

República de Colombia  
Departamento Nacional de Planeación  
Dirección de Estudios Económicos

---

---

# ARCHIVOS DE ECONOMÍA

---

---

Una evaluación de la estrategia comercial de  
Colombia a la luz de un Modelo de Equilibrio  
General Computable basado en la  
ecuación de gravedad.

Camilo UMAÑA DAJUD

Documento 379  
2 de septiembre de 2011

---

La serie ARCHIVOS DE ECONOMÍA es un medio de divulgación de la Dirección de Estudios Económicos, no es un órgano oficial del Departamento Nacional de Planeación. Sus documentos son de carácter provisional, de responsabilidad exclusiva de sus autores y sus contenidos no comprometen a la institución.

Consultar otros **Archivos de economía** en:

<http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/EstudiosEconomicos/ArchivosdeEconomía.aspx>

[http://www.dotec-colombia.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=8857&Itemid=15](http://www.dotec-colombia.org/index.php?option=com_content&task=view&id=8857&Itemid=15)

Una evaluación de la estrategia comercial de Colombia a la luz de un  
modelo de equilibrio general computable basado en la ecuación de  
gravidad

Camilo Umaña Dajud \*

Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Estudios Económicos

**Resumen**

La técnica dominante de estimación de la ecuación gravitacional ha impedido su uso para hacer análisis de equilibrio general. En este artículo desarrollamos un modelo de equilibrio general computable basado en el modelo pionero de Anderson y van Wincoop (2003) para estudiar el impacto de los TLCs de Colombia y de una eventual mejora en la inserción de la economía colombiana en los mercados mundiales.

**Palabras clave:** Modelos de comercio con competencia imperfecta y economías de escala, Política comercial, Integración económica

**Códigos JEL:** F12, F14, F15, F19

---

\* camilo.umana@sciences-po.org, Dirección de Estudios Económicos, Departamento Nacional de Planeación, Calle 26 # 13 - 19, Bogotá, 111321, Colombia.

Los errores y omisiones que subsisten así como las opiniones expresadas en el presente artículo son responsabilidad exclusiva del autor. El autor agradece los valiosos comentarios de Gabriel Piraquive, Manuel Ramírez y Jesús Otero así como de los demás asistentes a los seminarios internos de la Dirección de Estudios Económicos del Departamento Nacional de Planeación.

## Introducción

La ecuación gravitacional se ha convertido en la herramienta privilegiada de los análisis empíricos del comercio internacional. En efecto, la ecuación de gravedad ha tenido gran éxito en predecir los flujos de comercio bilaterales. (Tinbergen 1962) parece haber sido el primero en aplicar la ley de Newton de la Gravitación Universal al estudio de los flujos de comercio internacional mientras que (Anderson 1979) fue el primero en desarrollar un modelo teórico del comercio internacional capaz de generar la ecuación de gravedad. De modo tal que las indagaciones empíricas basadas en la ecuación gravitacional precedieron de varias décadas al desarrollo de bases teóricas sólidas que permitieran explicar el éxito de dicha ecuación. La falta de bases teóricas condujo a la realización y posterior publicación de cientos de investigaciones empíricas que presentaban resultados sesgados y teóricamente inconsistentes. Lo anterior condujo a que ingentes esfuerzos fueran dedicados a producir una teoría del comercio internacional que pudiera explicar el éxito empírico de esta ecuación.

Después del artículo seminal de Anderson, basado en bienes diferenciados por su lugar de origen y demandas del tipo Armington, se fueron sumando modelos teóricos consistentes con la ecuación gravitacional. Entre estos son de mencionar las contribuciones de (Bergstrand 1985) quien propone un modelo basado en el modelo de comercio internacional de competencia monopolística Dixit-Stiglitz-Krugman y de (Eaton y Kortum 2002) quienes desarrollan un modelo a partir de un modelo ricardiano de ventaja comparativa. Finalmente es de notar que la ecuación gravitacional es compatible con la Nueva Nueva teoría del Comercio Internacional. En efecto, (Helpman, Melitz, y Rubinstein 2008) presentan un modelo de firmas heterogéneas que genera dicha ecuación.

El desarrollo de estas bases teóricas condujo a la identificación de las inconsistencias y de los errores de estimación que presentaban las estimaciones de la ecuación de gravedad. En particular, el artículo de (Anderson y van Wincoop 2003) fue fundamental para identificar el error, denominado “the gold medal mistake” en el ya clásico artículo de (Baldwin y Taglione 2006), con las consecuencias más graves sobre el sesgo de las estimaciones. El error merecedor de la medalla de oro consiste en obviar los términos de resistencia multilaterales que no son otra cosa que el reflejo del grado

de competencia en el país de destino, la competitividad del país de origen y los costos acceso al mercado destino.

Dos estrategias permiten remediar la ausencia de índices de precios teóricamente consistentes con los términos de resistencia multilaterales. La primera consiste en estimar un sistema de ecuaciones no lineales con el fin de deducir los términos de resistencia multilaterales. La segunda estrategia consiste en incluir efectos fijos para cada socio comercial en cada periodo de tiempo para así obtener estimadores insesgados a pesar de haber omitido los términos de resistencia multilaterales. Debido a su mayor facilidad computacional, la segunda estrategia se ha convertido en la estrategia de estimación dominante siendo los estudios que usan la primera prácticamente inexistentes.

