



Munich Personal RePEc Archive

## **Calibration of CGE models: Methods and current practice**

Romero, Carlos A.

Instituto de Economía - Universidad Argentina de la Empresa

June 2009

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/17767/>

MPRA Paper No. 17767, posted 10 Oct 2009 11:26 UTC

# CALIBRACIÓN DE MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTADO: MÉTODOS Y PRÁCTICA USUAL

Carlos A. Romero

Instituto de Economía - Universidad Argentina de la Empresa

cromero@uade.edu.ar

## Resumen:

En el presente artículo se discuten los criterios generalmente adoptados para construir la base de datos y estimar los parámetros que requiere la implementación de modelos de equilibrio general computado. Se utilizan procedimientos que conforman los que se denomina “Calibración,” y son utilizados para inferir valores de parámetros a partir de datos económicos de un periodo determinado, y que una vez especificados esos valores en un modelo aplicado, replican endógenamente los datos del periodo base como solución del mismo. Estos procedimientos son la construcción de la matriz de contabilidad social, y la utilización de la método de entropía cruzada para asegurar la consistencia; la calibración final de los parámetros de las funciones de comportamiento y la validación del modelo. El principal objetivo del trabajo es de divulgación de los métodos, para lo cual se desarrollan ejemplos y se señalan algunas de las referencias en la literatura que son esenciales para su implementación.

## Abstract:

The present article presents a discussion of the methods generally adopted to build the database and to estimate the parameters that requires the implementation of computable general equilibrium models. Basically, this paper deals with “calibration” procedures for CGE models, which are utilized to infer economic data parameters values of a specific period, and that once specified those values in a model applied, reproduce endogenously the data of the period base as a solution. These procedures are the construction of the social accounting matrix, and the utilization of the cross entropy method to assure the consistency; the final calibration of the behavioral parameters and the validation of the model. The main objective is to present the methods, for which some examples were developed, and the related literature that is essential for their implementation.

Julio, 2009

## I. Introducción: Calibración de modelos de equilibrio general computado

El análisis de las decisiones de política macro y microeconómicas debe hacerse con consistencia analítica y cuantitativa, rigor intelectual y sentido común, porque tales decisiones afectan el bienestar social, presente y futuro. Por suerte, en la actualidad tenemos más tecnología para fundamentarlas. Parte de ella está incorporada en el capital humano, y parte en el capital físico, como los instrumentos computacionales. No es novedad que el progreso tecnológico ha hecho que el costo de complementar el análisis económico con métodos computacionales sea muy bajo; tampoco lo es que todo hace prever que la tendencia a la reducción de esos costos seguirá en el futuro (Chisari *et. al*, 2009).

El uso de la calibración en economía se origina en la necesidad de utilizar modelos complejos con objetivos de política económica. Para ello, se requiere utilizar como punto de partida modelos teóricamente consistentes pero que son intensivos en el uso de parámetros. Entonces, si tal modelo no puede ser estimado econométricamente y si no hay estimaciones de los parámetros en la literatura es preciso recurrir a otros métodos.<sup>1</sup> El término calibración generalmente indica el uso de procedimientos que implementan este proceso de parametrización (Dawkins, Srinivasan y Whalley, 2001).

Más precisamente, se puede entender a la Calibración como el proceso mediante el cual se infieren valores de parámetros a partir de datos económicos de un periodo determinado, y que una vez especificados esos valores en un modelo aplicado, se replican endógenamente los datos del periodo base como solución del mismo (Mansur y Whalley, 1984). A esta replicación se la denomina *benchmark*.

Por otra parte, Canova (1994) define calibración como una técnica econométrica en la que los parámetros del modelo son estimados usando un criterio “económico” en lugar de “estadístico”. En este sentido, la literatura habla de un procedimiento no ortodoxo para seleccionar los parámetros de un modelo. Prescott (1986) dice que es una forma de conducir experimentos cuantitativos usando modelos que se sabe son falsos, es decir, aproximaciones simplificadas del proceso verdadero de generación de datos.

Hay dos ejemplos pioneros que corresponde señalar. Primero, Shoven y Whalley (1972) utilizan las ecuaciones del modelo de equilibrio general para encontrar los valores de los parámetros y reproducir la solución de equilibrio a partir de los datos del *benchmark*. Esencialmente, su procedimiento convierte parámetros en variables, utilizando los datos como parámetros exógenos. Segundo, Kydland y Prescott (1982) toman el análisis de Shoven y Whalley y lo extienden usando como marco de referencia equilibrio general estocástico para analizar problemas macroeconómicos (ver trabajo de Guillermo Escudé en este volumen).

De cualquier manera, el término calibración es impreciso ya que no especifica cuál es el tipo de proceso ni tampoco indica cuál es el punto de referencia para calibrar (Dawkins, Srinivasan y Whalley, 2001).

En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo discutir los procedimientos necesarios para construir la base de datos y estimar los parámetros que requiere la implementación de

---

<sup>1</sup> “... In the absence of firmly established estimates of key parameters, sensitivity analyses should be routine in real business cycle simulations. Properly used and qualified simulation methods can be an important source of information and an important stimulus to high-quality empirical economic research.” (Hansen y Heckman, 1996)

modelos de equilibrio general computado (MEGC). Estos procesos conforman los que se denomina “Calibración,” y son utilizados para inferir valores de parámetros a partir de datos económicos de un periodo determinado, y que una vez especificados esos valores en un modelo aplicado, replican endógenamente los datos del periodo base como solución del mismo (Mansur y Whalley, 1984).

Un MEGC es una representación numérica de las condiciones de equilibrio agregado y en cada uno de los mercados de una economía en la cual intervienen productores y consumidores con comportamientos establecidos mediante funciones de producción y utilidad de los consumidores que dependen de los precios relativos. Representan la estructura teórica del equilibrio general walrasiano en un lenguaje de computación, utilizando como información sobre los diversos mercados a los datos de la economía real, y aprovechando algún algoritmo matemático para la búsqueda del equilibrio ante cambios pautados en la política económica o shocks exógenos.

En cuanto a los temas que cubren, los MEGC son utilizados para analizar una gran variedad de políticas. Entre las más comunes se encuentran la política fiscal, la política comercial y las políticas en el campo de la economía de la energía y el medio ambiente. También sirven para simular impactos de *shocks* exógenos, tales como cambios adversos en los términos del intercambio y reducción forzada de crédito externo, y modificaciones en la estructura económica y social, tales como cambio tecnológico, redistribución de activos y formación de capital humano.<sup>2</sup>

Para representar la economía es preciso que la información sea estructurada dentro de un esquema que asegure el cumplimiento de ciertos requisitos de consistencia sectoriales y macroeconómicos. Para ello, es clave construir una matriz de contabilidad social (SAM, por sus siglas en inglés). Una SAM resume las relaciones de todos los agentes que interactúan en la economía, en donde cada cuenta está representada por una fila (ingresos) y por una columna (gastos) y la sumatoria por filas de cada cuenta se iguala a la sumatoria por columna de la misma cuenta, respetando así las restricciones presupuestarias de cada agente.

Con el objetivo de precisar los procesos involucrados en la calibración de modelos de equilibrio general, Bergoeing (1998) presenta un proceso que comprende cinco fases:

1. *Formulación del problema (cuantificable) a investigar.* Esto condiciona el tipo de modelo que podría ser utilizado y por lo tanto los requerimientos de información necesarios para buscar la respuesta.
2. *Selección de un tipo de teoría (ya testada).* Las teorías, pueden ser adecuadas para algunos hechos y no para otros. En particular la teoría del equilibrio general competitivo puede ser modificada para adecuarla a distintos cierres: neoclásico, keynesiano o estructuralista.
3. *Elección de formas funcionales y resolución del modelo.* Lo que es importante no es si el modelo es realista o no, sino si es capaz de proveer una respuesta cuantitativa a una pregunta específica que el investigador plantee. Una vez que el investigador ha decidido una modelación particular, debe resolverla para encontrar las asignaciones y precios de

---

<sup>2</sup> Ver Devarajan y Robinson (2005) para una revisión de las principales aplicaciones de los MEGC a cuestiones concretas de política económica.

equilibrio. De esta manera, se especifica un conjunto de ecuaciones que generalmente son necesarias y suficientes para la existencia de una solución al problema.

4. *Parametrización y reproducción de resultados teóricos conocidos.* En general, una pregunta tiene una respuesta conocida desde la teoría, y el modelo debería dar una respuesta aproximadamente correcta a esta pregunta. Hay que elegir una serie de preguntas para chequear en la etapa siguiente. Asimismo, los datos son usados para calibrar una economía modelo de tal forma que reproduzca la economía real tanto como le sea posible.
5. *Realización de los experimentos.* Una vez decididas las formas funcionales de la funciones de producción y preferencias, habiendo asignado los valores a los parámetros y, en el caso de modelos estocásticos, usando la distribución de probabilidades para los shocks, se pueden llevar a cabo los experimentos computacionales. Con ellos, se comparan los equilibrios de la *economía modelo* con el comportamiento de la *economía real*.

El **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el habitual procedimiento de calibración de un MEGC, basado en estas cinco etapas. Las fases 1 y 2 sirven para determinar la formulación del modelo, establecer los requerimientos de información y, posteriormente, testear la robustez de los resultados de las simulaciones. La fase 3 se focaliza en la recolección de información, la construcción de la base de datos y la elección de formas funcionales. Como resultado, en esta etapa se obtiene un *benchmark* consistente. Para ello, es crucial el *feedback* que recibe de la fase 4 (simulaciones). La fase 4 se puede separar en dos componentes. El primero de ellos, la simulación de calibración, requiere replicar el *benchmark* que en caso de hacerlo correctamente significa la aprobación de la fase 3 y el pase al segundo componente de esta fase: las simulaciones de shocks y/o políticas económicas. Por último, en la fase 5, se interpretan los resultados, cuya robustez debe ser chequeada cualitativamente con los resultados teóricos y cuantitativamente a través del análisis de sensibilidad a cambios de valores de los parámetros claves.

Para la parametrización de un modelo de equilibrio general computado, los valores de algunos de los parámetros son exógenos, mientras que otros (los parámetros calibrados) son endógenamente determinados para reproducir los datos del *benchmark* como un equilibrio del modelo. Los parámetros exógenamente especificados son típicamente elasticidades de sustitución.

