



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Modelación de viajes de carga para centros comerciales en ciudades de países en vía de desarrollo**

**Autor:**

Joselyn Lorena Avilés Veintimilla

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

Facultad de Minas

Departamento de Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2024

# **Modelación de viajes de carga para centros comerciales en ciudades de países en vía de desarrollo**

**Autor:**

Joselyn Lorena Avilés Veintimilla.

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ingeniería – Infraestructura y Sistemas de Transporte

**Director:**

Carlos A. González-Calderón, Ph.D.

**Codirector:**

John Jairo Posada Henao, Ph.D.

**Línea de**

**Investigación:**

Transporte de Carga

**Universidad Nacional de Colombia**

**Sede Medellín**

Facultad de Minas

Departamento de Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2024

## Contenido

Capítulo 1 .....	7
1. Introducción .....	9
1.1. Objetivos. ....	10
1.1.1 Objetivo general .....	10
1.1.2. Objetivos específicos .....	10
1.2. Hipótesis.....	10
Capítulo 2 .....	11
2. Estado del Arte .....	11
2.1 Usos del suelo y ordenamiento territorial .....	13
2.2. Modelo clásico de transporte .....	14
2.3. Modelos de viajes .....	17
2.3.1. Naturaleza de los datos. ....	17
2.3.2. Modelos multivariados .....	18
2.3.3. Correlación de datos.....	19
2.3.4. Regresión lineal.....	19
2.3.4.1. Modelo de Regresión lineal simple.....	20
2.3.4.2. Criterios para la selección de variables y modelos .....	20
2.3.5. Función de regresión muestral o análisis de regresión basado en la teoría econométrica. ....	21
2.3.6. Regresión no lineal.....	22
2.4. Transporte de carga .....	27
2.5. Grandes generadores de viajes de carga .....	32
2.6. Centros comerciales .....	34
Capítulo 3 .....	38
3. Metodología para el estudio de viajes de carga en centros comerciales .....	38
3.1. Identificación de la muestra de estudio. ....	40
3.2. Realización de encuestas.....	41
3.3. Base de datos generada.....	42
3.4. Estimación de modelos.....	42
Capítulo 4 .....	43
4. Caso de estudio.....	43
4.1. Área de estudio. ....	43
4.2. Centros comerciales de la investigación .....	44
4.3. Modelos.....	46
4.3.1. Modelos lineales.....	46
4.3.2 Modelos no lineales .....	48
4.3.3 Modelos lineales escogidos: .....	49
4.3.4. Modelos no lineales escogidos.....	52
Capítulo 5 .....	56

5. Conclusiones y recomendaciones .....	56
5.1. Conclusiones .....	56
5.2. Recomendaciones .....	57
6. Bibliografía.....	58

## Índice de Tablas

Tabla 1: Modos de transporte de Carga.

Tabla 2: Combinaciones de modelación

Tabla 3: Ecuaciones transformadas

Tabla 4: Clasificación industrial internacional uniforme

Tabla 5: Agrupación de grandes generadores en áreas urbanas

Tabla 6: Centros comerciales elegidos para el estudio

Tabla 7: Variables

Tabla 8: Análisis Estadístico de # de locales comerciales

Tabla 9: Correlación de número de parqueaderos

Tabla 10: Modelos escogidos

Tabla 11: Modelos no lineales

Tabla 12: Modelos no lineales multivariantes

Tabla 13: Modelos recomendados para centros comerciales en función de locales comerciales y área.

## Índice de Figuras

Figura 1: Cadena de generación de viajes.

Figura 2: Modelo clásico de transporte

Figura 3: Modelo clásico de transporte de mercancías

Figura 4: Tipos de datos

Figura 5: Diferentes valores del coeficiente de correlación y su correspondiente diagrama de dispersión

Figura 6: Función de regresión muestral y función de regresión muestral estimada

Figura 7 Distribución de carga en Colombia

Figura 8: Vehículo de carga en espacio público.

Figura 9: Clasificación de centros comerciales según su área.

Figura 10: Delimitación del área de estudio.

Figura 11: Relación de viajes para número de locales comerciales

Figura 12: Relación de viajes para número de estacionamientos de vehículos

Figura 13: Relación de viajes para área de centro comercial

Figura 14: Modelo elegido con variable dependiente de número de locales comerciales sin ser transformado

Figura 15: Modelo elegido con variable dependiente de número de locales comerciales transformado linealmente

Figura 16: Modelo elegido con variable dependiente de área de centro comercial sin ser transformado

Figura 17: Modelo escogido con variable dependiente de área de centro comercial transformado linealmente

## Resumen

Los centros comerciales son establecimientos que permiten realizar diversas actividades dentro de un mismo espacio físico. Por lo tanto, necesitan ser abastecidos con diversos productos y servicios que generan viajes diarios y transporte de carga, tema que será abordado en esta investigación.

Los centros comerciales se están construyendo y remodelando en todo el mundo a medida que la dinámica de la sociedad está cambiando, y cada vez es más común buscar espacios que ofrezcan diferentes tipos de actividades y servicios dentro del mismo sitio (servicios bancarios, de salud, supermercado, entretenimiento, etc.).

Esta investigación busca analizar y proponer mecanismos que permitan evaluar este comportamiento para encontrar soluciones a muchos problemas que surgen durante el abastecimiento y la logística; algunos de ellos son la congestión vehicular que se genera alrededor de estos establecimientos, condición que perjudica la movilidad cotidiana de las zonas aledañas.

Obtener un panorama claro, dependiendo de las variables que se consideren para esta investigación, nos puede permitir analizar correctamente lo que está sucediendo con estos establecimientos y cómo mejorar las condiciones de movilidad que existen en cuanto al transporte de carga,

Esta investigación se desarrollará a través de encuestas, entrevistas y recopilación de datos para definir variables que nos permitan realizar modelos lo más cercanos a la realidad y así proporcionar conclusiones y observaciones valiosas.

**Palabras clave:** *Viajes de carga, generación de carga, centros comerciales de Medellín, ciudades de países en vía de desarrollo.*

## Summary: Freight trip modeling for shopping centers In cities of developing countries

Malls are establishments that allow several activities to be carried out within the same physical space. Therefore, they need to be supplied with several products and services that generate daily trips and cargo transportation, a topic that will be addressed in this research.

The malls are being built and remodeled around the world as the dynamics of society are changing, and it is increasingly common to seek spaces that provide different types of activities and services within the same site (banking, health, supermarket, entertainment services, etc.)

This research seeks to analyze and propose mechanisms to evaluate this behavior to find solutions to many problems that arise during supply and logistics; some of these are the traffic congestion generated around these establishments, a condition that harms the daily mobility of the surrounding areas.

Obtaining a clear picture, depending on the variables that are considered for this research, may allow us to correctly analyze what is happening with these establishments and how to improve the mobility conditions that exist in terms of freight transportation,

This research will be developed through surveys, interviews, and data collection to define variables that will allow us to make models as close to reality as possible and thus provide valuable conclusions and observations.

**Keywords:** *freight trips, attraction trips, Medellín shopping malls, cities in developing countries.*



# Capítulo 1

## 1. Introducción

Los centros comerciales son establecimientos que permiten realizar varias actividades dentro de un mismo espacio físico, por lo tanto, necesitan ser abastecidos de elementos para poder brindar productos y servicios, los cuales generan viajes y transporte de carga de manera rutinaria, tema que se abordará en esta investigación.

Con la creación de los centros comerciales, las dinámicas de la sociedad han ido cambiando y cada vez es más común buscar espacios que brinden distintos tipos de actividades y servicios dentro de un mismo sitio (servicios de banco, servicios de salud, supermercados, entretenimiento, etc.)

Las actividades y los servicios que se mencionan necesitan de cierta logística y abastecimiento para poder cumplir con la demanda de los consumidores.

Existen algunos centros comerciales en los cuales se ha realizado ampliación de parqueaderos para satisfacer la demanda de los consumidores, sin embargo, es muy poca la atención que se hace a la construcción o ampliación de zonas o plataformas de carga, problemática que puede ser abordada si se conociera el número de viajes generadores por un centro comercial, que es lo que se busca en esta investigación.

La investigación para realizarse dentro de esta tesis busca analizar una modelación de viajes de carga para centros comerciales en países en vía de desarrollo (considerando viajes atraídos, dado que los datos obtenidos de las encuestas son de viajes atraídos, más no producidos), a partir de una muestra estadística de este tipo de establecimientos, se estimaron modelos matemáticos con regresión lineal (simple o múltiple) y no lineal con base en los cuales se encontraron los modelos con mejores parámetros de ajuste y valor predictivo.

Los datos obtenidos para el desarrollo de esta investigación fueron conseguidos mediante encuestas, entrevistas y la base de datos del estudio de transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, con el fin de poder definir variables que permitan realizar modelos, lo más aproximado a la realidad y así brindar conclusiones y observaciones útiles.

## 1.1. Objetivos.

### 1.1.1 Objetivo general

Obtener modelos matemáticos que permitan estimar la generación de viajes de carga en centros comerciales de ciudades en países en vías de desarrollo.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar las principales variables que afectan la estimación de viajes de carga en centros comerciales de ciudad en país en vía de desarrollo.
- Estimar la cantidad de viajes de carga para grandes centros comerciales de ciudades en países en vía de desarrollo.

## 1.2. Hipótesis

Es posible obtener modelos matemáticos que permitan estimar la generación de viajes de carga para centros comerciales en ciudades de países en vías de desarrollo.

## Capítulo 2

### 2. Estado del Arte

Para lograr entender cómo se ha ido desarrollando el transporte de carga a lo largo de la historia y posteriormente su incidencia y aplicación a grandes generadores, como centros comerciales (tema de esta tesis), se describe este tema.

Cualquier dinámica nueva dentro de una sociedad, se genera a través de una necesidad, lo mismo ocurre con el transporte de carga. La historia del transporte terrestre y el desarrollo de los medios de transporte de mercancías por carretera, se da paso a partir de la necesidad del ser humano de desplazarse hacia nuevos territorios, inicialmente inexplorados en diferentes procesos de colonización y posteriormente para desarrollar actividades comerciales (Michelin 2022). Con la invención de ambos, las primeras carreteras o caminos pavimentados y la rueda hace 5,000 años aproximadamente, se comienza a desarrollar el transporte de mercancías y de personas, que con el paso del tiempo y de las diferentes civilizaciones ha evolucionado gracias a las continuas mejoras que los seres humanos han venido desarrollados para lograr un transporte más eficiente a lo largo de los siglos (Michelin, 2022).

La carga se ha ido definiendo a lo largo de la historia como la expresión física de la economía, ya que permite la dinamización de todos los sectores de una región, es por esta razón la importancia de este concepto, y cómo influye en los diferentes escenarios de una sociedad económicamente activa. A continuación, se explica el concepto más claro de carga.

*“El acto y la consecuencia de cargar dan origen a la noción de carga. El concepto, que puede aprovecharse en ciertos contextos como sinónimo de carga, está relacionado a aquella cosa que genera peso o presión respecto a otra o a la estructura que se transporta (ya sea sobre la espalda o los hombros de un individuo, sobre el lomo de un animal o en un vehículo)”* (Pérez Porto 2010).

En consecuencia, se podría decir que se llama carga a todo aquello que se transporta, de aquí el termino transporte de carga, el cual se define como tal:

*“A aquel medio de transporte que se encarga del traslado de un punto a otro de una determinada mercancía, es un servicio que forma parte de cualquier cadena logística, es importante mencionar que el transporte de carga generalmente requiere de espacios grandes (como bóvedas o contenedores), y no de instalaciones cómodas o estéticas; al contrario del transporte de pasajeros”* (Transeop 2010).

El transporte de carga puede darse de algunos modos diferentes, algunos de estos se identifican en la Tabla 1.

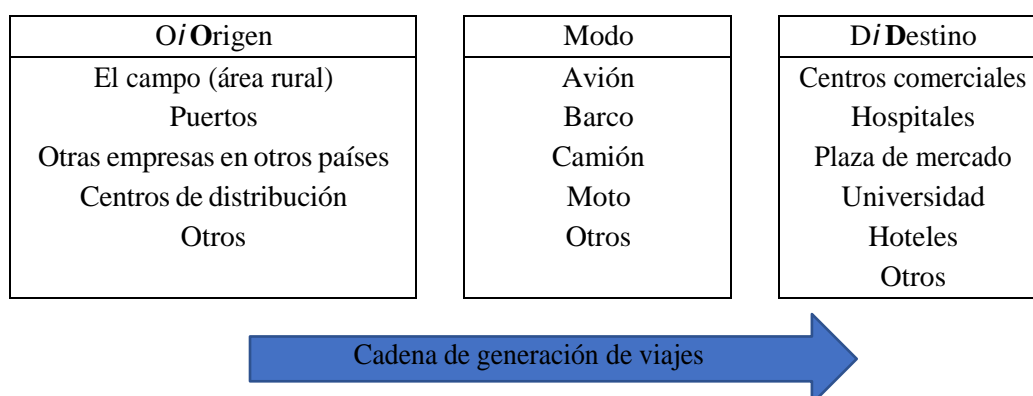
Tabla 1: Modos de transporte de Carga.

<b>Transporte marítimo</b>	El transporte se realiza en el mar mediante vehículos adaptados para surcar el mar (barcos, buques, etc.) Dentro de este transporte, se identifica el transporte acuático, el <b>transporte acuático</b> o transporte naval es aquel que emplea vehículos capaces de desplazarse sobre y en el agua, es decir, algún tipo de embarcación. Ello también incluye a las instalaciones e infraestructuras necesarias para llevar a cabo el movimiento de pasajeros o de cargamento de esta manera, tales como puertos e instalaciones como faros.
<b>Transporte carretero</b>	El transporte se realiza en carreteras o vías que permitan circular todo tipo de vehículos terrestres adaptados para vías (camiones, remolques, tractocamiones, etc.)
<b>Transporte férreo</b>	Este modo de transporte está limitado a las infraestructuras ferroviarias instaladas por todo el mundo, por lo que las rutas y trayectos están limitados a estas. Las infraestructuras ferroviarias son todos aquellos elementos físicos por los cuales transcurre el sistema de trenes de pasajeros, de mercancías y mixtos.
<b>Transporte mediante tuberías</b>	El transporte se realiza mediante tuberías de distintos materiales, el producto que puede ser transportado es: petróleo, gas, etc.
<b>Transporte aéreo</b>	Se emplean vehículos aéreos, o sea, los distintos tipos de avión de carga que existen en funcionamiento. En este caso, la cantidad de material transportable es menor que en el resto de los tipos anteriores.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Concepto (2014)*

Los distintos modos de transporte de carga permiten que este sector sea ampliamente diverso y dinámico. La carga tiene varios mecanismos para ser transportada, el desarrollo de esta investigación se centrará en el transporte de carga terrestre, ya que se considerará los viajes generados por los distintos centros comerciales analizados, los mismos viajes que desarrollan un proceso de distribución (tienen un origen y un destino), el cual se resume en la Figura 1.

Figura 1: Cadena de generación de viajes.



*Fuente: Elaboración propia a partir de Mafla Hernandez (2020)*

La cadena de generación de viajes permite obtener un panorama de cómo se realiza el proceso del transporte de carga, ya que como se ha mencionado anteriormente, el transporte de carga al ser un gran dinamizador de la economía global y ofrecer gran cantidad de beneficios, también posee externalidades negativas, las cuales no son sólo un problema de ciertos sectores gubernamentales, sino también de los que envían y reciben mercancías, si se considera que el transporte de carga es esencial en la vida diaria y completamente complejo y heterogéneo, los grandes generadores al igual que los establecimientos desempeñan un papel en la movilidad de las ciudades, y éstos a su vez dentro del ecosistema de las mismas, por lo que entender su comportamiento hace parte del proceso de planificación (Valicelli y Pesci 2002).

### 2.1 Usos del suelo y ordenamiento territorial

Un plan de ordenamiento territorial (POT) comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, adelantadas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Congreso de Colombia 1997, Artículo 5). La vigencia de los POT es de tres períodos constitucionales completos. Estos se deben calcular a partir del momento en que el municipio adopta el instrumento. Los planes de ordenamiento territorial de cada municipio permiten que todos los proyectos que se vayan a ejecutar cumplan con varios parámetros, entre ellos, el derecho a la ciudad, la sostenibilidad, la equidad social y territorial, la resiliencia territorial, la competitividad territorial y económica, la identidad, enfoque de género, protección a moradores, ruralidad sostenible, la corresponsabilidad, una ciudad saludable, seguridad territorial, entre otras. Al cumplir con estos mandatos un proyecto puede ser ejecutado sin ningún problema dentro de los diferentes municipios

La planificación, el uso y la formulación de políticas son fundamentales para la forma en que las comunidades gestionan sus actividades económicas y los impactos sociales y ambientales, es por esta razón que es necesario mejorar las prácticas de uso del suelo para incorporar mejor las necesidades y los impactos de la actividad de carga que tiene el potencial de mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro asociadas (Holguín-Veras et al., 2022). En los últimos años, en algunos países ha existido un enfoque centrado en las estrategias de uso de la tierra para reducir así los viajes de vehículos. Estas estrategias incluyen: barrios compactos de mayor densidad, combinación de usos del suelo, diseños aptos para peatones, entre otras, todas estas estrategias son las que se conocen colectivamente como crecimiento inteligente (Holguín-Veras et al. 2022). Hay muchos otros factores que influyen en el uso del suelo, como el crecimiento de la población y la gentrificación (se entiende por gentrificación a los procesos de renovación de viejos centros urbanos mediante transformaciones materiales (edilicias) e inmateriales (económicas, sociales y culturales) conducidas por agentes privados y/o públicos, provocando la subida del valor de las

propiedades y el consiguiente desplazamiento y/o sustitución, directo e indirecto, de la población residente por otros grupos sociales con poder adquisitivo más elevado), también existen nuevos enfoques de gestión de la cadena de suministro, como aldeas de carga, centros de carga y puertos interiores, que pueden afectar el movimiento de carga (Holguín-Veras et al., 2022)

Una correcta planificación del suelo permitirá conocer en que espacios es oportuno la construcción de un nuevo centro comercial, tomando en cuenta todos los factores que influyen en el uso del suelo, si se sigue adecuadamente el POT, entonces se podrá dar mejor manejo a los espacios para vehículos de carga y así mismo a su logística. Muchas veces estos planes no son tomados en cuenta, y se cae en el grave error de que se construyen centros comerciales en áreas en las que su suelo no es de uso comercial.

