	8

Nota. Policía Metropolitana de Barranquilla (2015)

2.4 ANEXO HOMICIDIOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE MALAMBO

Número de homicidios registrados en los años 2010 a 2015



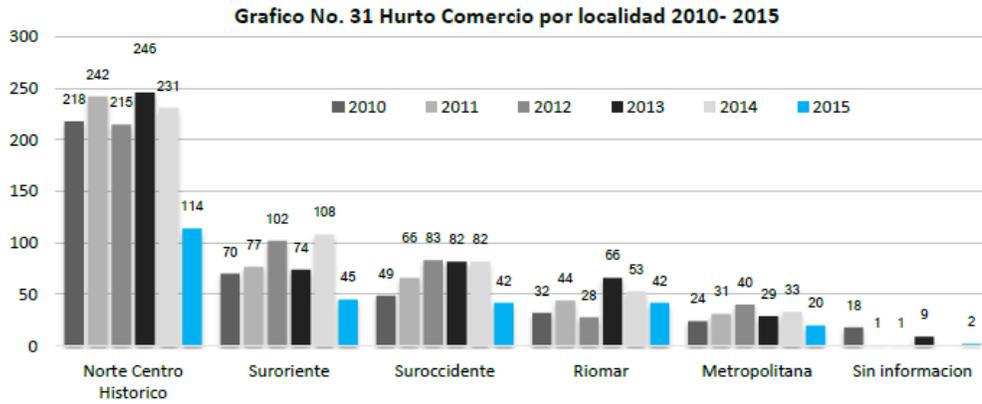
Nota. Policía metropolitana de Barranquilla (2015)

2.5 ANEXO HOMICIDIOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE PUERTO COLOMBIA.

Tabla N° 3 – Muertes Violentas Atlántico Enero- Agosto 20 2012/2011

MUERTES VIOLENTAS ATLÁNTICO ENERO 01 - AGOSTO 20 2012/2011															
	HOMICIDIOS			SUICIDIOS			TRÁNSITO			NO INTENCIONALES			TOTAL MUERTES VIOLENTAS		
	2011	2012	VAR %	2011	2012	VAR %	2011	2012	VAR %	2011	2012	VAR %	2011	2012	VAR %
BARRANQUILLA	234	219	-6%	22	30	36%	34	48	41%	31	20	-35%	321	317	-1%
SOLEDAD	80	81	1%	6	8	33%	7	18	157%	9	6	-33%	102	113	11%
MALAMBO	17	10	-41%	4	2	-50%	5	6	20%	4	3	-25%	30	21	-30%
GALAPA	8	3	-63%	1	4	300%	1	2	100%	1	1	-100%	11	10	-9%
PUERTO COLOMBIA	0	7	100%	1	0	-100%	2	3	50%	9	4	-56%	12	14	17%

2.6 ANEXO HURTOS SEGÚN LOCALIDAD.



Nota. Policía metropolitana de Barranquilla (2015)

2.7 ANEXO HURTOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE SOLEDAD.

Tabla 80. Número de Casos de Hurtos Registrados

Municipios Indicadore	Hurto a comercio x cada 100 Mil hab.	Hurto a Personas x cada 100 Mil hab.	Hurto a Residencias x cada 100Mil H.	Hurto a Automotores
Soledad	13,19	104,34	13,19	272
Soacha	31,39	80,98	10,6	58
Itaguí	38,52	142,39	21,15	181
Palmira	18,36	84,45	18,36	47
Floridablanca	46,09	317,35	35,13	64
Barranquilla	42,54	365,97	40,4	763

Nota. SIJIN

2.8 ANEXO HURTOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE SOLEDAD.

Tabla 42. Estadísticas seguridad

DELITOS	2011	2012	2013	2014	2015
Lesiones personales	49	84	55	46	33
Lesiones culposas en A/T	34	43	27	30	ND
Hurto residencias	7	3	3	5	ND
Hurto entidades comerciales	4	7	4	6	ND
Hurto personas	35	43	40	34	39
Hurto entidades financieras	0	0	1	0	ND
Piratería terrestre	1	3	0	0	ND
Hurto automotores	15	14	6	4	11
Hurto a motocicletas	6	15	10	10	12

Nota. Policía metropolitana de Barranquilla (2015)