Los modelos calibrados han sido largamente utilizados en otras disciplinas resultando en un juego interactivo entre los desarrollos teóricos y los intentos para evaluar si las nuevas estructuras teóricas sirven para representar las observaciones reales a través de la aplicación de las mejores asignaciones de los valores de los parámetros a las estructuras teóricas (Dawkins, Srinivasan y Whalley, 2001). En los MEGC frecuentemente se calibran los modelos a una única observación. Sin embargo, los datos básicos raramente satisfacen las condiciones de equilibrio del modelo y por lo tanto hace falta la utilización de mecanismos de ajuste adicionales (Round, 2003).

El proceso de calibración ha recibido críticas, primordialmente basadas en la fragilidad de sus fundamentos estadísticos (McKittrick, 1998). Sin embargo, los intentos de brindar una alternativa a través de modelos econométricos no han resultado exitosas debido a, entre otros aspectos, a la

dificultad de imponer todas las condiciones del modelo de equilibrio general y al reducido alcance sectorial de los mismos (McKittrick, 1998 y Jorgenson, 1984).<sup>3</sup>

Este trabajo está organizado de la siguiente manera. Luego de la presente introducción, donde se discute el alcance del concepto de calibración y presenta los procesos necesarios para calibrar un MEGC, la segunda sección describe los elementos fundamentales de los MEGC. La tercera sección introduce las características de la SAM, detalla el armado de la misma y especifica los mecanismos de ajuste de la información, prestando especial atención a la metodología de entropía cruzada. La sección cuarta está dirigida a presentar los procedimientos finales de calibración de los parámetros y la exploración computacional. En la sección V se presentan a modo de ejemplo los resultados de algunas simulaciones utilizando un MEGC simplificado de la economía argentina de 2006. Por último se concluye.

## II. Modelos de Equilibrio General Computado

En los años sesenta se comenzó a gestar una nueva visión de la teoría macroeconómica que en su momento fue reconocida como la “nueva macroeconomía (NM)”. La NM sugería que la teoría macroeconómica debería ser construida a partir de modelos de comportamiento de cada uno de los agentes, y criticaba el estudio de modelos *ad hoc* de los grandes agregados, que sólo explicaban parcialmente el funcionamiento de algunas variables económicas fundamentales como por ejemplo el consumo y la inversión. Esta visión rápidamente ganó adeptos y se transformó en el paradigma predominante.

Sin embargo, el paso de la teoría a la práctica raramente se produce en forma instantánea. En el caso de la NM, al principio no existía el herramental que permitiera la cuantificación de los modelos. Inclusive, Mankiw (1988) menciona que una vez desarrollada la tecnología todavía muchos macroeconomistas aplicados no la utilizaban simplemente por estar desactualizados<sup>4</sup>.

La “teoría del equilibrio general (TEG)”, formalizada en los años cincuenta por Arrow y Debreu (1954), resultó de vital importancia para los objetivos de la NM debido a que constituía un puente entre la macroeconomía y la microeconomía. Esta teoría establece las condiciones de equilibrio en economías multimercado, utilizando instrumentos de la microeconomía para analizar el comportamiento de la totalidad de la economía. En otras palabras, la TEG se ocupa de analizar las interrelaciones entre los mercados de bienes y servicios (como en la macroeconomía) a través de agentes económicos que toman sus propias decisiones (como en la microeconomía).

Más precisamente, la TEG suele considerar una economía con  $n$  bienes que pueden ser utilizados tanto para consumo como para producir otros bienes. Cada bien posee su respectivo mercado y precio ( $p$ ). En la economía además existen  $m$  consumidores con dotaciones iniciales  $E$  de bienes y factores. Se suelen hacer varios supuestos con respecto a los patrones de demanda de los

---

<sup>3</sup> Más aun, cuando una economía ha experimentado un cambio estructural y la econometría no cuenta con los elementos necesarios para obtener estimaciones de los parámetros, la calibración surge como una alternativa.

<sup>4</sup> “In contrast to this major change in the way macroeconomists view their field of study, macroeconomists in business and government have not substantially changed the way they analyze the economy. They continue to use the large-scale macroeconomic models for forecasting and policy analysis. The theoretical developments of the past fifteen years have had relatively little impact on applied macroeconomics. Why is there such a great disparity between academic macroeconomics and applied macroeconomics? The view of many academics is that applied macroeconomists have simply fallen behind the state of the art, that they continue to use obsolete models simply because they have not kept up with the quickly advancing field” (Mankiw, 1988).

consumidores y a las posibilidades de producción de la economía. En primer lugar, se asume la existencia de las funciones de demanda de mercado que resultan de la agregación de las demandas individuales. Se supone además que estas demandas de mercado son no negativas, continuas, y homogéneas de grado cero en precios e ingresos, es decir sólo dependen de precios relativos. Por último, se supone que los agentes de cuyo comportamiento se derivan las demandas respetan sus respectivas restricciones presupuestarias cumpliéndose así con la ley de Walras.

En cuanto a producción se refiere, se supone que existe un conjunto de técnicas por las cuales los bienes pueden transformarse en otros bienes. Se asume que cualquier actividad productiva puede ser operada en cualquier nivel no negativo de intensidad (divisibilidad). Adicionalmente se suele suponer homogeneidad lineal en la producción, de tal manera que los rendimientos sean constantes a escala y que las actividades estén “acotadas”, es decir, que dados unos recursos productivos fijos no es posible producir infinitas cantidades de un determinado bien.

El equilibrio general competitivo en una economía bajo los supuestos anteriores se suele caracterizar como un estado descrito por un conjunto de precios relativos  $p^*$  y cantidades  $q^*$  que cumplen con dos características: oferta igual a demanda para todos los bienes, e inexistencia de actividades que produzcan beneficios positivos.<sup>5</sup>

En resumen, la relevancia de la teoría microeconómica y la teoría del equilibrio general para realizar análisis de política económica ha aumentado fuertemente en las últimas décadas. Al mismo tiempo se produjo un divorcio entre la teoría y la aplicación práctica que comenzó a ejercer presión, y generar estímulos, para que los investigadores de economía aplicada desarrollaran este nuevo campo de conocimiento. Para lograr reducir esta brecha era primordial la creación de herramientas de estimación concordantes con la NM<sup>6</sup>. Se produjeron básicamente dos hechos que confluyeron para desarrollar un nuevo instrumento de análisis económico.

Por un lado, desde la investigación en el campo de la economía matemática, se evolucionó de la demostración de “existencia” de equilibrios, es decir sólo demostrar que para determinado modelo económico se puede encontrar al menos un equilibrio, hacia la búsqueda explícita del equilibrio, o sea su determinación a través del cálculo numérico. En este campo la figura sobresaliente fue Herbert Scarf<sup>7</sup> que desarrolló “algoritmos matemáticos” para encontrar el o los equilibrios de una economía multisectorial (Scarf, 1973). Una consecuencia fundamental del trabajo de Scarf fue la de establecer una conexión entre la TEG y la investigación aplicada.

Por otro lado, el avance tecnológico en el campo de la computación permitió que estos complicados algoritmos pudieran ser programados y, consecuentemente, que fuera factible su cálculo por medio de ordenadores. Los lenguajes de programación de uso más habitual (MPSGE y GAMS<sup>8</sup>) para este tipo de modelos se comenzaron a desarrollar en la década del setenta. Adicionalmente, como el avance tecnológico hizo posible la difusión del uso de computadoras en gran escala, el campo de investigación se abrió a gran número de científicos aplicados.

---

<sup>5</sup> Esta caracterización del Equilibrio General fue tomada de Piggott y Whalley (1981). Para una caracterización más extensa y detallada ver Ginsburgh y Keyzer (1997) y Quirk y Saposnik (1972).

<sup>6</sup> Johannsen (1960) y Harberger (1962) fueron pioneros en la aplicación numérica de equilibrio general pero sus modelos

<sup>7</sup> Es importante mencionar que Rolf Mantel, un reconocido investigador argentino, también incursionó en este campo en el ámbito de la Universidad de Yale. (ver Mantel, 1968).

<sup>8</sup> MPSGE se puede utilizar en la plataforma de GAMS (Rutherford, 1999). Las características del lenguaje GAMS puede consultarse en Brooke, Kendrick y Meeraus (2002).

Sin embargo, todavía faltaba que todos estos elementos se unieran para lograr el objetivo propuesto. Dos discípulos del Profesor Scarf: John Whalley y John Shoven<sup>9</sup>, fueron los pioneros en la construcción de lo que luego se denominó como “modelos de equilibrio general computado (MEGC)”.

Un MEGC es una representación numérica de las condiciones de equilibrio agregado y en cada uno de los mercados de una economía en la cual intervienen productores y consumidores (debe tenerse en cuenta que la definición amplia de consumidores y productores incluye al gobierno y a los agentes que representan al sector externo) con comportamientos establecidos mediante funciones de producción y utilidad de los consumidores que dependen de los precios relativos.

Para comprender mejor el poder explicativo de los MEGC es conveniente comentar algunos de los aspectos más importantes de los mismos. Los MEGC son modelos multisectoriales construidos con criterios microeconómicos, consistentes desde el punto de vista macroeconómico, que permiten captar y medir los efectos directos e indirectos de distintas alternativas de política económica o de cambios en el comportamiento de los agentes económicos, ya sea del lado de la oferta como de la demanda. En el Recuadro 1 se presenta un resumen de las principales características de los MEGC.

---

**Recuadro 1: Características básicas de los Modelos de Equilibrio General Computado (MEGC)**

---

- Están contruidos sobre sólidas bases microeconómicas, ya que es preciso determinar las reglas de comportamiento de los agentes (consumidores, productores, gobierno). Estas funciones pueden ser “no-lineales”, lo que representa una ventaja con respecto a los modelos de “precios fijos,” (el ejemplo más representativo de este tipo de modelos es el “modelo abierto de Leontief.”)
  - Tienen en cuenta las interrelaciones entre todas las variables consideradas, lo cual permite captar sus efectos directos e indirectos, superando así los enfoques de equilibrio parcial, que consideran sólo el mercado relevante del sector analizado.
  - Aseguran la consistencia interna entre todas las variables, tomando en cuenta los equilibrios macroeconómicos, los equilibrios sectoriales de oferta y demanda y los equilibrios institucionales de fuentes y usos de fondos.
  - Proveen soluciones numéricas, y no meramente la dirección del cambio en las variables endógenas, como los que se obtienen en los estudios de estática comparada.
  - Permiten realizar cambios realistas en las políticas. Se pueden simular “paquetes” de medidas ya que es posible efectuar cambios de manera simultánea, y no es necesario evaluar cada shock o medida de política por separado
- 

Para ello, en cualquier MEGC debe estar representado el flujo circular de la economía. Los productores y consumidores realizan transacciones en los mercados de bienes y factores. Por ejemplo, del lado de la producción se realizan las compras de insumos y se reciben los ingresos provenientes por ventas de productos domésticos, internas y al exterior; asimismo se realizan los pagos de impuestos y se remunera a los factores productivos, que será parte importante del ingreso de las familias.

