

# Modelo de equilibrio general computable para la producción de azúcar y bioetanol en Colombia

## Computable General Equilibrium (Egc) for the Production of Sugar and Bioethanol in Colombia

Recibido 22 de septiembre de 2008, aprobado 19 de noviembre de 2008, modificado 13 de enero de 2009.

### Luis Carlos Manrique

Ingeniero Industrial. Consultor independiente. Investigador Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana. Chía, Colombia.

luismanriqueruiz@gmail.com ✉

### Edgar Gutiérrez

MSc. Profesor. Investigador del Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana. Chía, Colombia.

edgar.gutierrez@unisabana.edu.co ✉

### Gloria González

Ph.D. Profesora Asociada. Directora de Investigación y Desarrollo. Directora del Doctorado en Biociencias. Directora del Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales. Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana. Chía, Colombia.

gloria.gonzalez@unisabana.edu.co ✉

#### PALABRAS CLAVES

Bioetanol. Modelo de Equilibrio General Computable, Matriz de Contabilidad Social.

#### KEY WORDS

Bioethanol, Computable General Equilibrium Model, Social Accounting Matrix.

#### RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados obtenidos de un Modelo de Equilibrio General Computable (MEGC) para la producción de azúcar y bioetanol con base en la caña de azúcar en Colombia; se analizan diferentes escenarios resueltos mediante el software de optimización GAMS con el solver CPLEX, con el fin de maximizar las utilidades y conocer el plan de producción. Estos indican el impacto cuantitativo de un cambio estratégico en las políticas de producción y las interrelaciones con los sectores comprometidos.

#### ABSTRACT

This work presents the results of a Computable General Equilibrium Model (EGC) for the production of sugar and bioethanol from sugar Cane, in Colombia; Different scenarios are made, its solved in the optimization software GAMS with the CPLEX solver with the object of maximize the profits and know the production planning, its shows the quantitative impact of a strategic change in the production politics and its relations with jeopardize sectors.

## INTRODUCCIÓN

En 1997 fue firmado en Japón el protocolo de Kyoto, en el cual un conjunto de países se comprometieron a reducir la emisión de gases que generan efecto invernadero en un porcentaje definido para cada país; el gobierno colombiano apoyó esta resolución mundial y se unió al protocolo, comprometiéndose a través de la Ley 693 de 2001 a utilizar un 10% de alcohol carburante en la gasolina para combustible automotor.

Los alimentos constituyen la materia prima para la elaboración de bioetanol, lo cual ha generado una gran preocupación en torno al precio de los alimentos que se derivan de la materia prima (caña de azúcar, yuca, remolacha, etc.); la producción de bioetanol genera mayores ganancias para los empresarios, convirtiéndose en la opción más atractiva, y, aunque los alimentos son de vital importancia para el mundo, el tema energético genera cada vez mayores beneficios económicos [1].

Este trabajo realiza un análisis económico del impacto de la producción de bioetanol en la economía colombiana a partir de caña de azúcar, a través de las matrices de insumo producto, de coeficientes y de contabilidad social, las cuales permiten entender el comportamiento de la economía y de cada uno de sus sectores. Constituyen también la base para la construcción de un Modelo de Equilibrio General Computable (MEGC) que permite integrar las cuentas nacionales, encontrar equilibrios y, además, proponer cambios en la economía para así entender el impacto de éstos en los demás sectores.

## PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN COLOMBIA

Brasil y Colombia son los países que lideran la producción de bioetanol en Latinoamérica a partir de caña de azúcar. En Colombia, la producción industrial de bioetanol inició en el año 2005 con más de 27 millones de litros producidos a partir de caña de azúcar registrados por la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia [2]. Actualmente la produc-

ción de bioetanol supera un millón de litros diarios y se han venido desarrollando proyectos para producir industrialmente bioetanol con base en otros productos como: remolacha, yuca, soya, maíz, entre otros.

## MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTADO (MEGC)

Los modelos MEGC hacen una caracterización de los agentes económicos y de su comportamiento en la economía bajo los principios de racionalidad. Además, representan las relaciones entre ellos y los mercados, generando así equilibrios competitivos [3]. Estos modelos son usados en muchos países, sin embargo, la complejidad percibida de este acercamiento analítico y la capacidad de concentración dentro de un pequeño número de instituciones académicas, han hecho que los políticos, analistas u otros investigadores eviten el uso de MCGE en sus análisis o tomas de decisiones [4].

La diferencias en cuanto a la determinación de la inversión, el pleno empleo, el desempleo, la competencia perfecta, el carácter complementario o sustitutivo de las importaciones respecto a la producción nacional, etc., determinan la corriente que sigue el MEGC, la cual puede ser de corte neoclásico o de corte estructuralista [5]. En los modelos neoclásicos los mercados tienden a mantener un equilibrio dinámico cumpliendo la Ley de Walras [6], según la cual no existe ningún exceso de demanda ni de oferta para ningún bien; en estos modelos existe competencia perfecta, el mercado asigna eficientemente los recursos, existe pleno empleo y el ahorro determina la inversión de la economía. Por otro lado, los modelos estructuralistas dan cabida a comportamientos oligopólicos, desempleo y complementariedad de las importaciones [3]. Al revisar los MEGC desarrollados y sus aplicaciones empíricas se observa que los modelos de corte neoclásico Walrasiano son los más usados y han sido ampliamente aceptados por modeladores, planificadores y economistas en general [5].

## ELABORACIÓN DEL MEGC

La Figura 1 muestra la metodología seguida para la construcción del MEGC, la cual contempla el análisis previo a la construcción del modelo, los ajustes necesarios al mismo y los cambios de política que constituyen el análisis de sensibilidad.

Para poder realizar el Modelo de Equilibrio General, fue necesario tener en cuenta algunos supuestos:

- (i) El PIB no tendrá un cambio significativo en su tendencia, puesto que éste no ha presentado en los últimos años un cambio importante.
- (ii) El pronóstico del etanol fue realizado manteniendo todos los demás sectores constantes (*ceteris paribus*).
- (iii) Al momento

de iniciar la producción industrial de bioetanol, la economía se encuentra en equilibrio.

## MATRIZ INSUMO PRODUCTO

En una Matriz de Insumo Producto se presentan: (i) *transacciones interindustriales* donde las columnas representan los egresos y las filas los ingresos, (ii) la *demanda intermedia* que transforma el flujo de bienes, los servicios producidos y los servicios consumidos con el fin de obtener el producto o servicio final, (iii) *demanda final* la cual representa las ventas de producción hacia un mercado final que incluye consumo de hogares, consumo de gobierno, exportaciones, entre

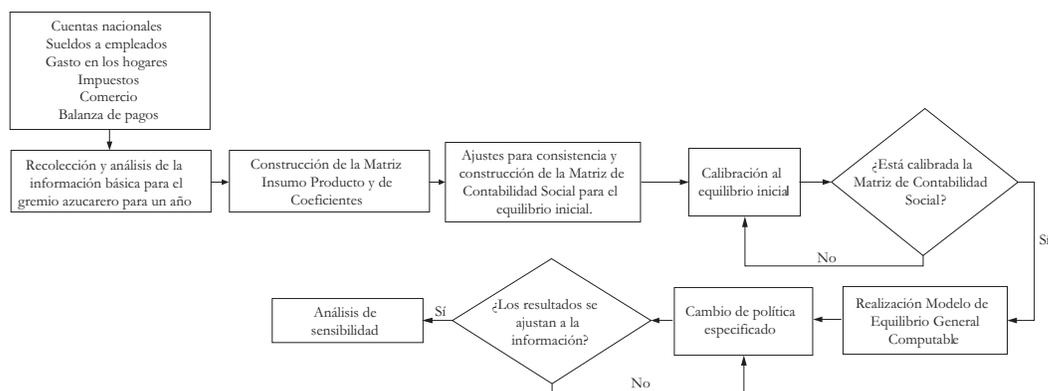


Figura 1. Metodología para la construcción del MEGC.