2.9 ANEXO HURTOS LOCALIDAD MUNICIPIO DE MALAMBO.

ESTACIÓN MALAMBO					
DELITOS	2014	2015	DIF	%	TASA X 100.000 HABITANTES
HOMICIDIO COMUN	13	9	-4	-30,8%	4,69
MUERTE ACCIDENTES DE TRANSITO	17	7	-10	-58,8%	3,65
SECUESTRO	0	0	0	0,0%	0,00
SUBTOTAL DELITOS DE IMPACTO QUE AFECTA LA SEGURIDAD DEMOCRÁTICA	30	16	-14	-46,7%	8,35
DELITOS QUE AFECTA LA SEGURIDAD CIUDADANA					
LESIONES COMUNES	89	89	0	0,0%	46,42
LESIONES ACCIDENTES DE TRANSITO	46	77	31	67,4%	40,16
HURTO PERSONAS	46	77	31	67,4%	40,16
HURTO RESIDENCIAS	22	11	-11	-50,0%	5,74
HURTO ENTIDADES COMERCIALES	24	13	-11	-45,8%	6,78
TOTAL DELITOS CONTRA EL PATRIMONIO	227	267	40	17,6%	139,26
HURTO AUTOMOTORES	7	4	-3	-42,9%	2,09
HURTO A MOTOCICLETAS	63	71	8	12,7%	37,03
TOTAL HURTO AUTOMOTORES	70	75	5	7,1%	39,12
HURTO ENTIDADES FINANCIERAS	0	1	1	100,0%	0,52
PIRATERIA TERRESTRE	0	0	0	0,0%	0,00

Comparativos delitos 2014-2015

Nota. Policía metropolitana de Barranquilla (2015)

ANEXO 3

3.1 DATOS SERVICIOS PUBLICOS. TARIFAS SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO JULIO



BARRANQUILLA
SERVICIO DE ACUEDUCTO
TARIFAS VIGENTES - JULIO 2017

CLASE DE SERVICIO	Cargo Fijo	Consumo Básico		Consumo Complementario		Consumo Suntuario	
	Tarifa \$/susc/mes	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³
Estrato 1	4,227.84	1,088.52	0.69	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 2	5,122.18	1,318.78	0.83	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 3	7,317.41	1,883.97	1.19	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 4	8,130.45	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 5	13,821.77	3,558.61	2.25	3,558.61	2.25	3,558.61	2.25
Estrato 6	14,797.42	3,809.81	2.41	3,809.81	2.41	3,809.81	2.41
Industrial	12,114.37	3,119.02	1.97	3,119.02	1.97	3,119.02	1.97
Oficial y Especial	8,130.45	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Comercial	13,008.72	3,349.28	2.12	3,349.28	2.12	3,349.28	2.12

SERVICIO DE ALCANTARILLADO
TARIFAS VIGENTES - JULIO 2017

CLASE DE SERVICIO	Cargo Fijo	Consumo Básico		Consumo Complementario		Consumo Suntuario	
	Tarifa \$/susc/mes	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³
Estrato 1	3,378.61	688.26	34.18	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 2	4,093.31	833.85	41.41	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 3	5,847.59	1,191.22	59.16	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 4	6,497.33	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 5	11,045.45	2,250.08	111.74	2,250.08	111.74	2,250.08	111.74
Estrato 6	11,825.13	2,408.90	119.63	2,408.90	119.63	2,408.90	119.63
Industrial	9,681.01	1,972.12	97.94	1,972.12	97.94	1,972.12	97.94
Oficial y Especial	6,497.33	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Comercial	10,395.72	2,117.72	105.17	2,117.72	105.17	2,117.72	105.17

Nota. TRIPLE A S.A E.S.P (2017)

3.2 DATOS SERVICIOS PUBLICOS.TARIFAS SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO AGOSTO



BARRANQUILLA
SERVICIO DE ACUEDUCTO
TARIFAS VIGENTES - AGOSTO 2017

CLASE DE SERVICIO	Cargo Fijo	Consumo Básico		Consumo Complementario		Consumo Suntuario	
	Tarifa \$/susc/mes	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³
Estrato 1	4,227.84	1,088.52	0.69	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 2	5,122.18	1,318.78	0.83	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 3	7,317.41	1,883.97	1.19	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 4	8,130.45	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 5	13,821.77	3,558.61	2.25	3,558.61	2.25	3,558.61	2.25
Estrato 6	14,797.42	3,809.81	2.41	3,809.81	2.41	3,809.81	2.41
Industrial	12,114.37	3,119.02	1.97	3,119.02	1.97	3,119.02	1.97
Oficial y Especial	8,130.45	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Comercial	13,008.72	3,349.28	2.12	3,349.28	2.12	3,349.28	2.12