Los impuestos indirectos y otros, son recaudados por el gobierno que participa a su vez en los mercados de bienes y de factores, como demandante. El resto del mundo es un agente más, con sus propios objetivos de optimización; participa en el mercado de bienes como comprador de

---

<sup>9</sup> Shoven y Whalley (1972).

exportaciones y vendedor de importaciones, y en los mercados de factores, a través de la remuneración a los factores de propiedad extranjera.

Asimismo, debido a que los MEGC proveen soluciones para todas las variables endógenas, permiten análisis muchos más detallados que otros modelos y, por lo tanto, pueden ser usados para describir la economía a un nivel más desagregado, esto es, incorporar gran cantidad de sectores y mercados.

Cada Agente del modelo (familias, empresas, gobierno y resto del mundo) alimenta al sistema de equilibrio general con sus *Funciones de Comportamiento*. Cada función de comportamiento, aquí entendida como de demanda o de oferta, indica la acción deseada por cada agente (compra o venta) a los precios que le informan los mercados.

Los MEGC, en su versión más simple, son representaciones numéricas de los modelos de dos factores y dos bienes tradicionales popularizados entre otros por Harberger en los 60's para analizar los efectos distorsivos estáticos de los impuestos, tarifas y otras medidas de política<sup>10</sup>. El valor agregado que proporcionan los MEGC es la relativa facilidad de la simulación numérica; lo que hace innecesario trabajar con modelos de pequeñas dimensiones. Esto último permite incorporar detalles y complejizar los modelos básicos. Markusen (2002) sigue este criterio para introducir los modelos en lenguaje GAMS/MPSGE.

A partir de una estructura estadística básica los MEGC pueden desarrollar diferentes modelos que contemplen distintas necesidades de estudio. A continuación se explicitan algunas posibilidades<sup>11</sup>.

En términos de factores de producción, los MEGC más simples distinguen únicamente entre capital y trabajo, los cuales supone dados en magnitudes fijas. Las posibilidades de refinamiento en el tratamiento de los factores incluyen una mayor subdivisión en entre factores con posibilidad de movilidad entre sí (por ejemplo trabajo rural y urbano)<sup>12</sup> y ofertas endógenas de factores en respuesta a remuneraciones.

En cuanto a la desagregación sectorial hay posibilidades muy diversas. Los sectores pueden separarse según los bienes que se producen o según los mercados para los cuales se producen, lo cual es de utilidad cuando se enfrentan condiciones de mercado diferentes. También es posible descomponer los sectores en sus etapas de producción, por ejemplo la combinación de insumos puede separarse de la combinación de factores a fin de utilizar funciones de producción diferentes (como por ejemplo Leontief al nivel de insumos intermedios y Cobb-Douglas al nivel del valor agregado).

Los MEGC más simples consideran sólo un agente consumidor. Este supuesto puede removerse considerando diferentes grupos de consumidores, separados por ejemplo por clases sociales (trabajadores, capitalistas, etc.) o por niveles de ingresos (quintiles, deciles, etc.). Cada grupo puede recibir ingresos de diferentes orígenes, incluyendo transferencias.

La formulación del sector externo permite distintas posibilidades. En relación con las importaciones puede utilizarse el supuesto de bienes homogéneos o asumir diferenciación entre

---

<sup>10</sup> Dinwiddy y Teal (1988) desarrollan este modelo con detalle.

<sup>11</sup> Para una discusión mas extensa de las posibilidades de los MEGC ver, Shoven y Walley (1992), Ginsburgh y Keyzer (1997) y Dervis, De Melo y Robinson (1982)

<sup>12</sup> Chisari y Romero (1996), por ejemplo, introducen trabajo público específico en una aplicación para la Argentina.

bienes nacionales y extranjeros (Armington, 1969). Las mismas decisiones deben tomarse en cuanto a las exportaciones. Asimismo debe decidirse si el país es modelado en forma de país pequeño (con demandas para sus productos homogéneos infinitamente elásticas) o grande. En cuanto al déficit comercial debe definirse si se permiten desequilibrios y cómo se financian.

Con relación al tratamiento del gobierno, los MEGC permiten desde formulaciones sencillas donde los ingresos y los gastos son exógenos, hasta formulaciones donde los ingresos provienen de distintas fuentes en forma endógena y las decisiones de gasto responden a criterios de maximización de utilidad.

En la concepción más simple de un MEGC, el equilibrio se logra mediante cambios en los precios relativos a los cuales responden las ofertas y demandas. Sin embargo se pueden permitir distintos tipos de ajustes en los mercados de bienes y factores. Es posible modelar mercados de precios fijos donde hay subutilización de algún factor productivo (desempleo), mercados cuyo precio viene dado por los mercados internacionales y el comercio externo es la variable de ajuste, mercados que se equilibran mediante variaciones de inventarios, o mercados racionados que dan origen a rentas extraordinarias a los productores (Lora, 1993).

Todo MEGC debe asegurar que se cumpla la igualdad entre el ahorro y la inversión para garantizar la consistencia macroeconómica. La forma en la que esta igualdad se logra constituye el cierre del modelo. Existen infinidad de tipos de cierre<sup>13</sup>, entre los más comunes encontramos los modelos de tipo neoclásico donde la inversión se ajusta a la disponibilidad de ahorro. Los ahorros externos pueden también operar como variable de cierre, permitiendo que, por ejemplo, se ajusten en forma residual. Asimismo es posible idear cierres keynesianos introduciendo alguna rigidez microeconómica (como por ejemplo salarios fijos que dan lugar a desempleo).

Si bien lo más común son los modelos estáticos pueden introducirse dimensiones temporales. Una primera forma sencilla es ir resolviendo en forma secuencial el modelo estático introduciendo alguna variable que cambie en el tiempo, como por ejemplo la oferta de capital que será la oferta del período anterior más la inversión pasada. En este caso la solución actual depende del pasado que se toma como dado. Versiones más complejas introducen refinamientos a la dinámica permitiendo formulaciones de optimización intertemporal<sup>14</sup>. Finalmente también es posible extender los modelos hacia la inclusión de mercados financieros complejos teniendo en cuenta elementos dinámicos<sup>15</sup>, de riesgo y explicitando en forma más detallada el equilibrio de ahorro-inversión<sup>16</sup>.

En gran cantidad de países se usa este tipo de modelos para la evaluación de medidas de política económica. Entre los más conocidos se pueden mencionar los MEGC de Australia (Dixon *et al.*, 1982), Reino Unido (Piggot y Whalley, 1981), IFPRI (Löfgren, Lee-Harris y Robinson, 2002) y el Estados Unidos (Ballard *et al.*, 1985; Robinson, 1990), aunque también hay gran cantidad de modelos construidos para países en desarrollo (Decalawe y Martens, 1988).

---

<sup>13</sup> Ver Robinson (1989) para una discusión sobre distintos cierres de modelo utilizados en los MEGC.

<sup>14</sup> Para un tratamiento extenso de modelos aplicados dinámicos ver Ginsburgh y Keyzer (1997) y para un detalle de su programación en lenguaje MPSGE Paltsev, 2004).

<sup>15</sup> Por ejemplo: Dixon y Rimmer (2002) para la economía de Australia y Thurlow (2004) para una extensión del modelo del IFPRI.

<sup>16</sup> Para un resumen de la inclusión de aspectos financieros en los modelos de equilibrio general computado, puede verse Thissen (1999).

### III. ¿Qué es una Matriz de Contabilidad Social?

Dado que los MEGC describen el flujo circular de toda la economía, la SAM (“Social Accounting Matrix”) es la herramienta más natural para representar un período determinado ya que es una matriz que representa todos los flujos de ingresos y gastos de los agentes agregados (Pyatt y Round, 1985).

Una SAM resume las relaciones de todos los agentes que interactúan en la economía. Técnicamente, una SAM es una matriz cuadrada, en la que cada cuenta está representada por una fila y por una columna. En los vectores columnas se encuentran los gastos, asimismo, por medio de las filas se contabilizan los ingresos. Por lo tanto, la matriz debe ser simétrica respetando el principio de cuadro de doble entrada<sup>17</sup>. La sumatoria por filas de cada cuenta debe igualarse a la sumatoria por columna de la misma cuenta tal que se respeten las restricciones presupuestarias de cada uno; esto es que los gastos deben igualarse a los ingresos.

Ahora bien, una característica definitoria es que generaliza el concepto de matriz insumo-producto para toda la economía. Es decir, que la venta de un producto en un determinado sector es necesariamente una compra de otro sector. En el mismo sentido, toda SAM tiene una característica fundamental, la interdependencia circular entre: (i) Actividades de producción; (ii) Distribución entre factores (y a su vez la distribución del valor agregado generado por cada actividad productiva) y, (iii) la distribución entre instituciones (familias y empresas) y entre distintos estratos socioeconómicos.

Como síntesis de lo anterior puede decirse que, la SAM captura la característica de interdependencia circular de cualquier economía entre actividades, distribución de la remuneración de factores, distribución entre las instituciones; en especial todas las transferencias entre distintos niveles socioeconómicos. Los efectos globales, directos e indirectos causados por cambios en variables exógenas sobre endógenas están capturados bajo ciertas condiciones por la matriz multiplicativa.

Ahora bien, vale la pena recalcar que cualquier SAM puede tomar una amplia variedad de formas dependiendo de cómo se definan sus cuentas constitutivas. El marco de trabajo provisto por estas matrices ha demostrado que son una herramienta práctica para utilizar toda la información disponible y brindar una base cuantitativa para fundamentar todo tipo de investigaciones.<sup>18</sup> El Recuadro 2 presenta un breve resumen del uso de la SAM para modelos de precios fijo.

---

#### Recuadro 2: El uso de SAMs para modelos distintos a los MEGC

---

Bajo los supuestos de exceso de capacidad y precios fijos puede demostrarse que los efectos de cambios exógenos pueden ser explicados por un análisis de multiplicadores (Defourny y Thorbecke, 1984). Esto requiere dividir a la SAM en cuentas endógenas y exógenas; dentro de las primeras se encuentran los factores, instituciones y las actividades productivas; mientras que en las segundas, el gobierno, el capital y el resto del mundo.