	1	2	3	4	5	6	7	8	Ventas Interme.	Demanda final	Ventas Total
1	2,347.7	1,129.6	16,574	5,292.8	773.1	63.2	1,171.4	573.2	27,925.2	37,885.8	65,811.0
2	429.3	5,958.0	926.6	4,116.8	136.6	585.4	2,223.6	509.4	14,885.6	7,269.2	22,154.8
3	3,115.0	1.3	5,069.8	695.2	1.5	1.6	3,153.5	1,081.8	13,119.6	46,224.3	59,343.8
4	6,198.6	1,281.5	4,250.2	33,476.7	12,618	1,820.7	13,351	4,869.6	77,867.0	55,115.5	132,982.4
5	211.1	383.1	32.4	54.9	1,130.8	168.0	773.7	735.1	3,489.1	358.1	3,847.2
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2,798.5	1,254.7	1,930.9	6,637.3	1,368.2	9,135.4	17,586.3	6,933.7	47,644.9	67,091.9	114,736.8
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,632.9	49,632.9
CONS. INTER.	15,100.1	10,008.2	28,784	50,273.7	16,028	11,774.3	38,260.1	14,702.8	184,931.4		
F. Asalaria.	9,452.6	2,098.3	2,819.4	7,911.2	3,946.3	4,239.7	25,707.4	28,594.6	84,769.6		
F. Exce.	11,714.9	9,459.8	6,267.1	14,257.2	6,230.4	3,679.7	35,283.3	8,504.5	95,396.9		
F. C. Capital. Fijo	23,066.4	-	1,937.1	3,886.3	3,009.7	8,434.6	21,090.8	-	61,424.8		
Total Factores	44,233.9	11,558.2	11,023	26,054.7	13,186	16,353.9	82,081.5	37,099.1	241,591.2		
Impuesto	6,868.6	-229.9	14,120	30,976.0	398.9	-28,901.0	371.0	763.6	24,367.6		

Tabla 1. Matriz de Insumo Producto. (Valores en millones de pesos).

otros. La matriz IO (IO por sus siglas en inglés Input-Output) cuenta también con el valor agregado que incluye capital y remuneración por factores de producción y productos [7]. Para la realización de la Matriz IO se tomaron los datos de las matrices de oferta y de utilización presentadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia [8], [9], agregando en última instancia los sectores de la economía así: 1. Agricultura y minería, 2. Servicios públicos, 3. Bienes de consumo, 4. Bienes de capital, 5. Construcción, 6. Comercio, 7. Servicios públicos, 8. Servicios de gobierno. Los consumos intermedios considerados en la matriz son: factor asalariados, factor excedente bruto de explotación y factor consumo de capital fijo. Por último, los impuestos son incluidos en la matriz como elemento constitutivo de la economía. La Tabla 1 muestra la matriz IO construida.

#### MATRIZ DE COEFICIENTES

A través de la matriz IO, se obtiene la matriz de coeficientes que sale de la relación porcentual que existe en los diferentes sectores, capital, trabajo, impuestos, etc., junto con el valor bruto de producción; ésta ayuda a entender el comportamiento de un producto desagregado en la economía. En este caso, es de utilidad para entender el comportamiento del etanol y azúcar en la economía; se asume que estos productos se comportan con los mismos patrones que el área

económica donde se encuentran. Es necesario para el análisis de la producción de etanol y azúcar encontrar el impacto y saber si entre ellos hay una relación de equilibrio, teniendo en cuenta la convención de Debreu donde los bienes corresponden a un tiempo y un lugar específico [10]. Por esta razón se analiza el equilibrio walrasiano, encontrando que existe un equilibrio autárquico; es decir, todo lo que es producido se consume [2]. Se encuentra, de esta manera, que para el principio de la producción de etanol a nivel industrial en el país (año 2005) no había un impacto en los precios del azúcar y otros productos. La Tabla 2 muestra la matriz de coeficientes construida.