Si existe un POT, es porque es necesario y además es un plan que viene de varios estudios y de varias disciplinas que fueron tomadas en cuenta para la elaboración de éste, la construcción de un centro comercial es un gran impacto en todos los ámbitos de una sociedad, obteniendo beneficios y también perjuicios, estos perjuicios pueden aparecer cuando la construcción del centro comercial no está atada a los planes de ordenamiento territorial de una región, es ahí de donde viene la importancia de dar un correcto seguimiento y acatar toda la normativa exigida en estos planes.

## 2.2. Modelo clásico de transporte

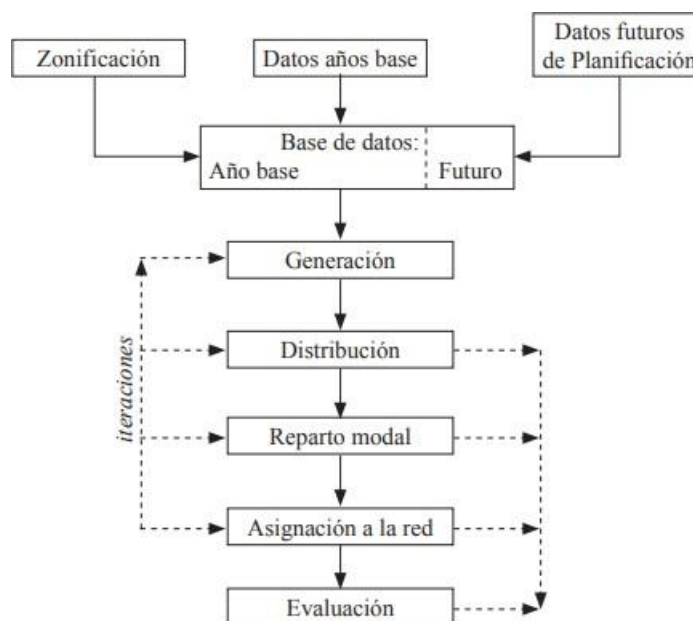
Para entender los procesos y la logística de las mercancías, es necesario conocer los modelos de demanda y oferta de transporte, los mismos que con sus versiones más o menos complejas, constituyen un instrumento importante dentro de la planificación del transporte (Figura 2). En el modelo de cuatro etapas, la primera consiste en el establecimiento de la producción y atracción de viajes; la segunda etapa, establece la distribución de viajes entre zonas; mientras que la tercera etapa establece el reparto modal; en tanto que la cuarta etapa define la asignación de viajes (Colomer Fernandiz y Ruiz Sánchez, 1999). Para Ortúzar y Willumsen (2008), el modelo clásico del transporte viene como resultado de años de experimentación y desarrollo, esta estructura es, en efecto, el resultado de la práctica en los 60s, pero ha permanecido relativamente inalterada a pesar de las importantes mejoras experimentadas en las técnicas de modelización durante los últimos 40 años.

Este enfoque comienza considerando una zonificación y un sistema de redes, así como la recogida y codificación de datos de planificación, calibración y validación. Estos datos deberían incluir información para el año base sobre la población de diferentes tipos en cada zona de estudio, así como los niveles de actividad económica, incluyendo empleo, espacio dedicado a la actividad comercial, instalaciones de educación y recreativas. A continuación, estos datos se utilizan como variables independientes de la función de demanda, para estimar modelos que reproduzcan el número total de viajes atraídos y generados (variable dependiente) por cada zona del área de estudio (generación de viajes). El paso siguiente es asignar estos viajes a diferentes destinos, en otras palabras, su distribución en el espacio, dando lugar a una matriz de viajes origen – destino (O-D). La etapa siguiente consiste en modelizar la elección del modo, y esto

tiene como resultado el reparto o distribución modal, es decir la asignación de los viajes de la matriz O-D según los diferentes modos de transporte. Finalmente, la última etapa del modelo clásico del transporte consiste en la asignación de los viajes en cada modo a su red correspondiente, típicamente de transporte público o de transporte privado (Figura 2).

Las actuaciones para una planificación del transporte mediante dicho modelo son: definir el área de estudio, ajustar la zonificación y establecer las redes de transporte. Esta investigación se desarrollará enfocándose en la primera etapa, la cual corresponde a generación de viajes, sin embargo, en los siguientes párrafos se indicará cual es la variante para generación de viajes de carga, ya que el modelo clásico de transporte indicado en la Figura 2 hace referencia a los viajes de personas.

Figura 2: Modelo clásico de transporte



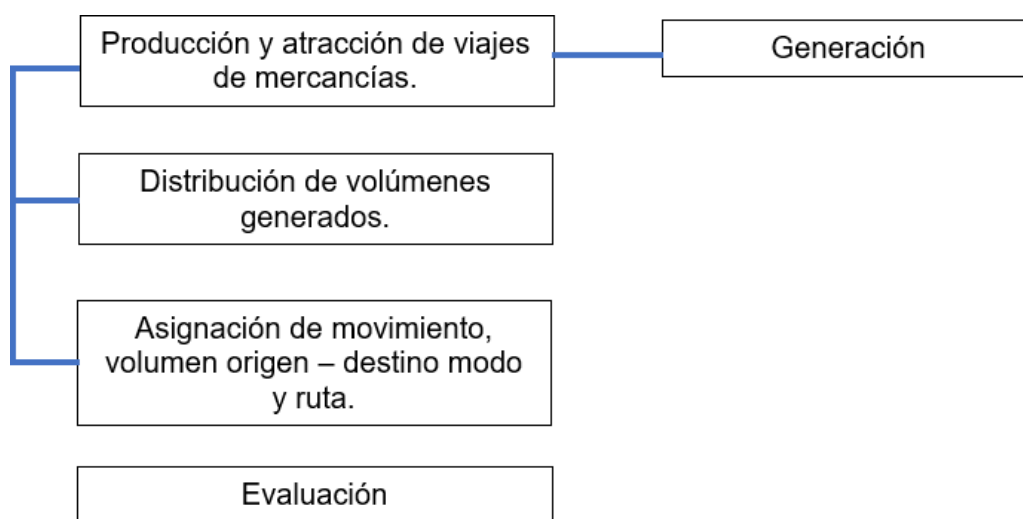
Fuente: Ortuzar & Willumsen (2008)

Cuando se habla del transporte de mercancías, tiene gran relevancia el empleo de diferentes medios de transporte dentro de la misma cadena de transporte. Es decir, desde un origen a un destino es muy habitual que la carga pase por diferentes medios de transporte. Los problemas de planificación se pueden dividir en tres grupos principales relacionados con el tipo de decisión u objetivos a los que tienen que hacer frente. Así, la planificación puede ser estratégica, táctica u operacional. Comi, Donnelly & Russo (2013) analizan el modelo clásico de transporte desde el punto de vista de transporte de mercancías, como se indica en la Figura 3, que para efecto será el utilizado para el desarrollo de esta investigación, ellos realizan una descripción de la modelación del transporte de mercancías refiriendo el modelo clásico de distribución de vehículos de carga generados en función del empleo y que son distribuidos y enrutados utilizando el modelo tradicional de cuatro etapas, dentro de este análisis se entiende que la elección modal será diferente a la del modelo clásico de transporte,

ya que aquí dicha etapa corresponde a una asignación de movimientos, volumen origen – destino, modo y ruta, es decir la asignación modal analizará las variables antes mencionadas.

Una de las tantas particularidades del transporte de mercancías es que hay que tener en cuenta varias dimensiones, sobre todo el peso, el volumen, el número de viajes de los vehículos y el valor de las mercancías transportadas. Cada una de estas dimensiones representa una forma diferente de definir y medir la demanda de transporte de mercancías, con importantes implicaciones para la modelización de la demanda de mercancías. La existencia de estas diferentes dimensiones ha dado lugar a dos principales plataformas de modelización: la modelización basada en las mercancías y la modelización basada en los viajes de los vehículos. Estos enfoques representan, en esencia, visiones unidimensionales de un problema multidimensional en el que el tonelaje, los viajes en vehículo y el valor son las dimensiones más relevantes (Holguín-Veras y Thorson, 2003).

Figura 3: Modelo clásico de transporte de mercancías



*Fuente: Elaboración propia a partir de (Comi, Donnelly, and Russo 2014)*

Si bien el modelo clásico de transporte para mercancías varía en cuanto a las características antes mencionadas, la línea de enfoque es la misma que para el modelo clásico de transporte en pasajeros. Dentro del transporte de carga, muchas veces no se toma en cuenta enfoques de otras áreas, como la movilidad urbana, cuyos factores principales son la movilidad y sostenibilidad, conceptos que también deben ser aplicados al transporte de carga y tener en cuenta como este puede afectar en distintos aspectos a la planificación del transporte de una ciudad, es por esta razón que se hace necesario evaluar qué pasa con el transporte de carga en referencia a grandes generadores, como lo son los centros comerciales y en general la dinámica con el tráfico de una ciudad.



### 2.3. Modelos de viajes

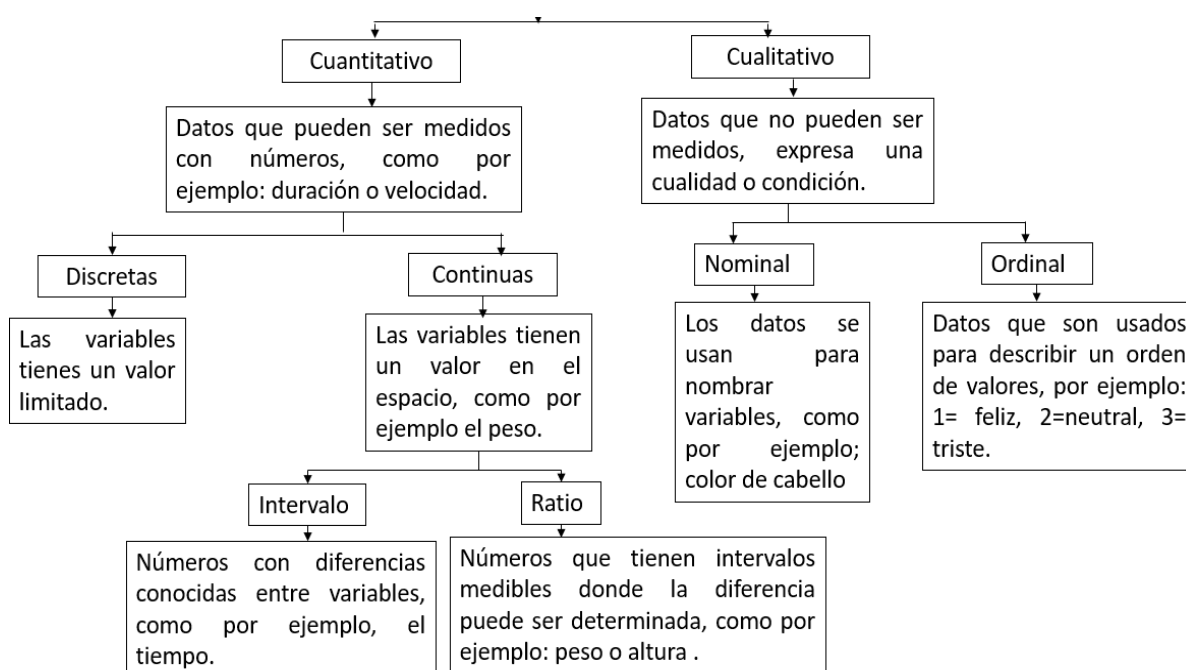
En el estudio de la generación de viajes para la planificación del transporte, suelen utilizarse algunos métodos estadísticos para la formulación de modelos que describan la generación de viajes en un territorio específico. La aplicación de dichos modelos suele utilizarse para el análisis de escenarios actuales y futuros, y dependiendo del nivel de aplicación, ya sea a nivel del hogar o a nivel zonal, se utilizarán ciertas variables particulares en su procedimiento. Un método empleado para la estimación de los modelos de generación de viajes corresponde al método de regresión lineal y no lineal, tomando en cuenta que los modelos lineales siempre son más fáciles de aplicar por su simplicidad. Su aplicación se enfocará en la generación de viajes a nivel zonal, teniendo en cuenta la información suministrada en la base de datos generada para esta investigación. Los modelos, con frecuencia se constituyen por modelos empíricos que son simplificaciones de estructuras más complejas y desconocidas (Walpole et al., 2007).

Se realizan dos tipos de construcciones de modelos, los modelos de naturaleza econométrica que son estimados usando técnicas estadísticas para asegurar que los parámetros disminuyan al máximo las perturbaciones, y los modelos de tasas que no son estadísticamente estimados y se concluyen con base relaciones entre variables por ejemplo viajes sobre área, viajes sobre empleo etc., dichas tasas pueden presentar problemas ya que muestran un comportamiento constante que no es aplicable en todos los casos.

#### 2.3.1. Naturaleza de los datos.

Para realizar un modelo, lo más aproximado a la realidad, es necesario identificar los datos y variables con los que se contará, y definir que tipos de variables son, por lo tanto en la Figura 4 se describe los distintos tipos de datos con los que se puede trabajar.

Figura 4: Tipos de datos



Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los datos, se los podrá clasificar según la Figura 4, para de esta manera realizar los modelos correctamente.

Los modelos que se realizan serán evaluados según las variables escogidas, teniendo en cuenta que el propósito de esta investigación es estimar el número de viajes de carga (atracción), entonces la variable dependiente será el número de eventos de entrega en un día y las variables independientes serán todas las variables que puedan caracterizar al centro comercial, y que puedan ser accesibles dentro de las encuestas, entrevistas y base de datos obtenida para el desarrollo de esta investigación.

Los datos exigen una caracterización estadística, algunas de estas características hacen parte de la estadística descriptiva y deben manejarse al realizar un análisis preliminar de la información por cada variable, también pueden existir datos propios de cada estudio, en este caso muchas veces la cantidad de carga transportada puede estar medida en toneladas transportadas en un viaje (camión), u otros indicadores como: cantidad de viajes por tipo de establecimiento, cantidad de empleados necesarios para mover la mercancía, etc. (Mafla Hernandez, 2020)

### 2.3.2. Modelos multivariantes

En lugar de considerar solo una variable de entrada y una variable de salida, como en los modelos univariantes, los modelos multivariantes toman en cuenta múltiples variables de entrada y pueden predecir múltiples variables de salida, sin embargo, para esta investigación solo existe una variable de salida, que es el objetivo de esta investigación. Estos modelos son utilizados en diversas áreas, como estadística, econometría, ciencias sociales, ingeniería y ciencias de la salud, entre otras, ya que permiten analizar y comprender las relaciones complejas entre múltiples variables y cómo afectan a los resultados o las respuestas deseadas. (Tesis et al. 2022)

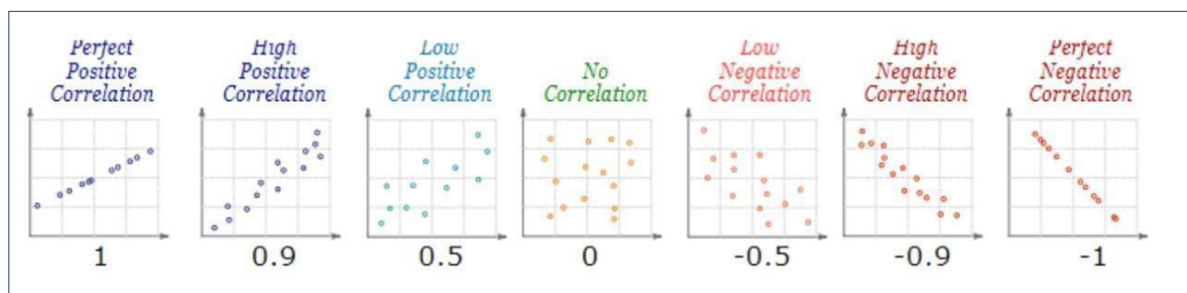
En un modelo multivariante, se considera que las variables de entrada o independientes tienen un efecto simultáneo en una o más variables de salida o dependientes. Estas variables pueden ser cuantitativas o cualitativas, y pueden incluir características o atributos que se cree que están relacionados entre sí. La construcción de un modelo multivariante implica el uso de técnicas estadísticas y matemáticas para analizar los datos y determinar cómo se relacionan las variables entre sí. Algunas de las técnicas comunes utilizadas en la construcción de modelos multivariantes incluyen la regresión lineal múltiple, el análisis de componentes principales, la regresión logística, entre otras. Estos modelos proporcionan una forma más completa y sofisticada de comprender las relaciones y patrones en los datos al considerar múltiples variables en lugar de tratarlas de manera aislada. Un ejemplo común de modelo multivariante es la regresión múltiple, donde se busca establecer una relación entre una variable de salida y varias variables de entrada, teniendo en cuenta la contribución de cada variable independiente en la variable dependiente. Otro ejemplo es el análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), que busca encontrar las combinaciones lineales de variables de entrada que expliquen la mayor cantidad de variabilidad en los datos.

En esta investigación, los modelos que se desarrollaron fueron modelos multivariantes, en los que se consideran múltiples variables en su formulación y análisis

### 2.3.3. Correlación de datos

La correlación estudia la asociación entre dos o más variables, para una mejor interpretación del concepto, en la Figura 5, se puede observar diferentes valores del coeficiente de correlación y sus diagramas de dispersión correspondientes. El signo nos indica la dirección de la relación en el diagrama de dispersión, un valor positivo indica una relación directa o positiva, un valor negativo indica relación indirecta, inversa o negativa, un valor nulo indica que no existe una tendencia entre ambas variables (puede ocurrir que no exista relación o que la relación sea más compleja que una tendencia, por ejemplo, una relación en forma de U). La magnitud nos indica la fuerza de la relación, y toma valores entre -1 a 1. Cuanto más cercano sea el valor a los extremos del intervalo (-1 o 1) más fuerte será la tendencia de las variables, o será menor la dispersión que existe en los puntos alrededor de dicha tendencia. Cuanto más cerca del cero esté el coeficiente de correlación, más débil será la tendencia, es decir, habrá más dispersión en la nube de puntos. Si la correlación tiene valores 1 o -1, es “perfecta” y si la correlación vale 0, las variables no están correlacionadas (Dagnino, 2014)

Figura 5: Diferentes valores del coeficiente de correlación y su correspondiente diagrama de dispersión



Fuente: Ferrero, R. (2020).