---

<sup>17</sup> Las cuentas (ya sea por filas o columnas) pueden subdividirse, pero debe cumplirse la igualdad entre ingresos y gastos agregados. Por ejemplo: los impuestos (ingreso del gobierno) puede representarse en la SAM por tipo de impuesto sin necesidad de realizar la misma apertura a nivel de gasto del gobierno.

<sup>18</sup> Este trabajo se concentra en la parte “real” de la SAM, aun cuando su cierre tiene como correlato aspectos financieros, donde cada agente tendrá una posición deudora o acreedora que haga cumplir la igualdad entre ingresos y gastos. Kraev (2004) presenta formalmente las transacciones de una matriz de contabilidad financiera (FAM). Chisari *et al.* (2009) estiman una FAM para la Argentina de 2003.

Existe una matriz de contabilidad multiplicativa,  $M$ , que explica los resultados obtenidos luego de un shock en las cuentas exógenas. Hay alternativas para conformar esta matriz dependiendo de los supuestos iniciales, tales como el tipo de elasticidad.

Pyatt y Round (1979) argumentaron que esta matriz multiplicativa es producto de otras tres matrices multiplicativas,  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$ . En la primera se encuentran los efectos de las transferencias dentro de la economía, como la distribución del gobierno a los hogares. Las matrices  $M2$  y  $M3$  capturan las consecuencias del flujo circular del ingreso.  $M2$  abarca los efectos cruzados, es decir que si existe un shock en alguna parte del sistema en esta matriz se observarán las repercusiones causadas en el resto de la economía. Mientras que  $M3$  refleja todos los efectos circulares de un shock en el ingreso en todo el sistema hasta que vuelve a su punto de origen por medio de ciclos repetidos.

Si se expresan las variables endógenas en función de las exógenas puede estudiarse la transmisión de las influencias dentro de las relaciones estructurales (Crama, Defourny y Gazon, 1984) comenzando por los cambios en las variables exógenas hacia los últimos efectos en las endógenas. Matemáticamente puede utilizarse para cualquier sistema de ecuaciones lineales. Existen tres tipos de interpretaciones cuantitativas en cuanto a la influencia:

1. Influencia directa. Una unidad de un polo cambia y hace cambiar otra unidad en otro polo, sin embargo los demás polos permanecen constantes.  $i \longrightarrow j$
2. Influencia total. Si una unidad cambia, desencadena la interacción entre muchos polos. (Efectos indirectos).  $i \longrightarrow x \longrightarrow y \longrightarrow j$
3. Influencia global. Mide el efecto total como consecuencia de un shock en uno de los polos.  $i \longrightarrow x \longrightarrow y \longrightarrow j$   


Es importante destacar la diferencia entre influencia directa e influencia global. Ésta última captura todos los efectos directos transmitidos entre los polos en consideración, y no como elementos aislados o bajo *ceteris paribus* de influencia directa. Ferri y Uriel (2000) han aplicado esta metodología para la economía de España.

Al incluir la posibilidad de estimar variaciones en los precios absolutos brinda, a las autoridades pertinentes, información de uso inmediato. Estas variaciones en los precios pueden descomponerse para develar el patrón oculto de interdependencia económica y transmisión de precios; pueden distinguirse los efectos de la relación inter-industrial, consumo de los hogares o el precio de factores. Utilizando una matriz de insumo-producto de la Argentina, Lifschitz (1992) presenta una metodología para separa sub-matrices sectoriales y computar indicadores matriciales.

Podemos generalizar y enumerar los principales pasos a tomar en consideración al construir una Matriz de Contabilidad Social, sólo a modo ilustrativo: (i) Elegir año base de tal forma que se cuente con la mayor información posible; (ii) Construcción de una SAM básica; (iii) Análisis de estructura productiva, distribución del ingreso, consumo y patrones de pobreza; (iv) Desagregación de la SAM básica entre sus subsistemas (submatrices); (v) Reconciliación de datos provenientes de distintas fuentes.

A los efectos del armado de la SAM, se la divide habitualmente en dos componentes de acuerdo al grado de desagregación de la información. En primer lugar, la “macro-SAM” que reúne la información de las cuentas públicas a nivel agregado de forma consistente. En segundo lugar, y tomando como restricción los resultados de la macro-SAM, se construye la “micro-SAM” que captura todas las transacciones sectoriales y entre agentes, al nivel de desagregación elegido.

La Tabla 1 presenta el esquema de una SAM. Es similar a una tabla de insumo-producto pero ampliada a todos los sectores de la economía. Además distingue entre “actividades” y “mercancías”, lo que permite que las actividades de producción puedan producir uno o más

bienes. Está constituida generalmente por 5 tipos de cuentas: de producción, de bienes, de factores, de instituciones (hogares, gobierno), y del sector externo.

Las diferentes cuentas de la SAM delimitan los límites del modelo global. La especificación de un modelo “completo” requiere que las relaciones de mercado, de comportamiento y de sistema de cada una de las cuentas de la SAM estén descritas en el modelo. Las cuentas de Sectores, Bienes y Factores requieren la especificación de mercado (oferta, demanda y condiciones de equilibrio). Las cuentas de los Hogares y del Gobierno requieren reglas de comportamiento y restricciones presupuestarias. Las cuentas de Inversión y Resto del Mundo representan los requerimientos macroeconómicos para el balance interno (ahorro igual a inversión) y externo (exportaciones más entradas de capitales deben igualarse a las importaciones).

**Tabla 1: Estructura de una Matriz de Contabilidad Social**

		<b>Gastos</b>					
		<b>Actividades</b>	<b>Bienes</b>	<b>Factores</b>	<b>Hogares</b>	<b>Gobierno</b>	<b>Totales</b>
<b>Ingresos</b>	<b>Actividades</b>		Valor de la Producción				Ingreso de la Actividad
	<b>Bienes</b>	Insumos Intermedios			Consumo Privado	Consumo Gobierno	Demanda de Bienes
	<b>Factores</b>	Valor Agregado					Ingreso de los Factores
	<b>Hogares</b>			Matriz de Distribución		Transf. del Gobierno	Ingreso de los Hogares
	<b>Gobierno</b>		Impuestos Indirectos	Impuesto a los Factores	Impuestos Directos		Ingreso del Gobierno
	<b>Totales</b>	Gastos de la Actividad	Oferta de Bienes	Gastos de Factores	Gastos de los Hogares	Gastos del Gobierno	

La lectura e interpretación de la tabla II.1 resulta sencilla: las filas representan ventas de cada sector y las columnas gastos. Por ejemplo, la celda “Consumo Privado” resulta de la intersección de la fila “Mercancías” y la columna “Familia”, es decir representa el gasto de los hogares en bienes y servicios y al mismo tiempo un ingreso para los vendedores de las mercancías, la celda “Impuestos Indirectos”, a su vez, representa un gasto para las actividades productoras de bienes y un ingreso para el gobierno. Esta representación esquemática permite ver claramente la característica de consistencia presupuestaria básica detrás de toda SAM que heredan los MEGC.

Para discutir problemas tales como pobreza e inequidad distributiva, se divide a la cuenta de hogares según sus diferencias en el estilo de vida, determinadas por el nivel de ingreso y los gastos en consumo. Los ingresos de las familias provienen de su propiedad de factores productivos (Matriz de Distribución del Ingreso), transferencias recibidas del gobierno, del resto del mundo y entre los hogares. Las familias gastan estos ingresos en el consumo de bienes importados y domésticos, realizan transferencias hacia otros hogares y pagan impuestos.

Luego de entender los principios básicos y su método de construcción podemos comprender porqué es la herramienta básica para cualquier análisis de equilibrio general o insumo-producto que se proponga realizar. Es así que se ha utilizado por ejemplo para: Estrategias de crecimiento

en economías en desarrollo (Pyatt y Round, 1985); Distribución del ingreso (Pyatt y Roe, 1977; Roland-Holst y Sancho, 1992); Política fiscal a nivel nacional o regional (St-Hillaire y Whalley, 1983); Descomposición de actividades multiplicativas que aclaran el funcionamiento del flujo circular del ingreso (Pyatt y Round, 1979; Defourny y Thorbecke, 1984); Modelos de equilibrio general con calibración consistente (Ballard *et al.*, 1985); Análisis de formación de precios y mecanismos de transmisión de costo en economías con rigideces institucionales (Roland-Holst y Sancho, 1995).

### III.1. Ajustes a la SAM

Uno de los inconvenientes de la elaboración de una SAM es la gran cantidad de datos que se necesitan y que, habitualmente, provienen de varias fuentes, por lo que uno de los trabajos más arduos es proporcionar consistencia a los distintos conjuntos de información.

La SAM requiere el uso de la información económica más reciente disponible, agrupada en un marco de referencia coherente. Sin embargo, esta información generalmente proviene de fuentes bastante diferentes: matrices de insumo-producto, cuentas nacionales, encuestas de hogares, encuestas de firmas, datos sobre el mercado de trabajo, cuentas del gobierno, cuentas de comercio internacional, etc. Asimismo, los datos provenientes de estas fuentes involucran distintos períodos de tiempo. Por ejemplo, la información correspondiente a la matriz de insumo-producto se prepara generalmente cada cinco años o más, mientras que la información nacional sobre ingreso, producción, comercio, etc. son generadas anualmente. En algunos casos, resulta posible comenzar con una SAM existente, la cual luego se actualiza utilizando nueva información. En otros casos, la SAM debe ser construida completamente.<sup>19</sup>

En consecuencia, el problema puede plantearse como el de encontrar una manera eficiente de reconciliar la información.

Definimos como  $T$  a la matriz de transacciones, donde  $t_{i,j}$  es un pago de la cuenta  $j$  (columna) a la cuenta  $i$  (fila), que cumple la condición de balance de cada cuenta:

$$y_i = \sum_j t_{i,j} = \sum_j t_{j,i} \quad (1)$$

La matriz de coeficientes  $A$  se construye dividiendo cada celda de  $T$  por su correspondiente suma:

$$a_{i,j} = \frac{t_{i,j}}{\sum_i t_{i,j}} \quad (2)$$

Un problema de actualización de una matriz aparece cuando, por ejemplo, se obtienen nuevos totales de filas y columnas y se requiere cumplir con la ecuación (1). Es decir, encontrar los nuevos valores consistentes de cada transacción. A continuación abordaremos el proceso de actualización y balanceo de una SAM existente, conociendo información sobre los flujos que la integran. Se analiza brevemente, las metodologías clásicas usadas para esta tarea: RAS y entropía cruzada.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Round (2003) resume los principales métodos de ajuste utilizados para justar matrices de contabilidad social.

