

05

EL MODELO DE GRAVEDAD Y LOS DETERMINANTES DEL COMERCIO ENTRE COLOMBIA Y SUS PRINCIPALES SOCIOS ECONÓMICOS

Harold Stevens Avila Aguirre*

Fecha de recepción: 21 de julio de 2016

Fecha de aprobación: 28 de noviembre de 2016

Fecha de publicación: 6 de enero de 2017

RESUMEN

Siguiendo los principios básicos derivados del modelo gravitacional del comercio internacional, abordándolo desde sus fundamentos conceptuales y teniendo en cuenta la evidencia empírica existente sobre el tema, en el presente artículo se construye un modelo econométrico con el propósito de identificar los principales determinantes que influyeron en la variación del volumen de exportaciones entre Colombia y sus socios económicos más importantes durante el periodo que va desde el año 2000 hasta el año 2015. La muestra considera 49 países para un total de 784 observaciones y se utilizó la técnica de datos de panel usando el método de Errores Estándar Corregidos con el fin de obtener estimaciones eficientes y precisas de los parámetros.

Palabras clave: comercio internacional, modelo de gravedad, exportaciones, datos de panel, acuerdos comerciales.

JEL: F11, F12, F14

ABSTRACT

Following the basic principles derived from the gravitational model of international trade, approaching it from its conceptual foundations and taking into account the existing empirical evidence on the topic in the present article an econometric model is constructed in with the intention of identify the main determinants that influenced the Change of the volume of exports between Colombia and its more important economic partners during the interval that goes from the year 2000 until the year 2015. The sample considers 49 countries for a total of 784 observations and used the technique of panel data using the Panel Corrected Standard Error method in order to obtain efficient and precise estimates of the parameters.

Keywords: International trade, gravity model, exports, data panel, trade agreements.

* Economista, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Especialista en Comercio Internacional, Universidad Sergio Arboleda. <haroldstevensavila@gmail.com>

Introducción

Dentro de la literatura económica se ha demostrado que los países participan en el intercambio comercial principalmente por dos razones. La primera de ellas sostiene que los países comercian porque son diferentes y dichas disimilitudes generan beneficios por medio de la interacción entre estos; cada país produce entonces aquellos bienes que elabora de manera relativamente más eficiente (competitivo), los cuales le permiten alcanzar economías de escala a través del comercio. En segundo lugar, las relaciones comerciales permiten a los países especializarse y exportar productos que realizan de forma más eficiente (principio de la ventaja comparativa), a su vez este intercambio puede ser visto como un método de producción indirecto ya que un país produce otro bien y lo cambia por el bien deseado, ampliando con esto su acceso a una mayor variedad de productos de consumo (Krugman y Obstfeld, 2006).

Durante las últimas décadas la mayor interdependencia entre las economías de distintas naciones ha conducido a un aumento continuo en el comercio internacional. Una de las causas ha sido el fomento e incremento de acuerdos comerciales regionales (ACR), los cuales se han posicionado como un elemento dinamizador e influyente dentro del sistema de comercio.

Existen además también otros motivos aparte de los acuerdos internacionales que explican el crecimiento de los flujos comerciales internacionales, entre ellos se destacan la incorporación de mejoras tecnológicas que han implicado un descenso significativo en los costos de transporte y las comunicaciones, el cambio en el modelo y las estructuras internas de muchas compañías que han llevado a su internacionalización, así como los esfuerzos realizados por muchos países para implementar medidas de liberalización unilateral del comercio y normas para atraer y facilitar la entrada de inversión proveniente del extranjero (Trejos, 2009).

Para el caso de Latinoamérica, en las últimas décadas se han intensificado las iniciativas de liberalización comercial, las cuales se han convertido en una prioridad de política para la mayoría de los países. Aquellas naciones que implementaron lineamientos comerciales que apuntaban a la apertura de sus economías, han ido desmontando gradualmente barreras arancelarias y no arancelarias con la intención de integrarse a la economía internacional, promover y dinamizar el sector externo vía mayores exportaciones y utilizar al comercio exterior como un instrumento que los conduzca hacia el desarrollo.

Autores como Hertel y Reimer (2004) sostienen que el comercio internacional es el principal motor que impulsa la expansión de las economías en desarrollo permitiéndoles lograr incrementos del producto interno bruto, lo cual bajo un adecuado manejo de políticas públicas, los ingresos provenientes del mayor comercio exterior pueden ser canalizados a obras que ayuden a mitigar la pobreza y a mejorar el bienestar social de la comunidad en un país.

Bajo esta premisa, entre otras consideraciones, muchos países han iniciado y ratificado acuerdos y tratados de libre comercio, como también han pasado a conformar bloques económicos con el propósito de obtener mayores beneficios al integrarse a mercados que son geográficamente adyacentes, buscando operar a escalas eficientes al ampliar sus mercados.

En el campo local, tras los recientes acuerdos firmados con la Unión Europea y Estados Unidos, los ya vigentes y los suscritos, Colombia afronta un proceso de mayor apertura comercial con alcances políticos y económicos que abarcan todas las áreas productivas de la economía, enfocándose principalmente en la eliminación de barreras comerciales como la reducción arancelaria,

regímenes de concesiones, de incentivos y ampliación de la normatividad relativa a la promoción de inversión extranjera (Mincit, 2015).

Acorde con lo anterior, es de sumo interés entonces analizar los flujos comerciales de Colombia durante los últimos años y determinar la importancia que el sector externo ha cobrado dentro del campo doméstico, así como los intercambios de bienes que el país ha sostenido con sus principales socios económicos, todo esto bajo el propósito de examinar de manera aproximada cuales variables han influido en la dinámica exportadora e importadora del país.

Uno de los instrumentos utilizados ampliamente en economía y en especial dentro del campo del comercio internacional ha sido el modelo de gravedad debido a su capacidad para explicar satisfactoriamente los flujos de comercio.

En su versión estándar el modelo sostiene que el nivel de comercio bilateral entre países depende en forma directa del tamaño de sus economías variable medida a través de la población y/o la producción nacional y de manera inversa de la distancia geográfica que los aparta (esta última normalmente se encuentra asociada a los costos de transporte derivados del intercambio mercantil que afectan el volumen de comercio entre países).

Aparte de la población, la producción nacional y la distancia geográfica, la ecuación gravitacional puede ser retroalimentada mediante la introducción de un número de variables que aumentan o disminuyen el flujo de comercio bilateral. Dependiendo de la especificación funcional que se ajuste para el modelo, entre el conjunto de variables adicionales que se pueden considerar se tiene la existencia de un lenguaje común, la localización geográfica continental, compartir una frontera, la pertenencia a un acuerdo de integración económica, una moneda común, así como aspectos relacionados con características institucionales, culturales e históricas de cada país, el entorno jurídico y aquellos asociados con la implementación de barreras al comercio (tarifas arancelarias y medidas no arancelarias).

Debido a su simplicidad la ecuación de gravedad ha adquirido relevancia e importancia en la estimación de flujos comerciales, su uso más común ha sido el de examinar los resultados de los acuerdos de integración económica regional; en este sentido, la principal función del modelo de gravedad es la de aportar un conjunto de variables que permitan explicar los elementos determinantes que ayudan a comprender los flujos comerciales entre naciones.

De acuerdo con esto, el objetivo del presente trabajo es identificar los principales factores que han influido en la variación del volumen de exportaciones entre Colombia y sus socios económicos más importantes durante los últimos dieciséis años, utilizando para ello una regresión econométrica que permita medir la importancia relativa de cada uno de los elementos considerados a partir de los fundamentos teóricos propuestos para el desarrollo del modelo de gravedad del comercio internacional.

Con base en la literatura existente sobre el tema, el propósito es incluir tan solo aquellas variables explicativas que de acuerdo con la teoría resultan ser determinantes y contribuyen de manera directa sobre el volumen de exportaciones entre las partes.

Debido a que el modelo explica las relaciones comerciales entre dos países en función del tamaño de sus economías y la distancia que los separa, la oferta total del país exportador estará en función del tamaño relativo de las economías la cual es aproximada y medida a través del producto interno bruto. En relación con la distancia geográfica entre los países, se tuvo en cuenta la

distancia geodésica utilizando la fórmula del *great circle*, calculando para ello la separación física entre Bogotá y las capitales de cada uno de los países analizados y, por último, se consideró la diferencia de ingresos per cápita en términos absolutos para comprobar el esquema comercial que se presentó entre naciones.

Con respecto al otro conjunto de variables que ayudan a definir características propias que comparten los países las cuales influyen en el comercio, se contemplaron de un lado el lenguaje, el factor de compartir una frontera geográfica común y finalmente se empleó la variable ligada a la pertenencia de un mismo acuerdo comercial (Tratado de Libre Comercio).

El número de países que conforman la muestra es de 49 para un total de 784 observaciones, los cuales han sido seleccionados considerando tan solo aquellos que tienen vigente algún tipo de acuerdo comercial con Colombia; a su vez, el modelo recoge información en cada periodo de tiempo durante el intervalo que va desde el año 2000 hasta el año 2015.

Para la estimación se utilizó el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) mediante el uso de la técnica de datos de panel permitiendo identificar los efectos derivados de las relaciones comerciales atendiendo conjuntamente las características de cada país en cada momento del tiempo. Sin embargo, estos presentaron problemas de correlación contemporánea, heterocedasticidad y autocorrelación, por lo cual fue necesario realizar una regresión recurriendo al método de Errores Estándar Corregidos para Panel con el fin de obtener estimaciones más eficientes y precisas de los parámetros.

En síntesis, el resultado del ejercicio empírico permite obtener una expresión adecuada; al contrastar la bondad del ajuste se observan algunas características generales que resultan ser razonablemente buenas, por lo que el modelo seleccionado es una representación aproximada de la realidad.

Junto con esta introducción, el presente artículo se divide en seis secciones y se encuentra estructurado de la siguiente manera. La segunda sección describe de forma concisa los aspectos básicos del modelo gravitacional así como su justificación teórica. En la tercera se expone una revisión de algunas aplicaciones prácticas al comercio y contribuciones acerca del tema en América Latina. En la cuarta se registra la metodología implementada para la ecuación de gravedad, la especificación del modelo, su forma funcional junto con la elección de las variables y la obtención de los datos. Por último, la sección quinta presenta los resultados alcanzados y su interpretación seguido de las conclusiones.

1. Modelo gravitacional del comercio internacional. Aspectos generales

La ecuación o modelo gravitacional (término empleado indistintamente a lo largo del trabajo) es actualmente una de las relaciones teóricas más utilizadas por la literatura económica para evaluar y cuantificar el impacto que tiene el comercio exterior entre dos entidades geográficas. Tiene su origen en la ley de la gravitación universal formulada por Newton en 1687, la cual afirma que la fuerza de atracción entre dos objetos i y j vienen dada por:

$$F_{ij} = \frac{M_i M_j}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

Donde las variables están definidas como:

F_{ij} es la fuerza de atracción,

M_i y M_j representan las masas de los objetos,

D_{ij} es la distancia que separa los objetos,

G es una constante gravitacional

En analogía con la Ley de gravedad la cual formula que la fuerza de atracción entre dos cuerpos depende del valor del producto de sus masas y del cuadrado de la distancia que los separa, el comercio entre dos países cualquiera (*ceteris paribus*) depende del tamaño de sus respectivas economías medido frecuentemente por el producto interno y/o la población y la distancia entre ellos, esta última asociada a los costos de transporte o lejanía física.

El modelo de gravedad en economía es algo más general al propuesto por Newton:

$$GF_{ij} = A \frac{M_i^a * M_j^b}{D_{ij}^c} \quad (2)$$

Esta ecuación sostiene que las tres cosas que determinan el volumen de comercio entre dos países son el tamaño de los PIB de ambos países y la distancia entre estos (Krugman & Obstfeld, 2006, p.15).