#### MATRIZ DE CONTABILIDAD SOCIAL PARA COLOMBIA

La matriz de Contabilidad Social (SAM) es una matriz cuadrada en la cual se registran todas las transacciones entre sectores; esta matriz debe corresponder con exactitud al sistema de cuentas nacionales SNA (por sus siglas en inglés: System of National Accounts) y en ella son registrados los ingresos y los egresos de los diferentes sectores. En esta matriz la sumatoria de las filas debe ser igual a la sumatoria de las columnas. Ésta, al igual que la matriz IO, permite identificar las relaciones que existen entre los diferentes sectores y “constituye la base numérica de las herramientas orientadas al análisis multisectorial más complejas

	1	2	3	4	5	6	7	8	Ventas Intermedias
1	3.6%	5.1%	27.9%	4.0%	20.1%	0.0%	1.0%	1.2%	6.2%
2	0.7%	26.9%	1.6%	3.1%	3.5%	0.0%	1.9%	1.0%	3.3%
3	4.7%	0.0%	8.5%	0.5%	0.0%	0.0%	2.7%	2.2%	2.9%
4	9.4%	5.8%	7.2%	25.2%	49.0%	0.0%	11.6%	9.8%	17.3%
5	0.3%	1.7%	0.1%	0.0%	29.4%	0.0%	0.7%	1.5%	0.8%
6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7	4.3%	5.7%	3.3%	5.0%	35.6%	0.0%	15.3%	14.0%	10.6%
8	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
F. Asalaria.	14.4%	9.5%	4.8%	5.9%	15.3%	0.0%	22.4%	57.6%	18.8%
F. Exce.	17.8%	42.7%	10.6%	10.7%	24.2%	0.0%	30.8%	17.1%	21.2%
F. C. Capital. Fijo	35.0%	0.0%	3.3%	2.9%	78.2%	0.0%	18.4%	0.0%	13.6%
Impuestos	9.8%	2.7%	32.9%	42.6%	-98.5%	0.0%	-4.9%	-4.4%	5.4%

Tabla 2. Matriz de Coeficientes.

	Actividades	Bienes	Factores	Firmas	Gobierno	Hogares	Resto del mundo	Inversiones	Total
Actividades		444,098.1							444,098
Bienes	190,413.0				51,471.9	168,187.2	57,571.7	52,103.4	519,747
Factores	221,434.1						52.4		221,486
Firmas			57,006.6	100,791	32,246.4	21,032.7	11,100.4		222,177
Gobierno	32,251.0	20,601.1	7,917.8	27,215.2	60,663.3	16,666.2	956.9		166,272
Hogares			156,514.2	50,545	15,557.0	93.1			222,709
Resto del Mundo		55,047.9	47,9	15,187.2	16,5	113.3	8,187		78,600
Inversiones				28,438.7	6,316.5	16,616.9	731,4		52,103.4
Total	444,098	519,747	221,486	222,177	166,272	222,709	78,600	52,103.4	

Tabla 3 Matriz de Contabilidad Social Corregida. (Valores en millones de pesos).

como los modelos de equilibrio general” [11]. En un país con una economía inestable, donde la moneda presenta variaciones significativas en un período de tiempo, los productos que son comprados al inicio de un cambio significativo en la economía no tienen el mismo valor una vez realizado el cambio; por esta razón, en ocasiones al construir la matriz de contabilidad social los ingresos difieren de los egresos. Esta situación se presentó al construir la SAM para Colombia por lo que fue necesario balancear la matriz usando el método de entropía cruzada [12], este método fue primeramente usado por el International Food Policy Research Institute en el año 1999 y consiste en la construcción de una nueva matriz SAM minimizando la diferencia entre egresos e ingresos, teniendo presente un conjunto de restricciones. La Tabla 3 muestra la matriz de contabilidad social corregida

## RESULTADOS

Luego de ser aplicado el MEGC, se encontró que el crecimiento de la producción de etanol hace que el Producto Interno Bruto (PIB) se aumente en 0.16% anual en promedio, debido a su influencia en el sector industrial, ya que es un biocombustible con alta demanda en la actualidad.

Se realizó un análisis de la producción nacional de etanol y azúcar, creando diferentes escenarios de la

demanda final de la industria; de esta manera, se encontró el equilibrio en la economía nacional a través de la demanda del etanol y del azúcar y su relación en el mercado, así mismo se encontraron las variaciones que tendría el precio del etanol y azúcar con diferentes cambios de políticas, se analizó el crecimiento del sector de servicios, el capital y el trabajo. Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla 4.