<sup>20</sup> Existen otros métodos, como el denominado Stone-Byron (Round, 2003) que permite incluir juicios sobre la confiabilidad de la información o variantes de RAS como el “Diagonal Similarity Scaling” (Schenider y Zenios, 1990)

III.1.a. El Método RAS

El problema general resulta en la estimación de un conjunto de parámetros con poca información. Si todo lo que conocemos son los totales fila y columna, entonces no hay suficiente información para identificar los coeficientes.

El método RAS, partiendo de una matriz inicial  $A$  y de vectores que contengan las sumas totales ( $y^*$ ) requeridas de las filas y las columnas (orlas), busca una matriz  $A^*$  que respete dichos totales. Consiste en un procedimiento iterativo que busca vectores  $r_i$  y  $s_j$  tal que:

$$a_{ij}^* = r_i a_{ij} s_j \tag{3}$$

El problema de estimación de una SAM de  $N \times N$  cuentas, consiste entonces en identificar  $N^2$  parámetros no-negativos, pero contando con sólo  $2 \times N - 1$  restricciones independientes de columnas y filas. El procedimiento de RAS impone condiciones biproporcionales, de manera de reducir el problema al de hallar  $2 \times N - 1$  coeficientes de  $r_i$  y  $s_j$ , derivando en una solución única<sup>21</sup>.

El procedimiento es un algoritmo iterativo que cumple alternadamente (en cada iteración) con los totales de filas o columnas, cambiando los coeficientes  $a_{i,j}$ . En el Recuadro 3 se presenta un sencillo ejemplo para mostrar cómo funciona el método.

**Recuadro 3: Ejemplo numérico del método RAS**

Supongamos una matriz de transacciones intersectoriales (parte a) de  $3 \times 3$  (sectores  $S_1, S_2$  y  $S_3$ ) con sus correspondientes totales de ventas intermedias ( $VI_{Orig}$ ) y compras intermedias ( $CI_{Orig}$ ), que requiere ser actualizada (obtener  $t_{i,j}$ ) para que sea consistente con nuevos totales de filas y columnas ( $VI_{Obj}$  y  $CI_{Obj}$  de la parte b).

	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>VI<sub>Orig</sub></b>		<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>VI<sub>Obj</sub></b>
<b>S<sub>1</sub></b>	200	100	100	<b>400</b>	<b>S<sub>1</sub></b>	$T_{1,1}$	$t_{1,2}$	$t_{1,3}$	<b>900</b>
<b>S<sub>2</sub></b>	300	200	100	<b>600</b>	<b>S<sub>2</sub></b>	$T_{2,1}$	$t_{2,2}$	$t_{2,3}$	<b>900</b>
<b>S<sub>3</sub></b>	500	200	200	<b>900</b>	<b>S<sub>3</sub></b>	$T_{3,1}$	$t_{3,2}$	$t_{3,3}$	<b>1000</b>
<b>CI<sub>Orig</sub></b>	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>400</b>		<b>CI<sub>Obj</sub></b>	<b>1200</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	

(a)

(b)

El procedimiento consiste en calcular iterativamente los coeficientes para cumplir con los nuevos totales de filas de columnas. Comenzando inicialmente por el total columnas se calcula la matriz de coeficientes de compras (parte 1a), luego se multiplican los coeficientes obtenidos por  $CI_{Obj}$  (se obtiene así la matriz 1b). Obsérvese que se cumple con los nuevos totales de compras intermedias pero no se cumple con los totales de ventas intermedias objetivo. Siguiendo por las filas, se adopta el mismo procedimiento pero calculando ahora coeficientes de ventas (parte 2a) a partir de los totales de ventas obtenidos en 1b y multiplicándolos por  $VI_{Obj}$  para obtener la matriz 2b. Se cumple con los nuevos totales de las columnas, pero no con los totales de las filas.

	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>		<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>VI<sub>Obj</sub></b>		<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>VI<sub>Obj</sub></b>					
<b>S<sub>1</sub></b>	0.20	0.20	0.25	<b>S<sub>1</sub></b>	240	160	200	<b>600</b>	<b>S<sub>1</sub></b>	0.40	0.27	0.33	<b>1</b>	<b>S<sub>1</sub></b>	360.0	240.0	300.0	<b>900</b>
<b>S<sub>2</sub></b>	0.30	0.40	0.25	<b>S<sub>2</sub></b>	360	320	200	<b>880</b>	<b>S<sub>2</sub></b>	0.41	0.36	0.23	<b>1</b>	<b>S<sub>2</sub></b>	368.2	327.3	204.5	<b>900</b>
<b>S<sub>3</sub></b>	0.50	0.40	0.50	<b>S<sub>3</sub></b>	600	320	400	<b>1320</b>	<b>S<sub>3</sub></b>	0.46	0.24	0.31	<b>1</b>	<b>S<sub>3</sub></b>	454.5	242.4	303.0	<b>1000</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>CI<sub>Obj</sub></b>	<b>1200</b>	<b>800</b>	<b>800</b>			<b>CI<sub>Obj</sub></b>	<b>1182.7</b>	<b>809.7</b>	<b>807.6</b>					

(1a)

(1b)

(2a)

(2b)

<sup>21</sup> RAS converge bajo ciertas condiciones necesarias y suficientes (Bacharach, 1971; Macgill, 1977)

A partir de esta nueva matriz se repite el procedimiento desde el inicio. Es fácil reproducir el método en una planilla de cálculo y comprobar que luego de unas pocas iteraciones se obtienen los valores de las transacciones que cumplen con ambos totales objetivos. Los resultados finales se muestran en la siguiente tabla.

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	VI <sub>Orig</sub>
S <sub>1</sub>	365.4	237.2	297.4	<b>900</b>
S <sub>2</sub>	373.8	323.5	202.7	<b>900</b>
S <sub>3</sub>	460.8	239.3	299.9	<b>1000</b>
CI <sub>Orig</sub>	<b>1200</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	

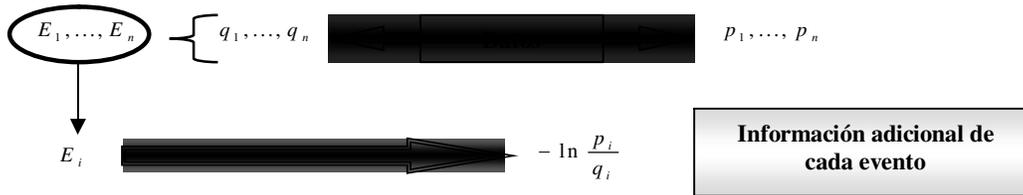
El método de RAS tiene algunas propiedades atractivas, las cuales sin duda contribuyen a su popularidad y vigencia. Sin embargo, presenta desventajas debido a que su funcionamiento requiere la disponibilidad de determinados datos (las orlas) y no es suficientemente flexible para considerar restricciones adicionales sobre los datos. En la práctica, este método se utiliza para ajustar sub-matrices de una SAM.

### III.1.b. El Método de Entropía Cruzada

El enfoque de entropía cruzada es una aplicación al problema de estimación e inferencia estadística basado en la teoría de la información.<sup>22</sup>

El Diagrama 1 muestra intuitivamente de qué se trata el método. Si consideramos un conjunto de  $n$  eventos ( $E_1, \dots, E_n$ ) inicialmente con probabilidades  $q_i$ , y que la llegada de un mensaje provoca el cambio de las probabilidades a  $p_i$ . El procedimiento de estimación resulta de minimizar la medida de distancia de entropía cruzada de Kullback-Leibler (1951) entre las nuevas probabilidades y las iniciales.

Diagrama 1: El método de entropía cruzada



Fuente: Elaboración Propia

Supongamos que nos enfocamos en un evento en particular  $E_i$ , la información recibida por el mensaje es  $-\ln p_i$ ,<sup>23</sup> pero la información adicional es:  $(-\ln p_i - \ln q_i) = -\ln(p_i/q_i)$ . Tomando la esperanza de los valores informativos de cada evento por separado, encontramos el valor informativo esperado del mensaje (Robinson, Cattaneo y El-Said, 2001):

$$-I(p : q) = -\sum_i^n p_i \ln \frac{p_i}{q_i} \quad (4)$$

<sup>22</sup> Aspectos técnicos y algunas aplicaciones pueden ser consultadas en Jaynes (1982) y Golan, Judge y Miller (1996).

<sup>23</sup> Considerando un experimento con  $n$  posibles resultados, se busca una medida de incertidumbre  $S(n)$  que cumpla tres propiedades: (i)  $S \geq 0$ , (ii)  $S(1) = 0$  y (iii)  $S(mn) = S(m) + S(n)$ . Se puede probar que la única función que cumple estos tres puntos es el logaritmo:  $S(n) = k \ln n$ , donde  $k$  es un factor de escala que se normaliza a uno.

Aplicado al procedimiento de actualizar una SAM, el problema confronta encontrar una nueva SAM, cercana a una ya existente, minimizando la distancia de entropía cruzada entre ellos, respetando las restricciones. Es un método más flexible que RAS ya que permite actualizar los datos partiendo de matrices que tienen datos inconsistentes. Este método permite incorporar además: errores en las variables, restricciones de desigualdad e información de cualquier parte de la SAM (no necesariamente orlas).

Golan, Judge y Robinson (1994) sugieren una variedad de técnicas de estimación para solucionar el problema de estimación previamente mencionado, aplicando este enfoque a la estimación de una matriz de insumo-producto.

El problema de minimización de entropía cruzada consiste en encontrar un nuevo conjunto de coeficientes  $A$  que minimicen la distancia entre el coeficiente previo y el nuevo que ha de ser estimado. Su aplicación a MEGC se puede consultar en Arndt, Robinson y Tarp (2002).

$$\min \sum_i \sum_j a_{i,j} \ln a_{i,j} / a_{i,j}^* \quad (5)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_i a_{i,j} = 1, \sum_i a_{i,j} y_j = y_j \text{ y } 0 \leq a_{i,j} \leq 1 \quad (6)$$

La solución se obtiene resolviendo un lagrangeano con las ecuaciones planteadas. El resultado combina la información de la nueva matriz y de la matriz base:

$$a_{i,j} = \frac{a_{i,j} \exp(\lambda_i y_j^*)}{\sum_{i,j} a_{i,j}^* \exp(\lambda_i y_j^*)} \quad (7)$$

donde  $\lambda_i$  son los multiplicadores de Lagrange asociados con la información de la suma de filas y columnas y el denominador es el factor de normalización<sup>24</sup>.