Lo anterior condujo a que las numerosas estimaciones, con las dos única excepciones que nos son conocidas siendo los artículos de (Anderson y van Wincoop 2003) y (Balistreri y Hillberry 2007), no fueran utilizadas para realizar ejercicios de equilibrio general. En efecto la utilización de efectos fijos no permite obtener una estimación de los términos de resistencia multilaterales y por ende tal estrategia de estimación impide realizar ejercicios de equilibrio general [(Baier y Bergstrand 2010)]. Lo anterior es particularmente problemático cuándo se quieren realizar evaluaciones ex-ante como en el caso de la evaluación del impacto de un eventual tratado de libre comercio. Es así que los análisis empíricos del comercio internacional han seguido dos caminos diferentes. Por un lado, las evaluaciones ex-ante continuaron siendo el monopolio de los modelos de equilibrio general computables mientras que las múltiples estimaciones de la ecuación de gravedad fueron ganando terreno en el campo de las evaluaciones ex-post.

En el presente artículo proponemos desarrollar un modelo de equilibrio general computable basado en un modelo teórico consistente con la ecuación de gravedad, combinando así los dos caminos, y aplicarlo para analizar ex-ante las consecuencias de los tratados de libre comercio suscrito entre Colombia y los Estados Unidos, Colombia y la Unión Europea así como las de una eventual mejora de la inserción internacional de la economía colombiana. El artículo está organizado de la siguiente manera. La primera sección hace una muy breve revisión de las publicaciones que utilizan la ecuación de gravedad para evaluar el comercio internacional colombiano. En la sección dos presentamos

el modelo desarrollado en (Anderson y van Wincoop 2003) que nos servirá como base teórica para el modelo de equilibrio general computable. La tercera sección está dedicada a la presentación del modelo de equilibrio general computable así como a la estrategia de calibración de los parámetros del modelo. La sección cuatro presenta los resultados de la modelación de los tratados de libre comercio para Colombia así como de una eventual mejora de la integración de la economía colombiana a los mercados mundiales. La sección cinco concluye.

## 1. Breve revisión de la literatura para Colombia

Las investigaciones que utilizan la ecuación de gravedad para el análisis del comercio internacional colombiano y que han sido publicadas constituyen un grupo muy reducido. (Lozano, Castro, y Campos 2005) estiman un modelo gravitacional para medir la elasticidad de las exportaciones frente a los costos de transporte. Sin embargo, es de notar que la variable dependiente del estudio, toneladas métricas se aparta de las bases teóricas de la ecuación de gravedad. Por su parte, (Junca, Umaña, y Zerda 2006) estiman una ecuación gravitacional mediante un modelo de máxima verosimilitud de Poisson y efectos fijos exportador-año e importador-año pero sólo para los flujos de comercio de Bogotá.

Finalmente, es de citar el documento de trabajo de (Cárdenas y Jimeno 2004) que está directamente relacionado con el presente ejercicio ya que evalúa el posible impacto en los flujos de comercio bilaterales del TLC con los Estados Unidos. Hay que anotar que la estimación presenta una serie de errores, entre ellos una incorrecta utilización de los efectos fijos, indudablemente explicados por la fecha de publicación del artículo. Pero más allá del sesgo de las estimaciones, llama la atención el uso de la utilización de una evaluación ex-post para hacer predicciones sobre el eventual efecto en el comercio bilateral de un TLC entre Colombia y los Estados Unidos. En efecto, el artículo de (Cárdenas y Jimeno 2004) constituye un ejemplo de las deficiencias y de los problemas ligados al uso de la ecuación de gravedad estimada mediante el uso de efectos fijos para evaluar el efecto de un tratado que todavía no ha entrado en vigor. Los autores utilizando un panel estiman el efecto promedio en el comercio bilateral en cada sector de los TLC que Estados Unidos han firmado con

otros países y asumen que el efecto en el caso de Colombia será el mismo. Una inferencia estadística que no deja de ser cuestionable. En segundo lugar, los resultados son sólo de equilibrio parcial ya que un eventual aumento del comercio multilateral tiene un impacto inevitable sobre el producto interno bruto y sobre los términos de resistencia multilaterales. Estos a su vez impactan de nuevamente los flujos de comercio. El artículo de (Cárdenas y Jimeno 2004) constituye por lo tanto una clara ilustración de las deficiencias del análisis ex-ante basado en la estimación de efectos fijos de la ecuación de gravedad.

## 2. El modelo de Anderson - Van Wincoop

Tal y como lo señalamos más arriba son varios los modelos teóricos capaces de generar la ecuación de gravedad. Es así que (Baldwin y Taglione 2006) señalan que la ecuación de gravedad paso de no tener bases teóricas que la sustentaran a tener demasiadas. En efecto, para que la ecuación de gravedad pueda ser generada un modelo teórico solo tiene que cumplir dos condiciones básicas.

