

**Estudio sobre la conectividad de la red interurbana en el departamento de Santander 2010-
2015**

Francy Daniela Cárdenas Arenas, Humberto Luque Ardila

Trabajo de grado para optar el título de Economista

Director

Diego Silva Ardila

Doctor en Planificación y Formulación de Políticas Urbanas

Codirector

Carlos Alfonso Mantilla Duarte

MSc. en Estadística Aplicada

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Humanas

Escuela de Economía y Administración

Bucaramanga

2017

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Marco Teórico.....	12
1.1 Teoría redes de ciudades.....	12
1.2 Modelo de gravedad.....	16
1.3 Trabajos Realizados.....	19
2. Metodología	21
2.1 Hechos Estilizados.....	22
2.2 Datos panel.....	29
2.3 Modelo gravitacional.....	31
2.4 Mínimos cuadrados generalizados (MCG).....	32
3. Modelos Econométricos.....	34
3.1 Automóviles.....	35
3.2 Buses.....	39
3.3 Camiones.....	42
4. Conclusiones y recomendaciones	46
Referencias Bibliográficas	50
Apéndices.....	53

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Estudios de sistemas urbanos realizados en México, tomado del trabajo realizado por Alfonso Sánchez Almanza, “Sistema de ciudades y redes urbanas en los modelos económicos de México” (Almanza, 2016).....	19
<i>Figura 2.</i> Mapa PIB capitales de provincia y área metropolitana de Santander. Elaboración de los autores.....	23
<i>Figura 3.</i> Clasificación vehicular según “Volúmenes de tránsito, ejecutar es nuestra ruta”, del Ministerio de Transporte e INVÍAS.....	25
<i>Figura 4.</i> Vías que comunican las capitales de provincia con Bucaramanga. Elaboración de los autores en Google Maps.....	26
<i>Figura 5.</i> Mapa población municipal de Santander. Elaboración de los autores.	28

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resultados BIC de cada modelo para flujo de automóviles	37
Tabla 2. Resultados Modelo 4	37
Tabla 3. Resultados BIC de cada modelo para flujo de buses	40
Tabla 4. Resultados Modelo buses 5.....	41
Tabla 5. Resultados BIC de cada modelo para flujo de camiones.....	44
Tabla 6. Resultados Modelo camiones 5	45

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Resultados modelos econométricos para flujo vehicular de Automóviles.	54
Apéndice B. Resultados modelos econométricos para flujo vehicular de buses.	55
Apéndice C. Resultados modelos econométricos para flujo vehicular de Camiones.	56

Resumen

Título: Estudio sobre la conectividad de la red interurbana en el departamento de Santander 2010-2015*

Autores: Francy Daniela Cárdenas Arenas, Humberto Luque Ardila**

Palabras Clave: Redes Interacción, Ciudad, Santander, Modelo de Gravedad

Descripción:

En el presente trabajo se realiza un estudio acerca de la interacción existente entre el área metropolitana de Bucaramanga y los principales municipios del departamento de Santander: Socorro, Vélez, Barrancabermeja, Málaga y San Gil. Dicha interacción es entendida como el flujo vehicular entre ciudades, en donde se tomó como nodo principal el área metropolitana de Bucaramanga y como nodos secundarios los municipios mencionados, los cuales fueron elegidos por la importancia del rol histórico y administrativo que han desempeñado en el departamento. A dicha interacción que se presenta entre ciudades se denomina en la literatura de la economía urbana como sistema de ciudades o red de ciudades. El propósito de este trabajo es estudiar, bajo la luz del modelo de gravedad, el flujo vehicular que se presenta entre las capitales de provincia y la zona metropolitana de Bucaramanga para avanzar en el proceso de entendimiento sobre el funcionamiento entre estas y así, tener elementos que a futuro permitan el diseño de mejores políticas públicas. Para cumplir con dicho objetivo es necesario conocer cuáles son las variables que más influyen en el flujo vehicular y, a su vez, realizar la validación de las relaciones existentes a través de modelos econométricos, basados en los datos obtenidos en el departamento de Santander, como PIB, población, flujo vehicular intermunicipal y costos de transporte, de los años 2010 hasta 2015.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Humanas, Escuela de Economía y Administración Director: Diego Silva Ardila Codirector: Carlos Alfonso Mantilla Duarte

Abstract

Title: Study on the connectivity of the interurban network in the department of Santander 2010-2015*

Authors: Francy Daniela Cárdenas Arenas, Humberto Luque Ardila**

Keywords: Interaction Networks, City, Santander, Gravity Model

Description:

In this paper, a study is carried out on the interaction between the metropolitan area of Bucaramanga and the main municipalities of the Department of Santander: Socorro, Vélez, Barrancabermeja, Málaga and San Gil. This interaction is understood as the vehicular flow between cities, where the metropolitan area of Bucaramanga was taken as the main node and as secondary nodes the above-mentioned municipalities, which were chosen because of the importance of the historical and administrative role that they have played in the department. To this interaction that occurs between cities is called in the literature of the urban economy like system of cities or network of cities. The purpose of this work is to study, in the light of the model of gravity, the vehicular flow that occurs between the provincial capitals and the metropolitan area of Bucaramanga to advance in the process of understanding on the operation between these and thus, to have elements that in future allow the design of better public policies. To meet this objective, it is necessary to know which are the variables that most influence the vehicular flow and, in turn, to validate the existing relationships through econometric models, based on the data obtained in the Department of Santander, such as GDP, population, vehicular flow and transportation costs, from the years 2010 to 2015.

* Work of grade

** Faculty of Human Sciences, School of Economics and Administration Director: Diego Silva Ardila Codirector: Carlos Alfonso Mantilla Duarte

Introducción

En el presente trabajo se realiza un estudio acerca de la interacción existente entre el área metropolitana de Bucaramanga y los principales municipios del departamento de Santander: Socorro, Vélez, Barrancabermeja, Málaga y San Gil. Dicha interacción puede ser entendida de muchas maneras, una de estas puede ser: el movimiento de mercancías entre ciertos nodos, el tráfico telefónico, el turismo, el flujo vehicular entre un nodo principal y nodos secundarios, la migración de personas, entre otras. Sin embargo, para este trabajo hemos decidido medir la interacción vehicular entre ciudades para el caso específico de Santander, en donde se tomó como nodo principal el área metropolitana de Bucaramanga AMB y como nodos secundarios los municipios mencionados, los cuales fueron elegidos por la importancia del rol histórico y administrativo que han desempeñado en el departamento. A dicha interacción que se presenta entre ciudades se denomina en la literatura de la economía urbana como sistema de ciudades o red de ciudades, concepto que será abordado con más profundidad en el primer capítulo.

El trabajo inicia con la ilustración de la evolución de la teoría de redes de ciudades, la teoría del modelo de gravedad en la economía urbana y algunos trabajos que se han realizado hasta el momento. En el segundo capítulo se describen algunos hechos estilizados y la metodología del modelo gravitacional utilizado para la realización de los modelos econométricos, es decir, la manera como se va a realizar la investigación, seguido a esto, se presentan los modelos gravitacionales que se utilizaron para encontrar los determinantes del flujo vehicular, los cuales se

dividen en modelos para automóviles, buses y carga o camiones. Por último, se presentan las conclusiones que se encontraron a lo largo del estudio y se hacen las recomendaciones finales.

La importancia de las dinámicas interurbanas radica en que el conocimiento de las sinergias entre ciudades permite planear mejores políticas que apalanquen el crecimiento económico en el largo, mediano y corto plazo. Debido a que, al no tener certeza del funcionamiento del sistema de ciudades a nivel regional, las políticas económicas pueden resultar menos eficaces en cuanto a la resolución de desafíos y problemas puntuales de competitividad y desarrollo económico.

En síntesis, el propósito de este trabajo es estudiar, bajo la luz del modelo de gravedad¹, la interacción que hay entre las capitales de provincia y la zona metropolitana de Bucaramanga para avanzar en el proceso de entendimiento sobre el funcionamiento entre estas y así, tener elementos que a futuro permitan el diseño de mejores políticas públicas. Para cumplir con dicho objetivo es necesario conocer cuáles son las variables que más influyen en el flujo vehicular y, a su vez, realizar la validación de las relaciones existentes a través del modelo econométrico mencionado anteriormente. Es así como a través de modelos econométricos basados en los datos obtenidos en el departamento de Santander, como PIB, población, flujo vehicular intermunicipal y costos de transporte, de los años 2010 hasta 2015, se estima el nivel y los determinantes de la interacción entre urbes.

¹ El modelo de gravedad se explica en detalle en el segundo capítulo.

1. Marco Teórico

1.1 Teoría redes de ciudades

En el área del conocimiento de la disciplina económica, existe una rama que tiene a las ciudades como objeto de estudio, esta rama se denomina economía urbana. A partir de este campo se han generado numerosas teorías que han contribuido con el desarrollo de grandes urbes, las cuales han funcionado como centro de acopio de múltiples interacciones económicas. Domènech es uno de los economistas que corrobora esta idea en su libro *Redes de Ciudades y Externalidades*:

La economía urbana es la rama de la ciencia económica que estudia la ciudad. Desde sus orígenes, la economía urbana se ha centrado en la explicación del funcionamiento de las ciudades, para lo cual ha desarrollado sus propias teorías o ha adaptado los principios generales de la economía. (Domènech, 2004)

Una de estas teorías trata sobre las economías externas, teoría presentadas por Alfred Marshall en su obra “Principios de economía”, para destacar las ventajas que se generan al concentrar las empresas en un área geográfica. Es decir, que las economías externas o externalidades son aquellas ventajas de diferente índole económica, que obtienen los agentes de forma gratuita, por su ubicación u comportamiento de unos u otros, sin que este sea necesariamente acordado (Marshall, 1931). Es importante señalar que las externalidades son generadas ya sea en la empresa, en los individuos o en la economía en general, producto de la aglomeración o concentración de personas y empresas en un área geográfica.

En un principio la economía urbana estudiaba las externalidades de forma aislada para cada centro urbano, dejando de lado el estudio de las economías externas que se generan a causa de la interacción entre centros urbanos. En el proceso de evolución de la economía urbana hacia la teoría de redes de ciudades, los primeros trabajos que hacen referencia a las economías externas se encuentran en Marshall (1920) y Robinson (1958), donde se referencia precisamente que las externalidades no son generadas exclusivamente al interior de las unidades urbanas. Se descubrió que se presentaba una reducción en los costes para la firma, originada por efectos externos como la expansión de los mercados, mejor calidad de vida y acceso a la mano de obra generado por otras empresas o por la industria en su totalidad, los cuales no eran generados por la empresa misma.