SERVICIO DE ALCANTARILLADO
TARIFAS VIGENTES - AGOSTO 2017

CLASE DE SERVICIO	Cargo Fijo	Consumo Básico		Consumo Complementario		Consumo Suntuario	
	Tarifa \$/susc/mes	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³
Estrato 1	3,378.61	688.26	34.18	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 2	4,093.31	833.85	41.41	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 3	5,847.59	1,191.22	59.16	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 4	6,497.33	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 5	11,045.45	2,250.08	111.74	2,250.08	111.74	2,250.08	111.74
Estrato 6	11,825.13	2,408.90	119.63	2,408.90	119.63	2,408.90	119.63
Industrial	9,681.01	1,972.12	97.94	1,972.12	97.94	1,972.12	97.94
Oficial y Especial	6,497.33	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Comercial	10,395.72	2,117.72	105.17	2,117.72	105.17	2,117.72	105.17

Nota. TRIPLE A S.A E.S.P (2017)

3.3 DATOS SERVICIOS PUBLICOS. TARIFAS SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SEPTIEMBRE



BARRANQUILLA SERVICIO DE ACUEDUCTO

TARIFAS VIGENTES - SEPTIEMBRE 2017

CLASE DE SERVICIO	Cargo Fijo	Consumo Básico		Consumo Complementario		Consumo Suntuario	
	Tarifa \$/susc/mes	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa de uso \$/m ³
Estrato 1	4,227.84	1,088.52	0.69	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 2	5,122.18	1,318.78	0.83	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 3	7,317.41	1,883.97	1.19	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 4	8,130.45	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Estrato 5	13,821.77	3,558.61	2.25	3,558.61	2.25	3,558.61	2.25
Estrato 6	14,797.42	3,809.81	2.41	3,809.81	2.41	3,809.81	2.41
Industrial	12,114.37	3,119.02	1.97	3,119.02	1.97	3,119.02	1.97
Oficial y Especial	8,130.45	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32	2,093.30	1.32
Comercial	13,008.72	3,349.28	2.12	3,349.28	2.12	3,349.28	2.12

SERVICIO DE ALCANTARILLADO

TARIFAS VIGENTES - SEPTIEMBRE 2017

CLASE DE SERVICIO	Cargo Fijo	Consumo Básico		Consumo Complementario		Consumo Suntuario	
	Tarifa \$/susc/mes	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³	Tarifa \$/m ³	Tasa retributiva \$/m ³
Estrato 1	3,378.61	688.26	34.18	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 2	4,093.31	833.85	41.41	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 3	5,847.59	1,191.22	59.16	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 4	6,497.33	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Estrato 5	11,045.45	2,250.08	111.74	2,250.08	111.74	2,250.08	111.74
Estrato 6	11,825.13	2,408.90	119.63	2,408.90	119.63	2,408.90	119.63
Industrial	9,681.01	1,972.12	97.94	1,972.12	97.94	1,972.12	97.94
Oficial y Especial	6,497.33	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73	1,323.57	65.73
Comercial	10,395.72	2,117.72	105.17	2,117.72	105.17	2,117.72	105.17

Nota.. TRIPLE A S.A E.S.P (2017)

3.4 DATOS SERVICIOS PUBLICOS. TARIFAS SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA JULIO

TARIFAS PARA CLIENTES RESIDENCIALES				SECTOR SUBNORMAL		
Nivel de tensión al que se conecta el transformador	2 ó 3	2 ó 3	2 ó 3	Medida N1*	Medida N1*	Medida N2*
	Operador de Red	Compartida	Cliente	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2
Propiedad de los activos						
	Consumo (kWh)					
Tarifa N1						
Estrato 1	0-173	193,48	185,33	177,18	172,78	162,60
Estrato 2	0-173	232,17	222,40	212,62		
Estrato 3	0-173	337,43	323,61	309,79		
Estrato 1-2 -3 y 4*	>173	396,98	380,72	364,46	355,69	335,37
Estrato 5 y 6	>0	476,38	456,87	437,35		
Sector Subnormal no residenciales						
Oficiales				355,69	335,37	331,27
Comercial e Industrial				426,83	402,44	397,52
Consumo de subsistencia subnormales 184 kWh, para subnormales ubicados en Pueblo nuevo el CS= 138						
* Para el estrato 4 todo el consumo						