La ecuación gravitacional también puede ser concebida como una representación de las fuerzas de oferta y demanda que influyen en el comercio si tenemos en cuenta el país i como origen de las exportaciones, entonces M_i (medido a través del PIB) representa la cantidad de bienes y servicios que puede ofrecer a todos los consumidores; así mismo, M_j (renta o producto del país destino) representa la demanda potencial para dichos bienes y servicios del punto geográfico j . Por último, la distancia se entiende como una aproximación a los costos asociados al comercio los cuales se incrementan con la separación física¹.

Los modelos de gravedad han sido estimados en términos de logaritmos naturales "ln", de esta manera en la ecuación 2 y por propiedades de logaritmos lo que se multiplica se convierte en suma y lo que se divide se convierte en resta, por lo que la ecuación queda expresada en forma de una ecuación lineal de la siguiente manera²:

$$\ln GF_{ij} = \ln A + a \ln M_i + b \ln M_j - c \ln D_{ij}; i \neq j \quad (3)$$

Los modelos de gravedad del comercio internacional implementan la expresión formulada en la ecuación 3 por medio del uso de los flujos comerciales o las exportaciones desde el país i hasta el país j (E_{ij}) en lugar de la fuerza gravitatoria. El manejo de la masa en la ecuación 3 tiene lugar a través de cuatro alternativas. En la primera alternativa tras la incorporación de fundamentos teóricos sólidos y relaciones empíricas comprobadas, la masa es asociada con el producto interno

1 En diversos estudios, la variable distancia suele estar relacionada con barreras al comercio como los costos de transporte, el paso del tiempo en el transporte, pérdidas por accidente, por caducidad, por impago a la llegada del producto, costos de transacción (confianza entre agentes, búsqueda de oportunidades de negocio, garantías institucionales de pago), distancia cultural, etc.

2 Algunas propiedades de los logaritmos establecen que $\ln(AB) = \ln A + \ln B$, $\ln(A/B) = \ln A - \ln B$ y $\ln(A^k) = k \ln A$ suponiendo que A y B son positivos y donde K es una constante.

bruto (PIB) de los países. De acuerdo con esto y realizando algunas consideraciones como $\ln A = \alpha$, $a = \beta_1$, $b = \beta_2$ y $c = \beta_3$, la ecuación 3 se transforma en:

$$\ln E_{ij} = \alpha + \beta_1 \ln PIB_i + \beta_2 \ln PIB_j - \beta_3 \ln D_{ij} \quad (4)$$

De acuerdo con la teoría, los signos esperados aquí son $\beta_1, \beta_2 > 0$, no obstante los diversos enfoques conceptuales aplicados a la ecuación 3 pueden llevar a la interpretación del PIB como ingreso y cuando es aplicada a bienes agrícolas la Ley de Engels³ permite al PIB en el país destino tener una influencia negativa sobre la demanda de importaciones; por lo tanto también puede darse el caso de que $\beta_2 < 0$.

Para la segunda alternativa la masa de la ecuación 3 se asocia tanto al PIB como a la población (POB), la cual queda expresada como:

$$\ln E_{ij} = \varphi + \gamma_1 \ln PIB_i + \gamma_2 \ln POB_i + \gamma_3 \ln PIB_j + \gamma_4 \ln POB_j - \gamma_5 \ln D_{ij} \quad (5)$$

En relación a los signos esperados para las variables de la población normalmente son interpretados en términos del tamaño del mercado y por consiguiente son positivos ($\gamma_2, \gamma_4 > 0$), sin embargo existe la posibilidad de efectos de sustitución de importaciones como también efectos del tamaño de mercado, entonces si los efectos de sustitución de importaciones prevalecen el signo esperado es $\gamma_4 < 0$.

En la tercera y cuarta alternativa la masa de la ecuación 3 se asocia al PIB per cápita y con ambos el producto interno bruto y el PIB per cápita respectivamente; para estos casos la ecuación 3 se transforma en una de las siguientes:

$$\ln E_{ij} = \sigma + \delta_1 \ln (PIB_i / POB_i) + \delta_2 \ln (PIB_j / POB_j) - \delta_3 \ln D_{ij} \quad (6)$$

$$\ln E_{ij} = \mu + \nu_1 \ln PIB_i + \nu_2 \ln (PIB_i / POB_i) + \nu_3 \ln PIB_j + \nu_4 \ln (PIB_j / POB_j) - \nu_5 \ln D_{ij} \quad (7)$$

La ecuación gravitacional estándar puede ser alimentada a través de la introducción de una serie de variables que aumentan o disminuyen el comercio bilateral. Entre el conjunto de variables y depende de la especificación final que adopte la ecuación se tienen en cuenta las características institucionales, históricas y culturales, la existencia de un lenguaje común, la proximidad geográfica de los países, la localización geográfica continental, participación dentro de un mismo acuerdo de integración económica, entre otras tantas.

A su vez el modelo de gravedad del comercio internacional ha sido aplicado en un amplio rango de escenarios para explicar los determinantes de la inversión extranjera directa, turismo, migraciones, cooperación bilateral, conflictos, igualmente existen trabajos pioneros de la "interacción social" donde se aplican las leyes newtonianas a fenómenos de índole humano (Flores, 2014).

Debido a la simplicidad y a la disponibilidad de datos, la ecuación de gravedad ha adquirido un notable protagonismo en la estimación de flujos comerciales en particular para estudiar los efectos de los acuerdos de integración económica regional sobre el comercio. En la mayoría de investigaciones el uso más frecuente es corroborar el efecto en términos de la desviación y creación de comercio que tienen los acuerdos preferenciales.

3 La ley de Engel es una relación empírica, realizada por Ernest Engel, estadístico alemán, quien indica que a medida que la renta (ingreso) de una unidad familiar aumenta, la proporción del gasto que se dedica al consumo de artículos también aumenta pero en distinta proporción, para los artículos de primera necesidad los gastos son decrecientes, mientras que para los bienes de lujo los gastos son crecientes.

Autores como Trejos (2009) sostienen que existen varias características de ecuaciones gravitacionales que las hacen útiles para propósitos de evaluar de manera inicial el impacto de los acuerdos comerciales bilaterales:

- a) Una ecuación gravitacional tiene carácter bilateral; su objeto de estudio es, precisamente, cuanto comercia el país i con el país j (en lugar de cuanto o que comercia el país j con el mundo). Los acuerdos comerciales también son de naturaleza bilateral, por lo que el modelo puede responder adecuadamente a la pregunta.
- b) Una ecuación gravitacional se puede ampliar para incorporar otras variables macroeconómicas como ingreso, tipo de cambio, entre otras, para depurar la predicción del volumen de comercio de países específicos. De esta forma, la calidad de predicción de ecuaciones de este tipo puede ser elevada, y con ello el mensaje de aplicarlas es aún más confiable.
- c) Un acuerdo comercial busca reducir el costo de intercambio entre los socios. La ecuación gravitacional contiene un elemento —la distancia— que se puede asociar directamente con este costo.
- d) Una ecuación gravitacional puede aplicarse específicamente al comercio de un bien en particular y no solamente al intercambio total entre los socios (p. 15).

Al utilizar modelos econométricos basados en ecuaciones gravitacionales para el análisis del comercio bilateral es necesario tener en cuenta ciertas cuestiones metodológicas relacionadas con la especificación de este, así como la validez y confiabilidad de la estimación (Greenaway & Milner, 2002).

En diversos modelos se han puesto en cuestionamiento las estimaciones de ecuaciones gravitacionales en que se emplean muestras representativas o datos combinados sobre el comercio total, debido a que las estimaciones se realizan aplicando técnicas estadísticas como las de mínimos cuadrados ordinarios —MCO— las cuales no reflejan la heterogeneidad propia de las corrientes comerciales bilaterales (Cafiero, 2005).

Una solución de fondo para este problema es la implementación de datos de panel los cuales permiten tener en cuenta las características individuales de cada par de países. Un panel de datos es aquel que contiene una serie de observaciones repetidas sobre las mismas unidades a través del tiempo, utilizándose de manera conjunta datos de tipo transversal con datos de serie de tiempo, mejorando de esta manera la cantidad de datos y la calidad del análisis (Álvarez, Fischer & Natera, 2013).

En síntesis y en relación a su forma funcional, los coeficientes de los modelos econométricos basados en ecuaciones gravitacionales están expresados en términos de elasticidades o proporciones de cambios porcentuales⁴.

Estas medidas “sin unidad” son equivalentes entre países y bienes y presentan magnitudes directas del grado de interacción de los flujos de comercio a las variables consideradas en las ecuaciones.

4 Una de las diversas formas funcionales de los modelos de regresión es el modelo log-lineal, log-log o doble-log el cual se presenta como una técnica utilizada para analizar la relación entre un conjunto de variables cuantitativas al considerarse un modelo de regresión exponencial del tipo $Y_i = \beta_1 X_i^{\beta_2} e^{u_i}$, expresión que al aplicar logaritmo natural queda como $\ln Y_i = \alpha + \beta_2 \ln X_i + u_i$; $\alpha = \ln \beta_1$. Una característica importante de este modelo es que el coeficiente de la pendiente β_2 mide la elasticidad de Y con respecto a X es decir el cambio porcentual en Y ante un pequeño cambio porcentual en X . Para un análisis detallado, ver: Gujarati, D. (2004). *Econometría*. México: Mc Graw Hill. pp. 169-184.

ciones aquí expresadas (4-7). De acuerdo con la evidencia empírica para el PIB y la distancia, las elasticidades estimadas tienden a estar cercanas a 1. Para la distancia, la comparación por grupos de países representa una medida del grado de integración en la economía mundial. Complementario a estas variables los coeficientes de variables asociados a política ayudan a comprender los impactos de los programas representados en los intercambios comerciales (Head & Mayer, 2010).

A su vez es posible obtener estimaciones de los efectos de frontera independientemente de la distancia y otras variables, así como investigar problemas en la geografía económica (Redding & Venables, 2004). El desarrollo de nuevos aportes y la incorporación de fundamentos teóricos relevantes a la práctica de la teoría del modelo de gravedad han dado lugar para que se adelanten estimaciones más enriquecedoras y precisas de las relaciones que el modelo plantea.

En resumen, el modelo de gravedad del comercio internacional es un instrumento empírico importante que aun en la actualidad es implementado con gran éxito ayudando a comprender de una manera más específica y detallada no solo el comercio entre países sino otros flujos económicos en la esfera mundial.

2. Evidencia empírica y algunas aplicaciones prácticas al comercio

Los modelos de gravedad son instrumentos que han sido implementados de manera exitosa en el campo del comercio internacional, utilizándolos en la medición de factores asociados a los flujos comerciales bilaterales, específicamente para observar los resultados que tienen los acuerdos comerciales y/o para verificar los efectos en términos de desviación y creación de comercio que tienen dichos acuerdos preferenciales.

El empleo de la ecuación gravitacional ha dado lugar a una serie de documentos dentro de la literatura económica y un gran número de aplicaciones empíricas en el campo del comercio internacional, los cuales han contribuido al perfeccionamiento del modelo.

En el caso de América Latina el uso del modelo de gravedad para el estudio del comercio internacional ha logrado tener en sus distintas especificaciones un elevado grado de ajuste, demostrando ser una herramienta eficiente para el análisis comercial de la región. No obstante, la elaboración de trabajos investigativos no ha sido continuo y ha faltado algún grado de especificidad en la aplicación de modelos que permitan obtener conclusiones y recomendaciones de políticas públicas (López & Muñoz, 2008).

Entre algunas investigaciones sobresalen los trabajos de Martínez, Cantavella & Fernández (2003) los cuales especifican un modelo para estudiar y evaluar la evolución temporal de los impactos que ejercen sobre el comercio la incorporación de variables como la distancia geográfica, el ingreso, la preferencia comercial, población y el idioma común. Para ello estiman una ecuación de gravedad, utilizando una muestra de 34 países determinan los flujos bilaterales de comercio internacional bajo los efectos de acuerdos preferenciales de varios bloques dentro de los cuales se encuentran la Unión Europea, Acuerdo de Libre Comercio Norteamericano (NAFTA), Comunidad del Caribe (CARICOM) y Mercado Común Centroamericano (CACM).