### 2.3.4. Regresión lineal

La regresión lineal es una técnica de análisis de datos que predice el valor de datos desconocidos mediante el uso de otro valor de datos relacionado y conocido. Modela matemáticamente la variable desconocida o dependiente y la variable conocida o independiente como una ecuación lineal (Tesis et al. 2022)

El objeto básico de la econometría consiste en especificar y estimar un modelo de relación entre las variables económicas relativas a una determinada cuestión conceptual. En su forma más general y, por tanto, más abstracta, tal modelo de relación puede representarse como indica la ecuación 1 (Novales, 2010)

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k; \beta) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $Y$  es la variable cuyo comportamiento se pretende explicar, y  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$  son las distintas variables que se suponen potencialmente relevantes como factores explicativos de la

primera. El vector denota una lista de parámetros que recogen la magnitud con que las variaciones en los valores de las variables  $X_i$ , se transmiten a variaciones en la variable  $Y$ . y  $\beta$  es una constante desconocida que representa la pendiente de la regresión, si la regresión es múltiple, las constantes  $\beta$  también aumentan acompañando a las variables independientes (Ecuación 2).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_K X_K \quad \text{Ecuación 2}$$

En la ecuación 2 se puede evidenciar que los parámetros transmiten directamente efectos inducidos por los valores de las variables  $Y$ , sobre la variable  $Y$ , que se pretende explicar.

La estimación de tales relaciones se efectúa a partir de información muestral acerca de los valores tomados por  $Y, X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ , y trata de cuantificar la magnitud de la dependencia entre ellas. (Novales 2010)

#### 2.3.4.1. Modelo de Regresión lineal simple

La regresión lineal simple considera una sola variable explicativa  $X$ :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad \text{Ecuación 3}$$

Para aplicaciones prácticas se dispone de una muestra de observaciones de ambas variables, y el modelo anterior sugiere que la relación entre las dos variables se satisface para cada una de las observaciones correspondientes. En algunas ocasiones se especifica modelos de relación como la ecuación 3 con el objeto de estimar el comportamiento de determinados agentes económicos. En algunos casos de tratará de una muestra de datos temporales, y tendremos una relación de tipo (Ecuación 4) para cada instante de tiempo. Para ello, se considera el modelo:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 2.3.4.2. Criterios para la selección de variables y modelos

Para poder elegir adecuadamente una variable es necesario considerar lo siguiente: Si el investigador dispone de varias opciones para definir operacionalmente una variable, debe elegir la que proporcione más información sobre la variable, capte mejor su esencia, se adecue más a su contexto y sea más precisa. O bien, una mezcla de tales alternativas. Con un criterio del investigador y con un conocimiento previo del tema, se puede elegir las variables que podrán brindar más información y así al momento de elegir un modelo, se podrá elegir el modelo más aproximado a la población. Cuando se tiene varios modelos de regresión, se utilizan algunos criterios estadísticos para seleccionar el modelo de regresión que brinde los resultados más precisos y válidos, de acuerdo con el caso de estudio que se tenga, entre esos criterios se encuentra la distribución t-Student, Prueba F – Fisher y Coeficiente de determinación  $R^2$ . (Barcellos y Campos, 2019)

- T-Student: Este parámetro es una herramienta estadística que se utiliza para comprar la media de los grupos de datos y determinas si son significativamente diferentes entre sí, la t-Student para muestra, que es el caso de esta investigación, es una técnica utilizada para determinar si la media de una muestra es estadísticamente diferente de una media

poblacional conocida o hipotética, esta prueba se utiliza cuando la población no sigue una distribución normal o cuando el tamaño de la muestra es pequeño (menor a 30).

- Prueba F-Fisher: Es una distribución de probabilidad continua y a su vez de la razón de dos varianzas provenientes de dos poblaciones diferentes, mediante esta distribución se puede determinar la probabilidad de ocurrencia de una razón específica con n grados de libertad en muestras de tamaño n1 y n2. Los grados de libertad son los números de movimientos simples que puede tener un cuerpo o un punto material. Se obtiene restando UNO al número de elementos de la muestra.
- El coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, es un coeficiente que permite medir estadísticamente como las diferencias en una variable pueden ser explicadas por la diferencia en una segunda variable al predecir el resultado de un evento determinado. En otras palabras, este coeficiente, que se conoce más comúnmente como R-cuadrado (o R<sup>2</sup>), evalúa la fuerza de la relación lineal entre dos variables, y es muy utilizado por los investigadores cuando realizan análisis de tendencias.

### 2.3.5. Función de regresión muestral o análisis de regresión basado en la teoría econométrica.

El análisis de regresión se relaciona con la estimación o predicción de la media (de la población) o valor promedio de la variable dependiente, con base en los valores conocidos o fijos de las variables explicativas, al unir los puntos de las medias condicionales de Y graficados en diferentes valores de X se obtiene la línea de regresión poblacional (LRP) (Gujarati y Porter 2010).

- Función de regresión poblacional

La ecuación 5 indica la media poblacional, la cual está en función de X<sub>i</sub>, donde X<sub>i</sub>, es un valor dado de X.

$$E(Y) = f(X_i) \tag{Ecuación 5}$$

Donde f(X<sub>i</sub>) denota alguna función de la variable explicativa X, en una situación real no se dispone de toda la población para efectuar este tipo de análisis, por lo tanto, la ecuación anteriormente mostrada es empírica, mientras que una aproximación a una forma más real sería (Ecuación 6):

$$E(Y) = \beta_1 + \beta_2 X_i \tag{Ecuación 6}$$

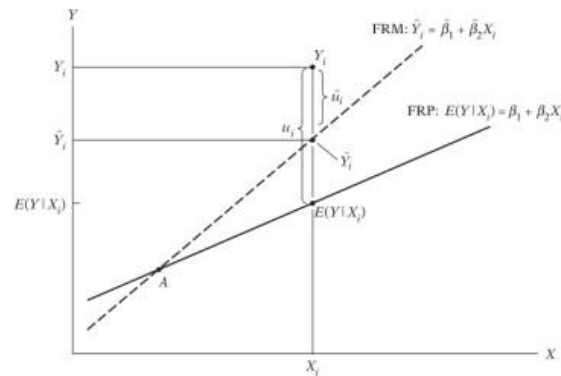
Donde β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub> son denominados parámetros fijos, esta forma también es llamada regresión, ecuación de regresión o modelo de regresión. Adquieren el nombre de regresión lineal porque geométricamente es una recta y puede ser lineal en las variables como en los parámetros.

En la mayoría de los casos y por la limitación de la obtención de datos, estas rectas no son realizadas sobre la población sino sobre una muestra, como se observa en la ecuación 7.

$$\tilde{Y} = \tilde{\beta}_1 + \tilde{\beta}_2 X_2 + \tilde{\psi} \tag{Ecuación 7}$$

donde  $\tilde{Y}$ ,  $\tilde{B}$  y  $\tilde{E}$  son estimadores o estadísticos muestrales de  $E(Y|X_i)$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  respectivamente, también se estima un residual que recoge todos los errores o variables que nos son considerados en el modelo ( $u_i$ ). El valor arrojado se conoce como estimación. La Figura 6 muestra geoméricamente estos dos conceptos.

Figura 6: Función de regresión muestral y función de regresión muestral estimada



Fuente: Gujarati y Porter (2010)

En la Figura 6, se indica que la línea continua corresponde a la función de regresión poblacional, mientras que la línea entrecortada corresponde a la función de regresión de la muestra (FRM), lo que se busca con esta regresión, es estimar la función de regresión poblacional (FRP) a partir de la función de regresión muestral.

### 2.3.6. Regresión no lineal

La teoría estadística dedicada a los modelos lineales en los parámetros es muy amplia, debido en gran parte a sus múltiples aplicaciones y a la fácil interpretación de los resultados obtenidos de este tipo de análisis. Si embargo, hay fenómenos observables que no pueden ser explicados por modelos lineales, por ejemplo, el desarrollo de una teoría en la química o la física, en tales situaciones un modelo no lineal en los parámetros se puede ajustar mejor. Hoy en día es más viable gracias al progresivo avance de los computadores, la aplicación de modelos no lineales en fenómenos donde el conjunto de parámetros no puede expresarse en forma lineal.

La regresión no lineal es un método utilizado en estadística y aprendizaje automático para modelar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. A diferencia de la regresión lineal, donde la relación se modela mediante una función lineal, la regresión no lineal permite modelar relaciones más complejas utilizando funciones no lineales, en la regresión no lineal, se busca encontrar la mejor función que se ajuste a los datos observados, de manera que minimice la diferencia entre los valores predichos y los valores reales de la variable dependiente. Esto se logra mediante técnicas de optimización que buscan encontrar los parámetros de la función no lineal que minimizan el error, técnicas que serán mencionadas más adelante.

Las funciones no lineales pueden tener diversas formas, como polinomios de grado superior, funciones exponenciales, logarítmicas, trigonométricas, entre otras. La elección de la función no lineal depende del problema específico y del conocimiento previo sobre la relación entre las

variables. Es importante tener en cuenta que la regresión no lineal no implica necesariamente una relación causal entre las variables, sino que busca encontrar una función que se ajuste a los datos observados. Además, la regresión no lineal puede ser más compleja y computacionalmente exigente que la regresión lineal, ya que puede requerir métodos numéricos iterativos para encontrar la solución óptima. (Barcellos y Campos, 2019)

A continuación, se describen algunos pasos que se pueden tener en cuenta para llevar a cabo un análisis no lineal:

1. **Definición del problema:** Comienza por definir claramente el problema que desea analizar y las variables involucradas. Identifica la variable dependiente y las variables independientes relevantes.
2. **Recopilación de datos:** Reúne los datos necesarios para llevar a cabo el análisis. Asegurarse de contar con datos precisos y completos de todas las variables involucradas.
3. **Selección del modelo no lineal:** Elige una función o modelo no lineal que se ajuste a la naturaleza de tus datos y a la relación que esperas encontrar entre las variables. Esto puede requerir conocimientos previos sobre el tema o realizar pruebas con diferentes modelos.
4. **Ajuste del modelo:** Utiliza técnicas de optimización para ajustar los parámetros del modelo no lineal a los datos observados. Estas técnicas buscan minimizar la diferencia entre los valores predichos por el modelo y los valores reales de la variable dependiente en el conjunto de datos.
5. **Evaluación del ajuste del modelo:** Evalúa la calidad del ajuste del modelo a través de medidas de error o bondad de ajuste. Estas medidas pueden incluir el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error cuadrático medio (ECM) u otros indicadores específicos del tipo de análisis no lineal que estás realizando.
6. **Interpretación de los resultados:** Examina los parámetros estimados del modelo y trata de interpretar su significado en relación con el problema que estás analizando. Se pueden utilizar pruebas de significancia estadística para determinar si los parámetros son estadísticamente diferentes de cero.
7. **Validación del modelo:** Realiza una validación cruzada o utiliza conjuntos de datos independientes para evaluar la capacidad predictiva del modelo. Esto ayudará a determinar si el modelo no lineal es generalizable y puede ser utilizado para hacer predicciones precisas en nuevas situaciones.

Es importante destacar que el análisis no lineal puede ser un proceso iterativo, donde se prueban diferentes modelos y se refinan los ajustes en función de los resultados obtenidos. Además, es recomendable contar con conocimientos sólidos en estadística y software estadístico para llevar a cabo un análisis no lineal adecuado. Existen varios modelos y enfoques que se utilizan para la regresión no lineal, algunos de los más comunes son los siguientes:

1. **Regresión polinomial:** Este enfoque se basa en utilizar funciones polinomiales de grado superior para modelar la relación entre las variables. Se pueden ajustar polinomios de diferentes grados, como cuadráticos, cúbicos, etc.

2. Regresión exponencial: Este modelo se utiliza cuando se espera que la relación entre las variables siga una función exponencial. Puede ser útil cuando hay un crecimiento o decaimiento acelerado en los datos.
3. Regresión logística: La regresión logística se utiliza cuando la variable dependiente es binaria o categórica. Aunque el nombre incluye "regresión", en realidad es un modelo de clasificación. Utiliza una función logística para modelar la probabilidad de pertenecer a una clase en función de las variables independientes.
4. Regresión no lineal basada en funciones: En este enfoque, se utilizan funciones no lineales específicas para modelar la relación entre las variables. Algunos ejemplos de funciones no lineales comunes son las funciones exponenciales, logarítmicas, entre otras.
5. Métodos basados en árboles: Los árboles de decisión y los algoritmos basados en ellos, como los bosques aleatorios y la potenciación de la gradiente, pueden manejar relaciones no lineales. Estos modelos dividen el espacio de características en regiones más pequeñas y permiten ajustes no lineales en cada una de ellas.
6. Redes neuronales: Las redes neuronales son modelos flexibles y potentes que pueden capturar relaciones no lineales complejas. Al utilizar múltiples capas ocultas y funciones de activación no lineales, las redes neuronales pueden aproximar cualquier función, incluyendo relaciones no lineales.

Para el caso en específico de esta investigación, existen modelos no lineales que han sido desarrollados y han logrado analizar una medida de la carga o la actividad de servicio (Ecuación 8) *FSA (Freight & Service Activity)* ( Holguín-Veras et al, 2016).

$$F_i = \varphi E_i^\gamma \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$F_i$  = nivel de actividad de carga del establecimiento.

$\varphi$  = Parámetro del coeficiente

$E$  = Variable de evaluación

Estos modelos han sido usados en el estudio de generación de viajes debido a que:

1. Son flexibles y capaces de acomodar patrones de viajes
2. Consistentes con el modelo de cantidad de orden económica (EOQ Model)
3. Son una buena aproximación a los pedidos de los establecimientos comerciales

Para este caso, los modelos no lineales se dan de tres tipos, lineal-logarítmico, logarítmico-lineal y logarítmico-logarítmico:

$$\text{Lineal} - \log Y_i = \beta_0 + \beta_1 * \ln(X_1) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\text{Log} - \text{lineal} \ln(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 * X_1 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\text{Log} - \log \ln(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(X_1) \quad \text{Ecuación 11}$$

La ecuación 9, 10 y 11 permitirá evaluar cada modelo de 3 maneras diferentes, para de esta manera elegir cual es el modelo más adecuado y cual arroja parámetros estadísticos más



confiables.

### Corrección por sesgo de modelos no lineales

Es importante mencionar que a pesar de que estos modelos permiten una mejor estimación de los viajes, cuando se realiza una transformación logarítmica no solo las variables regresoras se alteran sino también el error que acompaña a cada una de ellas. Por ello cuando se desea predecir usando log-log, log-lin o lin-log es necesario multiplicar por un factor de corrección  $e^{\frac{s^2}{2}}$ , donde  $S^2$  es la varianza de los residuales. Además, el concepto de homocedasticidad dentro de esta corrección es de suma importancia, ya que la homocedasticidad es una propiedad deseable de los errores de un modelo de regresión simple, ya que permite hacer modelos más fiables. Aplicando los modelos no lineales y sus transformaciones a la generación de viajes se llega a lo siguiente:

#### Modelo log-log sin corrección por sesgo

$$\ln(Y) = \beta_1 \ln(X)$$

$$Y = e^{(e^{\beta_1 \ln(x)})}$$

Ecuación 12

Donde:

Y = variable dependiente

X = variable independiente o de estudio

$\beta_1$  = Coeficiente de la variable X.

#### Corrección por sesgo para el Modelo log - log

La estimación está asociada a un término de error producto de los valores, que muchas veces las variables no captan, este término se simboliza por  $\varepsilon$  quedando expresada de la siguiente manera:

$$\ln(Y) = \beta_1 \ln(X) + \varepsilon$$

Ecuación 13

Donde:

Y = variable dependiente o de estudio

X = variable independiente

$\varepsilon$  = término de error

$\beta_1$  = Coeficiente de la variable X.

Aplicando logaritmo exponencial a ambos lados

$$Y = e^{(\beta_1 \ln(x) + s)}$$

Ecuación 14

$$Y = e^{(\beta_1 \ln(x))} * e^s$$

Ecuación 15

Según (Miller 1984)

$$\varepsilon = \frac{\sigma^2}{2}$$

Haciendo  $\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$  obtenemos,

$$Y = \beta * e^{(\beta_1 \ln(x))}$$

Ecuación 16

En las ecuaciones 13 y en la ecuación 16 se define como realizar la corrección del modelo log – log y lograr obtener un modelo lineal para más facilidad y manejabilidad del modelo final.

#### Corrección por sesgo para el modelo log - lineal

Para el caso del modelo logarítmico-lineal también se aplica una corrección por sesgo del modelo quedando expresado como se muestra a continuación.

$$\ln(Y) = \beta_1 X + \varepsilon$$

$$Y = e^{\beta_1 X + \varepsilon}$$

Según (Miller 1984)

$$\varepsilon = \frac{\sigma^2}{2}$$

Se obtiene:

$$Y = \beta \times e^{(\beta_1 X)}$$

Ecuación 17

Para elegir el modelo adecuado, es importante tomar en cuenta, que el modelo debe cumplir con dos condiciones: debe ser conceptualmente válido y estadísticamente significativo. La tabla 2 resume las ecuaciones anteriormente mostradas y sus combinaciones:

Tabla 2: Combinaciones de modelación

Variable dependiente	Variable independiente	
	$x_i$	$\ln(x_i)$
y	Lineal – Lineal (Lin-Lin) $y = C + \beta_i X_i$	Lineal – Logarítmica (Lin-Log) $y = C + \beta_i \ln(X_i)$
$\ln(y)$	Logarítmica – Lineal (Log-Lin) $\ln(y) = C + \beta_i X_i$	Logarítmica – Logarítmica (Log-Log) $\ln(y) = C + \beta_i \ln(X_i)$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$y$ : número de viajes.