La primera de estas condiciones tiene que ver con la forma en que los consumidores de un país distribuyen su presupuesto entre los bienes de los diferentes países. Para ver esto con mayor claridad supongamos que  $o$  representa el país de origen,  $d$  representa el país de destino y  $\Pi_{o,d}$  representa la porción del presupuesto total del país  $d$  destinada a comprar los productos del país  $o$ . Para que un modelo teórico sea compatible con la ecuación de gravedad, la porción de su presupuesto que destina el país  $d$  a comprar los productos del país  $o$  debe poder escribirse de la siguiente manera:

$$\Pi_{o,d} = \frac{A_o \phi_{o,d}}{\varphi_d} \quad (1)$$

donde  $A_o$  representa las capacidades del país exportador,  $\phi_{o,d}$  representa el grado de accesibilidad que tiene los exportadores de  $o$  para acceder al país  $d$  y  $\varphi_d$  el grado de competencia en  $d$ .

La segunda condición implica simplemente el vaciamiento del mercado, en otras palabras la suma de las exportaciones de un país a todos los destinos y de la parte de la producción nacional destinada al mercado interno debe ser igual a la producción total del país. En otras palabras no hay

acumulación de inventarios puesto que todo lo que produce un país se vende. Aunque es un supuesto fuerte la gran mayoría de modelos teóricos sobre comercio internacional incluyen una condición de vaciamiento del mercado. Es así que una gran parte de los modelos de comercio internacional, entre ellos varios modelos de inspiración ricardiana pero con la notable excepción del modelo Heckscher-Ohlin, son compatibles con la ecuación de gravedad. De modo tal, gran parte de la fortaleza de la ecuación de gravedad reside en su solidez teórica sustentada en el importante número de modelos capaces de generar la ecuación gravitacional.

Sin embargo, para poder realizar consideraciones de equilibrio general es necesario escoger un modelo específico. En efecto, en el presente ejercicio, siguiendo la tradición de los modelos de equilibrio general computable, deseamos evaluar el impacto de los tratados de libre comercio y, en general, de una mejor integración a los mercados mundiales sobre el bienestar de los consumidores. Escoger un modelo específico le hace perder fuerza a la ecuación de gravedad puesto que es necesario incorporar en el análisis todo los supuestos del modelo utilizado, lo que no es necesario, tal y como fue explicado más arriba, cuando se estima la ecuación de gravedad con efectos fijos. Esto constituye por lo tanto una debilidad de las evaluaciones ex-ante inspiradas en la ecuación gravitacional frente a las evaluaciones ex-post basadas igualmente en dicha ecuación.

El en presente artículo, hemos escogido el modelo teórico presentado en (Anderson y van Wincoop 2003) para desarrollar nuestro modelo de equilibrio general computable. En efecto, el modelo de Anderson - van Wincoop fue el primero en señalar claramente el papel jugado por los términos de resistencia multilaterales poniendo así en evidencia el error con las más graves consecuencias a la hora de estimar la ecuación gravitacional. Este modelo se ha convertido consecuentemente en el paradigma de la Nueva Teoría del comercio internacional.

El modelo sigue el supuesto de Armington, muy común en los modelos de equilibrio general computable puesto que resuelve el problema del comercio del mismo bien entre países similares. En consecuencia, el modelo asume que cada bien esta diferenciado por su lugar de origen y que cada país o región está especializado en la producción de un único bien.

Adicionalmente, el modelo se centra en lado de la demanda asumiendo que la oferta de cada bien esta fija. Es de notar que este supuesto puede ser problemático si se quiere entender el impacto en el largo plazo de un tratado comercial puesto que es probable que el lado de la oferta se vea impactado igualmente. Futuros desarrollos podrían incluir el sector productivo en la modelación.

Los supuestos del lado del consumo son los clásicos. Las preferencias de todos los consumidores son idénticas y homotéticas. Los consumidores maximizan la siguiente función de elasticidad de sustitución constante:

$$\left( \sum_o \beta_{o,d}^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} c_{o,d}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (2)$$

donde  $c_{o,d}$  representa las cantidades consumidas del bien producido en  $o$  por un consumidor situado en  $d$  y  $\sigma$  la elasticidad de sustitución entre bienes.  $\beta_{o,d}$  puede ser interpretado como un parámetro que resume las preferencias de los consumidores hacia los bienes de distintos países o la calidad de los bienes producidos en un determinado país.

Los consumidores maximizan su utilidad sujetos a la siguiente restricción presupuestaria donde  $p_{o,d}$  es el precio en el país  $d$  del bien producido en  $o$  e  $y_d$  representa el ingreso nominal del país  $d$ :

$$\sum_o p_{o,d} c_{o,d} = y_d \quad (3)$$

Los costos de transporte tienen un impacto sobre los precios en cada región. Definiendo  $p_o$  como el precio a la salida de la fabrica del bien producido en  $o$  y  $\tau_{o,d}$  como los costos de comercio entre  $o$  y  $d$ , tenemos  $p_{o,d} = \tau_{o,d} p_o$ . Los costos de transporte son asumidos en su totalidad por el consumidor. De modo tal que el valor de las exportaciones de  $o$  hacia  $d$  es  $x_{o,d} = p_{o,d} c_{o,d}$ . Por lo tanto, el ingreso del país  $o$  debe ser igual a  $\sum_d x_{o,d}$ . En consecuencia, la demanda del bien de la región  $o$  por parte de los consumidores de la región  $d$  tiene por lo tanto la siguiente forma:

$$x_{o,d} = \left( \frac{\beta_o p_o \tau_{o,d}}{P_d} \right)^{(1-\sigma)} y_d \quad (4)$$



donde  $P_d$  es el índice de precios teórico y tiene la siguiente forma:

$$P_d = \left[ \sum_o (\beta_o p_o \tau_{o,d})^{(1-\sigma)} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (5)$$

La condición de equilibrio asegura el vaciamiento del mercado, por lo tanto tenemos  $y_i = \sum_j x_{i,j}$ .