Paralelo a la teoría de las externalidades, pero sin combinarla aun, la economía urbana obtiene considerables aportes, principalmente por Christaller en su trabajo “Teoría del Lugar Central”, en los cuales se contempla que las ciudades se relacionan en el ámbito geográfico formando sistemas urbanos (Christaller, 1966). No obstante, si bien dicha teoría, explica la formación de sistemas urbanos por jerarquías, no contempla aún que las externalidades se generan por dicha interacción, ni contempla la importancia que brindan las relaciones no jerárquicas u horizontales al sistema. Es hasta la integración de estas dos teorías, la teoría de economías externas y sistemas urbanos, que surge el estudio de las externalidades producto de la interacción entre ciudades, así como Rafael Boix Domènech lo expone en su libro anteriormente mencionado:

No es hasta los trabajos de Pred (1977), Dematteis (1985), y Camagni (1992), cuando la teoría de las **redes de ciudades** integra el pensamiento sobre externalidades y sobre sistemas urbanos la posibilidad de que se genere un nuevo tipo de ventajas (externalidades de red) derivado esta vez de la interacción entre unidades urbanas. (Domènech, 2004)

Ahora bien, ya conociendo el surgimiento de la teoría de redes de ciudades, es posible ahondar en la definición de red de ciudades. Primero es necesario saber que las redes son consideradas como características significativas en los modos de organización social, ya que con éstas se busca obtener grupalmente objetivos comunes, tales como satisfacción individual y evolución social. Una red, como lo define Manuel Castells en su obra *Comunicación y Poder* (2009), es un conjunto de nodos que se relacionan entre sí, a través de canales de interacción que conectan a un nodo con otro. Dichos canales de interacción pueden ser vías, ríos, caminos, entre otros.

En el siglo XXI, con el avance de las tecnologías en comunicación, información, infraestructura y transporte, la red se expande por las sociedades llegando así a la conformación de un sistema de red global en donde cualquier ciudad del mundo puede interactuar con otra sin importar que se encuentre al otro lado del globo terráqueo. No obstante, una red de ciudades puede presentar varias formas según las dinámicas y sinergias del territorio. Un par de ejemplos sobre esto se reflejan en que puede existir una red donde un nodo central interactúe con nodos periféricos pero que estos últimos no interactúen entre sí. En otro caso, se puede dar que exista interacción entre todos los nodos de la red.

Los canales de interacción que sirven para facilitar la comunicación entre centros urbanos se manifiestan en infraestructura para el transporte, además de los medios de comunicación magnéticos, los cuales también favorecen en el intercambio y la generación del conocimiento. Doménech, reafirma el concepto de redes de ciudades que se ha presentado junto con las características de las mismas, así como se muestra a continuación:

La economía urbana y la geografía económica utilizan el término redes de ciudades para referirse a una interpretación de la economía en el espacio en la cual los nodos son las ciudades, conectadas por vínculos de naturaleza socioeconómica (links), a través de los

cuales se intercambian flujos de distinta naturaleza, sustentados sobre infraestructuras de transporte y comunicaciones. (Domènech, 2004).

Agregado a esto, es importante destacar que las redes de ciudades tienen diferentes impactos y funcionamientos en cada uno de los territorios, obedeciendo a las peculiaridades de las dinámicas y sinergias de los mismos. Del mismo modo, Domènech reafirma el concepto de red de ciudad junto con sus características y Castells ratifica la idea de que el mundo actual se encuentra interconectado, sin embargo, dicha interacción o globalización presenta diferentes características según sea el territorio, las costumbres, la cultura y el acontecer de cada espacio socio-cultural, de esta forma:

La emergencia de la sociedad red, como nueva estructura social dominante en la era de la información, es un fenómeno mundial, que por tanto también afecta a los pueblos del Estado español y de América Latina. Pero, como en otras latitudes, presenta variaciones institucionales, culturales e históricas que son esenciales para la relación entre la teoría y la práctica. (Castells, 2000)

Así pues, con estas ideas se puede sostener que actualmente las ciudades no se encuentran aisladas del mundo, ni se comportan de forma autárquica, como consecuencia de ello la unidad urbana no se debe considerar como una unidad económica autocontenida, ya que opera en un espacio económico que contiene diversas ciudades interrelacionadas. (Domènech, 2004).

La teoría de sistemas de ciudades que incluye a centros urbanos de grandes concentraciones de población y tamaño físico, a su vez, también incluye a los centros urbanos con una acumulación de población no tan significativa y un espacio físico urbano de menor tamaño. Si bien es de gran relevancia entender las formas como las grandes ciudades interactúan en cuanto a flujos económicos, también es preponderante hacer el mismo estudio para las llamadas ciudades

secundarias (aquellas de menos de 500.000 habitantes), saber cómo se relacionan económicamente con las grandes ciudades debido a que las ciudades secundarias desempeñan un rol muy importante en el desarrollo económico, social y físico de los sistemas de ciudades de todos los países (Roberts, 2015). Esto como consecuencia de que las ciudades secundarias funcionan como canales y medios para apoyar el funcionamiento de los mercados y los sistemas de cadenas de suministro, como centros de transferencia multimodales y como ejes para la administración gubernamental subnacional/regional y el desarrollo económico (Roberts, 2015).

Por otro lado, es importante señalar que el estudio de las redes urbanas ha implicado esfuerzos desde diversas perspectivas y aproximaciones, dichas aproximaciones van desde el debate teórico hasta las aplicaciones empíricas de modelos para profundizar el análisis. Para este trabajo utilizamos la teoría del modelo de gravedad, que sirve como una herramienta para el análisis de las redes de ciudades. Inicialmente, dicho modelo fue adaptado por la teoría económica para evidenciar los flujos de comercio internacional, luego se acopla a la economía urbana para estudiar los sistemas de ciudades. De esta forma, este modelo de gravedad busca estudiar los flujos comerciales a través de ciertas variables que son reemplazadas del modelo de gravedad de Newton para adaptarlas al contexto del comercio internacional y así expresar la atracción de la interacción económica entre países, en lugar de la interacción gravitacional ejercida entre cuerpos

1.2 Modelo de gravedad.

Los modelos de gravedad sirven para identificar la interacción espacial utilizando datos como el tamaño de la producción, la densidad poblacional, la distancia, entre otros. Como se mencionó

anteriormente, el modelo gravitatorio fue inspirado en la ley de la gravitación universal postulada por Isaac Newton. Adolfo Sánchez Almanza lo menciona en la Revista Problemas del Desarrollo:

“Los flujos son causados por fuerzas centrífugas y centrípetas y por varios factores como: la oferta y demanda de bienes y servicios en el territorio, la disponibilidad y calidad de la infraestructura, el tiempo y costo de transportación, la conectividad, entre otros. Tales modelos aplican supuestos descriptivo-deterministas y entre ellos se encuentra el gravitatorio propuesto por W. J. Reilly (1931), inspirado en la Ley de Gravitación Universal de Isaac Newton que establece: “la fuerza con que se atraen dos cuerpos depende del valor de sus masas y del cuadrado de la distancia que los separa”.” (Almanza, 2016)

Para aclarar en más detalle la ley gravitacional desarrollada por Newton, ya se ha mencionado que establece que existe una fuerza de atracción entre dos cuerpos cualesquiera y que esto está en proporción al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa a estos cuerpos (Paredes & Romero Rochín, 2014). Sin embargo, también es necesario conocer cómo se expresa formalmente:

$$F = G \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Donde:

F= Fuerza de atracción.

G= Constante de gravitación universal

m_1 = Masa del cuerpo 1

m_2 = Masa del cuerpo 2

R= Distancia.

Ahora, para retomar lo que se venía explicando sobre este modelo, la economía en primera instancia adoptó los modelos gravitacionales como herramienta para determinar la interacción comercial a nivel internacional, Paul Krugman en su libro, Economía Internacional teoría y política, muestra la manera como es transformado el modelo gravitacional de Newton para la economía internacional: “El valor del comercio entre dos países cualesquiera es proporcional, siendo todo lo demás igual, al producto de los PIB de los dos países, y disminuye con la distancia entre los dos países” (Krugman & Obstfeld, Economía Internacional Teoría y política, 2006) Esta herramienta de análisis fue implementada después al estudio de la interacción económica entre urbes con los mismos fundamentos con la que se aplicó la teoría de gravedad a la economía internacional.

Esta metodología, la cual se reflejará más adelante en unos ejemplos donde se ha usado este modelo, se refiere a que el método clásico para caracterizar los sistemas de ciudades ha sido el modelo gravitatorio análogo al modelo de la ley gravitacional, donde se establece que la fuerza de atracción está dada por el producto de las masas de cada urbe, medido por ejemplo con el producto interno bruto dividido por el cuadrado de la distancia que los separa, expresado así:

$$L_{ij} = K \frac{(P_i * P_j)^\beta}{(D_{ij})^\alpha}$$

Donde:

L_{ij} = Flujos observados entre las ciudades i y j .

$(P_i * P_j)$ = Producto de las masas de las ciudades i y j .

(D_{ij}) = Distancia entre las ciudades i y j .

K = Constante de proporcionalidad derivada de la propensión de las personas a interactuar.

β y α = Parámetros que ponderan el efecto del producto de las masas en la medida de interacción y la distancia entre ellas.

1.3 Trabajos Realizados.

Uno de los primeros trabajos que queremos resaltar es el llevado a cabo por Adolfo Sánchez Almanza, “Sistema de Ciudades y Redes Urbanas en los Modelos Económicos de México” donde se exponen e interpretan tres trabajos sobre sistema de ciudades, los cuales utilizan los modelos gravitacionales clásicos para caracterizar y estudiar la interacción espacial urbana en distintos intervalos de tiempo como se muestra en el siguiente cuadro, tomado del trabajo en mención (Almanza, 2016).

Nombre	Autor	Flujos	Masas	Distancia	Número de ciudades
Sistema de Ciudades y jerarquía Urbana de México	Unikel y Necochea 1971 y, Unikel, Ruiz y Gonza, 1978	a) vehículos, b) pasajeros y c) toneladas de carga industrial de 1966	a) población, b) número de camas de hotel, c) valor total de producción, d) calor agregado industrial, y e) importe de ventas al por mayor	carretera en kilómetros por la ruta más corta.	28 ciudades de más de 50 mil habitantes en 1960
Sistema de ciudades y distribución espacial de la población	Conapo, 1991	Telefónicos entre pares de ciudades según muestra de 1986	Población por ciudad del año 1980	Carretera en kilómetros por la ruta más corta	69 ciudades mayores de 50 mil habitantes en la muestra de llamadas telefónicas
Estrategia territorial nacional	Sedesol, IIEc, UNAM, 2012	Transporte terrestre de carga y de pasajeros según ingresos de las empresas de 2006	Valor agregado bruto por ciudad y zona metropolitana del año 2005	Carretera en kilómetros por la ruta más corta	128 Ciudades Mayores de 50 mil habitantes del Sistema Urbano Principal (56 zonas metropolitanas y 72 ciudades)

Figura 1. Estudios de sistemas urbanos realizados en México, tomado del trabajo realizado por Alfonso Sánchez Almanza, “Sistema de ciudades y redes urbanas en los modelos económicos de México” (Almanza, 2016).

En este estudio, se presentan las implicaciones que han tenido los principales modelos económicos adaptados en la formación de un desarrollo urbano desigual, el cual puede ser representado gracias a un patrón de distribución espacial de la población y de las actividades económicas. En los tres estudios se logra comparar los resultados a través del tiempo, debido a que los datos muestran los cambios generados durante ciclos de 20 años a la luz de los modelos económicos llevados a cabo en cada época, las relaciones que estaban establecidas en las ciudades más grandes y su relevancia económica y demográfica.