En la primera columna se muestran los cambios porcentuales realizados en la demanda final de la industria. Se encontraron los siguientes comportamientos a medida que aumenta la demanda: (a) El Valor Bruto de Producción de la Industria aumenta (teniendo en cuenta los supuestos). (b) Los precios de etanol y azúcar aumentan. (c) Disminuye el crecimiento del sector servicios. (d) El capital de trabajo crece y empieza a estabilizarse en un 26% cuando la demanda final en la industria crece entre 15 y 20%. (e) La mano de obra crece en menor proporción que la demanda industrial, respectivamente.

Luego de realizar este análisis de variaciones porcentuales en la industria y su impacto en la producción de etanol y azúcar, se realizaron las proyecciones del PIB a nivel nacional de la producción de alcohol carburante y se tomaron en cuenta las inversiones en próximos proyectos de etanol. La Figura 2 muestra los resultados obtenidos

Variaciones en la demanda final de la industria		Valor Bruto de Producción Industrial		Precio US\$/lt	Precio US\$ azúcar/ton	Servicios		Capital		Trabajo	
↓	5%	↑	39%	US\$ 0.52	US\$ 8.14	↓	7.7%	↑	8.0%	↑	2.0%
↑	10%	↑	58%	US\$ 0.60	US\$ 9.25	↓	5.9%	↑	19.0%	↑	9.0%
↑	15%	↑	64%	US\$ 0.62	US\$ 9.62	↓	5.3%	↑	23.0%	↑	12.0%
↑	20%	↑	70%	US\$ 0.65	US\$ 9.99		0.0%	↑	26.0%	↑	13.9%

Tabla 4. Resultados obtenidos para cada escenario planteado (Las flechas hacia abajo corresponden a una reducción en los diferentes sectores analizados, mientras que las flechas hacia arriba representan incrementos).

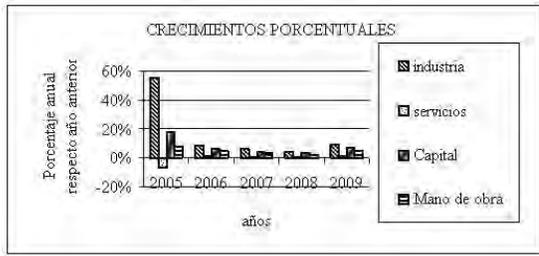


Figura 2. Crecimientos proyectados por sector.

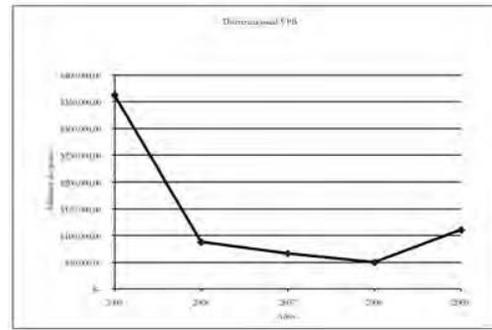


Figura 3. Diferencia anual del PIB.

Los anteriores resultados evidencian la importancia de ingresar en la producción de biocombustibles, de esta manera se generan mayores ingresos al país; sin embargo, teniendo en cuenta que los resultados muestran grandes inversiones en la producción de etanol, es necesario apoyar a los demás sectores económicos, tal como el sector servicios, el cual presenta un crecimiento promedio de 1.2% respecto al año anterior.

El sector industrial presenta un crecimiento del 7.1% respecto al año anterior debido a la producción de alcohol carburante, el crecimiento de capital será de 5.2% y el de la mano de obra del 4%.

Teniendo en cuenta que el etanol tiene una participación del 0.29% en el sector industrial, según las estadísticas, se encontró que la diferencia entre el

pronóstico de la demanda de etanol con referencia al PIB y los datos obtenidos con el MEGC son cada vez menores. La mayor inversión se presenta en el año 2005, donde fue necesario adquirir tecnología, mano de obra, y capital. En los años siguientes se presenta una disminución y para el año 2008 se presenta una tendencia creciente, esta tendencia está dada por nuevas inversiones y por la ejecución de los proyectos actuales y nacientes, tal como se observa en la Figura 3:

La Tabla 5 muestra el Valor Bruto de Producción tanto en la industria como en servicios y también en los factores de producción como capital y trabajo. Se encontró que la producción de etanol proyectada tendrá incidencia positiva en los sectores industriales anteriormente mencionados.