Acosta, Calfat & Flóres (2006), utilizando tres modelos de gravedad, examinan el papel que desempeña la infraestructura en las modalidades de comercio de la Comunidad Andina (CAN). El primer modelo destaca la importancia de los acuerdos de comercio preferencial y de la proximidad geográfica, los dos restantes abarcan también ambos aspectos pero se centran en la inclusión de la infraestructura en el modelo de gravedad comprobando que esta contribuye a reducir los

costos de transporte (distancia) entre las partes. Resaltan la importancia que desempeña la infraestructura mencionando que es un requisito fundamental para el desarrollo comercial.

De otra parte, López & Muñoz (2008) estiman tres modelos de gravedad para analizar los efectos que ha tenido la política de apertura comercial en Chile y México, así mismo evalúan el grado de impacto generado por la suscripción de acuerdos comerciales preferenciales con el fin de ver si estos han influido de manera significativa en el intercambio comercial de dichas naciones. Los modelos gravitacionales elaborados para cada uno de los países (básico y el de acuerdos preferenciales) los calculan con una muestra total de 2102 observaciones para Chile y de 2007 para México, con datos que van desde 1990 hasta 2005. Los modelos calculados tienen una alta bondad de ajuste y los signos son los esperados en sus distintas especificaciones.

Jacobo (2010) estima una ecuación gravitacional para 16 países durante el periodo 1991-2004 con el propósito de estudiar los determinantes de los flujos de comercio de 28 sectores manufactureros entre el MERCOSUR y la Unión Europea. Para el modelo considera variables tales como el producto conjunto de los países, la distancia entre ellos, la población, así como también otras variables de control con el objetivo de medir el grado de influencia que estas ejercen sobre el volumen de comercio bilateral.

Ordoñez (2010) utiliza un modelo de gravedad basado y adaptado al propuesto por Anderson & van Wincoop (2003), valiéndose del método Zero Inflated Poisson (ZIP) para estudiar el impacto de la proximidad institucional y de la distancia institucional sobre el comercio bilateral. Los resultados de la estimación muestran que dos naciones que disfrutaban de un buen tejido institucional comercian más que dos naciones con calidad institucional diferente; igualmente señala que dos naciones con una calidad institucional baja comercian menos que dos países con calidades institucionales diversas.

En el plano nacional, las investigaciones que utilizan como herramienta de análisis al modelo de gravedad para estudiar los flujos comerciales bilaterales en Colombia no han sido muy variadas dentro de la literatura económica local, constituyéndose entonces en un grupo muy reducido de aportes. Estudios recientes están dirigidos a evaluar el posible impacto en los flujos comerciales del país por su inclusión en diversos acuerdos comerciales.

Cárdenas & García (2004) utilizan el modelo gravitacional para analizar el impacto comercial que tendría la firma de un Tratado de Libre Comercio (TLC) entre Colombia y Estados Unidos. Los autores afirman que la eventual firma de este tratado aumentaría el comercio bilateral en un 40% y en caso de que no se llegara a firmar y se perdieran las preferencias arancelarias brindadas por la ley ATPDEA, el comercio se contraería en un 58%. En el desarrollo de su investigación los autores encuentran que los costos de transporte (medidos a través del cociente a nivel sectorial) son un determinante considerable del comercio ya que la elasticidad de las importaciones de Estados Unidos con respecto a los costos de transporte es de -0.5% lo que indica que una reducción de 10% en estos costos provocaría un aumento en las exportaciones de 5% de un país hacia Estados Unidos.

Lozano, Castro & Campos (2005) estiman un modelo gravitacional con el fin de demostrar la preminencia de los costos de transporte interno para explicar el volumen de las exportaciones (midiendo la elasticidad de las exportaciones frente a los costos de transporte), utilizan como variable dependiente del estudio la unidad de toneladas métricas la cual se aparta de las bases teóricas de la ecuación de gravedad.

Umaña, Junca & Zerda (2006) estiman una ecuación gravitacional mediante un modelo de máxima verosimilitud de Poisson y efectos fijos (exportador-año e importador-año) pero únicamente para los flujos de comercio en Bogotá.

Umaña (2011) desarrolla un modelo de equilibrio general usando como sustento teórico y soporte empírico el modelo propuesto por Anderson & van Wincoop (2003) con el fin de evaluar el impacto de la política comercial implementada por Colombia. En tal sentido propone una nueva metodología que combina las fortalezas de la estimación por efectos fijos con el método desarrollado por Anderson (1979) para realizar una estimación de la ecuación de gravedad en la cual incluye los términos de resistencia multilaterales y además permite utilizar el modelo de gravedad para realizar evaluaciones de equilibrio general consistentes teóricamente, los cuales se encuentran en línea con los resultados de la literatura.

Las conclusiones más importantes obtenidas por esta investigación fueron en primer lugar que los tratados considerados (Estados Unidos y Unión Europea) beneficiarían en términos de flujo a la economía colombiana, sin embargo el impacto generado por el TLC con los EE.UU. sobre las variables consideradas dentro del estudio es varias veces mayor al impacto asociado con un eventual tratado con la UE. En segundo lugar, se encuentra la aseveración de que una mayor inserción del país en los mercados mundiales trae importantes ganancias para la economía nacional con un efecto muy considerable sobre el bienestar de los consumidores; sin embargo, una mejor inclusión de la nación no genera por sí sola un aumento en el crecimiento de la economía que permita asegurar un mayor desarrollo económico para el país.

3. Metodología

Al utilizar el modelo de gravedad para analizar los flujos de comercio es necesario considerar algunas cuestiones metodológicas. Un aspecto clave es la especificación econométrica del modelo, así como la confiabilidad de la estimación y su validez empírica (Greenaway & Milner, 2002).

Tradicionalmente el método de mínimos cuadrados ordinarios ha sido utilizado con frecuencia cuando se pretende explicar un fenómeno observado a través de un conjunto de variables explicativas que pueden influenciar de manera determinante en su comportamiento. Además bajo ciertos supuestos este método tiene algunas propiedades estadísticas que lo han convertido en uno de los más eficaces y populares del análisis de regresión (Gujarati, 2004).

No obstante los estimadores de ecuaciones gravitacionales que emplean el método de mínimos cuadrados han sido cuestionados en parte porque su uso no permite el estudio de los efectos individuales, omite las dimensiones de espacio y tiempo, los estimadores resultan ser inconsistentes y pueden ser insesgados cuando abarcan varios periodos de tiempo, además no reflejan la heterogeneidad inherente al intercambio comercial bilateral.

Para solucionar algunos problemas de esta índole se puede recurrir al uso de la metodología de datos de panel debido a que esta técnica tiene en cuenta las características individuales (de cada par de países) que pueden provocar comportamientos no aleatorios de las variables, así como las series de tiempo.

Un panel de datos es un conjunto de observaciones que combina series de tiempo con unidades de sección cruzada o de corte transversal. En estos se obtiene información para cada uno de los individuos ($i = 1, 2, \dots, N$) en cada momento del tiempo ($t = 1, 2, \dots, T$). Existen dos tipos de análisis

con datos de panel: Estáticos y Dinámicos, cuya principal diferencia se encuentra en la capacidad y forma de tratar la endogeneidad de las variables.

La especificación general de un modelo de regresión con datos de panel viene expresada de la siguiente forma:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_K X_{kit} + u_{it}; \quad u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$$

Dónde:

i se refiere al individuo o a la unidad de estudio (corte transversal) y t a la dimensión en el tiempo,

Y_{it} es el vector que contiene la información del individuo i en todo t ,

α es un vector de interceptos que puede contener entre 1 y $N+t$ parámetros. Recoge la heterogeneidad causada por los efectos individuales y/o del tiempo provocada por variables no observadas,

β es un vector de K parámetros,

X_{kit} es la matriz de observaciones de las variables explicativas k , para el individuo i , en el tiempo t y

u_{it} es el vector que contiene las t perturbaciones aleatorias de cada individuo.

A partir de este modelo y con base en algunos supuestos y restricciones sobre el valor de ciertos parámetros y dependiendo de la apreciación que se le otorgue al término independiente, se pueden presentar otros enfoques del modelo:

Agrupado:	El termino independiente (intercepto) y los coeficientes son constantes para todos los individuos y respecto al tiempo ($\alpha_{it} = \alpha$)
Efectos fijos:	El termino independiente es diferente para cada individuo ($\alpha_{it} = \alpha_i$), cada periodo ($\alpha_{it} = \alpha_t$); además son independientes entre si
Efectos variables o aleatorios:	El termino independiente es una variable aleatoria (α_{it})

o Modelo agrupado (POOLED OLS)

Cuando $\alpha_{it} = \alpha$ tanto el termino independiente como los coeficientes son constantes respecto al tiempo y entre individuos

$$Y_{it} = \alpha + \beta_K X_{kit} + u_{it}; \quad u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$$

Aquí el modelo se estima por MCO, además considera toda la información sin diferenciar entre individuos o periodos temporales; la estimación resulta práctica para explicar modelos preliminares, las magnitudes y los signos de las variables explicativas consideradas.

El inconveniente de este modelo es que prescinde de la estructura de panel de datos, igualmente presenta problemas de heterocedasticidad y/o autocorrelación ya que la varianza de las perturbaciones puede diferir respecto a los individuos o en el tiempo. Una de las maneras para solucionar estos inconvenientes es la aplicación de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) ya que sus estimaciones son superiores a las obtenidas por MCO y por la misma razón son estimadores lineales, insesgados, de mínima varianza, consistentes y distribuidos de manera normal y asintóticamente.

o Método de efectos fijos (Fixed Effects Model)

Este modelo considera que existe un término constante diferente para cada individuo e infiere que los efectos individuales son independientes entre sí. Aquí las variables explicativas afectan por igual a las unidades de corte transversal y se diferencian por características propias e inherentes a cada una de estas medidas a través del intercepto. El modelo se presenta de la forma:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_k X_{kit} + u_{it}; \quad u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$$

La expresión tiene N términos independientes que recogen las diferencias entre los distintos individuos. La variación de los efectos fijos individuales se deriva de las variables omitidas que cambian entre los distintos individuos más no en el tiempo.

Además del término independiente, se pueden incorporar variables ficticias con la intención de recoger la variación entre los individuos (técnica de las variables ficticias de intersección diferencial); igualmente, se considera que las pendientes permanecen constantes. Para ello el modelo a estimar es:

$$Y_{it} = \alpha_1 + \sum_{j=2}^N \alpha_j D_j + \beta_k X_{kit} + u_{it}$$

Dónde:

α_1 es el efecto del primer individuo, el cual se utiliza como categoría base,

D_j son variables ficticias que toman el valor de 1 si el dato corresponde al individuo y 0 en otro caso,

α_j son los coeficientes de las variables ficticias y representan el grado en que los valores de los interceptos del resto de individuos difieren respecto del intercepto α_1 .