$C$ : constante del modelo.

$\beta_i$ : coeficiente de la variable  $x_i$ .

$x_i$ : variables explicativas.

Dado que el interés del modelo es obtener el número de viajes atraídos a los establecimientos, no el logaritmo de los viajes (es decir, el interés es  $y$ , no  $\ln(y)$ ). Por lo tanto, los modelos deben transformarse de nuevo como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Ecuaciones transformadas

Variable dependiente	Variable independiente	
	$x_i$	$\ln(x_i)$
y	Lineal – Lineal (Lin-Lin) $y = C + \beta_i X_i$	Lineal – Logarítmica (Lin-Log) $y = C + \beta_i \ln(X_i)$

In (y)	Logarítmica – Lineal (Log-Lin)  $y = C^* \cdot e^{\beta_i X_i} \cdot \alpha^*$	Logarítmica – Logarítmica (Log-Log)  $y = C^* \cdot X_i^{\beta_i} \cdot \alpha^*$
--------	--	---

Donde:

$y$ : número de viajes.

$C^* = e^c$ : constante del modelo.

$\beta_i$ : coeficiente de la variable  $X_i$

$X_i$ : variables explicativas.

$\alpha^* = e^\alpha$ : corrección del sesgo.

#### 2.4. Transporte de carga

Como se ha recalcado a lo largo de esta investigación, el transporte de carga constituye un pilar fundamental en la dinámica industrial de cualquier país. Se trata de una función logística que permite dinamizar el flujo de los productos, y en la cual se encuentran inmersos cerca del 45% al 50% de los costos logísticos totales de una compañía, lo que la convierte en un factor clave del éxito para la entrega oportuna de materia prima y productos terminados a los clientes finales de la cadena logística, y en un polo generador de valor para la organización (Mora García, 2014)

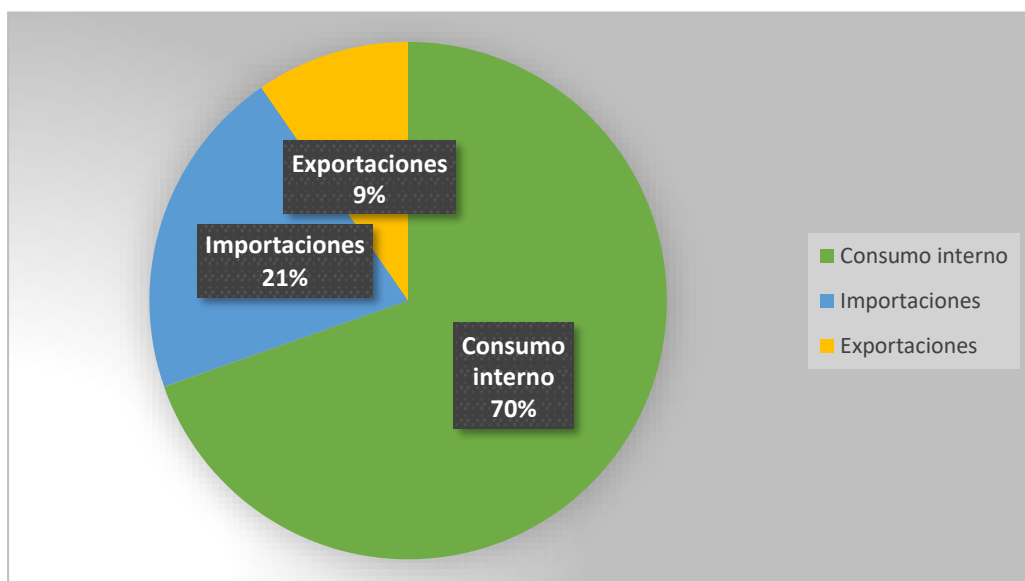
Si bien el transporte de carga puede ser mediante varios modos, uno de los más usados y en el cual se enfocará esta esta investigación, es el modo de transporte carretero, el cual, tiene como ventaja principal, la utilización de una infraestructura vial universal, donde prácticamente se puede acceder a cualquier punto desde el origen de la carga, sin necesidad de efectuar transbordos, lo que hace que para la distribución nacional sea el sistema más generalizado. (Mora García, 2014). Otra de las ventajas que hace que este tipo de transporte sea el óptimo es que sus costos están en una escala promedio, en cuanto a los costos de transporte aéreo que suelen ser mucho más altos, y el ferrocarril o marítimo que es bajo o medio/bajo, por lo tanto, la accesibilidad, fiabilidad y una velocidad razonable en torno a los 95km/h constituyen sus principales atributos (Mora García, 2014).

La dinámica de una sociedad consiste en el consumo de bienes y servicios diarios, por lo cual el rol del transporte de mercancías y productos desde los centros productivos y logísticos hacia los centros de consumo son vitales para la economía de cualquier sociedad, específicamente, en este caso se puede hablar de dos tipos de consumo. Por un lado, el consumo interno, en el cual se movilizan bienes que se intercambian entre las diferentes regiones del país por carretera. Por otra parte, el consumo de productos importados en el cual las cargas se mueven desde los puertos terrestres (zonas fronteras del país), marítimos y aéreos con destino a los municipios del país (Ariza et al., 2022). En cuanto al comercio exterior, por una parte, se encuentran las exportaciones que son los bienes producidos en el territorio nacional, pero cuyo objetivo es que sean consumidos en el exterior. Para ello, se deben transportar los productos desde los centros productivos del país hacia los puertos de salida – terrestres, marítimos o aéreos – de modo que sea posible su comercialización en el extranjero (Ariza et al., 2022)

Por otra parte, se encuentran las importaciones, que si bien juegan en contra de la balanza comercial del país –y sobre las cuales se sustrae del PIB el efecto de los bienes, materias primas, insumos y servicios producidos en el extranjero, pero consumidos y utilizados en el país para producir y/o reexportar–, que desde la perspectiva de carga transportada tienen un efecto relevante por cuanto representan también un movimiento de mercancías (Ariza et al., 2022)

Todos los productos y servicios que llegan a un centro comercial pueden ser de producción nacional o extranjera, es decir la dinámica que se ejerce en un centro comercial en cuanto a su transporte de carga es muy interesante, ya que al centralizar establecimientos de distintos tipos en un mismo espacio físico permite que sean varias las empresas que ofrecen el servicio de transporte de carga y que generalmente, no existe una comunicación y logística que permita optimizar tiempos y espacios, en cuanto al mismo. El efecto combinado de transporte de carga de los diferentes flujos (importaciones y exportaciones) para el año base 2019 en Colombia representó una movilización de 286 millones de toneladas de carga en viajes intermunicipales terrestre, de las cuales 69,6% correspondieron a consumo interno, 20,8% a importaciones, y el 9,6% restante a exportaciones, como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7 Distribución de carga en Colombia



Fuente: Elaboración propia

Por lo mencionado anteriormente, la planeación de la logística del transporte de carga por carretera es fundamental para potencializar las etapas de producción de bienes, su traslado y comercialización, al igual que su consumo final bien sea dentro del país o en el exterior. En este contexto, se caracterizan las dinámicas de la oferta y la demanda de carga terrestre en pro de estructurar medidas que contribuyan a disminuir la brecha entre estas dos variables, permita generar estrategias para hacer más costo eficiente en la prestación del servicio, y provea herramientas para definir componentes de política pública para fortalecer a los integrantes de la cadena de transporte. (Ariza et al., 2022)

Como menciona Ariza et al (2022), comprender las dinámicas de la demanda de carga en una región típicamente implica poder dar respuestas a las siguientes preguntas:

- Estructura económica y productiva: ¿Cuáles son los sectores de las actividades económicas que tienen lugar en las diferentes regiones del país? ¿Cuáles son los productos que se producen y se comercializan tanto a nivel nacional como en el exterior con socios nacionales e internacionales?
- Localización y redes para el transporte de carga: ¿Cuáles son los principales orígenes y destinos del movimiento de la carga? ¿Cuáles son los tiempos de viajes entre los principales orígenes y destinos?
- Logística: ¿Cómo es la logística nacional de carga? ¿Cómo se caracterizan los tiempos logísticos para cada tipo de producto?
- Flujos de demanda implica entender: ¿Cuáles son los pesos y volúmenes de transporte de carga? ¿Cuál es la cantidad de viajes que se realiza entre los diferentes orígenes y destinos?

Si se logra responder todos estos cuestionamientos, entonces se pueden evaluar metodologías y desarrollar nuevas leyes públicas que permitan mejorar y ejercer un control sobre el transporte de carga. Esto podría aplicarse a la dinámica del transporte de carga en grandes generadores como lo son los centros comerciales, ya que como se ha venido mencionando a lo largo de esta investigación, los centros comerciales son de los pocos espacios públicos en donde se concentran todos los tipos de productos y servicios en una misma área, como, por ejemplo: alimentos, ropa, herramientas para el hogar, muebles, entidades bancarias, entidad de salud, etc. Es de gran importancia el estudio de la demanda de transporte de carga en áreas urbanas, ya que está relacionado directamente con el crecimiento de los problemas de transporte en estas áreas (incluyendo centros comerciales) tomando en cuenta, que el movimiento de carga afecta y es afectado, por las condiciones de circulación dentro de los grandes centros urbanos (Barcellos y Campos 2019.)

El transporte urbano de carga constituye una actividad importante e inquietante. Cada vez más, se observan esfuerzos para medir y controlar los movimientos de carga dentro de los centros de las ciudades. Para las personas, garantiza directamente un suministro adecuado en las tiendas, así como la entrega de productos en los diferentes hogares. Para las empresas establecidas dentro de los límites de una ciudad, forma un vínculo vital con proveedores y clientes. También es importante tomar en cuenta que la industria del transporte urbano de mercancías es una fuente importante de empleo (Cheah, Mepparambath y Ricart Surribas, 2021)

En la mayoría de las ciudades latinoamericanas, no existen o son mínimos los controles de tráfico de mercancías, generalmente lo que se puede encontrar son normas municipales de acceso, velocidad, estacionamiento, dimensiones y cargas máximas de los vehículos, etc. Es decir, no existe control ni coordinación de las actividades de distribución. En consecuencia, se observan gran cantidad de vehículos de carga de varias dimensiones. La carga vehicular promedio es baja

y muchos vehículos viajan vacíos, los centros comerciales son un claro ejemplo de lo mencionado anteriormente, ya que en muchos de estos establecimientos los espacios destinados para el transporte de carga no están bien definidos y los vehículos ocupan espacios y vías públicas (Imagen 1). (Crainic, Ricciardi y Storchi, 2004)

Figura 8: Vehículo de carga en espacio público.



Fuente: Imagen propia.

También es digno de mención que en muchos países hay pocos controles, en especial en los países en vía de desarrollo y rara vez se cumplen las normas. El doble estacionamiento de la mayoría de los vehículos de carga es un ejemplo muy revelador, se ha observado en efecto, que incluso cuando hay espacio de estacionamiento reservado disponible, los vehículos de distribución se estacionan en doble fila para ahorrar tiempo (Crainic, Ricciardi and Storchi, 2004)

Todas estas dinámicas que se observan en los vehículos de carga, son mucho más palpables en centros comerciales, ya que al ser varios establecimientos dentro de un mismo lugar, generalmente no existe el espacio suficiente y tampoco la disponibilidad de los conductores para respetar los espacios, ya que como se mencionó, muchos de ellos por ahorrar tiempo y combustible prefieren generar un doble estacionamiento en las vías públicas, este comportamiento debe ser eliminado, pero para que esto pueda suceder, debe existir un conjunto de normas y acciones tanto públicas, como privadas que exijan estas soluciones.

Muchos de los productos y servicios que tienes como destino final un centro comercial, se mueven dentro, fuera y a través de una ciudad. En muchos casos, el tráfico entrante y saliente no está equilibrado. Este es el caso de Roma (Italia), donde el volumen de carga con destinos dentro del centro es mayor que el que se exporta fuera de la ciudad. Esta diferencia entre los flujos de

mercancías entrantes y salientes constituye una de las causas del alto nivel de viajes vacíos que se puede observar en la mayoría de las ciudades importantes de los diferentes países del mundo (Crainic, Ricciardi y Storchi, 2004).

El fenómeno de que exista gran cantidad de viajes vacíos y, en general, de los altos volúmenes de vehículos de carga es la granularidad muy fina de las decisiones de distribución y envíos. Así, con excepción de contener productos básicos (p. ej., distribución de carne entera en canal) o grandes organizaciones (públicas y privadas), grandes supermercados o cadenas de tiendas en general), no hay coordinación de distribución, ni entre los transportistas ni entre las empresas comerciales que originan o solicitan fletes, el transporte de carga debe ir siempre vinculado estrechamente con la logística, si no existe esta relación, seguirán existiendo todos los problemas que se ha mencionado en cuanto al transporte de carga (Crainic, Ricciardi, y Storchi, 2004)

Es común, por ejemplo, presenciar cómo varios camiones se detienen uno tras otro en frente a un centro comercial. En la actualidad se gestiona la distribución para la mejor eficiencia del remitente o receptor comercial, sin ninguna consideración por el impacto que pueda tener en el sistema de transporte y las dificultades que pueda generar para la ciudad en general (Crainic, Ricciardi, and Storchi, 2004)

En los últimos años, se ha evidenciado un surgimiento y aumento del uso de plataformas logísticas intermodales (a veces también llamadas centros de distribución de la ciudad) que vinculan la ciudad con la región, el país y el mundo. Estas plataformas reciben camiones grandes y vehículos más pequeños dedicados a la distribución local (justamente estos son los vehículos que tienen como destino final los centros comerciales), y ofrecen instalaciones de almacenamiento, clasificación y consolidación (desconsolidación), así como una serie de servicios relacionados a esta actividad, como contabilidad, asesoría legal, corretaje, etc (Cheah, Mepparambath y Ricart Surribas, 2021)

Las plataformas intermodales son instalaciones independientes situadas cerca de las carreteras de acceso o de circunvalación, o están situadas dentro o cerca de terminales aéreas, ferroviarias o de navegación. Las plataformas intermodales son un paso importante hacia una mejor organización logística de la ciudad (Bektaş, Crainic y Van Woensel 2017) (Bektaş, Crainic, y Van Woensel 2017). Todas estas plataformas y además el uso más eficiente de las capacidades de los vehículos a través de la coordinación y consolidación del transporte de carga, pueden ayudar a abordar los problemas que existen dentro del transporte de carga, un ejemplo para mejorar esta dinámica fue una condición implementada por las autoridades en Mónaco, la cual prohíbe todos los camiones grandes en la ciudad, es así que la carga destinada a la ciudad tiene que ser entregada primero al centro de distribución de la ciudad, posteriormente un solo transportista se hace cargo de la distribución final con vehículos especiales (Cheah, Mepparambath y Ricart Surribas, 2021).

Otra iniciativa que se podría replicar son las estrictas prácticas de concesión de licencias en varias ciudades holandesas que imponen restricciones en la carga de los vehículos y el número total de

viajes, y fomentan el uso de vehículos de electricidad, si las leyes y los requerimientos para obtener permisos de conducir son más estrictos, menos personas podrán adquirir este beneficio, por lo cual habrá menos conductores en las calles, es decir menos vehículo y en consecuencia menos congestión vehicular. Esto ha dado lugar a que los transportistas inicien actividades de colaboración para consolidar los envíos y reducir el número de viajes. Se pueden observar actividades similares en varias ciudades alemanas, donde los transportistas han establecido (con la ayuda de las autoridades municipales) servicios de distribución de carga en donde los envíos se consolidan y distribuyen cooperativamente (Cheah, Mepparambath y Ricart Surribas, 2021).

Los Sistemas Inteligentes de Transporte se están convirtiendo poco a poco en una realidad en muchas ciudades. Simultáneamente, se ve un número cada vez mayor de vehículos de carga equipados con dispositivos de localización y comunicación (e incluso informáticos) y un despliegue de una serie de sistemas de operación de vehículos comerciales en el transporte de larga distancia (por ejemplo, peso en movimiento, autorización previa, identificación electrónica y manifiesto). También se han introducido sistemas de gestión de flotas (AFMS) para planificar y operar ciertas flotas, por ejemplo, mensajería urgente y las principales empresas de camiones (Crainic, Ricciardi, y Storchi, 2004).

Todas las iniciativas mencionadas previamente han presentado resultados positivos en las ciudades, por lo cual adaptándolo a las condiciones de cada lugar pueden ser replicadas y aplicadas para mejorar la logística del transporte de carga en ciudades congestionadas, como es Medellín, nuestro caso de estudio, enfocado en centros comerciales los cuales son grandes generadores de viajes de carga.

### 2.5. Grandes generadores de viajes de carga

Según la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos) de Bogotá, los grandes generadores son los usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen superior a un metro cúbico mensual. (López-Rodríguez et al. 2019) Los grandes generadores de mercancías obedecen a una actividad económica, razón por la cual es necesario realizar una caracterización para empezar a conocer las actividades comerciales que se involucran dentro de un gran generador. Esta clasificación debe tener relación con estándares internacionales, como por ejemplo la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas—CIIU, (Adaptada et al., 2022). Su objetivo principal es proporcionar un conjunto de categorías de actividades que puedan utilizarse para la recopilación y presentación de informes estadísticos de acuerdo con esas actividades. La Tabla 4 muestra la clasificación internacional industrial uniforme.

El informe realizado por el DANE (2019) sobre la clasificación industrial uniforme de todas las actividades económicas (CIIU), manifiesta que esta clasificación se da debido a procesos o un grupo de operaciones que combinan recursos como mano de obra, técnicas de fabricación e insumos, para la producción de bienes y servicios.

Para Jaller, Wang, y Holguín-Veras (2015) una decisión acertada fue agrupar los grandes generadores de acuerdo con los elementos de la muestra que se requiere estudiar. La Tabla 5



muestra la caracterización acorde a los tipos de establecimientos principales que puede seguirse para investigaciones en áreas urbanas.