VARIACIONES BILLONES DE PESOS						
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Valor Bruto de Producción en Industria	225.252	349.604	380.220	403.539	420.998	459.569
Valor Bruto de Producción en Servicios	172.144	161.433	163.650	165.339	166.603	169.397
Factores de capital	155.822	183.189	194.739	203.536	210.123	224.674
Factores de trabajo	84.770	91.630	95.895	99.143	101.575	106.947

Tabla 5. Valor bruto de producción.

## CONCLUSIONES

Al analizar los diferentes escenarios tanto del impacto del azúcar como del etanol, se encuentra que es rentable para el país la producción del etanol con base en caña de azúcar. Según los resultados obtenidos, el crecimiento de la producción de etanol ha hecho que se aumenten las ganancias en el sector industrial dado que es un combustible con una demanda significativa y el país cuenta con la materia prima necesaria y la capacidad de producción requerida.

Es importante que el país ingrese en la producción de biocombustibles lo cual conduciría a generar mayores ingresos; sin embargo, es necesario apoyar los demás sectores, por ejemplo el sector de los servicios, debido a que las grandes inversiones que serán realizadas para la producción de etanol descuidarán otras no menos importantes para el país. La inversión de capital también crecerá a medida que crece la producción de etanol así como el trabajo, aunque en menor proporción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **J.C. Segura.**

“El Modelo de Insumo-Producto de Leontief como un modelo de equilibrio general: formalización & una aplicación básica”. *Notas de clase*. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007.

[2] **ASOCAÑA.**

“Balance azucarero colombiano histórico 2000 – 2007”. Fecha de consulta: Mayo de 2008. Disponible en: [http://www.asocana.com.co/Informes\\_Anuales/](http://www.asocana.com.co/Informes_Anuales/)

[3] **J. M. Bonet.**

“Documentos de trabajo sobre economía regional”. *La matriz insumo-producto del caribe colombiano*. Centro de Estudios Económicos Regionales. Cartagena: Banco de la República, Mayo 2000.

[4] *Sustainable Bioenergy: A framework for Decision Makers.*

United Nations, April 2007.

[5] **K. Manrique, L. Sierra.**

“Fundamentos económicos y matemáticos para un modelo de Equilibrio General Computable”. *Revista de Ingeniería*. Vol. 12, No. 2, 2007, pp. 20-30.

[6] **J. Thurlow.**

“A Dynamic Computable General Equilibrium (CGE) Model for South Africa: Extending the Static IFPRI Model”. L’Institut de Recherche pour le Développement, Paris. University of Natal, Durban. February 2004.

[7] **F. Lozano, P. Villa, S. Monsalve.**

“El modelo de generaciones traslapadas como modelo monetario”. *Cuadernos de Economía*, No. 27, Segundo Semestre 1997, pp. 91-111.

[8] “Información Estadística”. Matriz de Utilización de Productos 2004 a Precios Corrientes. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Fecha de consulta: Abril de 2008. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/anales/mutiliza\\_b2000/C9.xls](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/anales/mutiliza_b2000/C9.xls)

[9]. “Información Estadística”. Matriz Oferta de Productos 2004 a Precios Corrientes. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Fecha de consulta: Abril de 2008. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/anales/moferta\\_b2000/C9.xls](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/anales/moferta_b2000/C9.xls)

[10] **S. Prada.**

*Desarrollo de un modelo para la construcción de matrices de contabilidad social con base en el sistema de cuentas nacionales*. Bogotá: Departamento de Planeación Nacional, 2001.

[11] **R. O’Ryan, C. De Miguel y S. Miller.**

“Ensayo sobre Equilibrio General Computable: Teoría y Aplicaciones”. *Documentos de Trabajo*. No 73. Centro de economía aplicada, Universidad de Chile, 2000.

[12] **I. Fofana.**

“Balancing a social accounting matrix: Theory and application”. *Center Interuniversitaire sur le Risque les Politiques Economiques et L’Emploi (CIRPEE), Université Laval*. August 2005.