Los resultados de los tres estudios realizados se compararon para diferentes épocas, y aunque los datos no se encontraron completamente semejantes, si fue posible observar ciertos cambios en la estructura urbana con ciertas propensiones hacia la disminución jerárquica de ciudades ubicadas en el centro del país, la considerable ampliación de nodos urbanos en el norte y un leve crecimiento de los mismos en el sur de México. A su vez, se percibió el marcado crecimiento de la población dentro de ciudades que tuvieron un crecimiento más acelerado durante la apertura económica, lo que conformó un sistema urbano con mayores niveles de diversidad y desconcentración. Finalmente, se le otorgan al modelo de apertura los cambios en la estructura y funcionamiento de las ciudades.

Otro de los estudios relacionado con los modelos gravitacionales para el estudio de sistemas de ciudades es el realizado por Pablo Roda, titulado “Conectividad Interurbana” donde se hace un análisis de la red de ciudades en Colombia, utilizando la teoría de modelos de gravedad con modelos econométricos de carga y de pasajeros, enfocado al comercio interno junto con las características que lo explican (Roda, 2012).

Para el flujo de carga en realidad se hacen dos modelos, en los cuales la variable dependiente es el flujo de carga y las variables explicativas son el producto del PIB en un modelo y la suma del

PIB en otro; además de los costos de transporte, población, una variable *dummy*² de puerto para controlar los flujos de comercio exterior y otra variable *dummy* de minería. Uno de los resultados más interesantes que arrojó dicha investigación es que la reducción de los costos de transporte genera un incremento proporcional en el comercio interior del sistema de ciudades.

Del mismo modo, el modelo de pasajeros toma una estructura similar al de carga. La variable dependiente es la de flujo de pasajeros y se realizan dos modelos: una para pasajeros privados con vehículo propio y otro para pasajeros que usan el servicio de buses. Se destaca un eje conformado por Buenaventura, Cali, las ciudades cafeteras, Ibagué, Bogotá, Villavicencio y Tunja (Roda, 2012). El estudio anteriormente mencionado aporta al presente trabajo en la realización de la estructura de los modelos de gravedad llevados a cabo, siendo la variable dependiente el flujo vehicular y las variables explicativas la población, el PIB, los costos de transporte, entre otras.

En resumen, en este apartado se expuso la procedencia de la teoría de redes de ciudades y el modelo de gravedad, cómo evoluciono y cómo se ha aplicado en la economía. Ahora vamos a explicar cómo en base al fundamento teórico vamos a desarrollar este estudio.

2. Metodología

Es necesario entender claramente el instrumento de análisis que se va a utilizar, los modelos de gravedad. Estos modelos sirven como una herramienta de estudio para analizar la interacción económica y sus determinantes, ya que arrojan información sobre el volumen del comercio entre

² Son variables que reflejan características cualitativas y que son expresadas a través de valores binarios, es decir, 0 y 1.

dos centros económicos ya sean países o ciudades. Como ya ha sido mencionado, con la aplicación del modelo de gravedad se puede determinar el flujo comercial entre urbes y a su vez, detectar anomalías en el comercio cuando los resultados no son los esperados, los cuales pueden ser causadas por la coyuntura económica. El modelo requiere que se tenga información de variables que expliquen el flujo vehicular, tales como PIB, población y costos de transporte. Por lo tanto, se ubicaron dichas variables para el caso de Santander, las cuales se explican a continuación, seguido de la exposición acerca de la manera en que se trataron los datos y la base para la estimación de los modelos.

2.1 Hechos Estilizados.

En este apartado se describen las variables que van a ser utilizadas en la elaboración de los modelos econométricos y algunas de las características del departamento de Santander, tales como el PIB, los flujos vehiculares junto con su categorización y finalmente la población.

El PIB se obtuvo del informe del DANE sobre la Distribución del valor agregado departamental, entre los municipios que lo conforman. Según el documento del DANE sobre el Producto Interno Bruto “El valor agregado es el valor adicional creado en el proceso de producción por efecto de la combinación de factores. Se obtiene como diferencia entre el valor de la producción bruta y los consumos intermedios empleados y contiene la remuneración de los asalariados, impuestos indirectos netos de subsidios, consumo de capital fijo y el excedente de explotación.” (DANE, 2017)

En la siguiente figura se muestra el comportamiento que tuvo el PIB durante el año 2015. Se mostrará únicamente el año mencionado, debido a la baja variación que se presentó respecto a los

años anteriores. El volumen de producción se diferenciará según el tamaño de la circunferencia ubicada en cada municipio. También se ilustran las provincias junto con sus capitales. En color azul se encuentra demarcada la provincia de Mares, donde se encuentra Barrancabermeja como capital, la provincia de Vélez caracterizada por el color naranja junto con su capital que lleva el mismo nombre de la provincia, la provincia comunera representada por el color verde y Socorro como capital, la provincia Guanentá que se encuentra de color rosado donde su capital es San Gil, en color morado la provincia de García Rovira con su capital Málaga y por último, la provincia de Soto de color amarillo, donde a su vez también se encuentra ubicada la capital santandereana, Bucaramanga.

Mapa PIB capitales de provincia y área metropolitana de Santander

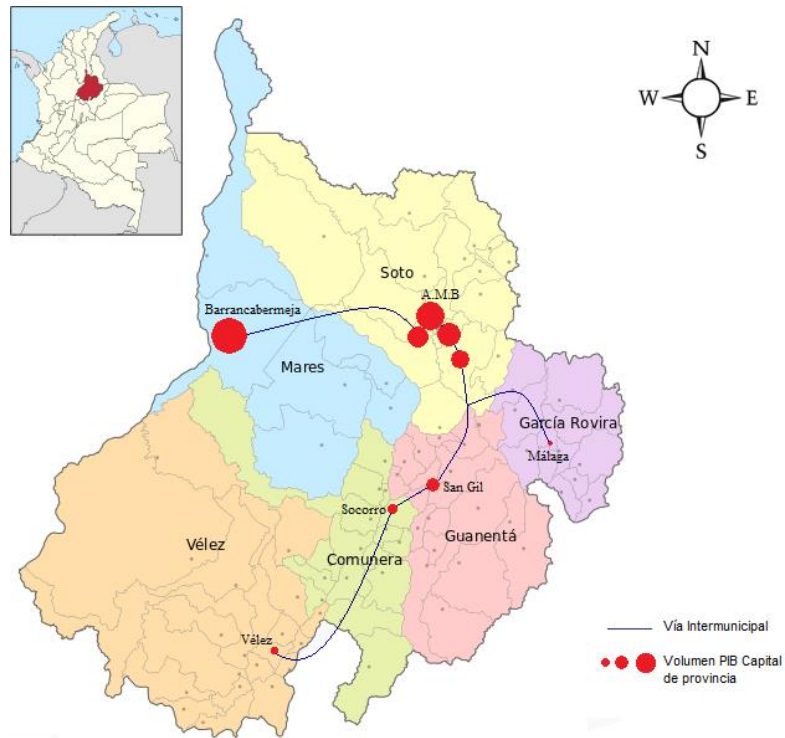


Figura 2. Mapa PIB capitales de provincia y área metropolitana de Santander. Elaboración de los autores.

El mayor PIB se encuentra en el AMB con 22841 mil millones, seguido por Barrancabermeja el cual no se encuentra muy alejado del volumen de producción del AMB con un PIB de 17964 mil millones, debido a la importante producción de hidrocarburos que se lleva a cabo en el municipio. Si se compara Barrancabermeja con la capital del departamento, Bucaramanga el cual produce 13145 mil millones, se puede evidenciar que la producción de hidrocarburos hace que la capital de la provincia de Mares supere la producción de la capital santandereana, es decir, sea quien aporte la mayor producción en el departamento. No obstante, dado que en este trabajo se toma como capital el área metropolitana, los PIB de Floridablanca, Girón y Piedecuesta, contribuyen para que el puesto de mayor producción lo ocupe el AMB. En contraste, Málaga con 193 mil millones y Vélez con 225 mil millones, son los municipios que tiene un menor valor agregado departamental dentro del conjunto de las capitales de provincia, tomando en su orden como último lugar y penúltimo lugar. Adicionalmente, San Gil con 721 mil millones es quien le sigue a Barrancabermeja con casi la mitad de su PIB, seguido de Socorro el cual cuenta con una producción de 420 mil millones, aproximadamente el doble de la producción de Vélez y Málaga.

Pasando a los flujos vehiculares, estos se obtuvieron del informe Volúmenes de tránsito, ejecutar es nuestra ruta del ministerio de transporte e INVÍAS. El variable flujo, que aparece en dicho informe, representa la cantidad de vehículos que transitan por una vía en un periodo determinado de tiempo, en este trabajo la cantidad de vehículos se mide según el transporte promedio diario semanal TPDS para cada año y para cada una de las vías de interés. En este caso, los datos para la elaboración del flujo se obtuvieron de las estaciones de conteo de tráfico junto con la información que se recolecta de las estaciones de peajes a cargo de INVÍAS.

Dicho flujo es subdividido según el tipo de vehículo, como se muestra en la siguiente figura tomada del informe mencionado, Volúmenes de tránsito, ejecutar es nuestra ruta.