Reemplazando las demandas obtenemos:

$$y_o = \sum_j \left( \left( \frac{\beta_o p_o \tau_{o,d}}{P_d} \right)^{(1-\sigma)} \right) y_d = (\beta_o p_o)^{1-\sigma} \sum_d (\tau_{o,d}/P_d)^{(1-\sigma)} y_d \quad (6)$$

A partir de la condición de vaciamiento de mercado (ecuación 6) y fijando las unidades de tal manera que todos los precios  $p_o$  sean iguales a uno podemos obtener los coeficientes  $\beta_o$ . Definiendo el ingreso mundial nominal  $y^W \equiv \sum_d y_d$ , tenemos:

$$x_{o,d} = \frac{y_o y_d}{y^W} \left( \frac{\tau_{o,d}}{\Pi_o P_d} \right)^{(1-\sigma)} \quad (7)$$

donde:

$$\Pi_o = \left( \sum_d \frac{\tau_{o,d}}{P_d} \frac{Y_d}{Y^W} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (8)$$

Y substituyendo los precios de equilibrio:

$$P_d = \left( \sum_o (\tau_{o,d}/\Pi_o)^{1-\sigma} \theta_d \right)^{1/(1-\sigma)} \quad (9)$$

(Anderson y van Wincoop 2003) asumen que los costos de comercio entre  $o$  y  $d$  son simétricos, por lo tanto  $\tau_{o,d} = \tau_{d,o}$ . Este es innegablemente un supuesto problemático puesto que la evidencia empírica indica que los costos comercio no son simétricos. Sin embargo, tampoco es claro que las diferencias de estos costes en cada sentido sean lo suficientemente grandes como para invalidar del todo los resultados que dependen de tal suposición. Si asumimos que los costes son efectivamente simétricos tenemos que  $\Pi_o$  es igual a  $P_o$ . Bajo estas condiciones podemos expresar los flujos de comercio bilaterales en función de los ingresos nominales, los costos de comercio y los índices teóricos de

precios:

$$x_{o,d} = \frac{y_o y_d}{y^W} \left( \frac{\tau_{o,d}}{P_o P_d} \right)^{(1-\sigma)} \quad (10)$$

El modelo de (Anderson y van Wincoop 2003) permite por lo tanto obtener la ecuación de gravedad.

### 3. Modelo de equilibrio general computable

Las ecuaciones 2 y 11 resumen los insumos necesarios para desarrollar un modelo de equilibrio general computable a partir del modelo de (Anderson y van Wincoop 2003). En efecto, para alimentar el modelo necesitaremos los ingresos del país exportador y del país importador ( $y_o$ ,  $y_d$ ), alguna medida de  $\tau$  y  $\sigma$ , así como de los índices de precios teóricos  $P_o$  y  $P_d$ . Los datos sobre los ingresos están ampliamente disponibles y la elasticidad de sustitución  $\sigma$  puede ser deducida de las estimaciones disponibles en la literatura.

Como medida de los costos seguimos la tradición en la literatura relacionada con la ecuación de gravedad utilizando la distancia como medida de los costos de acceso al mercado  $d$  para un productor situado en  $o$  y una variable dicotómica para capturar los efectos de la integración multilateral. De modo tal asumiremos que los costos de transporte tienen la siguiente estructura multiplicativa:

$$\tau_{o,d} = b_{o,d}^\delta d_{o,d}^\rho \quad (11)$$

donde  $b_{o,d}$  es una variable dicotómica igual a uno cuando los dos países pertenecen al mismo bloque comercial y  $d_{o,d}^\rho$  la distancia que separa los dos mercados.

Bajo estas condiciones, y teniendo en cuenta que nos limitamos a un sólo periodo de tiempo, la siguiente es la ecuación gravitacional para cada pareja de países:

$$x_{o,d} = \frac{y_o y_d}{y^W} \left( \frac{b_{o,d}^\delta d_{o,d}^\rho}{P_o P_d} \right)^{(1-\sigma)} \quad (12)$$

Los índices teóricos de precios, tal y como lo señalamos más arriba, no están disponibles. Por tal motivo acudiremos a la estrategia desarrollada por (Anderson y van Wincoop 2003) para deducirlos de un sistema de ecuaciones no lineales. A partir de la solución de dicho sistema constituido por las ecuaciones gravitacionales para cada pareja de países podemos obtener los índices de precios teóricos pero además podemos deducir los coeficientes asociados a la distancia y a la variable dicotómica que representa la pertenencia a un bloque comercial.