Nota. ELECTRICARIBE S.A E.S.P (2017)

3.5 DATOS SERVICIOS PUBLICOS. TARIFAS SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AGOSTO

ELECTRICARIBE				SECTOR SUBNORMAL			
ELECTRIFICADORA DEL CARIBE S.A ESP							
Departamentos de : Atlantico, Bolivar, Cesar, Cordoba, Guajira, Magdalena y sucre							
TARIFAS - RES 031-119/07, 097/08, 110/09, 173/11, 083/12, 108/12, 1010/13, 180/14, 191/14 y 036/15							
Costo unitario agosto 2017							
TARIFAS PARA CLIENTES RESIDENCIALES				SECTOR SUBNORMAL			
Nivel de tensión al que se conecta el transformador		2 ó 3	2 ó 3	2 ó 3	Medida N1*	Medida N1*	Medida N2*
		Operador de					
Propiedad de los activos		Red	Compartida	Cliente	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2
	Consumo						
Tarifa N1	(kWh)						
Estrato 1	0-173	193,38	185,24	177,09	172,69	162,52	161,03
Estrato 2	0-173	232,05	222,29	212,51			
Estrato 3	0-173	347,34	333,45	319,56			
Estrato 1-2 -3 y 4*	>173	408,64	392,30	375,95	368,75	348,32	343,73
Estrato 5 y 6	> 0	490,37	470,75	451,14			
Sector Subnormal no residenciales							
Oficiales					368,75	348,32	343,73
Comercial e Industrial					442,50	417,99	412,48
Consumo de subsistencia subnormales 184 kWh, para subnormales ubicados en Pueblo nuevo el CS= 138							
* Para el estrato 4 todo el consumo							

Nota. ELECTRICARIBE S.A E.S.P (2017)

3.6 DATOS SERVICIOS PUBLICOS. TARIFAS SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA SEPTIEMBRE

ELECTRICARIBE				SECTOR SUBNORMAL			
ELECTRIFICADORA DEL CARIBE S.A ESP							
Departamentos de : Atlantico, Bolivar, Cesar, Cordoba, Guajira, Magdalena y sucre							
TARIFAS - RES 031-119/07, 097/08, 110/09, 173/11, 083/12, 108/12, 1010/13, 180/14, 191/14 y 036/15							
Costo unitario septiembre 2017							
TARIFAS PARA CLIENTES RESIDENCIALES				SECTOR SUBNORMAL			
Nivel de tensión al que se conecta el transformador		2 ó 3	2 ó 3	2 ó 3	Medida N1*	Medida N1*	Medida N2*
		Operador de					
Propiedad de los activos		Red	Compartida	Cliente	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2
	Consumo (kWh)						
Tarifa N1	(kWh)						
Estrato 1	0-173	193,65	185,50	177,33	172,93	162,74	161,25
Estrato 2	0-173	232,37	222,60	212,80			
Estrato 3	0-173	359,93	346,01	332,09			
Estrato 1-2 -3 y 4*	>173	423,44	407,07	390,70	383,40	362,94	356,86
Estrato 5 y 6	> 0	508,13	488,49	468,84			
Sector Subnormal no residenciales							
Oficiales					383,40	362,94	356,86
Comercial e Industrial					460,09	435,53	428,23
Consumo de subsistencia subnormales 184 kWh, para subnormales ubicados en Pueblo nuevo el CS= 138							
* Para el estrato 4 todo el consumo							

Nota. ELECTRICARIBE S.A E.S.P (2017)