Para corregir los errores de medición hay varios métodos. Una de las fuentes de errores más frecuentes es que la SAM inicial no esté balanceada (la suma de las filas es distinta a la suma de las columnas). En este caso, el procedimiento de entropía no cambia, pero implica que no será posible alcanzar una medida de entropía igual a cero. La idea es encontrar una posible SAM que sea lo suficientemente cercana a los posibles datos.

Algunos autores han realizado experimentos con distintos métodos de ajuste con resultados mixtos (Round, 2003). Uno de los problemas de conducir estos experimentos es que el criterio para determinar la superioridad de uno u otro método (medida de cercanía de la matriz ajustada a la matriz inicial) está relacionado con la elección de la función a minimizar. Por lo tanto, existe un sesgo inherente en cada experimentación, haciendo difícil la comparación.

De todos modos, la utilización de entropía generaliza RAS, ya que permite: (i) Prescindir de la necesidad de contar con nuevas orlas; (ii) La matriz inicial puede ser inconsistente (no estar balanceada); (iii) Las nuevas orlas pueden contener un término de error y no ser parámetros fijos; (iv) Permite fijar valores de cualquier parte de la SAM (no necesariamente orlas) y (v) puede incluir restricciones de desigualdad. En el Recuadro 4 se presenta un ejemplo numérico.

---

<sup>24</sup> Ambos métodos, RAS y entropía cruzada, están programados en GAMS y se utilizan como material en la materia Economía Computacional de la carrera de Economía de la UADE, y pueden ser solicitados al autor.

#### Recuadro 4: Ejemplo numérico del método de Entropía Cruzada

Las siguientes tablas resuelven el mismo problema presentado en el recuadro III.1. En este caso, para realizar el cálculo se utiliza un programa GAMS, adaptado del programa introducido por Robinson, Cattaneo y Al Said (2001),

$$\min \sum_i \sum_j a_{i,j} \ln a_{i,j} / a_{i,j}^*$$

de entropía cruzada que representa el problema de optimización de las ecuaciones

$$(5) \text{ y (Sujeto a: } \sum_i a_{i,j} = 1,$$

$$\sum_i a_{i,j} y_j = y_j \text{ y } 0 \leq a_{i,j} \leq 1$$

$$(6) \text{ al que ese le agregaron}$$

otras restricciones adicionales sobre algunas de las celdas representando información adicional que debe cumplir el problema.

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	VI <sub>Orig</sub>
S <sub>1</sub>	361.8	238.6	299.6	<b>900</b>
S <sub>2</sub>	370.2	325.5	204.3	<b>900</b>
S <sub>3</sub>	468.0	235.9	296.1	<b>1000</b>
CI <sub>Orig</sub>	<b>1200</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	

(a)

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	VI <sub>Obj</sub>
S <sub>1</sub>	356.1	241.7	302.2	<b>900</b>
S <sub>2</sub>	383.2	<b>300.0</b>	216.8	<b>900</b>
S <sub>3</sub>	460.7	239.7	299.6	<b>1000</b>
CI <sub>Obj</sub>	<b>1200</b>	781.4	818.6	

(b)

En el panel a se muestra la matriz de transacciones obtenida con las mismas restricciones del problema resuelto anteriormente con el algoritmo RAS. Los resultados son similares. En la parte b se observan los resultados correspondientes a suponer que se cuenta con información adicional relacionada con los totales de ventas intermedias, el total de compras intermedias del sector 1 y el valor de las transacciones de la celda (s<sub>2</sub>, s<sub>2</sub>). Esta última situación no puede ser resuelta usando RAS.

### III.2. SAM reducida para la economía Argentina de 2006

En la Tabla 2 se presenta una SAM que representa la economía argentina de 2006. La SAM consta de tres sectores de actividad, dos factores y agrupa los impuestos de producción de acuerdo a su destino. Considera un gobierno y desagrega la inversión entre pública y privada.

La información necesaria para conformar las submatrices de Compras Intermedias tanto Domésticas como Importadas, la matriz de Valor Bruto de Producción y la Matriz de Uso de Factores se encuentra en la Matriz de Insumo-Producto, la misma se realiza cada diez años por lo cual es factible que se requiera realizar ciertas actualizaciones. La AFIP y los Ministerios Provinciales proveen la información para todas las submatrices que incluyen impuestos. Mientras que la Balanza de Pagos publicada por el Banco Central y las bases de comercio exterior del INDEC son las fuentes principales para las matrices de exportaciones, importaciones, ahorro del exterior y transferencias que involucran al resto del mundo. La diferencia entre el consumo de bienes domésticos e importados y la Matriz de Distribución del Ingreso se extraen de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH, realizada periódicamente por el INDEC). Finalmente, para las celdas restantes del vector de Ahorro-Inversión se utiliza la Cuenta Ahorro-Inversión.<sup>25</sup>

<sup>25</sup> En Chisari *et al.* (2009) se puede consultar una descripción detallada de las fuentes de información para construir la SAM de la Argentina para el año 2003.

**Tabla 2: SAM de la Argentina 2006<sup>26</sup>**

		Sectores de actividad			Factores		Impues-tos	Hogares		Gobierno	Inversión		Resto del mundo	Totales
		S01	S02	S03	L	K		H01	H02		Priv.	Pub.		
Sectores de Actividad	S01	8 881	56 334	10 427				8 244	7 865	0	5 213	162	30 866	127 991
	S02	13 324	86 648	63 305				31 288	111 288	0	18 234	566	107 394	432 047
	S03	14 741	85 472	163 167				33 079	160 681	81 248	78 902	14 090	23 776	655 155
Factores	L	7 665	19 131	83 386										110 183
	K	63 542	72 034	248 682										384 259
Impuestos	IM	55	2 549	105				320	350		1 640			5 019
	IVA	3 352	15 056	19 657										38 065
	Indi	4 134	17 034	22 075										43 243
	IX	3 182	11 529	0										14 712
	IL	1 768	6 865	20 251										28 884
	IK	6 347	7 563	7 126										21 036
	IH							2 792	10 142		6 061			18 995
Hogares	H1				30 356	13 213			5 562	43 382				92 513
	H2				79 827	330 345				18 592				428 764
Gobierno							169 953							169 953
Inversión	Priv.							6 515	135 443					141 957
	Pub.									14 817				14 817
Resto del mundo	S01	16	3 517	13				174	117		14	0		3 852
	S02	970	47 581	3 362				6 574	7 316		31 893	0		97 697
	S03	13	732	13 599		40 701		3 528	6 442		0	0		65 015
Totales BNI		127 991	432 047	655 155	110 183	384 259	169 953	92 513	445 206	158 039	141 957	14 817	162 035	
									16 443	-11 914			-4 528	

Nota: S01: Agricultura y Minería; S02: Industria manufacturera; S03: Construcción y Servicios; L: trabajo; K: Capital; IM: Impuestos a las importaciones; IVA: Impuesto al valor agregado; II: Resto de impuestos indirectos; IX: Impuestos a las exportaciones; IL: Aportes y contribuciones de seguridad social; IK: Impuestos sobre el capital; IH: Impuestos y contribuciones pagados directamente por los hogares; H01: hogares pobres; H02: hogares ricos.

Fuente: Elaboración Propia

Mirando desde una perspectiva de gasto (por columna). La matriz de insumo producto corresponde a la sub-matriz de compras de insumos por parte de los sectores de actividad. Luego sigue la matriz de demanda de factores. A continuación está la matriz de pagos de impuestos por

<sup>26</sup> La SAM aquí expuesta tiene objetivos pedagógicos cuya macro-SAM es consistente con las Cuentas Nacionales. Sin embargo, la micro-SAM no ha sido objeto de controles y validación.

parte de las actividades (tanto sobre los productos como sobre los factores). Por último aparece la matriz de importaciones de bienes intermedios. Es importante remarcar que la SAM así presentada no diferencia la producción por destino, que es un requerimiento del modelo a utilizar. Por lo tanto, por detrás de hay una desagregación adicional, en particular para aplicar las alícuotas impositivas a cada uno de los destinos de la producción. Por ejemplo, la tasa del impuesto a las exportaciones (IX) del sector primario (S01) surge de dividir la recaudación pagada por dicho sector (\$3.182,-) por las respectivas exportaciones (\$30.866,-).

Desde el punto de vista de las ventas, los sectores productivos destinan su producción a otros sectores productivos (nuevamente la matriz de insumo producto), al consumo final de los hogares (matriz de gasto doméstico de los hogares), al consumo del gobierno, a la provisión de bienes de inversión y a la exportación. Los totales de de filas y columnas de cada uno de los sectores corresponden a los respectivos valores brutos de producción.

En el caso de los factores de producción, se observa que aparece una matriz que asigna las demandas totales de trabajo (L) y capital (K) a los hogares ricos (H2) y pobres (H1). Además, parte de la demanda de capital (\$40.701,-) corresponde a tenencias de extranjeros. Para completar los ingresos, se observa que los hogares pobres reciben transferencias de los hogares ricos (\$5.562,-) y que ambos hogares reciben transferencias por parte del gobierno.

El gobierno con los impuestos financia el consumo público (principalmente administración pública, defensa, salud y educación y por lo tanto se concentra en el sector servicios –S03), paga transferencias monetarias a los hogares y destina gasto a inversión pública.

Si uno compara el total de gastos del gobierno (\$158.039,-) con el total de ingresos (la suma de los impuestos: \$169.953,-) observa que los mismos no se igualan, por lo cual aparece una diferencia en la fila BNI, que en este caso indica que hay superávit fiscal y por lo tanto el gobierno es comprador neto de bonos. Con este mismo criterio se pueden observar las diferencias en los cierres del sector externos (superávit de cuenta corriente) y en los presupuestos de los hogares (ahorro privado).

#### **IV. Calibración de parámetros y experimentación computacional**

Cada celda en una SAM es una transacción que puede ser pensada en términos de un proceso de optimización subyacente de los agentes de la economía. El flujo en cada celda puede ser representado como:

$$t_{i,j} = t(p, q; V, \theta) \tag{8}$$

donde,  $p$  y  $q$  son los vectores de precios relativos y cantidades, respectivamente. El vector  $V$  es un vector de factores exógenos y  $\theta$  es un vector de parámetros definidos sobre determinada forma funcional.