Para resolver el sistema de ecuaciones asumimos que los valores arrojados por las ecuaciones gravitacionales son los valores verdaderos,  $x_{o,d}$ , mientras que los flujos bilaterales observados están sesgados por errores de medición. La versión log linearizada de nuestra ecuación de gravedad tiene la siguiente forma:

$$\ln \frac{x_{o,d}}{y_o y_d} = \ln \frac{1}{y^W} + \delta(1-\sigma) \ln b_{o,d} + \rho(1-\sigma) \ln d_{o,d} - (1-\sigma) \ln P_o - (1-\sigma) \ln P_d \quad (13)$$

En consecuencia, para obtener los índices de precios teóricos así como los coeficientes asociados a la distancia y la variable dicotómica  $b_{o,d}$  implementamos el siguiente programa no lineal:

$$\min_{k,\delta,\rho} \sum_o \sum_{o \neq d} \left[ \ln \left( \frac{x_{o,d}^{observado}}{y_o y_d} \right) - k - \delta(1-\sigma)(1-b_{o,d}) - \rho(1-\sigma) \ln d_{o,d} + (1-\sigma) \ln P_o + (1-\sigma) \ln P_d \right]^2 \quad (14)$$

$$\text{sujeto a } P_d^{1-\sigma} = \sum_o P_o^{(\sigma-1)} e^{\rho(1-\sigma) \ln d_{o,d} + \delta(1-\sigma)(1-b_{o,d})} \forall_d \quad (15)$$

donde  $k$  es una constante. El valor teórico de  $k$  es igual a  $\ln \frac{1}{y^W}$ . Sin embargo, en el presente artículo presentaremos los resultados cuando fijamos  $k$  pero también cuando  $k$  es determinado por el sistema de ecuaciones no lineales. Resolvemos este sistema de ecuaciones utilizando el programa General Algebraic Modeling System (GAMS)

Siguiendo la técnica implementada en (Balistreri y Hillberry 2007), una vez obtenemos de esta manera los índices de precios y los coeficientes asociados a  $b$  y  $d$  volvemos al modelo teórico

completo para obtener los flujos de comercio teóricamente consistentes con el modelo. Volver al modelo teórico completo nos permite igualmente evaluar el impacto de cambios en las variables que determinan los flujos de comercio bilaterales sobre los ingresos de los países, los flujos de comercio, los precios al consumidor y el impacto sobre el bienestar de los consumidores. De la misma manera que para resolver el sistema de ecuaciones no lineales (14) implementamos el modelo en el programa GAMS.

## 4. Resultados

El modelo incluye todos los países de la Unión Europea así como los 18 principales socios comerciales de Colombia. Sin embargo, con el fin de centrar el análisis en los socios que tienen mayor peso en el comercio exterior colombiano modelamos a Bulgaria, Republica Checa, Estonia, Finlandia, Grecia, Hungría, Lituania, Letonia, Eslovaquia, Eslovenia y Luxemburgo como una única región. Los datos utilizados para calibrar el modelo son del año 2009.

En esta sección presentaremos los resultados de los diferentes escenarios evaluados con el modelo que hemos desarrollado. La primera estrategia consiste en seguir el método descrito en la sección anterior. Es decir obtener a través de la resolución del sistema de ecuaciones no lineales los coeficientes asociados a la distancia y la variable dicotómica que mide la pertenencia al mismo bloque comercial.

La segunda estrategia hace uso de los desarrollos en la estimación por efectos fijos de la ecuación de gravedad. En efecto, la utilización de efectos fijos permite obtener estimadores insesgados de los determinantes de los flujos de comercio bilaterales. Para evaluar el efecto promedio de los TLCs suscritos por los Estados Unidos y la Unión Europea estimamos una ecuación gravitacional por medio del estimador de Cuasi máxima verosimilitud de Poisson incluyendo efectos fijos para cada país año. La muestra utilizada abarca 208 países y territorios para el periodo comprendido entre 1948 y 2006. Una vez obtenidos los coeficientes los remplazamos en el sistema de ecuaciones no lineales. Finalmente, resolvemos el sistema para obtener los índices de precios teóricos que luego

incorporamos en el modelo completo de (Anderson y van Wincoop 2003). El segundo método tiene como ventaja sobre el primero que la estimación por efectos fijos explota tanto la variación temporal como la variación de corte transversal para obtener los coeficientes estimados.

Tabla 1: Estimación Modelo Gravitacional por efectos fijos

VARIABLES	(1) importaciones
ln población país de origen	-0.527*** (0.00100)
ln PIB per cápita país de origen	0.600*** (0.000263)
ln población país de destino	-0.110*** (0.00109)
ln PIB per cápita país de destino	0.647*** (0.000272)
Dummy igual a uno si origen es miembro OMC	0.454*** (0.000536)
Dummy igual a uno si destino es miembro OMC	0.331*** (0.000569)
Dummy igual a uno desde ACP a UE	-0.168*** (0.00266)
TLC con los EEUU	0.328*** (0.000662)
TLC con la UE	0.134*** (0.00183)
Numero de observaciones	919,839
Número de parejas-año	28,195

Errores estándares robustos entre paréntesis

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Es de resaltar que las variables dicotómicas que representan los TLCs son significativas al 1%. Por lo tanto, con un margen de confianza del 99%, los TLCs firmados por los Estados Unidos han aumentado en promedio 38.8% los flujos de comercio bilaterales mientras que el aumento promedio como consecuencia de los TLCs firmados por la Unión Europea es del 14.3%.

#### **4.1. El efecto del TLC entre Colombia y los Estados Unidos**

El primer ejercicio de equilibrio general que realizamos con nuestro modelo es el análisis de las posibles consecuencias del tratado de libre comercio firmado entre los Estados Unidos y Colombia. Para esto fijamos la variable dicotómica  $b$  igual a uno para los flujos comerciales que involucren a los Estados Unidos con un país con el cual ha firmado un acuerdo de libre comercio. En nuestra muestra estos países son Canadá, Chile, Perú, Méjico, Costa Rica y la República Dominicana.