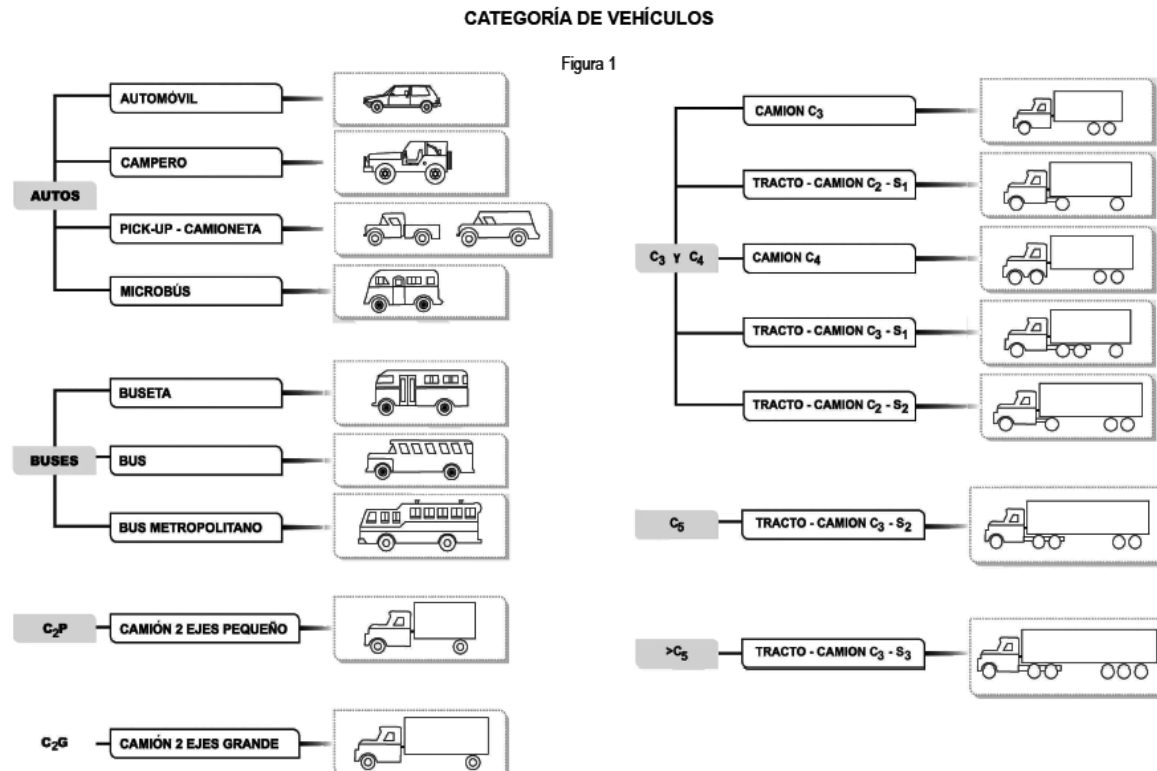
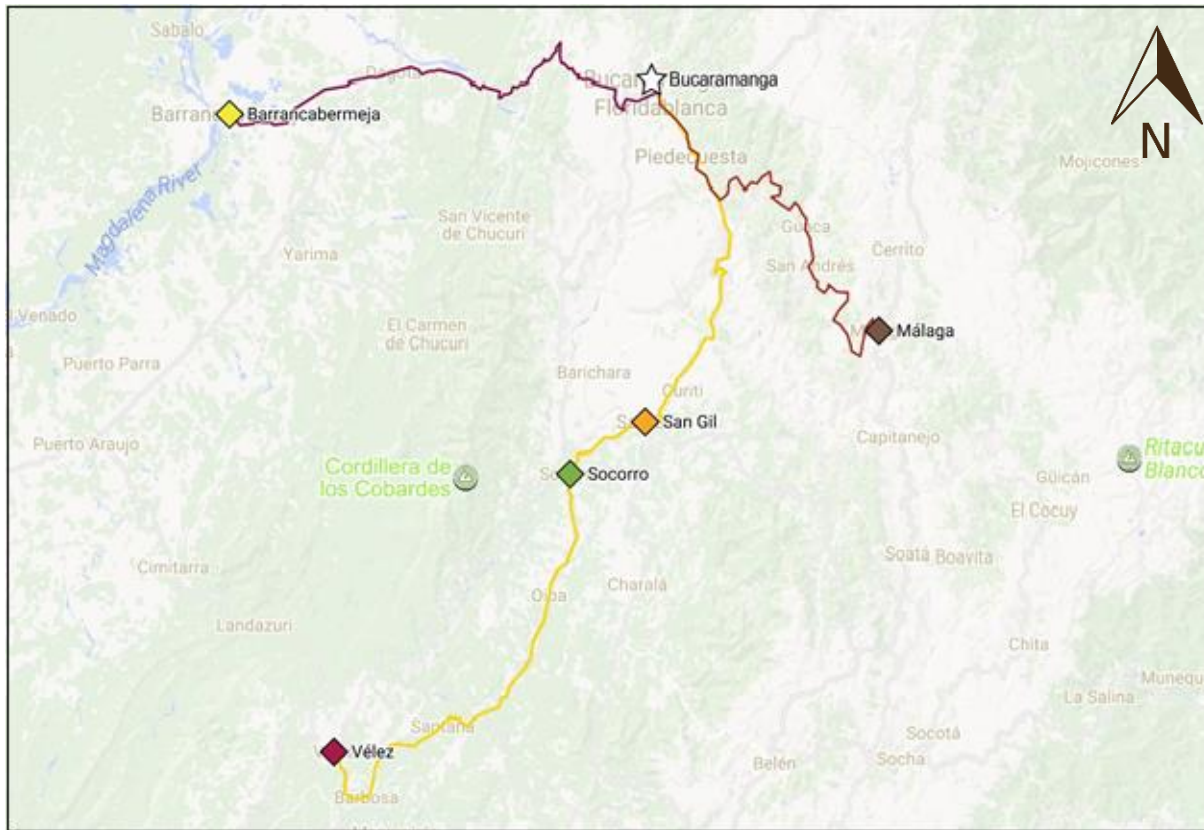


Figura 3. Clasificación vehicular según “Volúmenes de tránsito, ejecutar es nuestra ruta”, del Ministerio de Transporte e INVÍAS.

Ahora bien, el flujo de las vías que son objeto de estudio son las principales vías que conectan a cada una de las capitales de provincia con Bucaramanga: Vélez- AMB, Socorro-AMB, San Gil- AMB, Málaga-AMB y Barrancabermeja-AMB. Asimismo, los costos de transporte, tomados de la misma fuente que se tomaron los flujos vehiculares, dependen de los kilómetros de cada ruta y para obtener el costo total de recorrer una vía, se debe multiplicar la cantidad de kilómetros que posee la ruta, por el costo de cada kilómetro. En el siguiente mapa se evidencian las rutas que se tomaron en cuenta para este estudio.

Vías de comunicación, Capitales de Provincia con Bucaramanga.



Vías:  Vía Málaga-Bucaramanga.  Vía Barrancabermeja - Bucaramanga.  Vía: Vélez – Socorro - San Gil - Bucaramanga

Figura 4. Vías que comunican las capitales de provincia con Bucaramanga. Elaboración de los autores en Google Maps.

En el informe de INVÍAS sobre Los volúmenes de tránsito se obtuvieron los costos de transporte por kilómetro, en donde aparecen los criterios técnicos para cálculo de los costos de operación según el tipo de vehículo, el estado de la vía, si hay inclinaciones, la velocidad promedio del tráfico, entre otros, es decir, que recorrer una misma vía genera diferentes costos a la hora de transitar dicho trayecto por un vehículo particular, bus, o tipo de vehículo de carga.

Respecto a la población, los datos son tomados del informe del DANE sobre Proyecciones de población municipales por área 2005-2020. En este informe se explica la forma como las

proyecciones de población fueron realizadas: “Estas proyecciones fueron realizadas tomando como base los resultados ajustados de población del Censo 2005 y la conciliación censal 1985 - 2005; así como los análisis sobre el comportamiento de las variables determinantes de la evolución demográfica, las hipótesis y algunos comentarios sobre sus resultados.” (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2017). Específicamente, se consideraron los niveles y estructuras de la fecundidad, mortalidad y migración interna e internacional del periodo 1985 – 2005.

A continuación, se muestra en la figura 5 un mapa en donde se presenta la población de las capitales de provincia para el año 2015. Debido a que los datos no presentaron una variación considerable durante los años objeto de estudio, la metodología para realizar este mapa fue la misma utilizada en la figura 2, es decir en el mapa del PIB, y así se logró diferenciar y comparar la población en cada municipio.

Mapa población municipal de Santander

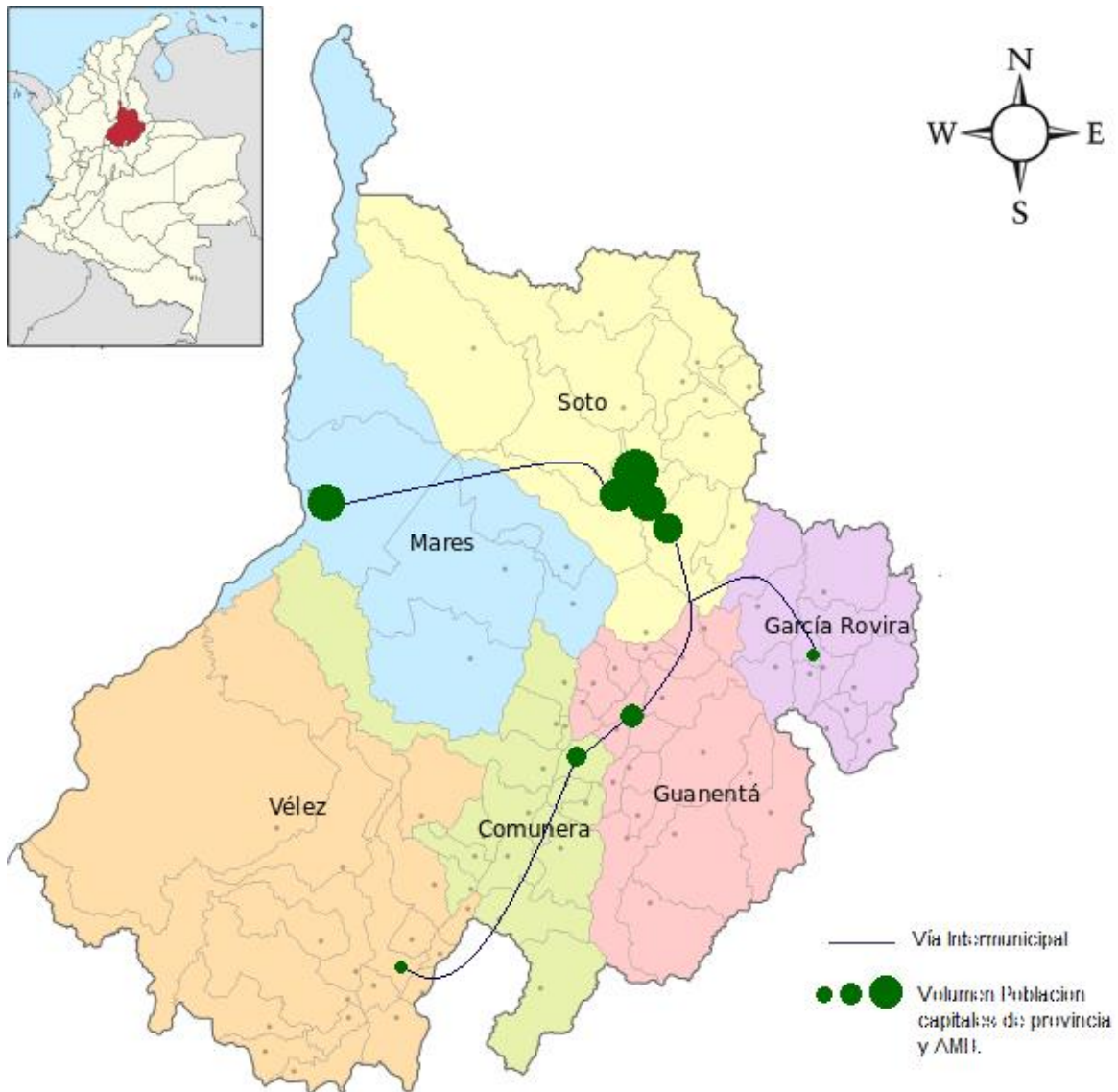


Figura 5. Mapa población municipal de Santander. Elaboración de los autores.

El municipio más poblado es Bucaramanga con 527.985 habitantes, considerando que es la capital del departamento y centro de acopio de múltiples actividades económicas, culturales, administrativas, entre otras, a nivel departamental. El área metropolitana de Bucaramanga alberga 1122961 habitantes, el centro urbano que posee la mayor cantidad de población en Santander, el

cual también está constituido por Floridablanca con 265452, Girón 180305 y Piedecuesta con 149219 habitantes. El municipio de Barrancabermeja presenta una población similar a la de Girón con 191768 habitantes, San Gil, con menos de la mitad de la población de Barrancabermeja, le sigue en cuanto a cantidad poblacional con 45445 habitantes, el cuarto puesto lo ocupa Socorro con una población de 30577, en contraste con municipios como Málaga y Vélez, los cuales poseen menor cantidad de población entre las capitales de provincia con 18382 y 19057 respectivamente.