No obstante esta estimación presenta algunos problemas relacionados con pérdida en los grados de libertad, multicolinealidad y la posible presencia de heterocedasticidad y autocorrelación en las perturbaciones. Una alternativa para tratar estos inconvenientes consiste en la transformación de las variables obtenidas como desviaciones respecto a su media temporal para cada individuo ($X_{it} - \bar{X}_i$); de esta forma se eliminan los efectos individuales. El modelo viene definido como:

$$(Y_{it} - \bar{Y}_i) = \sum_{k=1}^k \beta_k (X_{kit} - \bar{X}_{ki}) + (u_{it} - \bar{u}_i)$$

Dónde:

$$\bar{Y}_t = \sum_{i=1}^T Y_{it} / T$$

$$\bar{X}_{kt} = \sum_{i=1}^T X_{kit} / T$$

$$\bar{u}_{it} = \sum u_{it} / T$$

Finalmente se estima el modelo transformado por MCO obteniéndose estimadores consistentes y eficientes de los β (este último modelo también se conoce como estimadores intragrupos con efectos fijos). Para estimar los efectos de los individuos se puede usar

$$\hat{\alpha}_t = \bar{Y}_t - \beta \bar{X}_t$$

o Modelo de efectos variables o aleatorios (Random Effects Model)

El modelo supone que cada unidad transversal tiene un intercepto diferente el cual se expresa como:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_K X_{kit} + u_{it}$$

Se considera que la ordenada en el origen α_{it} es una variable aleatoria, por lo tanto este valor es diferente para cada individuo y a su vez este difiere en cada uno de ellos de un valor medio α . Si se tiene en cuenta que α_{it} se puede descomponer en una parte constante α y otra aleatoria ε_i de forma que $\alpha_{it} = \alpha + \varepsilon_i$, el modelo de efectos aleatorios quedaría reflejado de la forma:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_K X_{kit} + \varepsilon_i + u_{it}$$

Si las perturbaciones aleatorias del modelo satisfacen los supuestos básicos de tal manera que $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ y $u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$ donde ε_i representa las perturbaciones de los datos de corte transversal y u_{it} son las perturbaciones de la combinación de los datos en series de tiempo y de corte transversal. Finalmente, agrupando los dos términos no observables como $w_{it} = \varepsilon_i + u_{it}$, siendo la varianza homoscedástica ya que $E(w_{it}^2) = \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_u^2$, se tiene:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_K X_{kit} + w_{it}$$

Si se lleva a cabo una estimación del modelo por MCO, los estimadores resultan consistentes mas no así eficientes al no tener en cuenta σ_ε^2 por lo que quedaría demostrado que los términos de perturbación para un individuo en dos momentos diferentes del tiempo se encuentran correlacionados:

$$\text{corr}(w_{it}, w_{is}) = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sigma_\varepsilon^2 + \sigma_u^2} \neq 0; \quad t \neq s$$

Para solucionar este y otros inconvenientes resulta apropiado recurrir a un método de estimación eficiente y dada la composición del término de perturbación aleatoria, el método MCG es oportuno debido a que sus estimaciones son superiores a las obtenidas por MCO en caso de que no se cumplan los supuestos básicos del modelo clásico de regresión lineal (MCRL) y resultan ser similares en caso contrario⁵.

3.1 Especificación del modelo

A partir de los fundamentos y soportes teóricos que hasta la actualidad se han desarrollado alrededor de la ecuación de gravedad y considerando la reciente literatura empírica que ha dado lugar a una amplia y variada gama de estimaciones más precisas, el modelo aquí propuesto considera el volumen de exportaciones desde Colombia hacia cada uno de los países con los cuales tiene vigente un acuerdo comercial, con el fin de identificar aquellos factores que influyen de forma determinante sobre la variación del intercambio mercantil entre las partes⁶ (ver Apéndice 3).

Para la especificación econométrica del modelo se utiliza la técnica de datos de panel ya que mejoran la estimación de los parámetros al recoger observaciones acerca de múltiples fenómenos a lo largo de varios intervalos de tiempo; además tienen en cuenta de manera explícita la heterogeneidad al permitir la existencia de variables específicas individuales, asimismo aumenta de manera considerable el tamaño de la muestra, lo cual proporciona una mayor variabilidad, más grados de libertad, mayor eficiencia y menor colinealidad entre variables.

La estimación se realiza utilizando un término constante igual para todos los países así como para todos los años; de acuerdo con la técnica de datos de panel la cual permite la inclusión de un efecto individual (fijo o aleatorio) para cada país y para cada año. Para la ecuación aquí planteada se espera que el modelo de efectos fijos resulte ser apropiado ya que el interés para el análisis de los flujos comerciales se ha limitado a una muestra de socios comerciales seleccionados previamente; sin embargo, con el fin de probar cuál de los dos modelos es más eficiente al momento de estimar el volumen de exportaciones se utiliza el test de Hausman como prueba de especificación.

Del mismo modo, en la especificación de la ecuación de gravedad se parte del modelo desarrollado por autores como Frankel, Stein & Wei (1995), Gosh & Yamarik (2004) y Rose (2000), con algunas salvedades, se trata de una ecuación de gravedad ampliada de su versión estándar con *dummies* incluidas de carácter multiplicativa. Una expresión funcional conveniente para el modelo de regresión aquí utilizado ha sido la transformación log-lineal (log-log o doble-log) de su forma exponencial⁷.

Aparte se tiene en cuenta la consideración de Mátyás (1997) sobre la correcta representación econométrica del modelo de gravedad, con el fin de capturar de forma adecuada las relaciones entre las variables relevantes a lo largo del tiempo y las especificidades de los países⁸.

5 El MCRL está basado en un conjunto de supuestos y con base en estos los estimadores MCO adquieren ciertas propiedades que se encuentran expresadas en el teorema Gauss-Markov, el cual sostiene que los estimadores MCO son lineales, insesgados al igual que consistentes y están distribuidos de forma normal y asintótica además de poseer varianza mínima, es decir, son eficientes.

6 De los acuerdos comerciales vigentes hasta la fecha no se tiene en cuenta a los países que conforman la Comunidad del Caribe (Caricom), ya que para algunos años no se dispone de información acerca de las exportaciones provenientes de Colombia. De igual manera, los acuerdos con la República de Corea y Costa Rica quedan al margen del análisis debido a que recientemente han entrado en vigencia. Asimismo, para efectos prácticos el principado de Liechtenstein queda excluido de la muestra por cuanto su nivel de comercio con Colombia es bajo, casi que inexistente durante el periodo considerado, por lo que no resulta ser significativo para el estudio.

7 De la abundante evidencia empírica se deriva la forma lineal logarítmica para la contrastación del modelo teórico, dada la estructura multiplicativa de los diversos factores que conforman la ecuación de gravedad.

8 Mátyás (1997) sugiere que la representación econométrica correcta del modelo de gravedad toma la forma de un modelo de tres efectos (índices) como $\ln EXP_{ijt} = \alpha_i + \gamma_j + \lambda_t + \beta_1 \ln Y_{it} + \beta_2 \ln Y_{jt} + \beta_3 \ln DIST_{ijt} + \dots + u_{ijt}$ donde λ_t recoge el efecto tiempo (ciclo económico), α_i

Debido a su simplicidad, junto a la creciente disponibilidad de información para países y de acuerdo a la especificación funcional adaptada de las bases teóricas de las que procede el modelo a estimar, para la ecuación formulada se tuvo en cuenta un número de variables que aumentan o disminuyen el comercio bilateral entre países.

Como variable dependiente se ha considerado las exportaciones del país i (Colombia) al país j , ya que según autores como Dhar & Panagariya (1999) resulta ser más significativa y representativa que el flujo total de comercio, debido a que esta última contempla un mismo coeficiente tanto para las exportaciones como para las importaciones, representando así una pérdida de información importante al momento de realizar el análisis. El volumen de comercio se encuentra expresado en millones de dólares FOB a precios actuales y las cifras provienen de la base de datos de UN Comtrade.

Entre tanto, como variable explicativa análoga al tamaño económico de un país se recurrió al producto interno bruto; de acuerdo con la teoría económica, se espera que el PIB se encuentre relacionado positivamente con la magnitud de las exportaciones. Los valores se expresan en dólares de los Estados Unidos a precios constantes del año 2005 y han sido tomados de la sección de estadísticas de la UNCTAD.

Con respecto a la distancia física entre países se utilizan las distancias geodésicas aplicando la fórmula del *great circle*⁹, la cual considera latitudes y longitudes de las capitales o ciudades más importantes de cada uno de los países en términos de concentración de actividad industrial y comercial, así como aglomeración de población, concretamente se toma la distancia entre Bogotá y las ciudades capitales de los países que conforman la muestra; se espera que la distancia tenga un efecto negativo sobre el flujo comercial entre dos países. Los valores provienen de las bases de datos realizadas por el Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII) y se encuentran expresadas en kilómetros.

A su vez, se tiene en cuenta el ingreso per cápita como variable que refleja la relación directa entre el nivel de desarrollo y el grado de comercio entre las partes (Karemera, Iwuagwu & Davis, 2000). Específicamente se toma la diferencia de ingresos en términos absolutos, con el fin de verificar así el patrón comercial que prevalece entre Colombia y cada una de las naciones consideradas (Havrylyshyn & Pritchett, 1991). La diferencia de rentas permite verificar la hipótesis de Linder (1961) si se presenta comercio intraindustrial, en cuyo caso el coeficiente es negativo o bien una estructura tipo Heckscher-Ohlin, para lo cual el comercio es intraindustrial siendo el coeficiente positivo. Las cifras proceden de la UNCTAD y están expresadas en miles de dólares a precios constantes de 2005.

En relación con las variables ficticias (*dummies*) se incluyeron por una parte al idioma. El hecho de que dos países compartan el mismo lenguaje es un factor que favorece los flujos comerciales en ambas vías por lo que, a priori, esta variable debe tener signo positivo. Por otro lado, se incorporó una variable geográfica como lo es la frontera común, ya que generalmente si dos países son contiguos, existe un incentivo adicional para que el volumen de comercio entre las partes aumente, por lo que su influencia sobre el intercambio mercantil es positiva¹⁰.

el efecto específico del país exportador y γ_j el efecto del país importador. Agrega que estos parámetros pueden ser tratados como variables aleatorias o parámetros fijos, dependiendo del enfoque en el que se aborde la temática.

9 Para ver el procedimiento y los cálculos por medio de los cuales se obtuvieron los valores, remitirse al Apéndice 2.

10 Sin embargo, el que dos países compartan frontera no implica que el flujo comercial siempre sea positivo como tampoco refleja lazos de amistad y cooperación entre países.

Finalmente se incluyó la variable acuerdo comercial. Siguiendo el análisis realizado por Gosh & Yamarik (2004), los acuerdos comerciales que se encuentran vigentes en Colombia hasta la fecha pueden ser clasificados en dos grupos conforme al grado de integración. Por un lado, se encuentran los Acuerdos Comerciales Preferenciales (ACP) y, de otra parte, están los Acuerdos de Libre Comercio o TLC, aquí se valoró esta categorización con el fin de diferenciar los efectos que ha tenido la suscripción de este tipo de acuerdos sobre el volumen de comercio entre Colombia y los países objeto de estudio. No obstante solo se incluyó la variable TLC ya que la incorporación de ambas no permite realizar la estimación del modelo porque existe una relación lineal exacta entre ellas (el coeficiente de correlación es de -1.0), por lo tanto, los coeficientes de la regresión de las variables independientes son indeterminados y sus errores estándar resultan ser infinitos arrojando resultados erróneos, ocasionando problemas para el análisis de regresión.

Es importante señalar que no se ha hecho un examen del volumen comercial diferenciando el tiempo pre y pos entrada en vigencia de los acuerdos ya que en su gran mayoría los TLC han sido negociados en años relativamente recientes; asimismo, es muy difícil determinar el periodo en el cual un acuerdo afecta el intercambio entre países, además previamente a la aprobación de estos convenios ya existían algunos arreglos de tipo preferencial (recíprocos y en una sola vía) para las exportaciones de bienes colombianos. Con todo esto se espera que la influencia de la variable incremente el volumen de exportaciones por lo que tendrá un efecto positivo.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables incluidas en el modelo

Variable	Media	Des. Est.	Min	Max
X_{ij}	10,42881	2,97565	0	16,91633
PIB_i	12,02015	0,20514	11,71748	12,34366
PIB_j	11,71329	1,82638	8,59637	16,53307
$DIST_{ij}$	8,64106	0,75561	6,59305	9,33052
$ PIBpc_{it} - PIBpc_{jt} $	8,96679	1,54620	3,52636	11,35018
IDM_{ij}	0,3265306	0,4692432	0	1
FRT_{ij}	0,1020408	0,3028952	0	1
TLC_{ij}	0,8367347	0,3698435	0	1
Num de Observaciones	784			
Num de Grupos	49			
Periodos incluidos	16			

Fuente: cálculos del autor.