La tabla presentada a continuación resume los coeficientes asociados a cada una de las variables obtenidos mediante las diferentes técnicas de estimación utilizadas en este artículo. La primera fila muestra los coeficientes obtenidos mediante la solución del sistema de ecuaciones no lineales donde todas las variables hacen parte de la solución del sistema. La estimación no lineal con  $k$  estructural es similar a la anterior pero en esta especificación fijamos el valor de  $k$  igual a su valor teórico. La tercera fila retoma los resultados de la estimación que utiliza el estimador de máxima verosimilitud de Poisson y efectos fijos para cada socio comercial-año. Finalmente, la última línea corresponde a la combinación de ambos métodos. En esta especificación el coeficiente asociado a  $\delta$  es obtenido mediante la estimación de efectos fijos mientras que el coeficiente asociado a  $\rho$ ,  $k$  y los términos de resistencia multilaterales son obtenidos gracias a la solución del sistema de ecuaciones no lineales definido en la ecuación 14.

Tabla 2: Comparación de los coeficientes asociados a  $b$

	$k$	$\rho(1 - \sigma)$	$\delta(1 - \sigma)$
Estimación no lineal	22.935	-1.849	-3.905
Estimación no lineal con $k$ estructural	24.55	-1.298	-2.650
Estimación de efectos fijos	9.169	NA	-0.08
Estimación Combinada	24.359	-1.527	-0.08

De los resultados presentados en la tabla dos hay que resaltar lo siguiente. Primero, el valor absoluto de los resultados arrojados por las estimaciones no lineales es superior a los resultados de la estimación con efectos fijos. Segundo, el valor estructural de  $k$  es muy cercano al valor que es obtenido cuando  $k$  es introducido como una variable más en la estimación no lineal lo que da cierta confianza sobre la robustez del modelo. Lo anterior es igualmente cierto para los coeficientes asociados a la distancia y a la variable dicotómica que mide la pertenencia al mismo bloque comercial.

Son de resaltar igualmente las fortalezas de la estimación que combina el método de efecto fijos con la resolución del sistema de ecuaciones no lineales. En efecto, la estimación por efectos explota tanto la variación temporal como la variación de corte transversal del panel de datos con el que estimamos la ecuación gravitacional. Por el contrario, la obtención del coeficiente asociado a los tratados de comercio de los Estados Unidos mediante la solución del sistema de ecuaciones no lineales sólo utiliza la información del año 2009. Sin embargo, la utilización correcta de efecto fijos nos permite estimar los coeficientes asociados a las variables que no varían en el tiempo ni el valor de los términos de resistencia multilaterales. Estos si se pueden obtener solucionando el sistema de ecuaciones no lineales. Por lo tanto, la utilización conjunta de los dos sistemas, que constituye un nuevo aporte del presente artículo a la literatura relacionada con la ecuación de gravedad, presenta fortalezas que deben ser tomadas en consideración a la hora de estimar la ecuación de gravedad. Lo anterior en especial cuando se quieran realizar ejercicios de equilibrio general.



Tabla 3: Comparación de los resultados de los diferentes métodos de estimación

	Modelo no lineal	Modelo No lineal con k estructural	Modelo Combinado
Ingreso	48.1 %	81.7 %	0.5 %
Utilidad	32.2 %	30.2 %	1.2 %
Flujo de comercio con USA	5764.5 %	731.7 %	34.8 %
Índice de Precios teórico en Colombia	11.8 %	39.5 %	-0.7 %
Índice de Precios teórico de los productos colombianos	50.1 %	82.1 %	0.5 %
Exportaciones totales de Colombia	214.1 %	82.3 %	7.8 %

El modelo no lineal con k estructural predice un aumento de los flujos comerciales entre Colombia y los Estados Unidos de 731.7% mientras que el modelo no lineal, en el cual se asume que k es una variable más a ser obtenida mediante la solución del sistema de ecuaciones no lineales, es de 5764.5%. Sin embargo los muy importantes aumentos de los flujos de comercio bilaterales no se traducen en aumentos tan importantes de las exportaciones totales de Colombia. En efecto, el aumento del comercio con los Estados Unidos conduce a la destrucción de comercio antes existente con otros socios comerciales. Es así que el modelo no lineal indica un aumento del 214.1% de las exportaciones totales mientras que el modelo no lineal con k estructural muestra un aumento de 82.3%.

Los resultados presentados en el cuadro tres hablan por sí solos de las ventajas asociadas al método de estimación combinado. En efecto, los aumentos de los flujos de comercio asociados al modelo no lineal y al modelo no lineal con  $k$  estructural son varias veces superiores a aquellos obtenidos mediante la estimación de efectos fijos. Este aumento y el cambio subsecuente en las otras variables no parece coherente con los resultados obtenidos tanto en la literatura relacionada con la ecuación gravitacional como en los modelos de equilibrio general computables tradicionales.