2.2 Datos panel.

Los datos panel incorporan el análisis de series de tiempo³ junto con el análisis de datos de corte transversal⁴. Las series de tiempo analizan los datos a través de un periodo específico y los datos de corte transversal analizan unidades individuales en un momento específico. De esta forma, los datos panel analizan una muestra de unidades individuales a través de un periodo específico de tiempo.

Los datos seleccionados, tuvieron un tratamiento como conjunto de datos panel, debido a que se disponía de varias observaciones para cada variable. Como lo expone el libro *La Econometría de Datos Panel*: “Se dice que un conjunto de datos es de panel cuando se tienen observaciones de series temporales sobre una muestra de unidades individuales. Es decir, un conjunto de individuos es observado en distintos momentos en el tiempo” (Arellano & Olympia, 1990), esto se refiere a que, si se generan nuevas muestras aleatorias diferentes a las que se poseían, ya no será un conjunto de datos panel así se encuentren en los intervalos regulares de tiempo, debido la imposibilidad de

³ Se caracterizan porque los datos objeto de estudio están ordenados cronológicamente en el tiempo.

⁴ Son aquellos en donde los datos son tomados en un punto específico del tiempo o la dimensión temporal no es tenida en cuenta.

comparar observaciones particulares con su pasado. Por ejemplo, se dispone de los datos anuales de las ganancias operacionales de tres empresas de un sector de la economía, del año 2000 al 2007, estos datos constituirían un panel de datos dado que combinan datos de corte transversal y serie temporal, sin embargo, si se agrega información para el año 2008 de una cuarta empresa reemplazando alguna de las empresas observadas, dejaría de ser un conjunto de datos panel ya que no se puede comparar el 2008 con el comportamiento anterior de la empresa que fue sustituida. Existen dos clases de datos panel, los balanceados y los no balanceados, los balanceados son aquellos que, para cada periodo de tiempo, poseen observaciones de todas las variables; y los no balanceados son aquellos que, en algunos periodos, no se poseen observaciones.

Existen ciertas ventajas de los datos panel respecto a los datos de corte transversal, una de ellas es acerca de la heterogeneidad inobservable, la cual es controlada gracias a los datos panel. La heterogeneidad inobservable se refiere a que no se tiene certeza sobre la realidad del impacto de la variable explicativa sobre los coeficientes estimados debido a que es posible que dicho impacto sea generado por diferencias inobservables entre las demás variables correlacionadas con la variable explicativa. Es decir, mientras que con los datos de corte transversal se dificulta filtrar entre varias explicaciones cuál es la más acertada, con los datos panel se puede identificar si el fenómeno estudiado inició antes, después o durante un cierto periodo de tiempo. Otra ventaja de darle un tratamiento a los datos como panel, es que se pueden realizar modelos con una menor cantidad de observaciones temporales en comparación con los modelos de series de tiempo, ya que en éstos se necesita una mayor cantidad de datos para así tener más confiabilidad el modelo.

Con el conocimiento de la forma como se les dio tratamiento a los datos panel, podemos dar el siguiente paso en la construcción del modelo, el cual es el de la adaptación del modelo de gravedad para el flujo vehicular como se presenta a continuación

2.3 Modelo gravitacional.

Para el análisis del flujo económico, representado en el flujo vehicular, entre las capitales de provincia y el área metropolitana de Bucaramanga se estimaron tres modelos econométricos base, categorizando el flujo vehicular en automóviles, buses y carga.

De manera que el flujo vehicular constituye la variable dependiente, la masa urbana es una de las variables explicativas, la cual está compuesta por el PIB y la población de las capitales de provincias. Sin embargo, como la fuerza de atracción está dada por el producto de las masas de cada urbe, se multiplica el PIB de las aglomeraciones urbanas más importantes de cada provincia santandereana por el PIB de la capital departamental, que se encuentran en miles de millones, y se procede de la misma manera para la población. La última variable explicativa la constituyen los costos de transporte que son calculados según el costo por kilómetro (valores del informe de volúmenes de tráfico) y multiplicados por la cantidad de kilómetros que existe en cada ruta.

Para cada categoría de flujo vehicular se estimaron diferentes modelos, los cuales serán explicados en profundidad en el tercer apartado. No obstante, se establece un modelo base para cada tipo de flujo, los cuales aparecen a continuación:

El modelo de automóviles incluye el flujo vehicular del transporte promedio diario semanal (TPDS) de camperos, pick-up- camionetas y microbuses (Ilustrados en la figura 3) entre la capital santandereana y cada una de las capitales de provincia del departamento de Santander.

$$\text{Flujo automóviles} = \beta_1 pp + \beta_2 p PIB + \beta_3 ct autos + \beta_4 año + \beta_5 ruta + \varepsilon \quad (1)$$

Para las ecuaciones de los modelos de flujo vehicular, “pp” hace referencia al producto entre la población de la capital santandereana y cada una de las capitales de provincia, “p PIB” la multiplicación del producto interno bruto de Bucaramanga con la capital de provincia que

corresponda, “ct autos” se refiere al costo de transporte de automóviles, “ct buses” el costo que tienen los buses al transitar por una vía, “ct camiones” hace referencia al costo de recorrer las vías para los vehículos que se encuentran en la categoría de camiones y las variables “año” y “ruta” son factores, es decir que no se interpretan como una variable numérica, sino que es tenida en cuenta como una variable cualitativa dentro del modelo.

En el modelo de buses se incluyen los buses junto con las busetas y solo cambia la variable dependiente y los costes de transporte en comparación al modelo de automóviles, como se muestra a continuación.

$$\text{Flujo buses} = \beta_1 pp + \beta_2 p PIB + \beta_3 ct buses + \beta_4 año + \beta_5 ruta + \varepsilon$$

El modelo de carga se encuentra conformado por camiones pequeños, camiones de dos ejes pequeños y grandes, camiones de tres y cuatro ejes, camiones de cinco ejes, hasta llegar a tracto camiones de seis o más ejes. (Ilustrados en la figura 3) La estructura de la ecuación del modelo es similar a las dos anteriores, las variables que cambian son flujo de camiones y el costo de los mismos.

$$\text{Flujo camiones} = \alpha + \beta_1 pp + \beta_2 p PIB + \beta_3 ct cam + \beta_4 año + \beta_5 ruta + \varepsilon$$

2.4 Mínimos cuadrados generalizados (MCG).

En la estimación de los modelos econométricos se implementará el método de los mínimos cuadrados generalizados (MCG). Este método consiste en transformar un modelo con perturbaciones no esféricas a uno que sí las tenga, de manera que, con dicha transformación, al aplicarle la estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) se obtenga un estimador óptimo, lineal e insesgado (Salmerón, 2017). Los MCO son un método para la estimación de modelos

econométricos en el cual busca minimizar la suma de los cuadrados de los residuos, es decir, que pretende que los valores reales y los valores estimados estén lo más cercano posible.

La transformación que efectúa el método de los MCG, como lo plantea Gujarati (Gujarati & Porter, 2010), se lleva a cabo dividiendo el modelo en la desviación estandar σ_i . Para efectos de explicación supongamos que el modelo es el siguiente:

$$Y_i = \beta_1 X_{0i} + \beta_2 X_i + \mu_i$$

Entonces se divide entre σ_i en ambos lados de la ecuación, obteniendo

$$\frac{Y_i}{\sigma_i} = \beta_1 \left(\frac{X_{0i}}{\sigma_i} \right) + \beta_2 \left(\frac{X_i}{\sigma_i} \right) + \left(\frac{\mu_i}{\sigma_i} \right)$$

A esta transformación se le aplican los MCO y es así como se estima el modelo. Además, con esta transformación, lo que logra el método de los MCG es que dan una mayor ponderación a los valores de las observaciones que estén más concentradas alrededor de su valor medio, es decir, tienen más peso los valores que están más cerca del conglomerado o promedio, y proporcionándole inversamente, como es de esperar, un menor peso a las observaciones atípicas o que se alejan la distribución normal de los datos; lo cual permite estimar una función de regresión poblacional (FRP)⁵ más precisa (Gujarati & Porter, 2010).

En segundo lugar, como los MCG incluyen la ponderación y peso de las observaciones, a diferencia de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO), esto genera mejores estimadores lineales insesgados (MELI). Para que un estimador sea MELI debe cumplir con que, primero sea lineal; que sea insesgado, es decir, que el valor promedio esperado de beta estimado sea igual al valor verdadero; en tercera instancia que tenga una varianza mínima entre todos los estimadores lineales, lo que se conoce como estimador eficiente (Gujarati & Porter, 2010).

⁵ “Dicha función sólo denota que el *valor esperado* de la distribución de Y dada Xi se relaciona funcionalmente con Xi. En otras palabras, dice cómo la media o respuesta promedio de Y varía con X” (Gujarati & Porter, 2010).

Adicionalmente, con los MCG no se tienen problemas con las hipótesis de que las perturbaciones estén incorrelacionadas y tengan varianza constante (Salmerón, 2017).

3. Modelos Econométricos

Como se mencionó anteriormente, para el estudio de la interacción se planteó un ejercicio tomando como herramienta de análisis los modelos de gravedad. Con el propósito de entender mejor la interacción económica entre centros urbanos, se divide el flujo vehicular según las características del automotor y se separan en tres grupos: automóviles, buses y camiones.

Para realizar el estudio de los determinantes en el flujo se estimaron modelos econométricos con un nivel de confianza del 95%, los cuales poseen diferentes ajustes estadísticos para determinar cuál relación entre las variables es la que más se ajusta o cuáles son las más influyentes a la hora de explicar el flujo vehicular y por ende la interacción económica. Es decir, para algunos modelos se eliminaron variables explicativas que no eran significativas, con el fin de obtener un mejor ajuste y tener un mejor criterio de elección e interpretación del modelo.

Al analizar los resultados econométricos, es necesario tener en cuenta que dada la diferencia en las escalas de las variables no es posible observar en qué monto cambia el flujo como una razón de cambio a las variables explicativas. Sin embargo, si es posible ver cómo se estimula o responde el flujo a cada variable explicativa, es decir, en qué manera la variable influye en el flujo, si lo estimula o lo afecta. La diferencia en la escala se da debido a que mientras el PIB está en miles de millones y es un producto entre la capital de provincia y el AMB, al igual que la población que

también es el resultado de un producto, otras variables explicativas como el costo, se encuentran en una escala más baja. Es así como hasta la misma variable dependiente como lo es el flujo vehicular, se encuentran en una escala menor a la del PIB y la población, impidiendo que en el análisis se encuentre una razón de cambio entre las variables independientes y dependiente. Teniendo en cuenta todo lo planteado anteriormente, a continuación, se presentan los modelos para el flujo de automóviles, buses y camiones respectivamente.

3.1 Automóviles

Con el ánimo de conocer los determinantes del flujo de automóviles se formulan cuatro modelos diferentes. Así se establece cuál de todos los modelos es el que arroja un mejor ajuste estadístico para llegar a una mejor interpretación de los resultados econométricos y analizar las particularidades y el comportamiento del flujo de automóviles respecto a las variables explicativas del mejor modelo. A continuación, se presenta la ecuación econométrica de dichos modelos:

Modelo Automóviles 1

$$\text{Flujo automóviles} = \beta_1 pp + \beta_2 p PIB + \beta_3 ct auto + \beta_4 año + \beta_5 ruta + \varepsilon$$

En el segundo modelo se toma la variable del costo de los autos como una ponderación, a su vez las variables PIB y población tienen logaritmo con el objetivo de suavizar la serie.