La regresión corresponde a un modelo econométrico que cuenta con datos de panel estáticos, el cual se encuentra balanceado y ha sido construido a partir de variables índices (tiempo y país). El número total de países que conforman la muestra es de 49, de los cuales varios de ellos hacen parte de bloques comerciales (e.g., CAN, UE, AELC, Triángulo del Norte, MERCOSUR y ALADI). El modelo recoge información en cada periodo de tiempo durante el intervalo que va desde el año 2000 hasta el año 2015, así el análisis se lleva a cabo para cada uno de los elementos de la muestra.

3.2 Forma funcional

La ecuación a estimar representa los flujos de comercio, específicamente el volumen de exportaciones desde el país i hacia el país j ; la cual a su vez es una función del nivel de ingresos (proxy del tamaño de las economías) representado por el PIB del exportador y el importador, de la distancia geográfica (proxy de los costos de transporte), de la diferencia de ingresos per cápita entre el país exportador y el importador y de otro conjunto de variables que pueden aumentar o disminuir el comercio entre los países.

A partir de su versión estándar (ecuación 4), el modelo puede presentarse de la siguiente forma:

$$X_{ijt} = \beta_0 * Y_{it}^{\beta_1} * Y_{jt}^{\beta_2} * D_{ij}^{\beta_3} * \Delta Y_{ij} / \Delta POB^{\beta_4} * e^{\beta_5 \Gamma_{ijt}} * e^{u_{ijt}} \quad (8)$$

Donde X_{ij} representa el volumen de comercio (exportaciones) entre los países i y j , Y_i y Y_j representa el ingreso del país i y j respectivamente, $\Delta Y_{ij} / \Delta POB$ es el ingreso per cápita del país exportador y del importador, Γ_{ijt} es un vector de variables explicativas adicionales y u_{ijt} es el término de perturbación. Renombrando algunos términos, a la expresión anterior se le han incorporado un conjunto de factores adicionales que recogen los efectos sociales, culturales y demográficos, por lo que el modelo de gravedad "aumentado" en su forma lineal queda expresado de la forma:

$$\ln X_{ijt} = \alpha + \beta_1 \ln PIB_{it} + \beta_2 \ln PIB_{jt} + \beta_3 \ln DIST_{ij} + \beta_4 \ln |PIBpc_{it} - PIBpc_{jt}| \\ + \beta_5 IDM_{ijt} + \beta_6 FRT_{ijt} + \beta_7 TLC_{ijt} + u_{ijt}; \text{ con } \ln \beta_0 = \alpha \quad (9)$$

Dónde:

X_{ij}	Es el flujo de comercio desde el país exportador i (Colombia) hacia el país importador j .
PIB_i	Es el Producto Interno Bruto del país exportador.
PIB_j	Es el Producto Interno Bruto del país importador.
$DIST_{ij}$	Es la distancia entre el país i y j .
$ PIBpc_{it} - PIBpc_{jt} $	Es la diferencia del Producto Interno Bruto per cápita (en términos absolutos) del país exportador y del país importador.
IDM_{ij}	Variable dummie que toma el valor de 1 si ambos países tienen el mismo idioma o 0 en caso contrario.
FRT_{ij}	Variable dummie que toma el valor de 1 si ambos países comparten una frontera geográfica o 0 en cualquier otro caso.
TLC_{ij}	Variable dummie que toma el valor de 1 si ambos países tienen vigente un Tratado de Libre Comercio o 0 en cualquier otro caso.
u_{ij}	Representa todas aquellas variables que influyen en el volumen de comercio bilateral pero que no son tenidas en cuenta dentro del modelo de manera explícita (e.g., tipo de cambio, población, medidas arancelarias y no arancelarias, inversión extranjera, características institucionales, etc.).

En el modelo propuesto las variables continuas están expresadas en logaritmo natural, donde los coeficientes estimados miden la elasticidad de X_{ij} con relación con cada una de estas, es decir,

el cambio porcentual en el volumen de exportaciones desde el país i (exportador) hacia el país j (importador) ante una variación porcentual en las variables explicativas. Con respecto al impacto porcentual de las variables dummies sobre el volumen de exportaciones entre dos países, se calcula como $(e^{\gamma_i} - 1) * 100$ donde γ_i es el coeficiente estimado.

4. Análisis y resultados

Con el propósito de determinar la influencia de cada uno de los factores que han sido tenidos en cuenta para analizar los flujos comerciales, específicamente el volumen de exportaciones entre Colombia y cada uno de los países con los cuales tiene vigente algún tipo de acuerdo comercial, se ha recurrido al uso de un panel de datos balanceado de sección cruzada para especificar de manera correcta el modelo propuesto y capturar así los efectos país y tiempo de la regresión.

Para evitar posibles errores en la especificación econométrica se ha calculado la matriz de correlación de las variables básicas del modelo, donde a excepción del coeficiente de correlación *logdist-idm*, no se presenta un problema grave de asociación lineal entre explicativas, es decir, la colinealidad no es un inconveniente para el modelo.

Tabla 2. Matriz de correlación de las variables del modelo

	logexpo	logpibi	logpibj	logdist	logdif~c	idm	frt	tlc
logexpo	1.0000							
logpibi	0.1735	1.0000						
logpibj	0.5831	0.0656	1.0000					
logdist	-0.4432	0.0000	0.2623	1.0000				
logdifpibpc	-0.0063	0.0773	0.4936	0.6183	1.0000			
idm	0.3257	-0.0000	-0.3406	-0.8648	-0.7189	1.0000		
frt	0.3657	-0.0000	-0.0296	-0.6354	-0.4381	0.4841	1.0000	
tlc	-0.1160	0.0000	0.2091	0.5074	0.4511	-0.6344	-0.3983	1.0000

Fuente: cálculos del autor.

Una vez hecho esto, en un principio se omitieron las dimensiones del espacio y el tiempo de los datos agrupados (*pooled*), por lo que se realizó una regresión de la ecuación 9 utilizando el método de MCO. Posteriormente se llevó a cabo la estimación del modelo por el método menos eficiente pero consistente (Efectos fijos) y enseguida se utilizaron estimadores eficientes y consistentes (Efectos aleatorios).

Con el fin de verificar cuál de las metodologías resulta ser la más indicada, se generaron una serie de pruebas estadísticas para comprobar qué estimación se ajusta mejor a los datos, así como a la teoría económica utilizada (ver Apéndice 1).

Tabla 3. Resultados de la estimación

Variables	Pooled	Efectos fijos	Efectos aleatorios
PIB_i	1,73144*	1,38787*	1,71504*
	(-0,26134)	(0,29354)	(0,18193)
	(0,000)	(0,000)	(0,000)
PIB_j	1,19488*	1,90475*	1,22938*

Variables	Pooled	Efectos fijos	Efectos aleatorios
	(0,03466)	(0,48141)	(0,11019)
	(0,000)	(0,000)	(0,000)
$DIST_{ij}$	-1,98335*		-1,98879*
	(0,16600)		(0,55626)
	(0,000)		(0,000)
$ PIBpc_{it} - PIBpc_{jt} $	0,14877*	0,02677	0,14233
	(0,05577)	(0,16414)	(0,11593)
	(0,008)	(0,871)	(0,220)
IDM_{ij}	1,68769*		1,72238
	(0,29478)		(0,92837)
	(0,000)		(0,064)
FRT_{ij}	0,23704		0,19190
	(0,24802)		(0,81836)
	(0,339)		(0,815)
TLC_{ij}	1,04388*		1,03923
	(0,19228)		(0,64654)
	(0,000)		(0,108)
<i>Cons</i>	-10,02381*	-28,80442*	-10,12891
	(3,49723)	(2,895616)	(5,62645)
	(0,004)	(0,000)	(0,072)
R^2	0,7515	0,9242	0,7511
N° Obs	784	784	784

Fuente: cálculos del autor. Nota: las cifras en el primer conjunto de paréntesis son los errores estándar estimados de los coeficientes de regresión, las cifras del segundo conjunto son los valores p (p-values) estimados a un nivel de significancia de 5,0%. * Significativo al 5%. Para el modelo de efectos fijos la distancia y las variables *dummies* no son tenidas en cuenta dentro de la especificación ya que se trata de valores que no cambian a través del tiempo, por lo tanto presentan colinealidad con respecto a la variable endógena, quedando así excluidas del análisis.

Al observar cada uno de los resultados, se puede inferir que para la regresión agrupada y el modelo de efectos fijos, a excepción de la variable FRT en el primer caso y $|PIBpc_{it} - PIBpc_{jt}|$ en el segundo, todos los coeficientes son estadísticamente significativos, tienen los signos esperados y el valor R^2 es alto, mientras que en el modelo de efectos aleatorios todas las *dummies* y la variable $|PIBpc_{it} - PIBpc_{jt}|$ no resultan ser significativas.

Como primera medida para confirmar si es más consistente la estimación del modelo agrupado frente a la de efectos aleatorios se aplicó un estadístico de prueba conocido como el Multiplicador de Lagrange para efectos aleatorios (LM), en cuyo caso se confrontaron los resultados con la hipótesis nula rechazando esta última por lo que la estimación por efectos aleatorios es preferible en vez de la agrupada.

Ahora para comprobar si el modelo de efectos fijos es más conveniente y por lo tanto supone una mejor especificación que el modelo de regresión agrupada, se recurre a un test F restrictiva donde se prueba la significancia conjunta para los diferentes interceptos (términos independientes). Así, la hipótesis nula a comprobar afirma que el modelo asume un intercepto común para todos los casos, es decir, que todos los términos independientes son iguales a cero ($\alpha_{1i} = \alpha_{2i} = \dots = \alpha_{Ni} = 0$). En base al p-value obtenido, los resultados permiten rechazar la hipótesis nula, por lo que se elige el modelo de efectos fijos sobre el agrupado.

Con esto quedó demostrado que tanto el modelo de efectos fijos como el modelo de efectos aleatorios son mejores que el método de regresión agrupada. A priori se observa que una especificación con efectos fijos resulta ser el modelo correcto para llevar a cabo la regresión, pese a ello con el fin de verificar cuál de los dos modelos resulta ser más eficiente se comparan las dos regresiones aplicando el Test de Hausman (1978), en cuyo caso la hipótesis nula plantea que los estimadores de efectos fijos y efectos aleatorios no difieren sistemáticamente, por lo que el modelo de efectos aleatorios es más apropiado¹¹.

Los resultados del Test de Hausman sugieren rechazar la hipótesis nula, por lo que es más conveniente entonces elegir al modelo de efectos fijos. A partir del Test de Hausman y la prueba F restrictiva se comprueba que el modelo de efectos fijos es el más adecuado para desarrollar la estimación.

Ahora bien, al incorporar variables dicótomas (*dummies*) temporales en el modelo, una para cada año de la muestra, es posible que estas capturen los efectos comunes a todos los países durante el periodo analizado. En este caso la expresión general del modelo de efectos fijos viene dada por:

$$Y_{it} = \alpha_i + \eta_t + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{Nit} + e_{it}$$

Donde η_t representa el vector de variables dicótomas para cada año. Aquí dichas variables permiten controlar aquellos eventos experimentados por cada uno de los individuos (países) año tras año, así como también reducir sesgos importantes (Greene, 2003). Para comprobar la significancia conjunta de estas variables dicótomas temporales se recurre a una prueba F donde la hipótesis nula sostiene que el grupo de variables implementadas no son significativas por lo que ninguna pertenece al modelo. Como el valor p de la prueba F es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis nula por lo que las variables dicótomas son conjuntamente significativas y pertenecen al modelo.

Hasta aquí es muy probable que los errores del modelo no sean independientes con respecto al tiempo, así como la varianza de estos no sea constante, al igual que las observaciones de algunas unidades puedan encontrarse correlacionadas con las observaciones de otras durante el mismo periodo, reportando problemas de autocorrelación, heterocedasticidad y correlación contemporánea, respectivamente.

Para diagnosticar si los errores (u_i) dentro de la función de regresión considerada son aleatorios o no, se recurre al uso de una prueba muy flexible como lo es el test de Wooldridge. Del mismo modo, para identificar si la varianza de los errores de cada unidad transversal no es constante, esto es, si presenta heterocedasticidad se llevó a cabo la prueba modificada de Wald; por último, para conocer si los errores entre unidades son independientes entre sí (correlación contemporánea) se aplicó la prueba de independencia transversal de Pesaran.