Es así nuestra especificación preferida es la del modelo combinado que explota las ventajas de la estimación por efectos fijos y del sistema de ecuaciones no lineales. Bajo dicha especificación nuestro modelo de equilibrio general indica un aumento del 34.8% del flujo de comercio bilateral entre Colombia y los Estados Unidos mientras que el aumento de las exportaciones totales es del 7.8%. Es de notar que el cambio en los flujos de comercio entre los Estados Unidos y Colombia es superior pero cercano al las estimaciones obtenidas por efectos fijos. El aumento del flujo de comercio bilateral con los Estados Unidos vendría acompañado de un aumento del precio de las exportaciones colombianas de 0.5% y de una disminución del índice de precios teóricos del consumidor en Colombia de -0.7%. Lo anterior conduce a un eventual aumento del producto interno bruto colombiano en 0.5% y de la utilidad de los consumidores en 1.2%.

## **4.2. El efecto del TLC entre Colombia y la Unión Europea**

Después de haber evaluado los efectos de la eventual entrada en vigor del tratado de libre comercio con los Estados Unidos, en esta sección presentamos brevemente los resultados de un ejercicio similar que evalúa el impacto de un tratado con la Unión Europea. Para tal fin fijamos esta vez nuestra variable dicotómica  $b$  igual a uno cuando los intercambios tiene comerciales tienen lugar entre un país miembro de la Unión Europea y uno de los países con los cuales la UE ha firmado un tratado de libre comercio o de asociación. En nuestro modelo estos países son Chile y México.

Tabla 4: Comparación de los coeficientes asociados a las diferentes especificaciones del modelo

	k	$\rho(1 - \sigma)$	$\delta(1 - \sigma)$
Estimación no lineal	23.994	-1.695	-0.5
Estimación no lineal con k estructural	24.55	-1.474	-0.512
Estimación de efectos fijos	9.169	NA	-0.0335
Estimación Combinada	24.104	-1.643	-0.0335

De los resultados obtenidos debemos resaltar los siguientes puntos. En primer lugar, la diferencia entre los coeficientes obtenidos mediante las diferentes técnicas de estimación es menor que en el ejercicio anterior. En segundo lugar, el valor de k es muy similar en todas las especificaciones del modelo lo que confirma una vez la robustez del modelo. Finalmente, hay que notar que los coeficientes asociados los tratados de libre comercio y de asociación suscritos por la Unión Europea son, en todas las especificaciones, menores a los coeficientes obtenidos cuando se evalúa el efecto de los TLCs suscritos por los Estados Unidos. Es de notar que lo anterior es consistente con los resultados presentados en la tabla 1 que resume los resultados de la estimación por efectos fijo donde el coeficiente asociado a los TLCs suscritos por los Estados Unidos más que duplica el coeficiente asociado a los TLCs suscritos por la Unión Europea.

Tabla 5: Comparación de los resultados de las diferentes especificaciones del modelo

	Modelo no lineal	Modelo No lineal con k estructural	Modelo Combinado
Ingreso	0.20 %	0.40 %	0.05 %
Utilidad	0.42 %	0.88 %	0.11 %
Flujo de comercio con la UE	63.60 %	62.30 %	14.10 %
Índice de precios teórico en Colombia	-0.20 %	-0.50 %	-0.06 %
Índice de Precios de las exportaciones	0.20 %	0.40 %	0.05 %
Exportaciones totales	4.08 %	5.01 %	0.96 %

Tanto el modelo no lineal como el modelo no lineal con k estructural indican resultados similares. La primera especificación del modelo indica un aumento del comercio bilateral de 63.60 % mientras que la segunda predice un aumento de 62.30 %. Este aumento similar viene naturalmente acompañado por un aumento de las variables restantes que es cercano en las dos especificaciones del modelo. En efecto, el primer modelo predice un aumento de las exportaciones totales de 4.08 % mientras que el segundo modelo indica un aumento de 5.01 %. Este incremento de las exportaciones totales viene acompañado de un aumento de 0.20 % del ingreso en el primer modelo y de 0.40 % en el segundo.

Sin embargo, el aumento del comercio bilateral entre los países de la Unión Europea y Colombia no es consistente con los resultados de la estimación de efectos fijos. Es así que nuestra especificación preferida es una vez más la especificación combinada. En efecto, esta indica un aumento del 14.10 % de los flujos de comercio bilaterales que es similar a los resultados de la estimación por efectos fijos

presentados en el cuadro 1. Tal aumento del comercio bilateral llevaría a un aumento de alrededor de 1 % de las exportaciones totales colombianas. Por otro lado, el precio de la productos exportados por Colombia aumentaría en 0.05 % mientras que el índice de precios teórico del consumidor disminuiría en 0.06 %. Estos cambios tienen como resultado un aumento del ingreso de 0.05 % y de la utilidad de los consumidores de 0.11 %.

### 4.3. El efecto de una integración de Colombia con el mundo

Finalmente, como último ejercicio evaluamos cual sería el cambio en las principales variables de la economía si Colombia mejora su inserción en los mercados internacionales. Para tal fin, asumimos que Colombia obtiene una mejora al acceso a los mercados de todos los países considerados en el modelo similar a la mejora en el acceso al mercado de los Estados Unidos que Colombia obtendría al entrar en vigor el TLC con dicho país tal y como es reflejada en la especificación combinada del modelo presentado en la sección 5.1 del presente artículo. En otras palabras, para este ejercicio escogemos la especificación que combina efectos fijos con la solución del sistema de ecuaciones no lineales. La tabla a continuación presenta los coeficientes así obtenidos.