Tabla 4: Clasificación industrial internacional uniforme

<b>Grupo</b>	<b>Descripción de la actividad principal</b>
A	Producción agropecuaria, forestación y pesca
B	Explotación de minas y canteras
C	Industrias Manufactureras
D	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
E	Suministro de agua; alcantarillado, gestión de desechos y actividades de saneamiento
F	Construcción
G	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de los vehículos de motor y de las motocicletas
H	Transporte y almacenamiento
I	Alojamiento y servicios de comida
J	Información y comunicación
K	Actividades financieras y de seguros
L	Actividades inmobiliarias
M	Actividades profesionales, científicas y técnicas
N	Actividades administrativas y servicios de apoyo
O	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria
P	Enseñanza
Q	Servicios sociales y relacionados con la Salud humana
R	Artes, entretenimiento y recreación
S	Otras actividades de servicio
T	Actividades de los hogares en calidad de empleadores, actividades indiferenciadas de producción de bienes y servicios de los hogares para uso propio
U	Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales
V	Anexo al manual de Clasificación Industrial Internacional Uniforme, revisión 4

Fuente: Elaboración propia a partir de Adaptada et al (2022)

Tabla 5: Agrupación de grandes generadores en áreas urbanas

Código de generador	Descripción
1	Grandes hoteles
2	Grandes centros comerciales
3	Grandes hospitales
4	Grandes plazas de mercado
5	Grandes empresas
6	Grandes edificios empresariales
7	Grandes edificios de interés (e.g., museos, estadios)
8	Grandes Universidades
9	Otros

Fuente: Elaboración propia a partir de Mafla, 2020

Tomando en cuenta la Tabla 5, nuestra investigación se enfoca en el grupo 2 (Grandes centros comerciales).

## 2.6. Centros comerciales

Para la cámara de comercio de España (Cámara de comercio de España, 2004) las características que definen a un Centro Comercial Urbano son principalmente las siguientes:

- Se trata de un espacio urbano delimitado donde existe una oferta comercial atractiva y diversa de comercios, servicios y de otras actividades complementarias.
- Cuenta con una oferta de servicios conjuntos por parte de los negocios.
- Cuenta con una gestión profesionalizada.
- Existe una percepción por parte de los usuarios de que se trata de una zona con identidad propia.
- Proyecta una imagen común de área comercial que refuerza la idea de destino comercial.
- Se ubica en un entorno urbano atractivo, accesible y confortable.

El primer centro comercial, según la historia, fue ubicado en Roma, junto a la vía del foro imperial, el Mercado de Trajano es considerado como el primer centro comercial de la historia. Su origen lo encontramos entre los años 107 y 110 construido por órdenes del emperador Trajano (Empresas y Productos, 2016), el tamaño de este mercado era de 6 niveles, cada uno con sus propias tiendas y una gran cantidad de productos comercializados en ellas. Sus más de 150 tiendas lo sitúan como el primer punto en la historia de los centros comerciales. (Empresas y Productos, 2016) (Empresas y Productos 2016). La historia también menciona que los primeros centros comerciales modernos fueron los bazares de oriente, los cuales fueron construidos en Damasco, la capital de Siria, en el siglo XIX. El nombre de este centro comercial era Al-Hamidiyah y se ubicaba en el Zoco de Damasco, junto con este centro comercial también destaca el gran bazar de Isfahan del siglo XVII, además del bazar de Teherán con sus 10 kilómetros de puestos. Otro de los antecedentes es el bazar de Estambul el cual sigue activo hoy en día con más de 4 mil tiendas. Muchos creen que el

lugar donde se construyó el primer centro comercial moderno es en medio oriente (Ward, 2005). (Ward 2005). Los centros comerciales tal y como los conocemos actualmente se consideran un invento del arquitecto austriaco-americano Víctor Gruen, quien, en 1952 definió su visión en un artículo de la revista *Progressive Architecture*, donde concibió el primer prototipo de centro comercial cerrado en Edina Minnesota, en 1956, su idea inicial era incluir en el conjunto, viviendas, escuelas, espacios públicos y vegetación, finalmente omitió en su realización estos elementos y toda la innovación se concentró en el formato de “espacio cerrado para compras”(Ward, 2005). Posteriormente la Victor Gruen Associates, siguió realizando un gran número de shopping malls, llegando a definir una tipología específica de edificios con este fin comercial. El increíble éxito económico de los centros comerciales en América del Norte venía reforzado por el estilo consumista del American “Way of Life” (Estilo de vida) y de manera progresiva muchas ciudades acabaron por abandonar su centro urbano al convertir el centro comercial en el contenedor de la vida social o el lugar de encuentro para los adolescentes (Ward, 2005)

En Latinoamérica se podría decir que estos establecimientos han evolucionado a su propia manera a lo largo del tiempo. El primer centro comercial cubierto en Sudamérica abrió en São Paulo en 1966, el Shopping Iguatemi, este centro comercial brasileño transformó las dinámicas geoespaciales de la compra en toda la región. En São Paulo, el Shopping Iguatemi atrajo lentamente a la clase alta y la distanció del distrito clásico de boutiques de la Rua de Augusta (Ward, 2005). En 1969, el Plaza Universidad, diseñado por Sordo Madaleño, uno de los primeros arquitectos mexicanos de hoteles y centros comerciales, abrió sus puertas en las afueras de México D.F, en la zona de moda, la Ciudad Universitaria (Ward, 2005)

Aunque muchos aspectos del diseño en estos complejos reflejaban gustos europeos o locales, las estructuras mismas, con un amplio parqueadero para el acceso de automóviles, zona de restaurantes y salas de cine, ilustraban la creciente influencia estadounidense sobre las culturas de compra latinoamericanas. Estas nuevas estructuras no sólo introdujeron la arquitectura comercial en la región, sino que proporcionaron un lugar donde se podían ver y comprar marcas importadas (Ward, 2005)

La idea de un centro comercial en Colombia nació por parte de Pedro Gómez y Compañía S.A. hace más de 40 años, con un concepto integrado que él llamaba ciudades dentro de las ciudades. La historia de Unicentro de Bogotá es bastante conocida. En 1974 era descabellado para muchos emprender una obra como ésta, que hoy es orgullo de los bogotanos y es por esta razón que en esa época hubo numerosos y grandes problemas que Pedro Gómez Barrero y sus socios tuvieron que enfrentar, dado que nadie creía en estos proyectos, inclusive cuando el edificio estaba prácticamente terminado, los rumores de quiebra persistían (El Tiempo, 1993). Pero Unicentro se constituyó en la mayor sorpresa, pues llegó a ser el más grande polo de desarrollo de Bogotá y se amplió con la denominación de Multicentro, pues ya no solamente albergaba una zona de

comercio, sino que a su alrededor florecieron grandes edificios de apartamentos y la valorización de la tierra la constituyó en el sector más atractivo de la ciudad (Muñoz Echavarría, 2016)

El primer centro comercial construido en Medellín fue el centro comercial San Diego en el año 1972. Al ser Medellín una ciudad altamente conocida por su comercio y sus grandes industrias textiles, hace que la existencia y la nueva construcción de centros comerciales sea siempre un área de inversión en una de las ciudades más importantes de Colombia, es por esta razón que se hace de gran importancia analizar la manera en que se están construyendo estos establecimientos, ya que muchas veces no se evalúan factores externos o las externalidades negativas que pueden ocasionar, además de evaluar también el estado actual de los centros comerciales ya existentes. Pionera en el desarrollo de polos urbanísticos dedicados al comercio, Medellín posee más de treinta complejos de esta naturaleza. Almacenes, bancos, cines, restaurantes, bares, los centros comerciales de la ciudad se han convertido también en lugares de recreación y descanso, por la belleza arquitectónica que los distingue y las actividades colectivas que ofrecen (Muñoz Echavarría, 2016)

Figura 9: Clasificación de centros comerciales según su área.



Fuente: Acecolombia, 2022.

Según el portal América Retail, al cierre del año 2021 Medellín y su área metropolitana tienen un total de 36 centros comerciales que aportan 1.033.923 m<sup>2</sup> de GLA (área de vida bruta, en sus siglas en inglés). GLA es un método de medición de bienes inmuebles que utiliza las dimensiones exteriores del edificio por piso para determinar el área de vida bruta sobre el nivel del suelo. La medición del condominio se basa en las dimensiones del perímetro interior (Métodos de medición de bienes inmuebles - Estudiando 2020). Este método de medición excluye sótanos, áticos y garajes, incluso si están terminados. Al informar el GLA. El Área metropolitana del valle de Aburrá tiene el segundo mercado más grande de centros comerciales a nivel nacional concentrando el 17% del GLA nacional en operación, que son los que están registrados hasta el cierre del año 2021, que aportan 1.033.923 m<sup>2</sup> de GLA (Puente-Mejía et al. 2020)

A lo largo de los años, se ha podido observar que principalmente en los grandes centros comerciales el aumento creciente de la demanda de transporte de carga, asociado a la falta de planificación, ha estado provocando un impacto negativo y expresivo en el tráfico urbano, empeorando los problemas de congestión, de contaminación sonora y atmosférica (Barcellos y Campos 2019). Aunque esta situación perjudica a varios sectores de una sociedad, incluyendo las empresas productoras o distribuidoras de carga, es importante comprender que sin el transporte de carga en áreas urbanas la sociedad no sobrevive porque la subsistencia de la misma depende de la circulación de la mercancía y para que esto suceda se tiene un número expresivo de camiones que circulan diariamente en el área urbana abasteciendo tiendas, supermercados, puestos de combustible, residencias y centros comerciales, que es el enfoque de esta investigación, entonces dentro de este contexto, cuanto más grande sea la población urbana más grande será la demanda por bienes y servicios y, por consiguiente, la demanda de circulación de vehículos de carga en áreas urbanas (Barcellos y Campos, 2019)

Los centros comerciales actualmente permiten que en un solo lugar existan varios servicios y productos agrupados dentro de una sola estructura física, lo cual atrae a varias personas que por motivos de entretenimiento o necesidades (alimentación, servicio de pagos públicos o entidades bancarias), decidan visitar estos lugares, es decir, los visitantes pueden muchas veces no realizar una compra, sino simplemente visitar estos espacios con el fin de una actividad de entretenimiento o recreacional.

Con la evolución de estos grandes generadores, también se ha ido dinamizando las actividades dentro de estos, una nueva dinámica que ha aparecido en los últimos años es el coworking, que consiste en espacios compartidos en los que profesionales autónomos, teletrabajadores y empresarios se dan cita para trabajar, y donde los gestores del espacio intentan conectar y crear oportunidades profesionales y personales entre y para sus miembros (Mundo coworking, 2018). Algunos centros comerciales de ciudades urbanas, como es el caso de Medellín brindan estos espacios para las personas que deseen usarlo, y esta es otra de las razones por las cuales existen más atracción de viajes, una variable que será importante considerar dentro del análisis, ya que si bien esta investigación se desarrolló en torno a la generación de viajes de carga, el hecho de que existan más personas atraídas a estos espacios, hará que exista más demanda de productos y servicios para cumplir con las necesidades de este grupo de personas.

A pesar de que los centros comerciales permiten dinamizar la economía de una ciudad, país y región, es también cierto que existen factores que no son tan positivos, como el tráfico generado en los alrededores por los visitantes y el tráfico por el transporte de carga, es aquí donde esta investigación toma importancia, dado que, en caso de que sean nuevos establecimientos sería de mucha utilidad un estudio que permita predecir la cantidad de viajes de carga que llegará a estos, para así determinar los espacios que se deben designar para esta actividad.

## Capítulo 3

### 3. Metodología para el estudio de viajes de carga en centros comerciales

La propuesta que se desarrolló para esta investigación comprendió varias etapas, iniciando con una revisión exhaustiva de la bibliografía existente sobre el tema a tratarse. Una vez que se ha evaluado y se ha analizado toda la documentación, se procedió a realizar el correspondiente marco teórico involucrando todos los conceptos necesarios para poder avanzar con un correcto análisis y de esta manera cumplir con los objetivos planteados. Posteriormente a haber realizado la revisión bibliográfica y con base al marco teórico, se definió un tamaño muestral, el cual se obtuvo a partir de cálculos estadísticos y matemáticos, y basándose en la teoría que se ha desarrollado dentro de esta investigación. Además, es importante mencionar que el tamaño muestral fue definido con base en el alcance de esta investigación, después de haber determinado el tamaño muestral adecuado se procedió a realizar el trabajo de campo. Dicho trabajo de campo consistió en la elaboración de encuestas y entrevistas, las cuales se realizaron en primera instancia generando contactos con los centros comerciales. Las encuestas que se realizaron fueron diseñadas con anterioridad en función de la información que se desea obtener, y considerando recomendaciones y experiencias de trabajos previos, además las encuestas se diseñaron con base a la teoría existente y con la ayuda de expertos en el tema.

En el campo de la investigación empírica es frecuente el recurso de la encuesta muestral cuando no se dispone de fuentes secundarias fiables referentes al tema que interesa estudiar. En estos casos la encuesta se presenta, casi siempre, como la única alternativa posible, ya que la realización de un censo resultaría inviable, no solo por sus elevados costes, sino también por lo prolongado del proceso de recogida y tratamiento de la información referida a todo el universo (Rodríguez, Ferreras y Núñez 2000). Por otra parte, con la encuesta se puede obtener mayor exactitud que con el censo, y, además, los niveles de precisión que sean necesarios para la investigación. La mayor exactitud suele provenir de personal más cualificado en la recogida de la información mediante encuesta, debido a que se requiere un número muy inferior de agentes entrevistadores que, de agentes censales, y, en consecuencia, se puede controlar más el proceso y seleccionar y preparar mejor al personal (Rodríguez, Ferreras y Núñez, 2000).

Para poder garantizar la precisión de las estimaciones que han de dar paso a la inferencia estadística, la muestra debería constar de un número suficiente de elementos, elegido al azar, tal que proporcione una seguridad estadística de que los resultados que se obtengan de ella puedan, dentro de los límites estimados, representar realmente el universo, lo que quiere decir que para que se pueda hacer inferencia estadística es necesario que se trate de muestreos aleatorios adecuadamente dimensionados. (Rodríguez, Ferreras, y Núñez 2000)

Se ha de trabajar con muestreos aleatorios porque son los únicos en los que se puede fijar el nivel de confianza y calcular los errores de muestreo. El nivel de confianza expresa la probabilidad de acertar en la estimación, y los errores de muestreo indican la bondad de esta. Cuando se trabaja con datos que provienen de encuesta, porcentajes, medias, totales, etc., no basta con ofrecer los resultados, sino que, además, es imprescindible conocer el nivel de confianza con que se está operando y la precisión de las estimaciones. Estos cálculos son posibles cuando se realizan muestreos aleatorios, a los que se aplica la teoría de probabilidades (Rodríguez, Ferreras y Núñez, 2000). Las muestras han de estar adecuadamente dimensionadas porque el nivel de confianza y la precisión de las estimaciones guardan estrecha relación con el tamaño muestral. Un mayor nivel de confianza garantiza una mayor probabilidad de acertar, pero sólo se consigue aumentando el número de elementos de la muestra. Por su parte, la precisión de las estimaciones guarda relación inversa con el error muestral. Cuanto menos sea éste, menor es la dispersión de la distribución del estimado y, consiguientemente, la precisión es mayor (Rodríguez, Ferreras y Núñez, 2000). El nivel de confianza y el nivel de precisión son conceptos estrechamente relacionados que acortan la validez de la estimación. El primero hace referencia a la probabilidad de acertar, y el segundo refleja los errores de muestreo, es decir, la distribución del estimador. Dicho de otra forma, el primero indica la probabilidad de que, en el segundo, los errores de muestreo, no rebasen determinados límites. Cuando se dice, por ejemplo, que para un nivel de confianza del 95.5 %, el error de muestreo es de  $\pm 2\%$ , lo que se está expresando es que hay una probabilidad del 95.5% de que el valor real que se trata de estimar se encuentre dentro de los límites definidos por la estimación (Rodríguez, Ferreras, and Núñez 2000). Después de haber realizado las encuestas y/o entrevistas a los centros comerciales establecidos, se procedió a transferir los datos a una base de datos, sin embargo antes de utilizar dicha base, se hizo una revisión y validación de los datos, con una correcta depuración de los datos, para así obtener resultados coherentes y lógicos y así lograr obtener modelos lo más aproximados a la realidad, para de esta manera predecir los comportamientos futuros dentro del tema de la generación de viajes de carga en centros comerciales de ciudades en países en vía de desarrollo. Además, para esta realización de modelos, se toman en cuenta las variables explicativas, las cuales son también conocidas como variables predictoras o variable independiente, que se utilizan en relaciones lineales para explicar los cambios en otra cantidad llamada variable de respuesta o variable dependiente. Este tipo de relación entre dos variables se puede observar en estudios experimentales donde una variable (*la explicativa*) se mantiene constante mientras se observa cómo los cambios en la otra (*la de respuesta*). La modelización realizada tomando en cuenta las variables explicativas permitió concluir y recomendar soluciones prácticas y eficaces para de esta manera poder implementar mejoras en cuanto a la planificación del transporte de carga en centros comerciales existentes y en futuros, dentro de ciudades en países en vía en desarrollo. A continuación, se irá detallando cada concepto que fue necesario para el desarrollo de esta investigación.

### 3.1. Identificación de la muestra de estudio.

El tamaño de la muestra y precisión de las estimaciones son conceptos inseparables. Si aumenta el tamaño de la muestra, también aumenta el nivel de precisión, es decir estos dos conceptos reflejan una estrecha relación, y cualquier variación de una de estas variables se refleja ya sea en el tamaño de la muestra o de la precisión. (Rodríguez, Ferreras, y Núñez, 2000)

La precisión hace referencia a la concentración de los valores estimados en torno al valor que se trata de estimar, de tal forma que la distancia entre el valor a estimar y el valor estimado sea pequeña. En términos estadísticos, que el valor estimado sea pequeño quiere decir que la precisión refleja la escasa dispersión de la distribución del estimador en el muestreo y se da cuando la magnitud de las desviaciones respecto a la media, obtenida por la reiteración del procedimiento de muestreo, es pequeño.