¹¹ El estadístico de prueba desarrollado por Hausman presenta una distribución asintótica χ^2 .

En todos se detectó la presencia de estos problemas; no obstante pueden solucionarse de forma conjunta mediante la aplicación del método de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (FGLS) o con Errores Estándar Corregidos para Panel (PCSE). Para la estimación del modelo de gravedad se utiliza el método PCSE, debido a la eficiencia y precisión de los resultados conseguidos en comparación con los obtenidos por el método FGLS (Beck & Katz, 1995).

Tabla 4. Errores estándar corregidos para Panel

Variable de Grupo:	Nopais	Num de Obs	=	784		
Variable de tiempo:	Year	Num de Grupos	=	49		
Panel:	Correlacionado (balanceado)	Obs por grupo	Min	16		
Autocorrelación:	Común (AR1)		promedio	16		
			Máximo	16		
Covarianzas estimadas:	1225	R cuadrada	=	0,5760		
Autocorrelaciones estimadas:	1	Wald Chi (4)	=	962,67		
Coefficientes estimados:	8	Pro>chi2	=	0,0000		
Panel Corregido						
X_{it}	Coef.	Error Est.	Z	P>z	[Int. De Conf. 95%]	
PIB_{jt}	1,46485	0,551764	2,65	0,008	0,38341	2,54628
PIB_j	1,19075	0,120659	9,87	0,000	0,95426	1,42724
$DIST_{ij}$	-1,93082	0,237280	-8,14	0,000	-2,39588	-1,46576
$ PIBpc_{it} - PIBpc_{jt} $	0,19356	0,152025	1,27	0,203	-0,10441	0,49152
IDM_{ij}	1,84113	0,423093	4,35	0,000	1,01188	2,67037
FRT_{ij}	0,28392	0,308281	0,92	0,357	-0,32030	0,88814
TLC_{ij}	0,96111	0,149757	6,42	0,000	0,66760	1,25463
Cons	-7,66519	6,783617	-1,13	0,258	-20,96084	5,63045

Fuente: cálculos del autor.

Los parámetros estimados permitieron obtener un modelo adecuado, salvo por las variables asociadas a la frontera (FRT_{ij}) y a la diferencia del pib per cápita ($|PIBpc_{it} - PIBpc_{jt}|$), todos los coeficientes son estadísticamente significativos a un nivel de confianza del 95%, por lo tanto, sus variaciones realmente ejercen una influencia sobre el comportamiento de la variable dependiente, tienen los signos correctos de acuerdo con la teoría económica y el valor de R^2 es considerablemente aceptable.

El PIB del país exportador (PIB_j) resultó ser un factor importante para el intercambio comercial entre países; es así como (*ceteris paribus*) durante el periodo en estudio un incremento del 1 por 100 en el ingreso nacional condujo en promedio a un aumento de 1,5 por 100 en las exportaciones colombianas.

Entre tanto el crecimiento del 1 por 100 en el producto interno bruto de los principales socios comerciales de Colombia provocó un aumento de 1,2 por 100 en las exportaciones nacionales, de hecho la elasticidad ingreso de las exportaciones estuvo próxima a la unidad.

Por lo que se refiere al coeficiente de la distancia, este señala que una mayor separación física entre países tiene un impacto desfavorable sobre el comercio, esto como consecuencia de las dificultades asociadas a factores relacionados con el acceso a la información de los mercados y

a los mismos mercados, y para el caso, debido a mayores costos de transporte y tiempo. Por lo tanto el valor del parámetro indica que un incremento del 1 por 100 en la distancia que separa a Bogotá de cada una de las ciudades capitales consideradas, provocó una reducción del comercio entre ellos de 1,9 por 100 aproximadamente, lo cual sugiere que la elasticidad de las exportaciones con respecto a la distancia fue cercana a -2.

En cuanto al idioma, el hecho de que dos países compartan un mismo lenguaje genera un estímulo extra para que el comercio entre las partes aumente. El coeficiente indica que permaneciendo constante los demás elementos de la ecuación, el volumen de exportaciones se incrementó en 530 por 100 con aquellos países de habla hispana, convirtiéndose en un factor prominente que incentiva el intercambio comercial entre dos países.

Además la suscripción y puesta en marcha de Acuerdos de Libre Comercio ha favorecido el avance del volumen de las exportaciones. Los resultados expresan que en promedio las exportaciones colombianas aumentaron un 161 por 100 con aquellos países con los cuales tiene vigente un tratado de libre comercio, en comparación con lo que comercialaría si no tuviera algún tipo de preferencia comercial. Si bien estos acuerdos parecen haber aumentado el valor del flujo de las exportaciones nacionales aquí nada se puede decir acerca de la diversificación de la oferta exportadora del país ya que el modelo no permite obtener estos resultados. No obstante las exportaciones domesticas continúan estando conformadas en su gran mayoría por bienes básicos provenientes del sector agropecuario, hidrocarburos y otras materias primas sin ningún proceso de transformación ni incorporación de valor agregado.

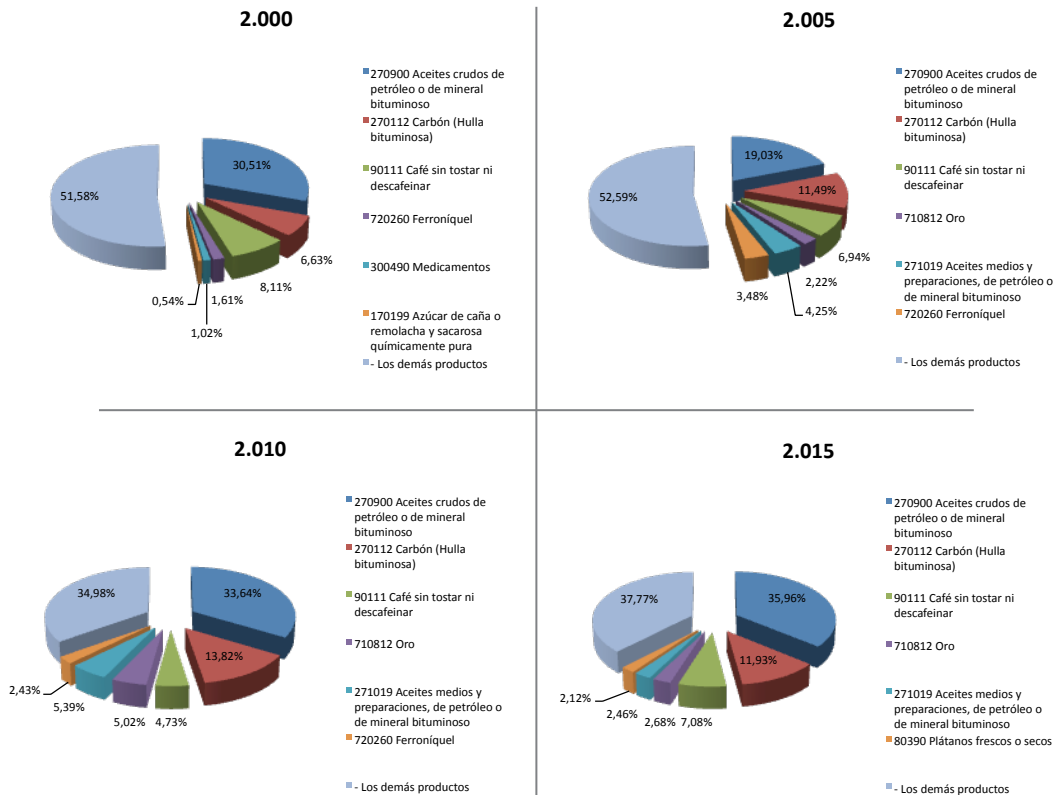


Figura 1: Colombia, principales productos exportados. Participación porcentual. Fuente: elaboración propia a partir de información de UN COMTRADE.

Empero, durante los últimos años desde el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo se ha venido desplegando un conjunto de iniciativas que buscan transformar la industria e impulsar el desarrollo de las empresas en ciertos sectores estratégicos de la economía nacional, aprovechando para ello las oportunidades que surjan de los acuerdos comerciales (Programa de Transformación Productiva – PTP). Pese a ello todavía no se ha logrado modificar de manera significativa la composición de la canasta exportadora.

Finalmente los coeficientes asociados a las variables de la diferencia del PIB per cápita (en términos absolutos) y frontera resultan ser estadísticamente no representativos dentro del modelo. Para el primer caso no fue posible contrastar la existencia de una estructura de comercio intraindustrial (hipótesis de Linder) o interindustrial (estructura Heckscher-Ohlin), mientras que para la frontera los resultados no permitieron concluir el hecho de que países colindantes (en la mayoría de los casos) gozan de un intercambio comercial fluido y en aumento al representar mercados naturales para sus productos.

En este orden de ideas, se sabe que Colombia comparte límites terrestres con cinco países, pero las zonas colindantes con Venezuela y Ecuador representan áreas muy dinámicas para el comercio que se da entre naciones, ya que se presenta un flujo continuo de mercancías, movimiento de personas así como circulación de vehículos de carga, mercado de divisas y actividades comerciales en general. No obstante en años recientes el volumen de comercio con estos países ha ido perdiendo participación dentro de la balanza del país debido, entre otras cosas, a factores asociados a medidas técnicas y no técnicas, de tipo administrativo y problemas relacionados con la fluctuación de los tipos de cambio así como a las malas relaciones diplomáticas que por ocasiones han afectado los niveles de intercambio mercantil. Pese a estos problemas, Venezuela y Ecuador continúan ocupando un lugar importante dentro de los principales socios comerciales de Colombia.

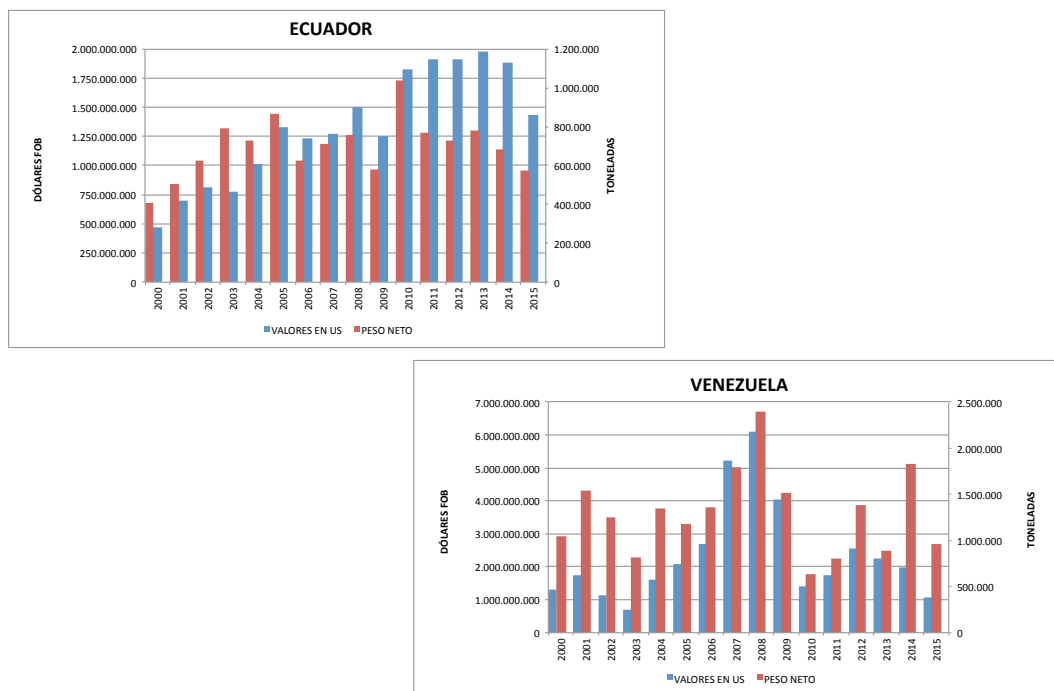


Figura 2. Colombia, destino de las exportaciones. Valor en millones de dólares – Peso neto (toneladas). Periodo 2000-2015. Fuente: elaboración propia a partir de información de UN COMTRADE y Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN.