ANEXO 4

4.1 BASE DE DATOS EMPRESARIAL

NOMBRE DE EMPRESA	CONTACTO
AGROCOSTA	3869999
AGROPECUARIA CAMPO VERDE LIMITADA	3735005
ALUMINIOS REYNOLDS	3300220-3300100
AMIAGRO PALMA S.A.S.	--
APORTES SAN ISIDRO S.A.S. ASI S.A.S.	3688287
APRECAR LTDA.	3516714
AROMATHEKA INTERNACIONAL	3590305
CAMAGUEY S.A	3717022
CARVAJAL S.A.	3309800 EXT 1311
COMERCIALIZADORA DICA S.A.S.	3464069
COMPAÑIA ENVASADORA DEL ATLANTICO S.A.S.	3448269
CONCENTRADOS DEL NORTE S.A.	3446373
CONDIMAR S.A.	3492285
CONDIMENTOS EL MORTERO LTDA.	3581820
CONEXIONES ELECTRONICAS (ECONEX)	7273572-3103688132- 301222650
CONGELADOS DE COLOMBIA	358 3055
CONSERVAS CALIFORNIA S. A.	3344902
CONSORCIO INDUSTRIAL -ALEADOS DEL COBRE S.A	3702385
COSTALAC S.A.S.	--
DOIT DE COLOMBIA	--
ELECTRICARIBE	3611253-3681253
EMTELCO	(4) 389 7000 EXT. 5580
EXTRACTORA MARIA LA BAJA S.A.	3441799
EXTRACTORA PALMARIGUANI S.A.	35561375
FÁBRICA DE HIELO BARRANQUILLITA LTDA.	3620226
FÁBRICA DE HIELO ORQUÍDEA	3446153
FABRICA DE HIELO POLAR	3108955
FARID CURE & COMPAÑIA S.A.S. ARROCERA DEL LITORAL	3446148
FRAGRAVE S.A	3167497608
FRIGOECOL LIMITADA	3790844
FRIGORIFICO DE LA COSTA S.A.S. SIGLA FRICOSTA S.A.S.	3367290
GELCO S.A.S	3446261
GENEROSO MANCINI & COMPANIA LIMITADA	3444758
GRACECOL	3267206-375 64 41
GRACETALES	3600066 EXT 212
GRANOS Y CEREALES DE COLOMBIA S.A.	3742555

GRASAS Y ACEITES VEGETALES LIMITADA.	3601564
GRACETALES LIMITADA	
GRUPO ALIMENTARIO DEL ATLANTICO S.A. GRALCO S.A.	3448811
HACIENDA LAS CARITAS S.A.	3745444
IMPROLAC LTDA	3720660
INDUSTRIAS FRUZAM FAJARDO	3705363
INDUSTRIAS LA CORUÑA	--
INVERSIONES MACIAS AZUERO & COMPANIA S. EN C.	3689326
ITALCOL	3115137843- 3116901 - 3116787
JERONIMO MARTINS	(5) 311 2240 EXT. 7322, 7324
LABORATORIOS ROSS D ELEN	3708989
LACTEOS DEL CAMPO S.A.	3759549
LITOPLAS S.A.	3249059 EXT 129
LITOPLAST	385 1955 - 385 4533 - 385 4942
LLOREDA S.A. SUCURSAL BARRANQUILLA	--
MACIAS VARGAS LUIS ANTONIO	3535188
MAESTRE Y ASOCIADOS SOCIEDAD ANONIMA SIGLA MAESTRE Y CIA. S.A.	--
MASTERFOODS COLOMBIA LTDA.- EFFEM COLOMBIA LTDA.	3759090
MOLINOS BARRANQUILLITA S.A.S.	3446588
MOLINOS DEL ATLANTICO S.A.S.	3689191
MONOMEROS	3618485/3618427
NEGOCIOS AZUERO SOCIEDAD POR ACCIONES SIMPLIFICADA	3609160
OLEOFLORES S.A.	3441799
OLÍMPICA	3710384-3710319
PALMAS DE BOLIVAR S.A.	3561375
PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARA LIMITADA	3534536
PALMAS OLEAGINOSAS DEL ARIGUANI S.A.	3561375
PALMERAS DE LLANO GRANDE S.A.	3735005
PALMERAS DE PUERTO LIBRE S.A.	3608769
PALMERAS EL LABRADOR S.A.S.	3689493
PESCADERIA MAR AZUL	3853848
PRODISABOR	3594796-3599346 3145570235
PRODUCTOS LINA	3449537
PROMISAL DEL CARIBE	3421188
PROMITEL	3713774
RICAFLEX	3564431-3689005-3158984457
SALMAR	3685245
SAMSUNG	--
SIGMASTEEL	3367000
SIGNA GRAIN CO S.A.	--

SMURFIT CAKPA CARTON DE COLOMBIA	3734 500
SOMEX	3770190-376 9130
TCC	301 6072005
TUBOPLAST	3701110
VOPAK	3557400

Nota. Elaboración propia (2017)