La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Es necesario aclarar que cuando se habla de población de estudio, el término no se refiere exclusivamente a seres humanos, sino que también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc.; para estos últimos, podría ser más adecuado utilizar un término análogo, como universo de estudio. Es importante especificar la población de estudio porque al concluir la investigación a partir de una muestra de dicha población, será posible generalizar o extrapolar los resultados obtenidos del estudio hacia el resto de la población o universo. Es conveniente que la población o universo se identifique desde los objetivos del estudio, y puede ser en términos clínicos, geográficos, sociales, económicos, etc.(Arias-Gómez, Villasís-Keever, y Miranda-Novales, 2016)

Los criterios que especifican las características que la población debe tener se denominan criterios de elegibilidad o de selección. Estos criterios son los de inclusión, exclusión y eliminación, que delimitan la población elegible. Los procedimientos de muestreo se dividen en dos grandes grupos: 1) muestreos probabilísticos o aleatorios y 2) muestreo no probabilístico. La diferencia entre ambos está dada por la utilización de métodos estadísticos para la elección de los sujetos (Arias-Gómez, Villasís-Keever, y Miranda-Novales, 2016).

Cuando la población es finita, como es el caso de estudio, se puede aplicar la ecuación 18, ya que un dato conocido es el tamaño de la población o el universo, y los demás parámetros son escogidos según el nivel de confianza que se desee. La definición de la muestra partiendo de un muestreo simple para una población conocida está definida como (Rodríguez, Ferreras, y Núñez, 2000):

$$n = \frac{N Z_a^2 p q}{d^2 (N-1) + Z_a^2 p q} \quad \text{Ecuación 18}$$

N = Total de la población

$Z_a = 1.96$  (si la confiabilidad es del 95%)

p = proporción esperada de respuesta afirmativa (en este caso 5% = 0.05)

q = 1 – p (en este caso 1-0.05) = 0.95

d= precisión (en investigación se emplea generalmente 5% o 10%)



En caso de que no se conociera la población la formulación quedaría establecida como indica la ecuación 19. (Rodríguez, Ferreras, y Núñez, 2000)

$$n = \frac{Z^2 p q}{d^2}$$

Ecuación 19

Los cálculos realizados son asumiendo una distribución normal, la distribución normal es un modelo teórico que sirve para aproximar satisfactoriamente el valor de una variable aleatoria continua a una situación ideal, es decir adapta una variable aleatoria continua a una función que depende de la media y la desviación típica. La distribución normal es la base de otras distribuciones como la distribución t de Student, distribución ji-cuadrada, distribución F de Fisher y otras distribuciones (Rodríguez, Ferreras, y Núñez, 2000). Los dos procedimientos indicados para calcular la muestra garantizan que todos los elementos tienen la misma importancia y probabilidad de ser seleccionados. En algunos casos, existen datos de estudios anteriores que deben ser complementados acorde a las necesidades que se requieran para la realización de los nuevos análisis.

### 3.2. Realización de encuestas.

Existen varios tipos de encuestas y entrevistas, las entrevistas personales son unas de las más adecuadas para este tipo de investigación, ya que logran un acercamiento más profundo entre el establecimiento y la institución que realiza el estudio, lo que permite generar un conocimiento de los procesos internos, lo cual favorece la interpretación posterior de los resultados. (Caballero ,2017) A pesar de esto, por tratarse de establecimientos complejos, es posible que la información no logre ser recolectada en su totalidad mediante un primer acercamiento, por lo que se debe realizar llamadas o visitas posteriores, sin embargo, es importante mencionar que hubo datos ya existentes, a los cuales se pudo acceder y fueron de gran utilidad para la realización de esta investigación.

La encuesta realizada es diseñada y evaluada previamente por el investigador y sus asesores académicos, además que, al principio del trabajo de campo, se realiza una prueba piloto, es decir se realizan encuestas en una fase inicial para observar el panorama más general y obtener una idea de que tan fácil era el acceso a la información. La encuesta se diseña con ayuda de los expertos, y con base al marco teórico existente para realizar este tipo de entrevistas dirigidas a establecimientos que se dedican a actividades comerciales.

La estructura de la entrevista es dividida en 3 secciones:

- a)** Información general del establecimiento: Se refiere a la información de contacto, información general del establecimiento que permita identificarlo y localizarlo.
- b)** Información relacionada a los vehículos y la forma como distribuyen la mercancía: Se refiere a la información de los vehículos que usan, si tienen operarios para manejar sus mercancías, la cantidad de parque automotor, el número de vehículos que utilizan, etc.

c) Información relacionada a los viajes del establecimiento: Se refiere a la información relacionada a los viajes de carga que genera cada producto y el peso de estos.

Todas las secciones que son tomadas en cuenta para la realización de las encuestas no son necesariamente para obtener datos cuantitativos o variables a considerarse para la modelación, muchas de las preguntas planteadas permiten obtener un panorama de la situación de cada establecimiento en específico, tomando en cuenta consideraciones que serán necesarias para las conclusiones y recomendaciones del final de esta investigación.

### 3.3. Base de datos generada.

Una vez que las encuestas han sido realizadas, es necesario realizar una interpretación y depuración de los datos, ya que en ocasiones dentro de las encuestas se pueden encontrar datos demasiado diferentes a los otros, lo cual no es imposible. Sin embargo, para realizar estos análisis se debe tomar en cuenta métodos estadísticos que permitan interpretar correctamente la eliminación, o cambio de datos, de ser el caso, es decir toda modificación que se haga a los datos tomados en campo deben ser sustentados mediante las probabilidades y matemáticas respectivas. Tomando en cuenta las respuestas y observaciones obtenidas de las encuestas, se procede a realizar la base de datos, en la cual se puede analizar los datos y tomar en cuenta ciertas decisiones, en base a lo mencionado en el párrafo anterior.

### 3.4. Estimación de modelos

Se estiman modelos lineales y no lineales debido a la relación entre las variables, la calidad del ajuste y la complejidad requerida para el análisis. Es importante evaluar cuidadosamente los datos y considerar la naturaleza del fenómeno antes de decidir qué tipo de modelo se utilizará. La elección entre aplicar un modelo lineal o no lineal depende de la naturaleza de los datos y la relación esperada entre las variables, se toman en cuenta algunas consideraciones:

Para la aplicación de un modelo lineal:

- Relaciones lineales: Si existe una clara relación lineal entre las variables independientes y dependientes, un modelo lineal puede ser apropiado. Por ejemplo, si los datos siguen una tendencia lineal en un gráfico de dispersión, un modelo lineal puede capturar adecuadamente esa relación.

Simplicidad: Los modelos lineales son más simples y computacionalmente más eficientes en comparación con los modelos no lineales más complejos. Si los datos se ajustan bien a un modelo lineal y no hay evidencia de una relación no lineal significativa, un modelo lineal puede ser preferible debido a su simplicidad.

Interpretación: Los modelos lineales suelen ser más fáciles de interpretar en términos de los coeficientes de regresión. Si la interpretación de los coeficientes lineales es suficiente para el análisis y la toma de decisiones, un modelo lineal puede ser adecuado.

Para la aplicación de un modelo no lineal:

- Relaciones no lineales: Si los datos presentan una relación no lineal, como una curva, un patrón exponencial o una relación compleja, un modelo no lineal puede ser necesario para

capturar adecuadamente esa relación.

- Mejor como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) o el error cuadrático medioajuste: Si un modelo lineal no ajusta bien los datos, es posible que se requiera un modelo no lineal para mejorar la calidad del ajuste. Esto se puede determinar mediante estadísticos de ajuste
- Complejidad adicional: Si hay conocimiento previo o evidencia de una relación no lineal significativa entre las variables, o si se espera que existan efectos no lineales en el fenómeno que se está estudiando, entonces un modelo no lineal puede ser más apropiado para capturar esa complejidad adicional.

Una vez aplicada correctamente toda la metodología anteriormente mencionada, se podrá elegir el modelo más adecuado para interpretar de la mejor manera el problema de esta investigación.

## Capítulo 4

### 4. Caso de estudio.

El caso de estudio para esta investigación es la ciudad de Medellín, ubicada en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) perteneciente al departamento de Antioquía en Colombia.

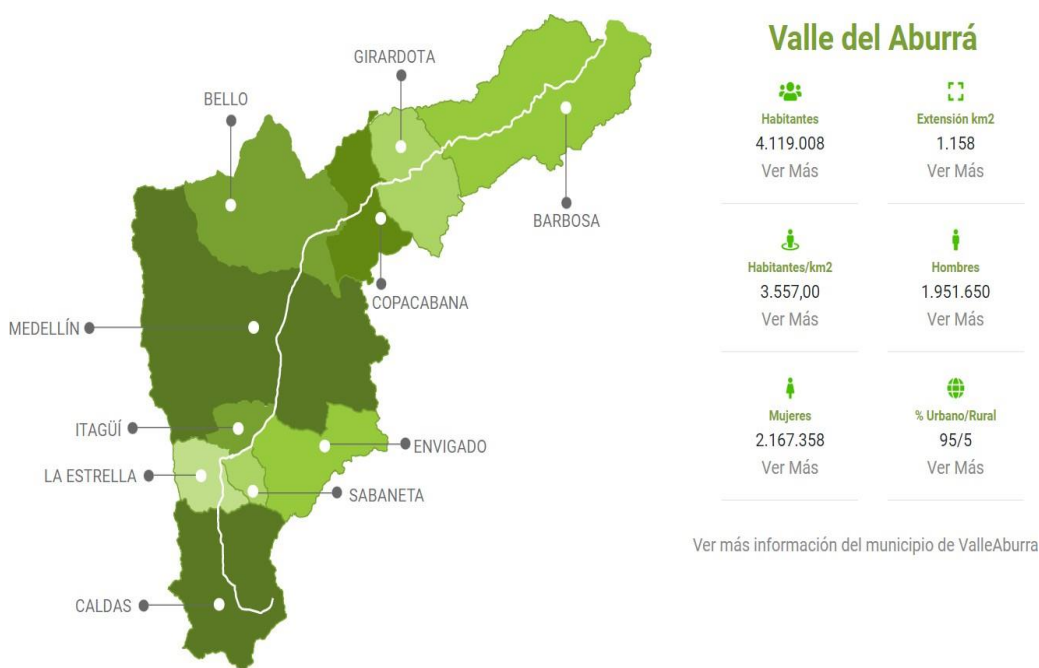
#### 4.1. Área de estudio.

Para definir el área de estudio, es necesario en primer lugar referenciar el país en el cual se está realizando esta investigación, es decir Colombia, país considerado en vía de desarrollo. Los países en desarrollo también llamados países de desarrollo intermedio o países en vías de desarrollo son aquellos cuyas economías se encuentran en pleno desarrollo, partiendo de un estado de subdesarrollo o de una economía de transición, desde el punto de vista de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), las naciones en vías de desarrollo comparten algunas características como: una economía en fase de transición, un desarrollo tecnológico desigual, un elevado déficit público y un alto índice de desempleo. (Ram y Dom, 2011). De acuerdo con el Banco Mundial de Desarrollo (2019), se considera como países en vía de desarrollo todos aquellos que tengan un ingreso medio-bajo o medio-alto (PIBM) o país menos desarrollado económicamente (LEDC), también se caracteriza por una base industrial menos desarrollada y un índice de desarrollo humano (IDH) bajo, así mismo, esta institución afirma que la cantidad de países en vía de desarrollo ha aumentado en los últimos años debido a que los países subdesarrollados (low income) han disminuido y han entrado en un periodo de transición y crecimiento económico. (EcuRed, 2019)

El Departamento de Antioquia, donde se encuentra Medellín, concentra el 12% de la población colombiana y aporta el 15% del Producto Interno Bruto PIB. (Ariza et al.,2022). La ubicación de la ciudad en un punto intermedio entre el centro del país y las regiones del Pacífico y el Caribe coloca a Medellín en una posición privilegiada para desarrollar programas de inversión económica con propósitos de exportación. Esta ventaja de competitividad refuerza el hecho de ser la capital latinoamericana con la mejor infraestructura de servicios públicos, a ello se suma la visión

empresarial y el temperamento comercial del paisa (como se le conoce al antioqueño en el resto del país), factores vitales para el surgimiento de negocios prósperos, estables y confiables. (Ariza et al. 2022). La industria concentrada en Medellín y su área metropolitana contribuye con el 60% de la economía del departamento. La producción textil es la actividad emblemática de Antioquia, y genera el 53% del empleo industrial en la región. Las principales empresas colombianas del ramo se originaron aquí: Fabricato, Coltejer, Tejcóndor, Vicuña, Fatelares, Everfit, entre otras (Ariza et al. 2022). La industria de textiles y confecciones exporta hoy sus productos a los mercados internacionales. El avance en este sector convierte a Medellín en la capital de la moda en Latinoamérica. Dos de las ferias especializadas que se realizan anualmente en el mundo se celebran aquí: Colombiamoda y Colombiatex. Según la página oficial del AMVA (<https://www.metropol.gov.co>) (Área Metropolitana del Valle de Aburrá) en abril del año 2023, la población del AMVA es de 4.119.008 habitantes distribuidos en los municipios que la conforman, que son: Medellín, Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas (Ver Figura 10).

Figura 10: Delimitación del área de estudio.



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2022)  
<https://www.metropol.gov.co/>

#### 4.2. Centros comerciales de la investigación

Para realizar la encuesta, se escogieron centros comerciales tipo mediano y grande según la imagen 3, considerando que ambos tipos de centros comerciales son considerados grandes generadores por la cantidad de residuos que generan. La razón por la cual se escogieron estos establecimientos fue que, en estos, es donde más se puede observar los conflictos que ocasiona el transporte de carga cuando no tiene las áreas adecuadas para su cargue y descargue. Una vez que fueron seleccionados los centros comerciales, se procedió a solicitar una reunión con la

administración para lograr realizar la entrevista de manera presencial. Dentro de este enfoque es importante mencionar la dificultad que muchas veces existe para acceder a estas entrevistas, ya que algunos de los entrevistados son muy esquivos a proporcionar estos datos, dentro de esta actividad hubo que entrevistar a personas que no necesariamente contaban con toda la información requerida en el formato de las entrevistas, como por ejemplo: guardias de seguridad, personas encargadas de otra actividad, etc. La encuesta se la realizó en cada uno de los establecimientos escogidos, entre octubre y diciembre de 2022. La encuesta planteó preguntas sobre número de empleados, superficie construida, número de proveedores, frecuencia de entrega, mercadería recibida por entrega, entre otros detalles, que podrán ser observados como anexos dentro de esta investigación. Una vez definido el universo, que en este caso son 36 centros comerciales en el AMVA y aplicando la ecuación 18, se obtiene que la muestra es de 13 centros comerciales.

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

$$n = \frac{(36) * (1,96)^2 * 0,05 * 0,95}{(0,1)^2 * (36-1) + (1,96)^2 * 0,05 * 0,95} = 12,33 = 13 \text{ centros comerciales.}$$

Según la ecuación 18 el número de centros comerciales a ser encuestados son 13, sin embargo, para la realización de esta investigación y por las facilidades de ciertos datos ya conocidos se han encuestado 16 centros comerciales, los cuales se indica en la Tabla 6.

Tabla 6: Centros comerciales elegidos para el estudio

	<b>CENTROS COMERCIALES</b>	<b>Ubicación (Municipio)</b>
1	Viva Envigado	Envigado
2	Santafe	Medellín
3	Oviedo	Medellín
4	El Tesoro	Medellín
5	Los Molinos	Medellín
6	Unicentro	Medellín
7	Mayorca	Sabaneta
8	Florida	Medellín
9	Fabricato	Medellín
10	Puerta del Norte	Bello
11	Aventura	Medellín
12	Premium Plaza	Medellín
13	San Diego	Medellín
14	Monterrey	Medellín
15	Arkadia	Medellín
16	Viva Laureles	Medellín

Fuente: Elaboración propia.

Los centros comerciales escogidos son los más representativos del AMVA, como se ha mencionado, el AMVA es uno de los centros urbanísticos más importantes de Colombia, y la segunda región que cuenta con más centros comerciales, es otra de las razones por las cuales es muy oportuno e interesante que el caso de estudio se realice ahí, ya que podría ser replicado para

otras regiones del país y del mundo con condiciones similares. Al tener en cuenta todos los factores que involucran la construcción o existencia de un centro comercial, es necesario preguntarse, si existe una planificación por partes de las autoridades respectivas para evaluar el impacto positivo o negativo que existirá dentro del entorno social de la zona donde existe o existirá estos establecimientos.

Los datos utilizados para el presente estudio fueron recogidos del estudio de carga realizado en el AMVA (Universidad Nacional de Colombia y Area Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019) y de las encuestas realizadas a los centros comerciales escogidos para esta investigación. Se encontró que las variables más influyentes que afectan los viajes carga para centros comerciales son el área total (incluyendo espacio de servicio y almacenamiento, en m<sup>2</sup>), número de locales comerciales y el número de estacionamientos de vehículos. Sin embargo, en la Tabla 7 se indican todas las variables con las que se realizaron modelos.

Tabla 7: Variables

Variable	Descripción
Locales comerciales	Número total de locales comerciales
Restaurantes	Número de restaurantes sin incluir cafeterías
Cafeterías	Número total de cafeterías
Servicios financieros	Número total de servicios financieros incluyendo casas de cambio
Servicios de salud	Número total de servicios de salud
Servicios educativos	Número total de servicios educativos
Comunicaciones	Número total de locales dedicados a la comunicación
Oficinas	Número total de Oficinas, sin incluir la oficina de administración del centro comercial
Estacionamientos de vehículos	Número total de estacionamientos de vehículos motorizados
Estacionamientos de motocicletas	Número total de estacionamientos de motocicletas
Cines	Número total de salas de cine
Área	Superficie total del establecimiento (incluidos los locales comerciales y de almacenamiento)
Empleados	Número total de empleados
Número de Pisos	Número total de número de Pisos, sin incluir pisos de estacionamientos

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que, si bien se modelo con todas las variables, hubo variables que no resultaron significativas para los modelos, cómo por ejemplo el número de salas de cine o número de cafeterías en los centros comerciales.