Conclusiones

Debido a su simplicidad, la ecuación de gravedad ha adquirido relevancia e importancia en la estimación de flujos comerciales, su uso más común ha sido el de examinar los resultados de los acuerdos de integración económica regional. En este sentido, la principal función del modelo de gravedad es la de aportar un conjunto de variables que permitan explicar los factores determinantes que ayudan a comprender los flujos comerciales entre naciones.

Desde los aportes realizados por Timbergen (1962), Anderson (1979) y Bergstrand (1989), varios elementos han sido incorporados dentro de la literatura con el fin de explicar los flujos comerciales. Aparte de la población, la producción nacional y la distancia geográfica y dependiendo de la especificación funcional que se ajuste para el modelo, entre el conjunto de variables adicionales que se pueden considerar se tiene la localización geográfica continental, una moneda común, aspectos relacionados con características institucionales, culturales e históricas y aquellos asociados a la implementación de medidas arancelarias y no arancelarias al comercio entre muchas más.

Teniendo en cuenta los fundamentos teóricos propuestos para el desarrollo del modelo de gravedad del comercio internacional y en base a la literatura existente sobre el tema se identificaron algunos de los determinantes más significativos que han influido en los intercambios comerciales que ha sostenido Colombia con sus principales socios económicos durante el periodo en estudio, considerando para ello variables que se derivan de la ecuación de gravedad en su forma estándar así como aquellas que están asociadas a factores culturales y de proximidad geográfica.

Por un lado se incluyó al producto interno bruto como *proxy* del tamaño económico, a la distancia que separa a Bogotá de cada una de las ciudades capitales evaluadas y a la diferencia en términos absolutos del PIB per cápita del país exportador y el importador como variables explicativas. Además se tuvieron en cuenta un conjunto de factores adicionales tales como el idioma, el hecho de compartir una frontera y tener vigente un tratado de libre comercio como variables que influyen en el volumen de comercio bilateral entre Colombia y los países que conforman la muestra.

El producto interno bruto resulta ser el factor más importante para la determinación de los flujos comerciales, específicamente el volumen de exportaciones; tal y como el modelo predice el nivel de comercio es elevado entre países con ingresos altos y de gran tamaño.

A su vez, la distancia geográfica refleja que una mayor separación territorial genera una disminución en los flujos de comercio como consecuencia de las dificultades asociadas, entre otros aspectos, al aumento de los costos de transporte.

Con respecto al idioma, el caso de que dos países tengan un lenguaje en común induce a que se produzca un mayor nivel de intercambio comercial entre Colombia y sus socios de habla hispana convirtiéndolo en un factor que potencia, por encima de otras variables, los flujos comerciales bilaterales. Además, en relación con la participación en un tratado de libre comercio, este tiene un efecto positivo sobre el volumen de las exportaciones nacionales contribuyendo así al comercio, por lo que resulta ser mayor en aquellos países con los cuales existe vigente un acuerdo de preferencias comerciales con esas características.

En contraste con lo anterior, las variables referentes a la diferencia del PIB per cápita y frontera resultaron ser estadísticamente no relevantes, razón por la cual no fue posible verificar el patrón

comercial entre los países de la muestra, así como comprobar si la situación de compartir una misma frontera geográfica constituía un factor estimulante para dinamizar el intercambio comercial entre las partes.

Con base en la teoría y en el trabajo empírico previo, se desarrolló un modelo el cual recoge la esencia del tema en estudio. En general, este resulta ser adecuado debido a que todos los coeficientes (con excepción de las variables referentes al PIB per cápita y frontera) son estadísticamente significativos al nivel de confianza seleccionado, tienen los signos correctos en relación con sus expectativas previas y el valor R^2 es razonablemente alto.

El valor de R^2 de 0.5760 señala que cerca del 58% de la variación en (el log de) las exportaciones colombianas se encuentran explicadas por el (log del) PIB del país exportador, el (log del) PIB del país importador, (log de) la distancia geográfica que separa a dos países, el compartir un mismo idioma y tener vigente un tratado de libre comercio, un porcentaje considerable si se tiene en cuenta que el valor máximo que puede alcanzar es 1. El 42% restante estaría explicado por otros factores que se encuentran agrupados en la variable aleatoria u_{it} .

Después de llevar a cabo varias pruebas de diagnóstico acordes con los supuestos formales sobre los cuales se elaboró el modelo, puede considerarse que la estimación seleccionada es una buena representación de la realidad.

Referencias

- Acosta, G., Calafat, G., & Flóres, R. (2006). Comercio e infraestructura en la Comunidad Andina. *Revista de la CEPAL*, 90, 45-60.
- Álvarez, I., Fischer, B., & Natera, J. (2013). MERCOSUR: Tendencias de Internacionalización y Capacidades Tecnológicas. *Revista de la CEPAL*, 109, 43-60.
- Anderson, J., & Van Wincoop, E. (2003). Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. *American Economic Review*, 93, 170-192.
- Beck, N., & Katz, J. (1995). What to do (and not to do) with Time Series Cross-Section Data. *American Political Science Review*, 89, 634-647.
- Cafiero, J. (2005). Modelos Gravitacionales para el Análisis del Comercio Exterior. *Revista del CEI Comercio Exterior e Integración*. 77-89.
- Cárdenas, M., & García, J. (2004) El modelo gravitacional y el TLC entre Colombia y Estados Unidos. *Fedesarrollo, Working Paper Series*, (27). 1-37. Recuperado de: http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/813/1/WP_2004_No_27.pdf
- Dhar, S., & Panagariya, A. (1999). Is East Asia Less Open Than North America and the EEC? No. In Piggott, J. and Woodland, A. (eds.), *International Trade Policy and the Pacific Rim*. London: Macmillan.
- Flores, M. (2014). *Asimetrías en el Modelo Gravitatorio de Comercio. Una reconsideración empleando el Espacio de Países*. (Tesis de Maestría). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

- Frankel, J. A., & Stein, E., & Wei, S. J. (1995). Trading blocs and the Americas: The natural, the unnatural and the super-natural. *Journal of Development Economics*, 47, 61-95.
- Gosh, S., & Yamarik, S. (2004). Are Regional Trading Arrangements Trade Creating?: An application of Extreme Bounds Analysis. *Journal of International Economics*, 63(2), 369-395.
- Greenaway, D., & Milner, C. (2002). Regionalism and Gravity. *Scottish Journal of Political Economy*, 49 (5), 574-585.
- Greene, W. (2003). *Econometric Analysis*. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Gujarati, D. (2004). *Econometría*. México: Mc Graw Hill.
- Hausman, J. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251-1271.
- Havrylyshyn, O., & Pritchett, L. (1991). European trade patterns after the transition. *PRE Working Papers*, (748). The World Bank.
- Head, K., & Mayer, T. (2010). Gravity, Market and Economic Development. *Journal of Economic Geography*. University of British Columbia. 1-14.
- Hertel, T., & Reimer, J. J. (2004), "Predicting the poverty impacts of trade reform." *Policy Research Working Paper, N° 3444*, Banco Mundial.
- Jacobo, A. (2010). Una estimación de una ecuación gravitacional para los flujos bilaterales de manufacturas MERCOSUR-Unión Europea. *Economía Aplicada*, 14 (1), 67-69.
- Karemera, D., & Iwuagwu, V., & Davis, B. (2000). A Gravity Model Analysis of International Migration to North America. *Applied Economics*, 32 (13), 1745-1755.
- Krugman, P., & Obstfeld, M. (2006). *Economía internacional. Teoría y política*. Madrid: Pearson
- Linder, S. B. (1961). *An Essay on Trade and Transformation*. New York: Wiley and Sons.
- López, D., & Muñoz, F. (2008). Los modelos de gravedad en América Latina: el caso de Chile y México. *Comercio Exterior*, 58 (11), 803-813.
- Lozano, C., Castro, C., & Campos, J. (2005). Un Modelo Gravitacional para la Agenda Interna. *Serie Archivos de Economía*. Departamento Nacional de Planeación. Dirección de Estudios Económicos. Colombia, Documento 296, 1-40.
- Martínez, I., Cantavella, M., & Fernández, J.I. (2003): Estimación y Aplicaciones de una Ecuación de Gravedad para el Comercio Atlántico de la Unión Europea. *Información Comercial Española*, 806, 23-32.
- Mátyás, L. (1997). Proper econometric specification of the gravity model. *The World Economy*, 20 (3), 363-368.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Oficina de estudios económicos. (2015). *Comercio exterior colombiano: Seguimiento a los Acuerdos Comerciales*. Recuperado de <http://www.>

mincit.gov.co/tlc/loader.php?IServicio=Documentos&IFuncion=verPdf&id=77757&name=OEE-_LVH_Evolucion_AC_septiembre_2016.pdf&prefijo=file

- Ordóñez, D. (2010). *Proximidad Institucional, Distancia Institucional y Comercio Bilateral Aplicaciones modernas del modelo de gravedad*. (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile
- Redding, S., & Venables, A. (2004). Economic Geography and International Inequality. *Journal of International Economics*, (62), Princeton University, 53-82.
- Rose, A. (2000). One Money, One Market: Estimating the Effect of Common Currencies on Trade. *Economic Policy*, 15(30), pp 8-45.
- Trejos, A. (2009). Instrumentos para la evaluación del impacto de acuerdos comerciales internacionales: aplicaciones para países pequeños en América Latina. *Serie Estudios y Perspectivas, CEPAL* (110), 1-65.
- Umaña, C. (2011). Una evaluación de la estrategia comercial de Colombia a la Luz de un Modelo de Equilibrio General Computable basado en la ecuación de gravedad. *Serie Archivos de Economía*. Departamento Nacional de Planeación. Dirección de Estudios Económicos. Colombia, Documento 379, 1-23.
- Umaña, G., Junca, G., & Zerda, A. (2006). Las Barreras al comercio de bienes y servicios de Bogotá. Una visión desde las negociaciones del TLC. Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CID), Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.cid.unal.edu.co/files/publications/CID200603umbaco.pdf>

APÉNDICE 1. RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL MODELO

Estimación del modelo con datos de panel

VARIABLES	EFFECTOS FIJOS CON AR1	FGLS Heterocedasticidad y Autocorrelación	PCSE Heterocedasticidad y Autocorrelación	FGLS Corrigiendo Heterocedasticidad, Autocorrelación y Correlación contemporánea	PCSE Corrigiendo Heterocedasticidad, Autocorrelación y Correlación contemporánea
PIB_i	1,20355* (0,43345) (0,006)	1,15463* (0,19682) (0,000)	1,46485* (0,46445) (0,002)	1,68332* (0,31557) (0,000)	1,46485* (0,55176) (0,008)
PIB_j	2,00269* (0,72704) (0,006)	1,08529* (0,03967) (0,000)	1,19075* (0,10225) (0,000)	1,20810* (0,08636) (0,000)	1,19075* (0,12066) (0,000)
$DIST_{ij}$		-1,64265* (0,12886) (0,000)	-1,93082* (0,20838) (0,000)	-3,33008 (2,57652) (0,196)	-1,93082* (0,23728) (0,000)
$\Delta PIBpc_{ij}$	0,16188 (0,26088) (0,535)	0,23790* (0,06948) (0,001)	0,19356 (0,15210) (0,203)	0,10236 (0,10359) (0,323)	0,19356 (0,15202) (0,203)
IDM_{ij}		2,20166* (0,30028) (0,000)	1,84113* (0,37888) (0,000)	-0,49036 (4,33916) (0,910)	1,84113* (0,42309) (0,000)
FRT_{ij}		0,44029* (0,19845) (0,027)	0,28392 (0,33408) (0,395)		0,28392 (0,30828) (0,357)
TLC_{ij}		1,22702* (0,16067) (0,000)	0,96111* (0,17944) (0,000)	4,01617 (23,71051) (0,865)	0,96111* (0,14976) (0,000)
Cons	-28,96799* (2,949084) (0,000)	-5,83896* (2,64479) (0,027)	-7,66519 (5,73111) (0,181)		-7,66519 (6,78362) (0,258)
N° Obs	784	784	784	784	784

Fuente: cálculos del autor. *Significativo al 5%. Las cifras dentro del primer conjunto de paréntesis son los errores estándar estimados de los coeficientes de regresión, las cifras del segundo conjunto son los p-values estimados, es decir el nivel exacto de significancia.