Un MEGC es simplemente una formalización de esta representación general de cada combinación junto con las restricciones de balance sectorial y macroeconómicas definidas en la SAM. Puesto que en la SAM no hay una partición de las transacciones automática entre precio y cantidad, se debe elegir una. En la práctica se comienza normalizando todos los precios a uno en el año base. Luego de un cambio (shock exógeno o cambio endógeno en oferta o demanda), la

evolución de cada celda está determinada por la estructura del modelo<sup>27</sup> y por la elección de los valores de los parámetros de comportamiento.

Una vez elegidas las formas funcionales que representen el comportamiento de los agentes, es preciso contar con estimaciones de los parámetros de las mismas. Se utilizan habitualmente formas “convenientes” (Cobb-Douglas y CES principalmente) debido a que son manejables analíticamente, consistentes con el marco teórico y fáciles de computar.<sup>28</sup> En el Diagrama 2 se presenta, a modo de ejemplo, una función de producción “anidada” de uso habitual en los MEGC.

**Diagrama 2: Función de producción anidada**



Fuente: Elaboración Propia

La función de producción del bien X que en un primer nivel separa entre bienes intermedios y valor agregado suponiendo una función tipo Leontief. En un segundo nivel se supone una función Cobb-Douglas entre los factores de producción y una función Leontief al nivel de los insumos intermedios. Por último se puede considerar un tercer nivel con elasticidades de Armington entre bienes importados de diferente origen. También se podrían utilizar este tipo de elasticidades entre pares de bienes domésticos e importados.

Hay dos tipos de parámetros a calibrar: (i) de participación: proporciones de costos, participaciones de gasto, tasas de ahorro y tasas impositivas que surgen de la propia SAM; (ii) de comportamiento: que describen la curvatura de las funciones de producción y utilidad. La calibración de este último tipo de parámetros requiere información adicional sobre elasticidades de sustitución.

La necesidad de contar con estimaciones de elasticidades (no sólo de sustitución) como parámetros es un punto débil de la calibración de los MEGC tanto por la falta de estimaciones sectoriales para la economía bajo estudio como por la fuerte discrepancia de las estimaciones econométricas existentes.<sup>29</sup> Mansur y Whalley (1984) muestran las diferencias a partir de una revisión de estimaciones sectoriales de elasticidades de sustitución en la producción para Estados Unidos. Dawkins, Srinivasan y Whalley (2000) reproducen valores medios de estimaciones de elasticidades de demanda directas por sector para Reino Unido.<sup>30</sup>

<sup>27</sup> y en qué medida cada cambio será representado por variaciones en precios o cantidades.

<sup>28</sup> Ver Shoven y Whalley (1992) para una descripción pormenorizada de las propiedades de las funciones de comportamiento más utilizadas en los MEGC.

<sup>29</sup> Por supuesto, esto también es problemático para otro tipo de modelos que requieran elasticidades de sustitución.

<sup>30</sup> En Donnelly, Johnson y Tsigas (2004) se pueden consultar estimaciones de elasticidades de sustitución de Armington para Estados Unidos.

A continuación se desarrolla el procedimiento de calibración de los parámetros de funciones de producción Cobb-Douglas, de una economía simple de dos bienes, dos factores y un consumidor<sup>31</sup>. En la Tabla 3 se presenta una SAM para esta economía.

**Tabla 3: Economía cerrada con transacciones intermedias**

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	L	K	H	Total
X <sub>1</sub>		200			600	<b>800</b>
X <sub>2</sub>	100				1100	<b>1200</b>
PW						<b>0</b>
Trabajo (L)	500	500				<b>1000</b>
Capital (K)	200	500				<b>700</b>
Hogares (H)			1000	700		<b>1700</b>
<b>Total</b>	<b>800</b>	<b>1200</b>	<b>1000</b>	<b>700</b>	<b>1700</b>	

Fuente: Elaboración Propia

Se asume que las funciones de producción de ambos bienes son anidadas. Por un lado, Leontief entre insumos intermedios y valor agregado de la producción de cada bien (X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub>). Por otro lado, Cobb-Douglas entre trabajo (L) y capital (K). Para desarrollar el ejemplo nos concentramos en este último componente, a partir de las siguientes funciones:

$$X_1 = AK_1^\alpha L_1^{1-\alpha} \quad \text{y} \quad X_2 = BK_2^\beta L_2^{1-\beta} \quad (9)$$

donde, los parámetros a calibrar son:  $A$ ,  $B$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ .

En competencia perfecta cada factor es remunerado al valor de su productividad marginal. Con rendimientos constantes a escala, el valor total del producto es igual al pago total a los factores de producción. Para el caso del capital tenemos que el valor de su productividad marginal es igual a la remuneración del capital ( $r$ ):

$$r = p_1 \frac{\partial(AK_1^\alpha L_1^{1-\alpha})}{\partial K_1} = p_1 \alpha \frac{VA_1}{K_1} \quad (10)$$

Despejando  $\alpha$  se obtiene (y similarmente para  $\beta$ ):

$$\alpha = \frac{rK_1}{p_1 K_1} \quad \text{y} \quad \beta = \frac{rK_2}{p_2 K_2} \quad (11)$$

Así,  $\alpha$  y  $\beta$  son las participaciones de la remuneración del capital ( $rK_i$ ) en el valor agregado de los sectores 1 y 2, respectivamente. Ahora bien, de la SAM se obtienen los valores correspondientes tanto al numerador como al denominador:  $\alpha=200/700=0,286$  y  $\beta=500/1000=0,5$ .

Para calibrar  $A$  y  $B$  necesitamos adicionalmente asumir  $p_i = 1$ , y por lo tanto los valores en la SAM refieren también cantidades. Entonces:

$$A = \frac{X_1}{K_1^\alpha L_1^{1-\alpha}} = 1,82 \quad \text{y} \quad B = \frac{X_2}{K_2^\beta L_2^{1-\beta}} = 2$$

<sup>31</sup> Un desarrollo completo de este tipo de modelos, incluyendo la programación en GAMS/MPSGE y GAMS, puede consultarse en Markusen (2002) y Wing (2004).

Adicionalmente, Dawkins, Srinivasan y Whalley (2000) introducen ejemplos de calibración de funciones de utilidad Cobb-Douglas y de producción CES.

#### **IV.1. El modelo en MPSGE**

El modelo ha sido programado en MPSGE sobre plataforma GAMS. Esto permite que el proceso de calibración descrito más arriba no sea necesario ya que el programa lo realiza de manera automática. Los detalles de programación partiendo de modelos desde el modelo de equilibrio general básico de economía cerrada y agregando actores por etapas (gobierno, comercio internacional, múltiples hogares) se puede consultar en Markusen (2002).

Las características generales del modelo son las siguientes. El objetivo de las familias es maximizar su Utilidad, la que se haya limitada por la Restricción Presupuestaria. La restricción presupuestaria dice que el gasto total de la familia (en la compra de bienes de consumo, de inversión, bonos, y pago de impuestos) no puede superar su ingreso (por pagos de factores, venta de bonos, cobro de dividendos de empresas y de intereses). El beneficio de las familias se mide habitualmente mediante la Variación Equivalente que mide (justamente) el equivalente, en términos de ingreso, del cambio de utilidad derivado de un shock; es decir, cuánto tendría que cambiar el ingreso de un agente para que experimentara la misma modificación de la utilidad si no se hubiera producido un shock que rebaja los precios de los bienes de consumo.

El objetivo de las empresas es maximizar su Beneficio. En general las firmas se hallan limitadas por la Tecnología y el Capital. De la optimización, es decir la maximización de beneficios, surgen las funciones de oferta de bienes y de demanda de factores, además de los pagos de impuestos. Las empresas se demandan entre sí bienes que producen, para ser usados como insumos intermedios de la producción final. Los pagos a los factores son recibidos por las familias y por el resto del mundo. Los beneficios son distribuidos a las familias y al resto del mundo; inclusive el gobierno puede recibir beneficios por su participación en la tenencia de capital privado.

El gobierno es asimilado a una familia y se lo dota de una función de Utilidad del Gobierno. También hay una Restricción Presupuestaria del Gobierno. Recibe ingresos (por impuestos, por propiedad de factores, por venta de bonos) y los aplica a la compra de distintos bienes (nacionales o importados, de consumo o de inversión), a la compra de reservas para el banco central, a la contratación de empleados públicos (participa en el mercado de factores) y a las transferencias (a jubilados y desempleados, por ejemplo). Las transferencias se consideran gasto en un factor, poseído por las familias. Este es un artificio económico, utilizado para alcanzar la solución, neutro desde el punto de vista de sus efectos sobre el resultado.

El resto del mundo tiene una función de Utilidad del Resto del Mundo. Compra bienes domésticos (exportaciones de la Argentina) y produce los propios, para combinar con ellos. Parte de su producción es comprada por los agentes domésticos (importaciones de la Argentina). También compra y vende bonos de las familias y del gobierno. Está limitado por su tecnología y por una Restricción Presupuestaria del Resto del Mundo.

En el siguiente recuadro se reproduce en lenguaje GAMS/MPSGE la programación de un MEGC que representa la economía de la Tabla 3. Se requiere primero la declaración de las variables a utilizar: Sectores de actividad (S1 y S2) con sus respectivos precios (P1 y P2); la rentabilidad del capital (PK) y el salario (PL).