### 4.3. Modelos

#### 4.3.1. Modelos lineales.

Una vez que la información fue generada y depurada en una base de datos, se puede empezar a realizar los modelos, en los modelos lineales se analizaron todas las variables que fueron registradas en la base de datos, para de esta manera evaluar mejor el comportamiento en cuanto

a la estimación de generación de viajes en centros comerciales.

La variable dependiente considerada será la cantidad de viajes generados y como independiente todas las demás variables registradas.

La base de datos construida a partir de las encuestas origen-destino, contiene información de 15 variables distintas para cada uno de los 16 centros comerciales escogidos que conforman la muestra de estudio. Haciendo la revisión de estas variables, se identificó una categoría especial, la cual es: número de parqueaderos, que a su vez tiene una subcategoría que es parqueaderos de automóviles, de motocicletas y bicicletas, con la cual se realizará modelos con todas esas variables, para analizarlo de una manera más exhaustiva.

De todas las variables se hizo un análisis estadístico, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Análisis Estadístico de # de locales comerciales

<b># DE LOCALES COMERCIALES</b>	
Media	231,44
Error típico	26,11
Mediana	197,50
Moda	#N/D
Desviación estándar	104,45
Varianza de la muestra	10910,00
Curtosis	-0,86
Coefficiente de asimetría	0,65
Rango	337,00
Mínimo	91,00
Máximo	428,00
Suma	3703,00
Cuenta	16,00
Mayor (1)	428,00
Menor(1)	91,00
Nivel de confianza(95,0%)	55,66

Nota: #N/D significa que no existe ningún valor disponible para la moda.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se encontraron los datos estadísticos, se procedió a realizar un análisis tomando en cuenta la curtosis y el coeficiente de asimetría. La curtosis es una medida estadística que determina el grado de concentración que presentan los valores de una variable alrededor de la zona central de la distribución de frecuencias, mientras que el coeficiente de asimetría es la medida que indica la simetría de la distribución de una variable respecto a la media aritmética, sin necesidad de hacer la representación gráfica. Los coeficientes de asimetría indican si hay el mismo número de elementos a izquierda y derecha de la media. (Rodríguez, Ferreras, y Núñez, 2000)

Cuando existen muchas variables, es recomendable agrupar las variables que se consideren que comparten características, como por ejemplo en una zona de estudio amplia: la edad, el área de la zona, unidades de vivienda, estado civil, nivel de escolaridad, el nivel de ingresos, estructura



familiar, el modo de transporte, etc.

Los parámetros de correlación dentro de la estadística varían entre -1 y 1, cuanto más cercano sea el valor a los extremos del intervalo (1 o -1) más fuerte será la tendencia de las variables, o será menor la dispersión que existe en los puntos alrededor de dicha tendencia. Cuanto más cerca del cero esté el coeficiente de correlación, más débil será la tendencia, es decir, habrá más dispersión en la nube de puntos.

- si la correlación vale 1 o -1 diremos que la correlación es “perfecta”,
- si la correlación vale 0 diremos que las variables no están correlacionadas.

Para el estudio de transporte de carga se maneja un rango de (-0,7 a 0,7) , los cuales se consideran adecuados para definir si la correlación permite o no la modelación con las variables estudiadas. (Rodríguez, Ferreras, y Núñez, 2000)

Para esta investigación se realizó el test de correlación de Pearson, que es una prueba que mide la diferencia entre una distribución observada y otra teórica, es decir mide su bondad de ajuste, se realizaron varias correlaciones para esta investigación, alrededor de 10 combinaciones entre las diferentes variables para poder evaluar su comportamiento, en la Tabla 9, se puede observar una de las correlaciones realizadas, la tabla indica si las variables presentan (o no) evidencia de estar correlacionadas.

Tabla 9: Correlación de número de parqueaderos

	# DE ESTACIONAMIENTOS DE VEHÍCULOS	# DE ESTACIONAMIENTOS DE MOTOCICLETAS	# DE ESTACIONAMIENTOS DE BICICLETAS
# DE ESTACIONAMIENTOS DE VEHÍCULOS	1		
# DE ESTACIONAMIENTOS DE MOTOCICLETAS	-0,286962247	1	
# DE ESTACIONAMIENTOS DE BICICLETAS	0,288230866	-0,996100868	1

■ Values within range (-0,7 a 0,7)

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2 Modelos no lineales

Para los modelos no lineales, se aplicaron los mismos parámetros estadísticos de curtosis, asimetría y correlación, con la diferencia de que para modelos no lineales se realizan 3 combinaciones.

En la tabla 2 (Ver capítulo 2) se indica las combinaciones lineales y no lineales que se usaron en esta investigación para el proceso de elaboración de modelos. Cómo se mencionó anteriormente, en los casos en que la variable independiente se transforma logarítmicamente, debe añadirse un nuevo factor para corregir el sesgo causado por la transformación (Miller, 1984; Newman, 1993). Este nuevo término, denominado corrección del sesgo, se define como se muestra en la ecuación 20 (Ver capítulo 2).



### 4.3.3 Modelos lineales escogidos:

A continuación, se muestran los modelos lineales escogidos, tomando en cuenta que la variable **y** es el número de viajes calculados para una semana y la unidad son los viajes atraídos del centro comercial.

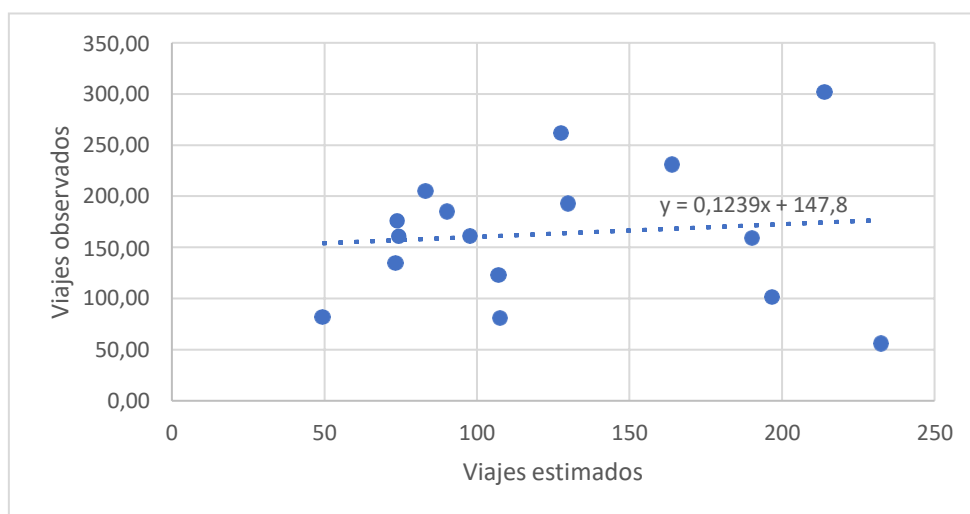
#### Modelo 1.

Variable escogida: Número de locales comerciales.

x: Número de locales comerciales.

Ecuación:  $y = 0,1239 x + 147,8$ .

Figura 11: Relación de viajes para número de locales comerciales



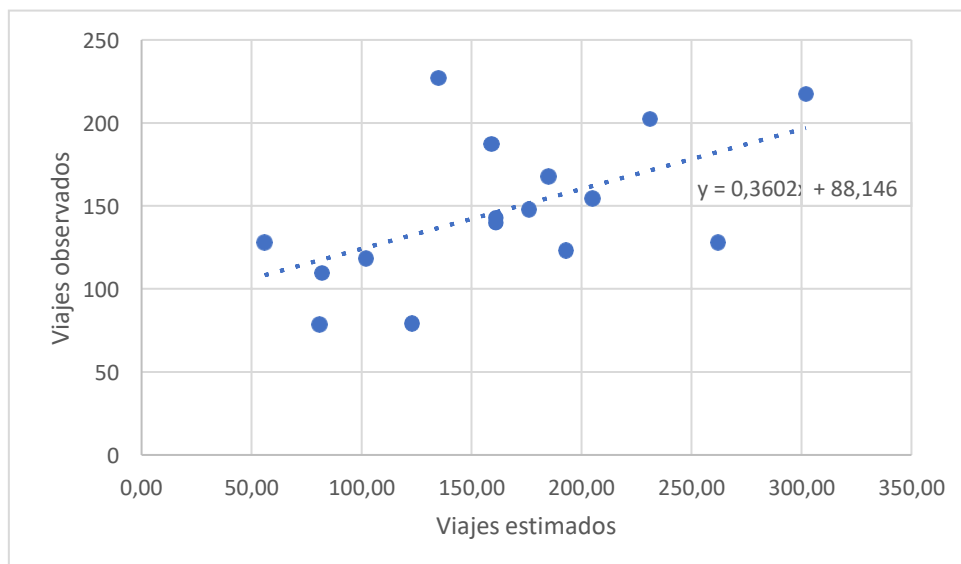
#### Modelo 2.

Variable escogida: Número de estacionamientos de vehículos.

x: Número de estacionamientos de vehículos.

Ecuación:  $y = 0,3602 x + 88,146$ .

Figura 12: Relación de viajes para número de estacionamientos de vehículos

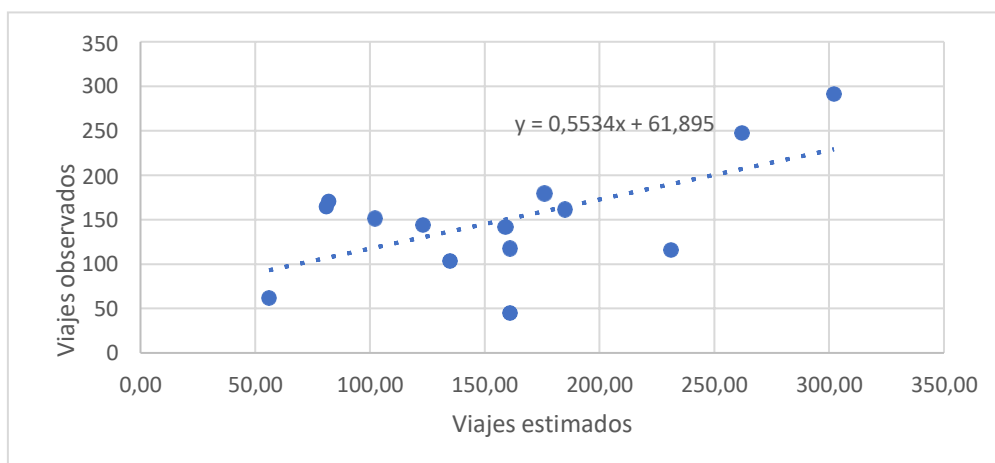


Modelo 3.

Variable escogida: Área de centro comercial (m<sup>2</sup>)

Ecuación:  $y = 0,5534 x + 61,895$ .

Figura 13: Relación de viajes para área de centro comercial



Para el modelo 4 y 5 se escogieron modelos multivariantes que también arrojaron valores estadísticos confiables en sus parámetros t de student y f de Fisher, se realizaron estas combinaciones ya que anteriormente estas variables se analizaron independientemente, por lo cual se hacía interesante modelar esta combinación, a continuación, se indica las ecuaciones correspondientes.

Modelo 4.

Variables escogidas:

$X_1$ : Número de estacionamiento de vehículos

$X_2$ : Área de centro comercial.

Ecuación:  $y = 0,0652 X_1 + 0,0010 X_2$

Modelo 5.

Variables escogidas:

$X_1$ : Número de locales comerciales

$X_2$ : Área de centro comercial.

Ecuación:  $y = 0,408 X_1 + 0,0012 X_2$

Para estos 5 modelos, los datos estadísticos son los mostrados en la Tabla 10:

Tabla 10: Modelos escogidos

Número de modelo	Tipo de modelo	Variable	Error típico	Estadístico t1	Estadístico t2	Coefficiente de determinación R2	F de Fisher	RMSE	Bias	n
Modelo 1	Lin-Lin	Locales comerciales	91,353	6,007		0,706	36,087	88,669	N/A	16
Modelo 2	Lin-Lin	Estacionamientos de vehículos	60,458	2,837		0,365	8,050	58,408	N/A	16
Modelo 3	Lin-Lin	Área de centro comercial	61,067	9,923		0,883	98,476	60,382	N/A	16
Modelo 4	Lin-Lin	Número de estacionamientos de vehículos y área de centro comercial.	58,259	5,995	3,240	0,904	65,918	55,143	N/A	16
Modelo 5	Lin-Lin	Locales comerciales y área comercial.	74,957	4,021	2,816	0,841	37,049	39,319	N/A	16

Por facilidad y practicidad del modelo, es mejor escoger un modelo con una variable, y no con varias, ya que, al ser más variables, obtener los datos se vuelve más complicado, por esta razón de los modelos lineales, el indicado para cumplir con el objetivo de esta investigación podría ser el modelo con mayor F de Fisher, si tenemos esa premisa, podemos seguir evaluando los demás parámetros estadísticos, el modelo 3 también muestra un error típico promedio dentro de todos los que están siendo analizados, un dato que también es apropiado, además como se observa en la figura 11 que corresponde a la variable dependiente del área del centro comercial, la línea de tendencia se ajusta más a la dispersión de datos, existiendo menos error. Es importante mencionar que, dado que la

variable de locales y área comercial no estaban correlacionadas, entonces se probó realizar el modelo con estas dos variables (Modelo 5), arrojando valores apropiados en cuanto a la F de Fisher, aunque no se puede descartar este modelo, como se mencionó al inicio de este párrafo es mejor escoger un modelo con una variable.

#### 4.3.4. Modelos no lineales escogidos.

Para los modelos no lineales y las 3 combinaciones con las que se realizaron los modelos, se escogió 2 modelos de cada combinación (Ver Tabla 11), los modelos presentados en la Tabla 11 se seleccionaron en función de su validez conceptual y su significación estadística. Todos los modelos escogidos dependen del área total del establecimiento o del número de locales comerciales. Por lo tanto, para la validez conceptual los modelos no tienen término constante, es decir, si no existe área o locales comerciales no se puede realizar ninguna actividad, por lo que no se puede atraer viajes de mercancías. Además, las variables son fáciles de obtener y los modelos no son complejos y dependen de una sola variable explicativa, misma razón por la cual se escogió entre los modelos lineales en el ítem anterior.

Tabla 11: Modelos no lineales

Tipo de modelo	Variable	Error típico	Estadístico t	R <sup>2</sup> Ajustado	F de Fisher	RMSE	Bias	n
Lin-Log	ln (Locales comerciales)	3,087	9,884	0,800	97,687	66,276	1,766	16
Lin-Log	ln (Área comercial)	1,747	8,857	0,781	78,444	67,414	1,785	16
Log-Log	ln (Locales comerciales)	0,608	32,863	0,920	1079,974	0,607	1,644	16
Log-Log	ln (Área comercial)	0,433	42,983	0,916	1847,573	0,433	1,649	16
Log-Lin	Locales comerciales	2,138	8,570	0,764	73,443	1,967	1,431	16
Log-Lin	Área	1,802	9,705	0,802	94,184	1,671	1,447	16

Dado que el área comercial y el número de locales comerciales no estaban correlacionados, se realizó un modelo con estas dos variables, para cada una de las 3 combinaciones y se obtuvieron los datos observados en la Tabla 12. Las demás variables (número de cines, número de cafeterías, o número de pisos) se probaron junto con el área y el número de locales, sin embargo, ninguna de ellas resultó significativa para los modelos.

Tabla 12: Modelos no lineales multivariantes

Tipo de modelo	Variable	Error típico	Estadístico t	R <sup>2</sup> Ajustado	F de Fisher	RMSE	Bias	n
Lin-Log	ln (Locales comerciales)	65,15	-0,174	0,8	51,309	60,932	1,648	16
	ln (Área comercial)		1,234					
Log-Log	ln (Locales comerciales)	0,429	0,888	0,922	1090,515	0,401	1,649	16
	ln (Área comercial)		4,009					
Log-Lin	Locales comerciales	1,826	5,582	0,805	53,588	1,609	1,482	16
	Área		2,56					

Según la información que se puede observar en la Tabla 13, el modelo que tiene el valor más alto de F de Fisher sería la combinación logarítmica – logarítmica, y además el error típico y RMSE con menor valor, lo que también indica que puede ser el modelo escogido, tomando en cuenta que el área comercial y el número de locales comerciales son datos de fácil acceso.

Tabla 13: Modelos recomendados para centros comerciales en función de locales comerciales y área.

Variable (s) independiente (s)	Centros comerciales
Número de locales comerciales	$\ln(FTA) = 0,929 * \ln(\text{locales comerciales}) + 1,644$
Área total del establecimiento	$\ln(FTA) = 0,481 * \ln(\text{área total}) + 1,649$
Número de locales comerciales y área total del establecimiento	$\ln(FTA) = 0,169 * \ln(\text{locales comerciales}) + 0,390 * \ln(\text{área total}) + 1,482$

Cómo se muestra en la Tabla 13, los modelos recomendados para centros comerciales transformados logarítmica – logarítmica dependen del número de locales comerciales y del área del establecimiento, a continuación, la Figura 14 y 16 estiman el número de viajes semanales de carga atraídos para número de locales comerciales y área del establecimiento respectivamente haciendo referencia al modelo de una sola variable.