Pruebas de selección para los diferentes modelos analizados

Regresión Agrupada (POOLED)

logexpo	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
logpibi	1.731444	.261343	6.63	0.000	1.218421	2.244467
logpibj	1.194879	.0346601	34.47	0.000	1.12684	1.262918
logdist	-1.98335	.1659993	-11.95	0.000	-2.309211	-1.657489
logdifpibpc	.1487682	.0557695	2.67	0.008	.0392913	.2582451
idm	1.687688	.2947808	5.73	0.000	1.109026	2.266351
frt	.2370429	.248017	0.96	0.339	-.2498209	.7239067
tlc	1.043884	.192278	5.43	0.000	.6664375	1.421331
_cons	-10.02381	3.497228	-2.87	0.004	-16.88895	-3.158658

Modelo de Efectos Fijos

logexpo	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
logpibi	1.387866	.2935404	4.73	0.000	.8115846	1.964148
logpibj	1.904749	.4814067	3.96	0.000	.9596466	2.849852
logdifpibpc	.0267658	.1641364	0.16	0.871	-.2954684	.3490001
_cons	-28.80442	2.895616	-9.95	0.000	-34.48913	-23.11972
sigma_u	2.8739038					
sigma_e	.95253964					
rho	.90101823 (fraction of variance due to u_i)					

F test that all u_i=0: F(48, 732) = 67.89 Prob > F = 0.0000

Modelo de Efectos Aleatorios

logexpo	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
logpibi	1.715042	.1819295	9.43	0.000	1.358466	2.071617
logpibj	1.229384	.1101861	11.16	0.000	1.013423	1.445344
logdist	-1.988786	.5562615	-3.58	0.000	-3.079038	-.8985334
logdifpibpc	.1423269	.1159274	1.23	0.220	-.0848866	.3695403
idm	1.722378	.9283739	1.86	0.064	-.0972011	3.541958
frt	.1918965	.8183629	0.23	0.815	-1.412065	1.795858
tlc	1.039231	.6465436	1.61	0.108	-.2279709	2.306433
_cons	-10.12891	5.626454	-1.80	0.072	-21.15655	.8987383
sigma_u	1.2311861					
sigma_e	.95253964					
rho	.62555707 (fraction of variance due to u_i)					

Prueba del Multiplicador de Lagrange para Efectos Aleatorios

$$\text{logexpo}[\text{nopais}, t] = Xb + u[\text{nopais}] + e[\text{nopais}, t]$$

Estimated results:

	Var	sd = sqrt(Var)
logexpo	8.854498	2.975651
e	.9073318	.9525396
u	1.515819	1.231186

Test: Var(u) = 0

chibar2(01) = 2030.06
 Prob > chibar2 = 0.0000

H_0 : La varianza de los errores es 0 ($u_i = 0$), es decir que los efectos aleatorios no son importantes siendo la regresión agrupada el método más adecuado para llevar a cabo la estimación. Como el p-value es inferior al nivel de significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto los efectos aleatorios son relevantes efectuándose la estimación por este método.

Prueba de Hausman

	Coefficients			
	(b) FIXED	(B) RANDOM	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
logpibi	1.387866	1.929309	-.5414427	.223016
logpibj	1.904749	1.149163	.7555862	.4529109
logdifpibpc	.0267658	-.145119	.1718849	.107702

b = consistent under H_0 and H_a ; obtained from xtreg
 B = inconsistent under H_a , efficient under H_0 ; obtained from xtreg

Test: H_0 : difference in coefficients not systematic

chi2(3) = (b-B)' [(V_b-V_B)^(-1)] (b-B)
 = 18.49
 Prob>chi2 = 0.0003
 (V_b-V_B is not positive definite)

H_0 : Los estimadores de efectos fijos y efectos aleatorios no difieren sistemáticamente, por lo que el modelo de efectos aleatorios es más apropiado. Los resultados del Test sugieren rechazar la hipótesis nula, por lo que es conveniente entonces elegir el modelo de efectos fijos, debido a que la estimación por efectos aleatorios resulta ser inconsistente.

Efectos temporales (Two Way Fixed Effect)

F(15, 718) = 4.23
 Prob > F = 0.0000

$H_0: \eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_t = 0$; Ninguna de las variables dicótomas temporales son conjuntamente significativas ni pertenecen al modelo. Como el valor p de la prueba F es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis nula por lo tanto se ratifica que las variables dicótomas temporales son conjuntamente significativas y pertenecen al modelo.

Prueba de Autocorrelación de Wooldridge en datos de panel.

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
      F( 1,      48) =      22.399
      Prob > F =      0.0000
```

H_0 : No se presenta autocorrelación. La prueba refleja que el modelo presenta problemas de autocorrelación.

Prueba modificada de Wald para Heterocedasticidad

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (49) = 23308.28
Prob>chi2 = 0.0000
```

H_0 : No existe problemas de Heterocedasticidad; $\sigma_i^2 = \sigma$; $i = 1, 2, \dots, N$ donde N es el número de unidades transversales. La prueba permite verificar la presencia de Heterocedasticidad ya que el valor p obtenido es inferior al nivel de significancia del 5%.

Prueba Pesaran de independencia transversal

```
Pesaran's test of cross sectional independence = 10.933, Pr = 0.0000

Average absolute value of the off-diagonal elements = 0.299
```

H_0 : Existe independencia transversal, es decir que los errores entre unidades son independientes entre sí. Como la probabilidad es inferior al nivel de significancia seleccionado se rechaza la hipótesis nula, por lo que existe un problema de correlación contemporánea en el modelo.

APÉNDICE 2. DISTANCIA DEL GRAN CÍRCULO (GREAT-CIRCLE)

La distancia del gran círculo es la distancia más corta entre dos puntos sobre la superficie de una esfera. Este concepto se encuentra asociado a la distancia geodésica la cual se define como la línea curva de longitud mínima que une dos puntos con latitud y longitud conocidas, o bien, sobre un punto fijo con dirección conocida sobre la superficie del elipsoide.

En la actualidad existen varios métodos para determinar la distancia entre dos puntos de la superficie de una esfera o de un elipsoide; uno de los más conocidos es la relación llamada fórmula de Haversine, la cual calcula la distancia entre dos puntos, pero en lugar de utilizar al elipsoide, esta considera la aproximación esférica de la superficie terrestre.

La fórmula Haversine para la aproximación esférica de la distancia (d) para cualquier pareja de puntos de la superficie terrestre viene dada por:

$$hav\left(\frac{d}{r}\right) = hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) hav(\lambda_2 - \lambda_1)$$

dónde:

hav es la función Haversine y se encuentra definida como

$$hav(\theta) = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \text{ o } \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

d es la distancia entre dos puntos

φ_1 y φ_2 es la latitud del punto 1 y latitud del punto 2 (en radianes)

λ_1 y λ_2 es la longitud del punto 1 y longitud del punto 2 (en radianes)

r es el radio terrestre. Con respecto a este parámetro, puesto que la tierra no es una esfera perfectamente redonda no existe un único valor que sirva para representar su radio natural, por lo que puede variar desde 6378,14 kilómetros en el Ecuador hasta 6356,78 kilómetros en los polos o se puede considerar su valor como una esfera de radio medio de 6371,0 kilómetros, aquí se emplea este último.

Para resolver la anterior expresión se puede recurrir a la aplicación de tablas considerando la fórmula Haversine a la inversa o para efectos prácticos por medio del uso de la función trigonométrica arco seno ($d = 2r \arcsen(\sqrt{(hav)})$), o de forma más explícita:

$$d = 2r \arcsen(\sqrt{hav(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) hav(\lambda_2 - \lambda_1)})$$

$$d = 2r \arcsen\left(\sqrt{\text{sen}^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{sen}^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right)$$

Hay que tener en cuenta que las latitudes y longitudes se encuentran expresadas en radianes, por lo que para su cálculo en grados es necesario considerar dentro de la fórmula la expresión

$$\left(\frac{180 \cdot d}{\pi \cdot r}\right).$$

Apéndice 3. Colombia. Acuerdos comerciales vigentes y suscritos.

ACUERDOS MULTILATERALES			
Parte(s) signataria(s)	Fecha de suscripción		
Miembro de la OMC	30 de Abril de 1995 (Parte contratante del GATT 1947 desde el 03 de octubre de 1981)		
ACUERDOS DE LIBRE COMERCIO			
Parte(s) signataria(s)	Fecha de suscripción	Vigencia	Estado del tratado
Comunidad Andina ¹	26 de mayo de 1969		Vigente
Alianza del Pacífico ²	10 de febrero de 2014	20 de julio de 2015	Vigente
Costa Rica	22 de mayo de 2013	01 de agosto de 2016	Vigente
Corea del Sur	21 de febrero de 2013	15 de julio de 2016	Vigente
Unión Europea ³	26 de junio de 2012	01 de agosto de 2013 (Parcial)	Vigente
Asociación Europea de Libre Comercio, AELC ⁴	25 de noviembre de 2008	01 de julio de 2011	Vigente
Canadá	21 de noviembre de 2008	15 de agosto de 2011	Vigente
Triángulo Norte - El Salvador	09 de agosto de 2007	01 de febrero de 2010	Vigente
Triángulo Norte – Guatemala	09 de agosto de 2007	12 de noviembre de 2009	Vigente
Triángulo Norte – Honduras	09 de agosto de 2007	27 de marzo de 2010	Vigente
Chile	27 de noviembre de 2006	08 de mayo de 2009	Vigente
Estados Unidos	22 de noviembre de 2006	15 de mayo de 2012	Vigente
México	13 de junio de 1994	01 de junio de 1995	Vigente
ACUERDOS COMERCIALES PREFERENCIALES			
Parte(s) signataria(s)	Fecha de suscripción	Vigencia	Estado del tratado
Venezuela (AAPC N° 28)	28 de noviembre de 2011	19 de octubre 2012	Vigente
Ecuador-Venezuela-MERCOSUR ⁵ (AAPCE N° 59)	18 de octubre de 2014	01 de febrero de 2005 (Argentina, Brasil y Uruguay) 19 de abril de 2005 (Paraguay)	Vigente
CARICOM ⁶ (AAP N°31)	24 de julio de 1994		Vigente
Panamá (AAP N° 29)	09 de julio de 1993	18 de enero de 1995	Vigente
Nicaragua (AAP N° 6)	02 de marzo de 1984		Vigente
SGPC (AAP)*	13 de abril de 1998	19 de abril de 1989	Vigente
ALADI (AAP)*	12 de agosto de 1980	18 de marzo de 1981	Vigente
ACUERDOS COMERCIALES SUSCRITOS (aun no vigentes)			
Parte(s) signataria(s)	Fecha de suscripción	Vigencia	Estado del tratado
Israel	30 de septiembre de 2013		
Panamá	20 de septiembre de 2013		
Turquía			En Negociación
Japón			En Negociación

1 Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú.

2 Chile, Colombia, México y Perú.

3 Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania, Suecia.

4 Islandia, Liechtenstein, Noruega y Suiza.

5 Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay

6 Comunidad del Caribe: Trinidad y Tobago, Jamaica, Barbados, Guyana, Antigua y Barbuda, Belice, Dominica, Granada, Monserrat, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas.

* AAP: Acuerdo de Alcance Parcial, ACE: Acuerdo de Complementación Económica, SGPC: Sistema Global de Preferencias Comerciales, ALADI: Asociación Latinoamericana de Integración (Argentina; Bolivia; Brasil; Chile; Colombia; Cuba; Ecuador; México; Paraguay; Perú; Uruguay; Venezuela).