Tabla 6: Coeficientes asociados a las diferentes variables del modelo

	k	$\rho(1 - \sigma)$	$\delta(1 - \sigma)$
coeficientes	24.359	-1.527	-0.08

Es de notar que los coeficientes asociados a  $\delta$  y k son similares a aquellos obtenidos en los otros escenarios estudiados en este documento. En efecto, tanto el valor de k como el coeficiente asociado a la distancia son prácticamente iguales a los obtenidos en las otras dos especificaciones que siguen una estrategia combinada para calibrar el modelo.

Tabla 7: Cambios en las principales variables de la economía Colombiana

	Modelo Integración
Ingreso	4.40 %
Utilidad	10.26 %
Flujo de Comercio Bilateral	NA
Índice de Precios Teórico en Colombia	-5.3 %
Índice de Precios Teórico de los productos Colombianos	4.4 %
Exportaciones Totales Colombia	15.54 %

El cuadro 7 resume las ganancias que el país podría obtener de una mejor inserción en los mercados internacionales pero también muestra los límites de dichas ganancias. En efecto, un mejor acceso de los productos colombianos a los mercados mundiales llevaría a un aumento del 15.54 % de las exportaciones totales colombianas. Dicho aumento conduciría a un incremento del 4.4 % del precio de los productos exportados por Colombia. Por su parte, el aumento de las importaciones colombianas tendría como efecto la disminución en 5.3 % del índice de precios teórico del consumidor en Colombia. Lo anterior conduciría evidentemente a una mejora considerable del nivel de vida de los Colombianos evidenciada por un incremento del 4.4 % del ingreso pero sobre todo por un aumento del 10.26 % de la utilidad de los consumidores.

## 5. Conclusiones

El presente artículo desarrolla un modelo de equilibrio general computable basado en un modelo consistente con la ecuación gravitacional con el fin de evaluar el impacto de la política comercial seguida por Colombia. Adicionalmente, proponemos un nuevo método que permite combinar las fortalezas de la estimación por efectos fijos con el método desarrollado en (Anderson 1979) para estimar una ecuación gravitacional que incluya los términos de resistencia multilaterales. Este método permite utilizar la ecuación de gravedad para realizar evaluaciones de equilibrio general teóricamente consistentes y que están en línea con los resultados de la literatura relacionada con el

modelo gravitacional. Por tal motivo nuestras conclusiones finales se basan principalmente en los resultados de esta especificación del modelo.

De los resultados obtenidos utilizando dicho método cabe destacar lo siguiente.

En primer lugar, tanto el tratado con los Estados Unidos como con la Unión Europea tendrían efectos benéficos sobre la economía colombiana. No obstante, el impacto del TLC con los Estados Unidos sobre todas las variables aquí consideradas es varias veces mayor al impacto asociado a un eventual tratado con la Unión Europea.

En segundo lugar, una mejor inserción del país en los mercados mundiales traería consigo importantes ganancias para la economía colombiana con un efecto muy importante sobre el bienestar de los consumidores. Sin embargo, el modelo también señala que una mejor inserción de Colombia en la economía mundial no genera por sí sola un crecimiento suficiente de la economía para asegurar el desarrollo económico del país.

## Referencias

- ANDERSON, J. (1979): “A theoretical foundation for the gravity equation,” *The American Economic Review*, 69(1), 106–116.
- ANDERSON, J. E., Y E. VAN WINCOOP (2003): “Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle,” *The American Economic Review*, 93(1), 170–192.
- BAIER, S., Y J. BERGSTRAND (2010): “Approximating General Equilibrium Impacts of Trade Liberalizations using the Gravity Equation,” dans *The Gravity Model in International Trade: Advances and Applications*, ed. S. Brakman, y P. van Bergeijk, pp. 88–134. Cambridge University Press.
- BALDWIN, R., Y D. TAGLIONE (2006): “Gravity for dummies and dummies for gravity (equations),” *NBER Working Paper*, 12516.
- BALISTRERI, E., Y R. HILLBERRY (2007): “Structural estimation and the border puzzle,” *Journal of International Economics*, 72(2), 451–463.

- BERGSTRAND, J. (1985): “The gravity equation in international trade: some microeconomic foundations and empirical evidence,” *The review of economics and statistics*, 67(3), 474–481.
- CÁRDENAS, M., Y C. JIMENO (2004): “El modelo gravitacional y el TLC entre Colombia y Estados Unidos,” *WORKING PAPERS SERIES. DOCUMENTOS DE TRABAJO*.
- EATON, J., Y S. KORTUM (2002): “Technology, geography, and trade,” *Econometrica*, 70(5), 1741–1779.
- HELPMAN, E., M. MELITZ, Y Y. RUBINSTEIN (2008): “Estimating Trade Flows: Trading Partners and Trading Volumes,” *Quarterly Journal of Economics*, 123(2), 441–487.
- JUNCA, G., G. UMAÑA, Y A. ZERDA (2006): *Las barreras al comercio de bienes y servicios de Bogotá: una visión desde las negociaciones del TLC*. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Departamento Administrativo Planeación Distrital.
- LOZANO, C., C. CASTRO, Y J. CAMPOS (2005): “Un modelo gravitacional para la agenda interna,” *Archivos de Economía, Dirección de Estudios Económicos, Departamento Nacional de Planeación, Documento*, 296.
- TINBERGEN, J. (1962): *Shaping the world economy*. Twentieth Century Fund New York.