Modelo Automóviles 2

Flujo automóviles σ_{costos}

$$= \beta_1 \left(\frac{\log(pp)}{\sigma_{costos}} \right) + \beta_2 \left(\frac{\log(p PIB)}{\sigma_{costos}} \right) + \beta_3 \left(\frac{año}{\sigma_{costos}} \right) + \beta_4 \left(\frac{ruta}{\sigma_{costos}} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_{costos}} \right)$$

El tercer modelo posee todas las variables al igual que el primer modelo con la diferencia que ahora las variables población y PIB están en logaritmo.

Modelo Automóviles 3

$$Flujo\ automóviles = \beta_1 \log(pp) + \beta_2 \log(p PIB) + \beta_3 ct\ autos + \beta_4 año + \beta_5 ruta + \varepsilon$$

El modelo 4 es similar al modelo anterior, pero se diferencia en que en este caso se agrega el intercepto.

Modelo Automóviles 4

Flujo automóviles

$$= \beta_0 + \beta_1 \log(pp) + \beta_2 \log(p PIB) + \beta_3 ct\ autos + \beta_4 año + \beta_5 ruta + \varepsilon$$

En el Apéndice A se presentan los principales resultados de cada uno de los modelos. El criterio de selección para escoger el mejor modelo es el criterio de selección universal de modelos de Bayes, en donde el mejor modelo es aquel cuyo criterio de información Bayesiano BIC⁶ sea menor. En la siguiente tabla se muestran cada uno de los BIC que arrojaron los modelos.

⁶ “El criterio BIC trata de seleccionar el modelo correcto, con máxima probabilidad a posteriori, y puede demostrarse que es un criterio consistente, de manera que la probabilidad de seleccionar el modelo correcto tiende a 1 cuando aumenta el tamaño muestral.” ... “En definitiva, el BIC asume que el modelo real está incluido en el conjunto de modelos candidatos, y mide el grado de certeza de que un cierto modelo sea el verdadero modelo generador de los datos.” (Díaz, 2011). Es decir, el BIC mide la verocimilitud de los parámetros y por esto, valores pequeños del BIC identifica mejores modelos (en términos numéricos).

Tabla 1.

Resultados BIC de cada modelo para flujo de automóviles

	BIC
Modelo 1	470,552
Modelo 2	480,289
Modelo 3	486,650
Modelo 4	470,552*

Fuente: Cálculo de los autores. El * señala el modelo con menor BIC.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, se presenta un empate con los modelos 1 y 4, los cuales poseen los valores más bajos. Esto quiere decir que los dos modelos son los que presentan una mejor estimación, por lo tanto, son los mejores a la hora de explicar y caracterizar el flujo de automóviles. Con este panorama se escoge el modelo número 4 dado que en este se encuentra incluido el intercepto (véase ecuación Modelo 4) y facilita la interpretación de los resultados, los cuales se plasman en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Resultados Modelo 4

Coefficientes	Estimado	P valor
Intercepto	-1,06E+08	0.01023*
PIB	-1,09E-02	0.06474
Factor ruta Málaga-Bucaramanga	9,12E+07	0.00973*
Factor ruta San Gil-Bucaramanga	8,01E+07	0.00894*
Factor ruta Socorro-Bucaramanga	8,72E+07	0.00912*
Factor ruta Vélez-Bucaramanga	8,75E+07	0.01028*
Población	5,16E-04	0.00912*
Costo Autos	4,59E+01	0.11543
Factor año 2011	6,98E+05	0.03168*
Factor año 2012	-9,01E+04	0.83167
Factor año 2013	1,19E+05	0.71736
Factor año 2014	-3,55E+05	0.57688
Factor año 2015	-5,79E+05	0.48891

Fuente: cálculo de los autores con el uso del software estadístico R project. El * señala que el valor es significativo, ya que es menor al 0,05% que elegimos como margen de error.

En este modelo el punto de referencia, para las rutas es la ruta Barrancabermeja-Bucaramanga, los P valores que están en rojo señalan que son significativos estadísticamente con un grado de confianza del 95%. Entonces, en cuanto a las rutas de Málaga, San Gil, Socorro y Vélez, el flujo de automóviles es mayor al de la ruta Barrancabermeja-Bucaramanga. Sin embargo, dado que el PIB no es una variable significativa para explicar el flujo de automóviles, el mayor flujo vehicular de estas rutas puede ser resultado no precisamente de la interacción económica entre las capitales de provincia y Bucaramanga, sino producto de que en trayectos viales las carreteras que conectan las capitales de provincia con Bucaramanga se encuentren integradas, en su totalidad como es el caso de San Gil y Socorro o parcialmente como Málaga y Vélez, a una vía nacional que recorre desde el interior del país hasta la costa. Una explicación de este fenómeno, es que el flujo sea producto de la interacción entre otros centros urbanos del país como por ejemplo Bogotá-Barranquilla, en la cual se debe recorrer la vía Vélez- Bucaramanga dado que es una vía nacional.

Otra de las variables que arroja significancia es la de la población, la población en este caso está estimulando el flujo de automóviles, es decir, que está actuando como una variable de atracción en el modelo, tal como lo plantea el modelo de gravedad. Con esto se tiene que el crecimiento poblacional tanto de Bucaramanga como de la capital de provincia va a incidir positivamente en el aumento del flujo automovilístico entre las ciudades objeto de estudio. Si se considera que en la capital santandereana se encuentran las principales sedes del poder judicial, ejecutivo y legislativo, y a su vez se prestan servicios de salud más especializados con mayores niveles de complejidad de los que brindan las instituciones hospitalarias ubicadas en los demás municipios del departamento, se podría explicar unas de las razones por la que existe un movimiento poblacional hacia Bucaramanga. Por último, el año 2011 también presenta significancia, lo cual indica que en este año se presentó un aumento significativo del flujo de

automóviles respecto al año 2010 el cual es el año base, este cambio se puede explicar por factores de coyuntura económica.

3.2 Buses

El flujo de buses entre la capital santandereana y cada una de las capitales de provincia se estudió a través de cinco modelos. Para el estudio del flujo de buses se elaboraron cinco modelos con las mismas variables que en el modelo de autos, cambiando solo la variable de costo de transporte de los autos por el costo de transporte de los buses y la variable dependiente flujo de automóviles por la variable dependiente flujo de buses. Los modelos son presentados a continuación.

Modelo Buses 1

$$\text{Flujo buses} = \beta_1 pp + \beta_2 pPIB + \beta_3 ct \text{ buses} + \beta_4 \text{factor (año)} + \beta_5 \text{factor (ruta)} + \varepsilon$$

En el segundo modelo se toma la variable del costo de los buses como una ponderación, además las variables PIB y población tienen logaritmo con el objetivo de suavizar la serie.

Modelo Buses 2

$$\frac{\text{Flujo buses}}{\sigma_{\text{costos}}} = \beta_1 \left(\frac{\log(pp)}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_2 \left(\frac{\log(p PIB)}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_3 \left(\frac{\text{año}}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_4 \left(\frac{\text{ruta}}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_{\text{costos}}} \right)$$

El siguiente modelo posee todas las variables al igual que el primer modelo con la diferencia que ahora las variables población y PIB están en logaritmo.

Modelo Buses 3

$$\begin{aligned} \text{Flujo buses} = & \beta_1 \log pp + \beta_2 \log p PIB + \beta_3 ct \text{ buses} + \beta_4 \text{factor (año)} \\ & + \beta_5 \text{factor (ruta)} + \varepsilon \end{aligned}$$

El último modelo 4 no incluye la variable del PIB y el producto de la población está en logaritmo. Además, se toma la variable del costo de los buses como una ponderación.

Modelo Buses 4

$$\frac{\text{Flujo autom3viles}}{\sigma_{\text{costos}}} = \beta_1 \left(\frac{\log(pp)}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_2 \left(\frac{\text{año}}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_3 \left(\frac{\text{ruta}}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_{\text{costos}}} \right)$$

Y por 3ltimo el modelo 5 el cual est3 constituido igual que el modelo inmediatamente anterior, con la diferencia de que se incluye el intercepto.

Modelo Buses 5

$$\frac{\text{Flujo autom3viles}}{\sigma_{\text{costos}}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{\log(pp)}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_2 \left(\frac{\text{año}}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \beta_3 \left(\frac{\text{ruta}}{\sigma_{\text{costos}}} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_{\text{costos}}} \right)$$

En el Ap3ndice B, se muestran los principales resultados de la estimaci3n de cada uno de los modelos para el flujo de buses. Nuevamente, el criterio de selecci3n del mejor modelo es el criterio bayesiano y en la siguiente tabla se muestra cada uno de los BIC para los modelos correspondientes.

Tabla 3.

Resultados BIC de cada modelo para flujo de buses

	BIC
Modelo buses 1	478,014
Modelo buses 2	468,047
Modelo buses 3	475,024
Modelo buses 4	465,069
Modelo buses 5	465,069*

Fuente: C3lculo de los autores. El * señaala el modelo con menor BIC.

Como es posible observar en la Tabla 3 los mejores modelos son el modelo de buses 4 y el modelo de buses n3mero 5 con el mismo BIC de 465.069 y siendo a su vez el menor n3mero entre el resto de modelos. Al igual que en el modelo de autos, en este caso se escoge el modelo 5 que es

el que posee el intercepto para facilitar su interpretación, los principales resultados de su estimación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Resultados Modelo buses 5

Coefficientes	Estimado	P valor
Intercepto	-643076.99	0.0461*
Factor ruta Málaga-Bucaramanga	57546.29	0.0468*
Factor ruta San Gil-Bucaramanga	35756.84	0.0461*
Factor ruta Socorro-Bucaramanga	45946.20	0.0446*
Factor ruta Vélez-Bucaramanga	56626.01	0.0466*
Log (Población)	24704.14	0.0459*
Factor año 2011	37.54	0.8802
Factor año 2012	-416.54	0.1809
Factor año 2013	-581.05	0.1373
Factor año 2014	-817.30	0.0857
Factor año 2015	-528.39	0.3325

Fuente: Calculo de los autores. El * señala que el valor es significativo, ya que es menor al 0,05% que elegimos como margen de error.

En este modelo con intercepto, el punto de referencia en el factor ruta vuelve a ser la ruta Barrancabermeja-Bucaramanga. La variable del costo de los buses se tomó como una ponderación, lo cual quiere decir que esta variable influye de manera significativa en el tráfico vehicular de buses, con lo que es posible afirmar que este flujo de los buses intermunicipales está, entre otras cosas, determinado por la demanda con la que la población requiera trasladarse de un lugar a otro, es decir, está determinada por temporadas vacacionales, puentes festivos y algunos otros factores de coyuntura económica. También se evidencia, al igual que con el modelo de automóviles, que existe un diferencial significativo de cada una de las rutas con respecto a la ruta de Barrancabermeja y ya que el PIB no es representativo para el flujo de buses, es posible que se deba

también, como se mencionó en el modelo de automóviles, a la conexión que tienen las vías intermunicipales de Santander con una vía nacional, caso distinto a la vía que conduce de Barrancabermeja a Bucaramanga la cual se encuentra aislada de la interferencia de una vía nacional.