Los puntos representan el número de viajes semanales de carga atraída para un número

específico de locales comerciales de un centro comercial (Figura 14 y 15) y el número de viajes semanales de carga atraída para un número específico de área comercial de un centro comercial. (Figura 16 y 17)

Figura 14: Modelo elegido con variable dependiente de número de locales comerciales sin ser transformado

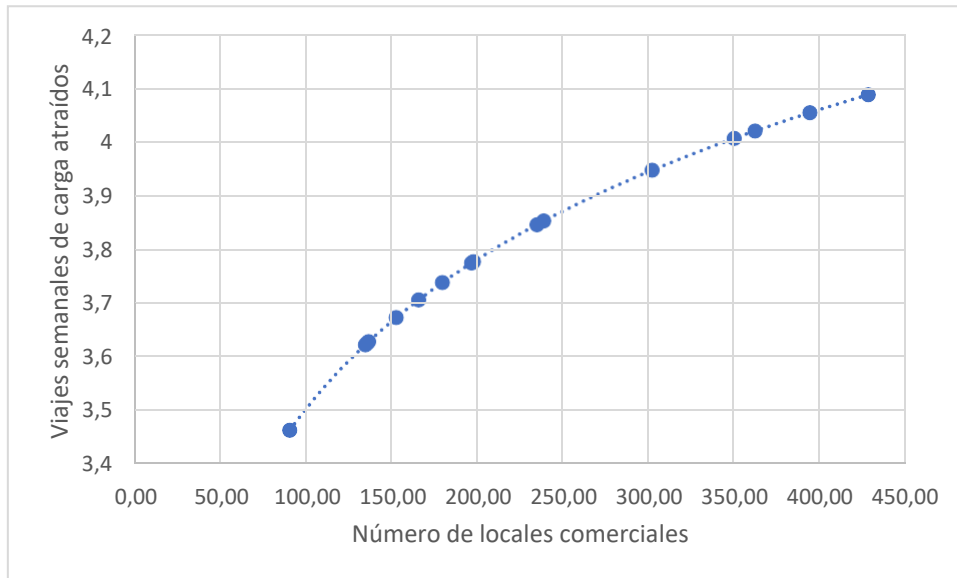


Figura 15: Modelo elegido con variable dependiente de número de locales comerciales transformado linealmente

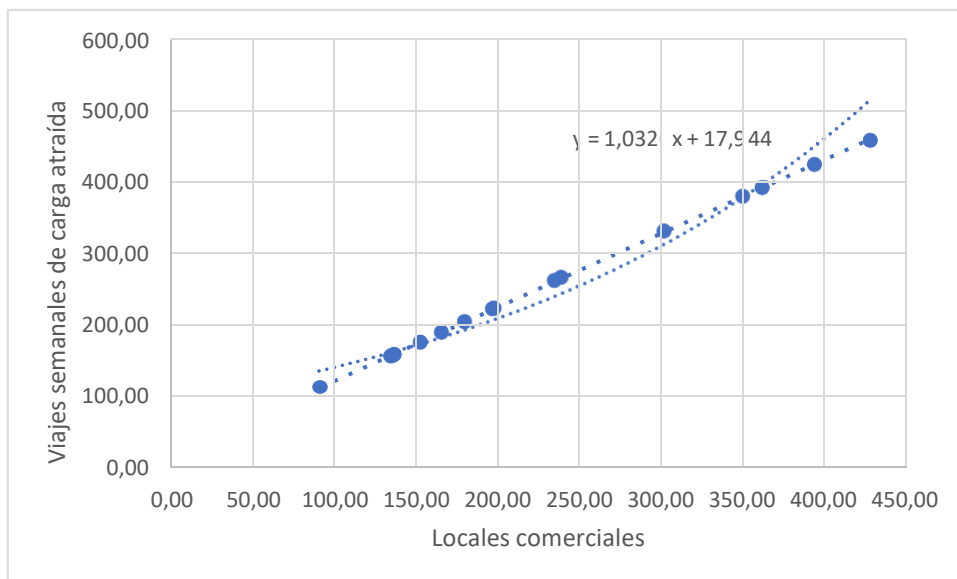


Figura 16: Modelo elegido con variable dependiente de área de centro comercial sin ser transformado

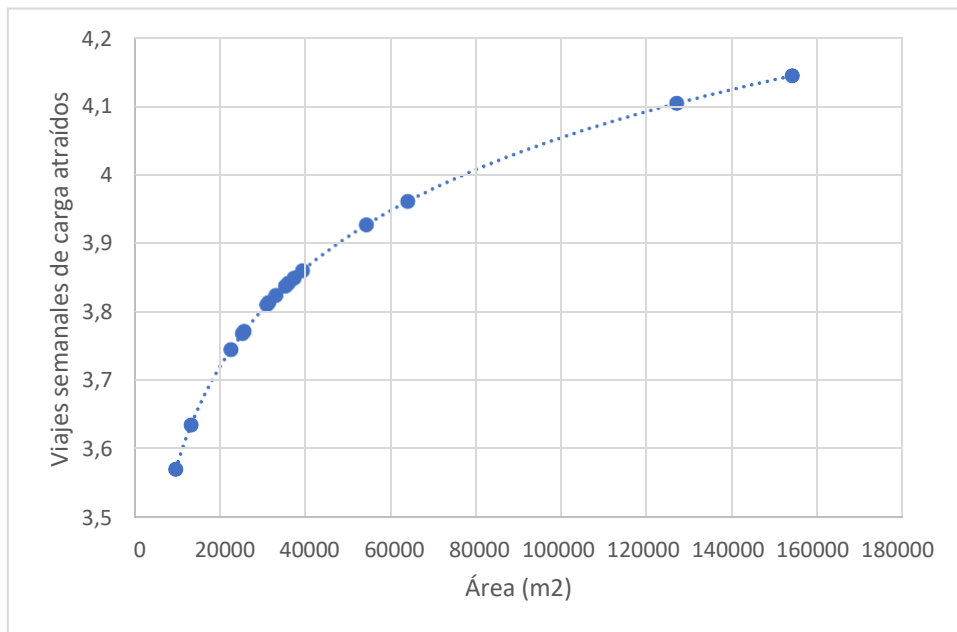
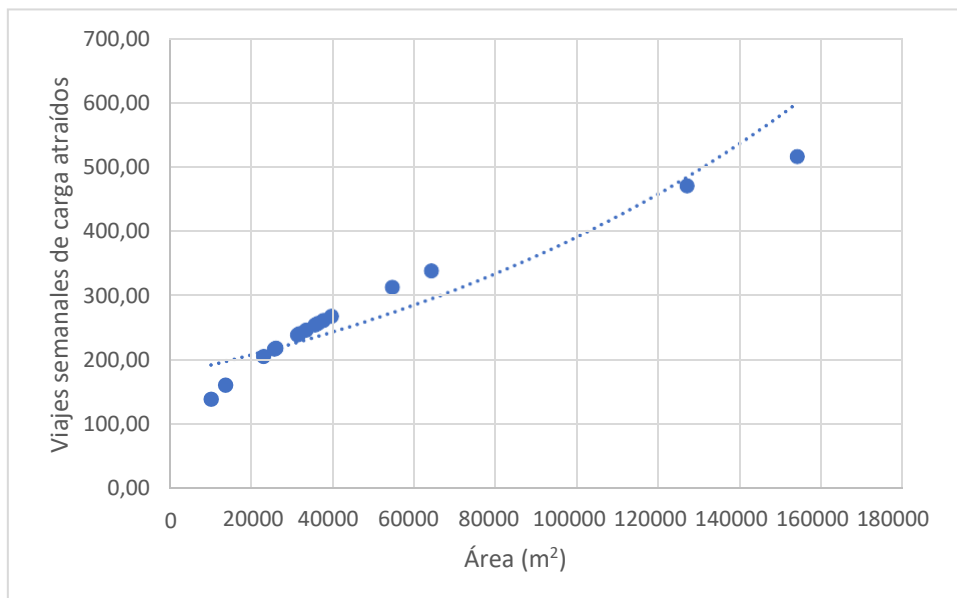


Figura 17: Modelo escogido con variable dependiente de área de centro comercial transformado linealmente



En los modelos no lineales se puede observar que al ser transformados linealmente siguen siendo más aproximados que los lineales, ya que la línea de tendencia se ajusta más a los datos, es decir existe un menor error, para estos modelos se podría escoger locales o áreas comerciales, ya que las dos figuras 15 y 17 tienen una buena interpretación de los datos y las dos variables independientes son variables que pueden ser de fácil acceso para el

modelador.

## Capítulo 5

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- El número de locales comerciales permite obtener el número de viajes atraídos de carga, y al ser un dato accesible, es de gran ayuda para poder aplicar el resultado de esta investigación en la práctica.
- El número de locales comerciales y el área del establecimiento son datos conocidos desde el inicio de un proyecto, por esta razón esta investigación es de gran aporte para proyectos nuevos, con el fin de mejorar la predicción de viajes y tomar decisiones más acertadas en cuanto a movilidad y espacios para áreas de carga en caso de centros comerciales.
- Las variables que se encontraron significativas en esta investigación tienen relación y concuerdan con otras investigaciones realizadas con otros grandes generadores.
- Dentro de los modelos lineales, el modelo que obtuvo un mejor parámetro estadístico para F de Fisher fue el modelo con la variable de área. Lo mismo se observó para modelos no lineales de una sola variable, el F de Fisher más representativo fue para la combinación Logarítmica – Logarítmica con la variable independiente de área de centro comercial.
- A pesar de que se ha mencionado que por facilidad de acceso a los datos, es mejor



escoger un modelo con una sola variable, en caso de que se pueda acceder a las dos variables mencionadas (número de locales comerciales y área comercial), es mejor usar el modelo multivariable para obtener un resultado más aproximado al real.

- Al realizar las encuestas y entrevistas, se pudo evidenciar la dificultad que existe para conseguir datos, ya que hay muchos factores que pueden afectar a la toma de datos reales, cómo, por ejemplo: que en muchos centros comerciales eran muy reservados con su información y los datos que brindaban eran mínimos.
- La realización de las encuestas permitió observar que la mayoría de los centros comerciales entrevistados no disponen del área suficiente para vehículos de carga, mientras que en otros centros comerciales se evidenció que a pesar de que dispongan el espacio suficiente, los transportistas prefieren quedarse en la vía pública mientras realizan las actividades de cargue y descargue, lo cual perjudica al tráfico de la zona.
- El caso de análisis para esta investigación fue el AMVA, las ciudades de países en vía de desarrollo comparten ciertas características económicas y sociales, se denominan en vía de desarrollo porque su economía está en pleno desarrollo económico, para el Fondo Monetario Internacional (FMI) y las Naciones Unidas (UN) todos los países de sur américa entran en esta clasificación, es por esta razón que los resultados de esta investigación pueden ser aplicables para otras ciudades con esta clasificación.
- Los resultados obtenidos en comparación con la investigación de Singapur, arrojan resultados diferentes, una de las razones puede ser que esa investigación se centró más en el número de entregas atraídas por los establecimientos, y no los viajes.
- Los modelos permitirán a los profesionales del transporte llevar a cabo una buena gestión y dimensionar adecuadamente las zonas de carga y descarga, apoyar los análisis de impacto del tráfico y mejorar los esfuerzos de planificación y gestión del transporte.

## 5.2. Recomendaciones

- A pesar de que se realizaron encuestas, hubo datos de estas que no fueron contestados completamente, como el tipo de vehículo, incluir este dato completo, podría mejorar los resultados y así poder recomendar mejoras en infraestructura y áreas de carga, además podría ser de gran utilidad para el tema de la movilidad en las afueras de los centros comerciales, ya que se podría destinar un área más real y aproximado a las actividades en cuanto a carga que suceden a diario fuera de estos establecimientos.
- Esta investigación se desarrolló de manera general en centros comerciales, quizás realizar una investigación más específica podría arrojar datos y resultados de gran utilidad también, cómo, por ejemplo, centrarse únicamente en restaurantes y los

viajes que generan dichos establecimientos, o por ejemplo solo tiendas de ropa, entre otros segmentos.

- Se recomienda a los planificadores considerar el análisis de esta investigación para evaluar afectaciones del transporte de carga en los centros comerciales existentes y en los nuevos proyectos de este tipo.
- Esta investigación puede servir de base para realizar un análisis de impacto ambiental, ya que se conoce el número de viajes atraídos.
- Ampliar la muestra de estudio a otros centros comerciales de otras ciudades, por ejemplo, Quito o Lima, ciudades que pertenecen a países en vía de desarrollo, para generar otra base de datos y comparar los modelos de esas ciudades con los modelos de Medellín.

## 6. Bibliografía

“D Métodos de medición de bienes inmuebles - Estudyando”.

<https://estudyando.com/metodos-de-medicion-de-bienes-inmuebles/> (el 26 de marzo de 2023).

Arias-Gómez, Jesús, Miguel Ángel Villasís-Keever, y María Guadalupe Miranda-Novales. 2016. “The research protocol III. Study population”. *Revista Alergia Mexico* 63(2): 201–6.

Ariza, Katherine, John Moreno, Fabio Gordillo, y Felipe Castro. 2022. “División de Transporte NOTA TÉCNICA N°”.

- Banco mundial de desarrollo. 2019. "Nueva clasificación de los países según el nivel de ingresos para 2019 y 2020".
- Barcellos, Vânia, y Gouvêa Campos. 2019. *Análisis de la demanda de transporte de carga en área urbana bajo el punto de vista de la producción y de la atracción de viajes*.
- Bektaş, Tolga, Teodor Gabriel Crainic, y Tom Van Woensel. 2017. "From Managing Urban Freight to Smart City Logistics Networks". (May): 143–88.
- Caballero, Lucas. 2017. "EL CAMINO DEL ÉXITO DE LAS ENCUESTAS Y ENTREVISTAS".
- Dagnino, Jorge. 2014. "Correlación". : 150–53.
- EcuRed. 2019. "País en desarrollo - EcuRed". [https://www.ecured.cu/País\\_en\\_desarrollo](https://www.ecured.cu/País_en_desarrollo) (el 26 de marzo de 2023).
- Empresas y Productos. 2016. "El origen de los centros comerciales". [https://empresasyproductos.com/el-origen-de-los-centros-comerciales/#El\\_primer\\_centro\\_comercial\\_de\\_la\\_historia\\_El\\_Mercado\\_de\\_Traiano](https://empresasyproductos.com/el-origen-de-los-centros-comerciales/#El_primer_centro_comercial_de_la_historia_El_Mercado_de_Traiano) (el 21 de octubre de 2022).
- Holguín-Veras, José, y Ellen Thorson. 2003. "Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model". : 129–48.
- Holguín-veras, José, Yamilka López-genao & Abdus Salam. 2002. "Truck-Trip Generation at Container Terminals Results from a Nationwide Survey." *Transportation Research Record*
- López-Rodríguez, Campo Elías, Sindy Dayana Pardo Rincón, Campo Elías López-Rodríguez, y Sindy Dayana Pardo-Rincón. 2019. "El transporte de carga terrestre en el comercio internacional. Análisis comparativo entre Bogotá, Colombia y Santa Cruz de la Sierra, Bolivia". *Ensayos de Economía* 29(54): 89–114. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/75022> (el 29 de mayo de 2022).
- Mafla Hernandez, Francisco Javier. 2020. Universidad Nacional de Colombia "Modelacion de la produccion y atraccion de viajes de carga para grandes generadores de mercancías en áreas urbanas". <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78322>.
- Michelin. 2022. "Historia del transporte por carretera, comienzos, evolución y tecnología". *Revista Michelin*. <https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/historia-del-transporte-por-carretera> (el 17 de marzo de 2023).
- Mora García, Luis Aníbal. 2014. *Logística del transporte y distribución de carga*. Primera ed. ECOE Ediciones. <https://login.ezproxy.unal.edu.co/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cab02704a&AN=unc.000822945&lang=es&site=eds-live>.
- Muñoz Echavarría, Jhon de Jesús. 2016. "Los centros comerciales en la reconfiguración territorial de la ciudad de Medellín y los nuevos imaginarios urbanos 1990 - 2011".

- Repositorio Institucional-UNAL*: 1–238.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59070>.
- Naciones Unidas. 2009. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas Las Actividades Económicas (CIIU)*.
- Newman, M. C. (1993). REGRESSION ANALYSIS OF STATISTICAL BIAS AND ITS CORRECTION LOG-TRANSFORMED DATA. In *Environmental Toxicology and Chemistry* (Vol. 12).
- Ortuzar, Juan de Dios, & Luis G Willumsen. 2008. *6 Modelos de Transporte*. Universidad de Cantabria
- Pérez Porto, José. 2010. “Definición de carga - Qué es, Significado y Concepto”. *Definición.DE*. <https://definicion.de/carga/> (el 24 de febrero de 2023).
- Puente-Mejia, Bernardo, Laura Palacios-Argüello, Carlos Suárez-Núñez, y Jesus Gonzalez-Feliu. 2020. “Freight trip generation modeling and data collection processes in Latin American cities. Modeling framework for Quito and generalization issues”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 132(November 2019): 226–41. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.10.013>.
- Sánchez-Díaz, Iván. 2017. “Modeling Urban Freight Generation: A Study of Commercial Establishments’ Freight Needs.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*
- Ram, Alberto, y Antonio Dom. 2011. “MEDIO AMBIENTE EL RUIDO VEHICULAR URBANO: PROBLEMÁTICA AGOBIANTE DE LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO”. (42).
- Rodríguez, Jacinto, María Ferreras, y Adoración Núñez. 2000. *Inferencia Estadística, Niveles de Precisión y Diseño Muestral*.
- Tesis, Trujillo et al. 2022. “CATÓLICA DEL PERÚ Escuela de Posgrado”.
- Transeop. 2010. “Transporte Multimodal: ¿Qué es y en qué consiste?” *Transporte Multimodal: ¿Qué es y en qué consiste?* <https://www.transeop.com/blog/transporte-multimodal/29/> (el 24 de febrero de 2023).
- Valicelli, Liana, y Rubén Pesci. 2002. Publicación de las Naciones Unidas *Las nuevas funciones urbanas : gestión para una ciudad sostenible*.
- Universidad Nacional de Colombia, y Area Metropolitana del Valle de Aburrá. 2019. *Estudio de transporte de carga en el Area Metropolitana del Valle de Aburra*. Medellín. <https://www.metropol.gov.co/movilidad/Documents/Estudio-de-transporte-de-carga-en-el-Area-Metropolitana-del-Valle-de-Aburra.pdf>.
- Valicelli, Liana, y Rubén Pesci. 2002. Publicación de las Naciones Unidas *Las nuevas funciones urbanas : gestión para una ciudad sostenible*.
- Ward, Evan R. 2005. “El diseño de centros comerciales en América.” *Ra-Revista de Arquitectura* 7: 71–82. [https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-23\\_10-10-14110572.pdf](https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-23_10-10-14110572.pdf).