Agregado a esto, la variable población que se encuentra en logaritmo muestra como dicha variable incide positivamente en el tráfico de buses. Lo cual quiere decir, en otras palabras, que un aumento en la población de la capital de provincia o en la misma Bucaramanga va repercutir en el aumento en el flujo de los buses, lo cual puede ser ocasionado en parte por los trámites que se deben diligenciar en Bucaramanga, así como se explicó en el modelo de autos, en donde los usuarios del servicio de buses son personas que no poseen un automóvil o que no lo utilizan para viajes intermunicipales y su uso es exclusivamente urbano. En cuanto a los años, no hay una variación significativa en el flujo de buses de 2010 a 2015.

3.3 Camiones.

El flujo de camiones cumple un rol fundamental a la hora de establecer la relación económica entre centros urbanos ya que en los camiones es donde se transportan los distintos productos y mercancías, y, asimismo se ve reflejado el volumen de mercancía que se transan entre municipios, es decir, si el flujo de camiones es elevado la interacción económica también lo es, adicionalmente como consecuencia de esto se generan externalidades positivas en la economía departamental. Para el estudio de este flujo se estimaron cinco modelos los cuales son presentados a continuación:

Modelo Camiones 1

Flujo camiones

$$= \beta_1 pp + \beta_2 p PIB + \beta_3 ct camiones + \beta_4 factor (año) + \beta_5 factor (ruta) + \varepsilon$$

En el segundo modelo se toma la variable del costo de camiones como una ponderación, además las variables PIB y población tienen logaritmo con el objetivo de suavizar la serie.

Modelo Camiones 2

Flujo camiones

σ_{costos}

$$= \beta_1 \left(\frac{\log(pp)}{\sigma_{costos}} \right) + \beta_2 \left(\frac{\log(p PIB)}{\sigma_{costos}} \right) + \beta_3 \left(\frac{año}{\sigma_{costos}} \right) + \beta_4 \left(\frac{ruta}{\sigma_{costos}} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_{costos}} \right)$$

El siguiente modelo posee todas las variables al igual que el primer modelo con la diferencia que ahora las variables población y PIB están en logaritmo.

Modelo Camiones 3

Flujo camiones

$$= \beta_1 \log pp + \beta_2 \log p PIB + \beta_3 ct camiones + \beta_4 factor (año) + \beta_5 factor (ruta) + \varepsilon$$

El último modelo para el flujo de camiones no incluye las variables de costo de camiones al igual que el PIB, además el producto de la población está en logaritmo.

Modelo Camiones 4

$$Flujo camiones = \beta_1 ct Camiones + \beta_2 factor (año) + \beta_3 factor (ruta) + \varepsilon$$

Por último, se encuentra el Modelos camiones 5 el cual posee características similares al Modelo de camiones 4, con la introducción del intercepto.

Modelo Camiones 5

$$\text{Flujo camiones} = \beta_0 + \beta_1 \text{ct Camiones} + \beta_2 \text{factor (año)} + \beta_3 \text{factor (ruta)} + \varepsilon$$

En el Apéndice C se muestran los resultados más relevantes de la estimación de los modelos de flujo de camiones. En cuanto al criterio de selección del mejor modelo sigue siendo el criterio universal de Bayes, donde el mejor modelo es aquel que presente un menor BIC. En la siguiente tabla se plasman los resultados de cada uno de los modelos para flujo de camiones.

Tabla 5.

Resultados BIC de cada modelo para flujo de camiones

	BIC
Modelo camiones 1	426,870
Modelo camiones 2	439,270
Modelo camiones 3	428,607
Modelo camiones 4	423,802
Modelo camiones 5	423,802*

Fuente: Cálculo de los autores. El * señala el modelo con menor BIC.

Los modelos que presentan un menor valor de BIC son los Modelos camiones 4 y Modelo camiones 5 con 423.802, el cual es el menor número entre el resto de modelos. Dado que estos dos modelos presentan paridad, se escoge el Modelo camiones 5 porque éste incluye el intercepto y se hace más fácil su interpretación. En la tabla que se presenta a continuación se encuentran algunos de los aspectos más relevantes de la estimación del modelo escogido.

Tabla 6.

Resultados Modelo camiones 5

Coefficientes	Estimado	P valor
Intercepto	5,63E+05	0.005697*
Factor ruta Málaga-Bucaramanga	-3,64E+05	0.011955*
Factor ruta San Gil-Bucaramanga	9,46E+05	3.42e-08*
Factor ruta Socorro-Bucaramanga	2,23E+05	0.115137
Factor ruta Vélez-Bucaramanga	-1,92E+06	0.000108*
Costo Camiones	6,34E+00	1.04e-05e*
Factor año 2011	5,54E+04	0.655586
Factor año 2012	-1,59E+05	0.231706
Factor año 2013	1,55E+04	0.897842
Factor año 2014	-1,49E+05	0.278877
Factor año 2015	1,29E+05	0.378553

Fuente: Cálculo de los autores. El * señala que el valor es significativo, ya que es menor al 0,05% que elegimos como margen de error.

Con base en los resultados observados en la Tabla 6, es posible afirmar que tanto en la ruta Málaga-Bucaramanga como en la ruta Vélez-Bucaramanga existe un menor flujo en comparación con el flujo de camiones de la ruta Barrancabermeja-Bucaramanga la cual es el punto de referencia y está incluida en el intercepto. Este fenómeno puede explicarse entre otras cosas por el transporte de crudo y demás derivados del petróleo que son transportados en una vía que es punto de referencia. Además de esto, la ruta San Gil-Bucaramanga también presenta un mayor flujo vehicular, lo cual expone que existe un importante intercambio de mercancías entre la capital de la provincia de Guanentá y Bucaramanga, donde es mayor a la ruta punto de referencia incluida en el intercepto; mientras que a su vez la capital de la provincia comunera no arroja un ajuste estadístico significativo. Por último, el costo de los camiones es la variable que presenta un P valor más bajo y en consecuencia tiene mayor significancia en el modelo, no obstante, este resultado no puede ser interpretado solo matemáticamente, ya que el modelo sugiere que si aumentan los costos aumenta

el flujo de camiones, pero se debe dar una interpretación a la luz del contexto en donde se origina, dado que no existen vías alternas entre las capitales de provincias, se convierte en una ruta obligada, con lo cual se puede inferir que el flujo de camiones va a aumentar así aumenten los costos, debido a que la economía colombiana ha venido creciendo en el periodo de tiempo estudiado. No obstante, con este resultado se contradice la teoría del modelo de gravedad el cual supone que los costos de transporte y la distancia influyen negativamente en el flujo económico entre dos nodos, sin embargo, como se mencionó, hay que tener en cuenta que en este caso no existen rutas alternas por las cuales se puedan movilizar para disminuir sus costos de transporte, sino que existe una ruta nacional obligada entre las capitales de provincia del departamento de Santander.

4. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a los datos correspondientes de la variable dependiente de flujo vehicular, es posible llegar a la conclusión de que en el departamento de Santander existe una red entre las ciudades, puesto que, en todas las rutas de las capitales de provincia hasta Bucaramanga, existe flujo vehicular en las tres categorías de automóviles, buses y camiones. Como resultado del trabajo realizado se puede concluir en efecto la existencia de un sistema de ciudades entre las diferentes capitales de provincia y el área metropolitana de Bucaramanga. Sin embargo, dicha interacción no puede ser evidenciada con plena claridad y acierto dado que, a excepción de la ruta Barrancabermeja-Bucaramanga, las demás rutas entre capitales de provincia y la capital santandereana se unen a una vía de carácter nacional la cual no une solamente a Bucaramanga con

las capitales de provincias, sino que también lo hace con el interior del país con otras ciudades importantes como Barraquilla, Cartagena y Cúcuta. Con este panorama, es necesario considerar que el flujo vehicular observado si bien puede ser una parte debido a la interacción económica estudiada, también puede causarse por la interacción económica de otros centros urbanos como por ejemplo Bogotá y Barranquilla. A manera de recomendación, esta situación debería ser estudiada en un trabajo futuro con datos que permitan conocer el origen y destino del flujo vehicular para conocer mejor el sistema. De esta manera, filtrar el flujo vehicular y así tener solo los vehículos que transitan entre las capitales de provincia y Bucaramanga, eliminando los que se dirigen hacia otros destinos que no son de nuestro interés.

Por otra parte, en el transcurrir del año 2010 al año 2015 no se presentan cambios significativos en el flujo vehicular de buses y camiones, con lo cual se concluye que estos dos flujos se mantuvieron constantes; en contraste con el flujo de automóviles el cual presenta una variación significativamente positiva en el año 2011 la cual puede ser causada por situaciones de coyuntura económica. Para el resto de los años estudiados en comparación con el año 2010 no existen diferencias significativas.

También se concluye que el tamaño de la población influye positivamente en la relación económica en cuanto a flujo de personas, debido a que es una variable estadísticamente significativa a la hora de explicar el flujo vehicular de buses y automóviles. No obstante, el transporte de mercancías no influye en la relación económica, ya que no es importante a la hora de explicar el flujo de camiones, esto puede deberse a lo que ya mencionamos anteriormente, que los flujos de mercancía pueden ir a lugares más lejanos al del sistema estudiado. Así pues, se puede esperar que, con el crecimiento poblacional de los próximos años, se incremente también el flujo vehicular de buses y automóviles. Con todo esto, es posible afirmar también que la variable

población se convierte en una variable de atracción en cuanto a la interacción económica para los nodos urbanos del sistema de ciudades.

En cuanto a la variable de producción económica PIB, no es significativa a la hora de explicar la interacción económica entre ciudades porque no presenta un ajuste estadístico significativo. Con lo cual se puede concluir que así la producción económica de cualquiera de las ciudades objeto de estudio aumente, este incremento no se va a ver reflejado en un mayor flujo vehicular y por ende una mayor interacción económica.

La teoría sobre sistemas de ciudades postula que la sociedad actual está constituida como una sociedad red, pero que para aterrizar dicha teoría a la realidad, se debe considerar que esta sociedad de red presenta un desarrollo diferente según el contexto donde se desarrolla y es de gran relevancia entender esto, dado que se puede potenciar el desarrollo de la región al tener una herramienta que entienda el contexto de la región en la formulación de mejores políticas públicas, más eficaces a la hora de alcanzar sus objetivos.

Un ejemplo en la formulación de una política pública, es alguna que busque la seguridad alimentaria del AMB a través de los suministros agrícolas de las capitales de provincia, ejecutando proyectos agrarios productivos. Es necesario condicionar la ejecución del proyecto para garantizar la fidelidad a la hora de comerciar los productos agrícolas con el AMB, para evitar que los productos sean trasladados por la vía nacional hacia otros lugares del país. Este proyecto aumentaría la cantidad de camiones que circulan por las principales vías de Santander, lo cual genera que aumente el flujo de camiones y de esta forma, también aumenta la interacción económica.

A su vez, se percibió la existencia de una brecha entre el PIB del AMB y Barrancabermeja con las demás capitales de provincia, con lo que se podría formular una política pública que busque

aumentar la producción de las capitales de provincias y así disminuir dicha brecha, se puede aprovechar la vía nacional que atraviesa el departamento para llevar productos a diferentes lugares del país.

Es así como con este estudio se logra dar una visión y un entendimiento del sistema de ciudades en el departamento de Santander, sirviendo el mismo como herramienta a la hora de la formulación de políticas públicas en la región, ya que con este trabajo se logra deslumbrar las dinámicas y sinergias que caracterizan la red interurbana en Santander.

Referencias Bibliográficas

- Almanza, A. S. (2016). Sistema de ciudades y redes urbanas en los modelos económicos de México. *Revista Problemas del Desarrollo*, 7-34.
- Arellano, M., & O. B. (1990). La econometría de datos panel. *Investigaciones Económicas*, 3-45.
- Cafiero, J. A. (2005). Modelos Gravitacionales para el Análisis del Comercio Exterior. *Comercio Exterior e Integración* , 1-10.
- Cárdenas S., M., & García J., C. (2004). El modelo gravitacional y el TLC entre Colombia y Estados Unidos. *Fedesarrollo*, 38.
- Castells, M. (2000). *La sociedad red*. Madrid: Alianza Editorial S. A.
- Christaller, W. (1966). *Central Places in Southern Germany*. New Jersey: Prentice Hall.
- DANE. (08 de Junio de 2017). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq_pib.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (27 de Mayo de 2017). *DANE*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Díaz, F. F. (2011). Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales. . Granada.
- Domènech, R. B. (2004). Redes de ciudades y externalidades. *Investigaciones Regionales. Asociación Española de Ciencia Regional*, 24.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría*. México: McGraw-Hill/Irwin, Inc.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. Iztapalapa: Mc Grawhll Interamerica Editores SA.
- Jiménez, M. L. (01 de Agosto de 2004). *ub*. Obtenido de *ub*: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-170-30.htm>
- Krugman, P. R., & Obstfeld, M. (2006). *Economía Internacional Teoría y política*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Krugman, P. R., & Obstfeld, M. (2006). *Economía Internacional Teoría y política*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Lopez Giral, D., & Muñoz Davia, F. A. (2008). Los modelos de gravedad en América Latina: el caso de Chile y México. *Comercio Exterior*, 11.
- Lozano Karanauskas, C., Castro Irigorri, C. A., & Campos Salazar, J. S. (2005). *Un Modelo Gravitacional para la Agenda Interna*. Bogotá DC: Archivos de Economía.
- Marshall, A. (1931). *Principios de Economía, Introducción al estudio de esta ciencia* . Barcelona: El Consultor Bibliográfico .
- Paredes, R., & Romero Rochín, V. (16 de septiembre de 2014). Las leyes de Kepler y la ley de Gravitación Universal. Mexico.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Roberts, B. H. (2015). *Gestionando Sistemas de Ciudades Secundarias*. Washington D.C: Cities Alliance /Banco Interamericano de Desarrollo.
- Roda, P. (2012). Conectividad interurbana en Colombia. *DNP*, 57.
- Salingaros, N. A. (10 de Octubre de 2005). *Red Hat Enterprise Linux* . Obtenido de Red Hat Enterprise Linux : <http://zeta.math.utsa.edu/~yxk833/urbanweb-spanish.pdf>

Salmerón, R. (10 de 05 de 2017). *Universidad de Granada*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~romansg/material/WebEco/mcg.pdf>

Samad, T., Panman, A., Rodríguez, A., & Lozano Gracia, N. (2012). *Sistema de Ciudades. Una aproximación visual al caso colombiano*. Bogotá DC: Panamericana Formas e Impresos S. A.

Santander, G. d. (2012). *Lineamientos y Directrices de Ordenamiento Territorial del Departamento de Santander*. Bucaramanga: Litografía Iris Impresores .

Apéndices

Apéndice A. Resultados modelos econométricos para flujo vehicular de Automóviles.

Coeficientes:	Modelo A1		Modelo A2		Modelo A3		Modelo A4	
	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)
Intercepto							-1,06E+08	0.01023*
PIB	-1,09E-02	0.06474	1.588.367	0.5233	1,51E+06	0.5927	-1,09E-02	0.06474*
Factor ruta Barrancabermeja-Bucaramanga	-1,06E+08	0.01023*	-86.052.665	0.8219	8,23E+07	0.8845		
Factor ruta Málaga-Bucaramanga	-1,46E+07	0.03285*	-75.366.892	0.8279	7,81E+07	0.8798	9,12E+07	0.00973*
Factor ruta San Gil-Bucaramanga	-2,57E+07	0.01588*	-78.623.012	0.8271	8,00E+07	0.8809	8,01E+07	0.00894*
Factor ruta Socorro-Bucaramanga	-1,86E+07	0.02104*	-77.025.603	0.8278	7,93E+07	0.8802	8,72E+07	0.00912*
Factor ruta Vélez-Bucaramanga	-1,82E+07	0.03983*	-75.497.372	0.8279	7,89E+07	0.8793	8,75E+07	0.01028*
Población	5,16E-04	0.00912*	2.277.513	0.8747	-4,10E+06	0.8492	5,16E-04	0.00912*
Costo Autos	4,59E+01	0.11543			-9,01E+00	0.8287	4,59E+01	0.11543
Factor año 2011	6,98E+05	0.03168*	972.144	0.0123 *	1,18E+06	0.0293 *	6,98E+05	0.03168*
Factor año 2012	-9,01E+04	0.83167	366.320	0.5747	7,04E+05	0.4526	-9,01E+04	0.83167
Factor año 2013	1,19E+05	0.71736	7.997	0.9945	3,21E+05	0.8109	1,19E+05	0.71736
Factor año 2014	-3,55E+05	0.57688	-36.676	0.9830	5,04E+05	0.8251	-3,55E+05	0.57688
Factor año 2015	-5,79E+05	0.48891	184.094	0.9258	7,62E+05	0.7775	-5,79E+05	0.48891
Dispersión		137030.9		24949790294		234342.4		137030.9
Desviación Nula		357362431		4,39E+17		357362431		22928190
BIC		470,552		480,289		486,650		470,552

Apéndice B. Resultados modelos econométricos para flujo vehicular de buses.

Coeficientes:	Modelo B1		Modelo B2		Modelo B3		Modelo B4		Modelo B5	
	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)
Intercepto									-643076.99	0.0461*
PIB	-3,02E-03	0.640	976.75	0.6191	7,21E+05	0.760				
Factor ruta Barrancabermeja-Bucaramanga	-1,27E+07	0.769	-666786.47	0.0459*	-6,95E+08	0.171	-643076.99	0.0461*		
Factor ruta Málaga-Bucaramanga	2,56E+06	0.755	-604391.33	0.0462*	-6,31E+08	0.172	-585530.70	0.0460*	57546.29	0.0468*
Factor ruta San Gil-Bucaramanga	-1,69E+06	0.881	-627565.44	0.0462*	-6,54E+08	0.171	-607320.16	0.0461*	35756.84	0.0461*
Factor ruta Socorro-Bucaramanga	3,87E+05	0.964	-616793.30	0.0463*	-6,44E+08	0.171	-597130.79	0.0462*	45946.20	0.0446*
Factor ruta Vélez-Bucaramanga	3,29E+06	0.723	-605390.99	0.0462*	-6,33E+08	0.173	-586450.98	0.0460*	56626.01	0.0466*
Población	7,73E-05	0.709	24897.59	0.0492*	2,61E+07	0.172	24704.14	0.0459*	24704.14	0.0459*
Costo Buses	-1,05E+01	0.484			4,02E+00	0.806				
Factor año 2011	3,24E+05	0.357	-27.12	0.9243	-6,74E+04	0.878	37.54	0.8802	37.54	0.8802
Factor año 2012	1,24E+05	0.801	-624.38	0.2386	-6,96E+05	0.411	-416.54	0.1809	-416.54	0.1809
Factor año 2013	-3,62E+04	0.924	-996.08	0.2855	-9,66E+05	0.414	-581.05	0.1373	-581.05	0.1373
Factor año 2014	3,05E+05	0.680	-1449.47	0.2907	-1,56E+06	0.451	-817.30	0.0857	-817.30	0.0857
Factor año 2015	9,70E+05	0.323	-1252.02	0.4238	-1,31E+06	0.593	-528.39	0.3325	-528.39	0.3325
Dispersión		175725.6		35490152709		159056.6		34100333704		34100333704
Desviación Nula		17584998		4,36E+16		17584998		4,36E+16		
BIC		478,014		468,0469		475,024		465,0693		465,0693

Apéndice C. Resultados modelos econométricos para flujo vehicular de Camiones.

Coeficientes:	Modelo C1		Modelo C2		Modelo C3		Modelo C4		Modelo C5	
	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)	Estimate	Pr(> t)
Intercepto									5,63E+05	0.005697*
PIB	-3,29E-03	0.21219	1171.87	0.350	5,29E+05	0.625				
Factor ruta Barrancabermeja-Bucaramanga	-2,41E+07	0.16140	-19144.82	0.914	-1,60E+08	0.334	5,63E+05	0.00570*		
Factor ruta Málaga-Bucaramanga	-1,96E+06	0.20321	-14084.65	0.930	-1,45E+08	0.338	1,99E+05	0.43715	-3,64E+05	0.011955*
Factor ruta San Gil-Bucaramanga	-4,26E+06	0.28620	-14498.39	0.931	-1,49E+08	0.341	1,51E+06	4.05e-07*	9,46E+05	3.42e-08*
Factor ruta Socorro-Bucaramanga	-2,94E+06	0.25883	-14267.31	0.931	-1,47E+08	0.339	7,86E+05	0.00636*	2,23E+05	0.115137
Factor ruta Vélez-Bucaramanga	-3,36E+06	0.03819*	-13926.43	0.931	-1,46E+08	0.333	-1,36E+06	0.02099*	-1,92E+06	0.000108*
Población	1,23E-04	0.15272	-56.28	0.993	5,78E+06	0.362				
Costo Camiones	5,43E+00	0.00081*			6,44E+00	2.23e-05 *	6,34E+00	1.04e-05*	6,34E+00	1.04e-05*
Factor año 2011	1,92E+04	0.88046	65.23	0.714	-4,14E+04	0.793	5,54E+04	0.65559	5,54E+04	0.655586
Factor año 2012	-2,43E+05	0.10541	-244.33	0.453	-3,83E+05	0.174	-1,59E+05	0.23171	-1,59E+05	0.231706
Factor año 2013	-1,28E+05	0.41312	-494.39	0.406	-3,76E+05	0.446	1,55E+04	0.89784	1,55E+04	0.897842
Factor año 2014	-2,67E+05	0.10211	-682.30	0.438	-7,21E+05	0.334	-1,49E+05	0.27888	-1,49E+05	0.278877
Factor año 2015	-4,30E+04	0.81693	-389.75	0.698	-5,40E+05	0.522	1,29E+05	0.37855	1,29E+05	0.378553
Dispersión		31948.43		12936922977		33852.84		32374.78		32374.78
Desviación Nula		148972997		4,31E+17		148972997		1,49E+08		7771090
BIC		426,870		439,2696		428,6069		423,802		423,802