### Recuadro 5: Programación GAMS/MPSGE de una economía cerrada con bienes intermedios y funciones de producción anidadas

El siguiente programa puedes ser copiado directamente en el entorno GAMS-IDE (se puede solicitar una versión demo de GAMS en [www.gams.com](http://www.gams.com)) creando un archivo con extensión GMS (ejemplo.gms). El lenguaje es estructurado y no requiere conocimientos previos de programación. Los comandos están escritos en mayúsculas y son anteceditos por el signo \$. Se requiere primero declarar los sectores de producción, los precios y los diferentes tipos de demanda. Luego se incluye la información que surge de la SAM. Recordar que se asumen todos los precios igual a uno en el benchmark.

```

$title Economía cerrada con bienes intermedios
$onTEXT
$model: ejemplo

$sectors:
S1 ! Nivel de actividad para el sector 1
S2 ! Nivel de actividad para el sector 2
UT ! Producción de utilidad

$commodities:
P1 ! Variación del precio del bien 1
P2 ! Variación del precio del bien 2
PL ! Variación del precio del factor L
PK ! Variación del precio del factor K
PW ! Variación de utilidad (función de gasto)

$consumers:
CONS ! Ingreso de los hogares

$prod:S1 s:0 va:1
O:P1 Q: 800
I:P2 Q: 100
I:PL Q: 500 va:
I:PK Q: 200 va:

$prod:S2 s:0 va:1
O:P2 Q:1200
I:P1 Q: 200
I:PL Q: 500 va:
I:PK Q: 500 va:

$prod:UT s:1
O:PW Q:1700
I:P1 Q: 600
I:P2 Q:1100

$demand:CONS
D:PW Q:1700
E:PL Q:1000
E:PK Q: 700

$offTEXT
$sysINCLUDE mpsgeset ejemplo
PW.FX = 1;
$INCLUDE ejemplo.GEN
SOLVE ejemplo USING MCP;

```

A modo de ejemplo se puede observar que la producción del sector S1 (\$PROD:S1) es de 800 unidades (O:P1) que requiere la adquisición de 100 unidades del bien 2 (I:P2), la demanda de 500 unidades de trabajo (I:PL) y 200 de capital (I:PK). A su vez, la función de producción anidada está indicada por los valores de las elasticidades de sustitución requeridas al definir el sector de producción: s:0 significa que se toma una función Leontief entre todos los insumos (entre bienes y factores); va:1 es elasticidad de sustitución unitaria entre trabajo y capital, es decir una función de producción Cobb-Douglas al nivel del valor agregado. Por el lado de la demanda, el único consumidor (CONS en \$DEMAND) tiene la dotación factorial de trabajo (E:PL) y capital (E:PK) y demanda una canasta de bienes (D:PW) que es construida mediante un artificio por un productor de utilidad virtual (\$PROD:UT). Por último el numerario elegido es el precio de la canasta construida a partir de la función de utilidad (PW.FX=1). Se recomienda seguir Rutherford (1999), Markusen (2002) y Paltsev (2004) para entender la el funcionamiento y la programación de MPSGE.

Para ilustrar como funciona conceptualmente un MEGC es útil seguir el diagrama de flujo que representa una posible “estrategia de solución”. Siguiendo a Dervis, De Melo y Robinson (1982), tomando como punto de partida una asignación inicial de precios, la estrategia, primero intenta equilibrar el mercado de trabajo. Con funciones de producción sectoriales, el supuesto de maximización de beneficio y una asignación inicial de los salarios para cada categoría se determina la demanda de trabajo en cada sector. Luego, dadas las ofertas de trabajo de cada categoría laboral se computan los excesos de demanda.

Si los excesos de demanda son distintos de cero, se deben asignar nuevos valores de salarios y realizar otra iteración. Cuando el mercado de trabajo está en equilibrio, hay suficiente información para generar los ingresos de los factores de producción y los niveles de actividad sectoriales. Entonces, de manera similar, se procede a la búsqueda del equilibrio en el mercado de bienes.

Si como resultado se obtienen excesos de demanda distintos de cero, se vuelcan los nuevos precios y se vuelve a iterar hasta que ambos mercados estén en equilibrio. El vector de precios es revisado y se busca un nuevo precio, como muestra la. En general el algoritmo hará subir el precio de aquellos bienes con exceso de demanda, y bajar el de los que tienen exceso de oferta. El bucle cerrado indica un punto fijo del algoritmo, cuando ya se ha alcanzado un equilibrio en el conjunto de precios.

Una vez calculados los precios de equilibrio, se pueden computar las transacciones (compras y ventas), los niveles de ingreso y de bienestar de todos los agentes, y los agregados macroeconómicos. Uno de los precios nominales es elegido como numerario.

## **V. Simulaciones y Análisis de Sensibilidad**

El primer paso para la construcción del modelo, es contar con información micro consistente para un determinado periodo y se asumirá que la economía se encuentra en equilibrio. Luego, es necesario realizar una calibración del modelo, en este procedimiento se estiman los valores de los parámetros. Una vez obtenidos todos ellos y especificado el modelo, se replica el modelo chequeando que se llegue a un equilibrio con los parámetros estimados. Ahora, es posible evaluar los efectos de distintas políticas comparando el equilibrio de referencia con el simulado.

Si bien este procedimiento se basa fuertemente sobre los datos de un solo año, influenciando al modelo de toda anomalía ocurrida en dicho año en particular, es difícil encontrar mejores alternativas. Los procedimientos de raíz econométrica requieren datos para muchos períodos anteriores y sobre la estabilidad estructural, una hipótesis fuerte para economías como la argentina.

Elegir el modelo adecuado no es una tarea sencilla dado que existen numerosas alternativas cada una con consecuencias diferentes; por lo que se requieren juicios de valor. Shoven y Whalley (1992) destacan que el modelo de equilibrio general apropiado depende del tipo de políticas a analizarse.

Tomando en cuenta este último punto, el modelo para la Argentina cuenta con suficiente flexibilidad para poder hacer cambios en los cierres y preferencias del modelo a través de simples cambios de programación. En este sentido, es importante mencionar que la transferencia de tecnología de este tipo de modelos debe concentrarse en el conocimiento detallado del modelo, la estructura y el ajuste de datos y la programación, aunque sea más costoso en términos de enseñanza y aprendizaje. En caso contrario se corre el riesgo de caer en automatismos que no permiten la adecuación de los modelos a situaciones específicas de la economía que se quiere representar y que dificultan efectuar simulaciones de problemas no previamente programados. Concede también mayor independencia de criterio al hacedor de política.

### **V.1. Simulaciones de políticas y shocks**

La primera simulación con el modelo es la replicación del benchmark. Los precios de todos los bienes y factores deben ser uno, es decir el punto de partida. Una segunda tanda de simulaciones debe ser dirigida a “validar” el modelo comparándolo con resultados surgidos de episodios históricos. El tercer paso es realizar las simulaciones dirigidas a tratar el problema bajo análisis

Un cuarto grupo de simulaciones corresponde al Análisis de sensibilidad ante cambios en los valores de los parámetros (particularmente elasticidades de sustitución)

Las simulaciones consisten en ejercicios contrafácticos que se comparan con la situación inicial (el benchmark) a través de cambios de parámetros y shocks en el modelo. Estos parámetros pueden representar las preferencias de los agentes, la tecnología de producción o las dotaciones iniciales.

Para observar los resultados se utilizan indicadores macroeconómicos, sectoriales y de impacto sobre los agentes.

A modo de ejemplo, se incluyen dos simulaciones. Primero, un aumento del 20% en la productividad total de los factores (TFP) de la industria manufacturera (sector S2 de la SAM). Segundo, una disminución del 20% en la tasa efectiva del impuesto a las exportaciones. La Tabla 4 muestra la salida con indicadores seleccionados pre-programados en GAMS. Ambos escenarios son evaluados bajo la hipótesis de salario real constante, dado que existe desempleo en el benchmark.

**Tabla 4: Argentina, 2006. Simulaciones**

<b>Indicador</b>	<b>Aumento TFP 20% en la industria</b>	<b>Reducción del 20% en impuesto a las exportaciones</b>
PBI a precios de mercado	3.46	-0.19
Inversión	3.51	0.00
Exportaciones	4.51	-0.83
Índice de precios al consumidor	-0.84	1.90
Tasa de Ganancia Primario	13.91	0.31
Tasa de Ganancia Industria	18.15	1.62
Tasa de Ganancia Servicios	14.10	-0.13
Tasa de desempleo - base: 11,4%	8.46	11.22
Bienestar Hogares Pobres	3.30	-0.44
Bienestar Hogares Ricos	3.27	0.23
Superávit fiscal / PBI (%) -base: 0,92%	1.15	0.87

Fuente: Elaboración propia

El aumento de la TFP se representa como una ampliación de la producción con la misma dotación factorial inicial. La liberación de recursos producida por la mejora de la productividad, reduce los precios y mejora la competitividad de la economía, favoreciendo las exportaciones reales que crecen por encima del PBI. La tasa de ganancia aumenta para todos los sectores de actividad, también se observa que en la industria manufacturera aparecen los mayores beneficios relativos. Ambos tipos de hogares tienen aumentos de bienestar (medidos por la variación equivalente), que en el caso de los hogares pobres se origina en la fuerte caída del desempleo, mientras que para las familias ricas se motiva además por la distribución de beneficios de las empresas. Por su parte, el gobierno ve aumentar el superávit fiscal medido como proporción del PBI.

Con respecto a la reducción de la tasa de impuesto a las exportaciones, se observa una mínima disminución del PBI a precios de mercado (a precios básicos la variación del PBI tiene signo positivo –no presentado en la tabla). Los precios domésticos suben, afectando principalmente a los hogares de menores ingresos, quienes no ven compensada la disminución de bienestar por aumento de empleo (la tasa de desempleo observa una baja poco significativa). En cambio, los hogares ricos tienen una variación de bienestar positiva derivada de su participación en las

ganancias de los sectores productivos. Las exportaciones caen por el efecto absorción que genera el aumento de ingreso de los hogares de mayores recursos. El superávit fiscal cae con respecto al benchmark, como consecuencia de la disminución de la recaudación real en casi dos puntos porcentuales, aun cuando el gobierno ajusta el gasto (consumo público, transferencias a los hogares –que afecta relativamente más a los hogares pobres- e inversión pública)<sup>32</sup>.

Ahora bien, más allá de analizar posible medidas compensatorias para aquellos hogares cuyo bienestar disminuye, de estos resultados surge la pregunta de si un MEGC estático es la herramienta correcta para analizar este problema en particular. Sería conveniente analizar a partir de un MEGC dinámico que ocurre con el ahorro de los hogares de mayores ingresos, ya que un aumento de la inversión podría mejorar la situación inicial de los hogares pobres. En todo caso el MEGC dinámico podría responder cuántos periodos serían necesarios para que los beneficios de mayores tasas de inversión compensen la pérdida inicial de bienestar. En este sentido los MEGC también sirven para identificar cuellos de botella y restricciones políticas y sociales de determinadas políticas.<sup>33</sup>

A efectos de indagar el impacto de los parámetros exógenamente determinados sobre los resultados de las simulaciones, habitualmente se procede a efectuar análisis de sensibilidad. Se concentran principalmente en los valores exógenos de elasticidades. Se han diseñado procedimientos para realizar la sensibilidad de manera sistemática a previamente identificadas elasticidades clave del modelo (Pagan y Shannon, 1985; Wigle, 1991) o de manera global para una muestra de elasticidades (Harrison et al., 1992). Dawkins (1997) ha desarrollado un método para computar la sensibilidad a cambios en parámetros calibrados (no sólo las elasticidades).

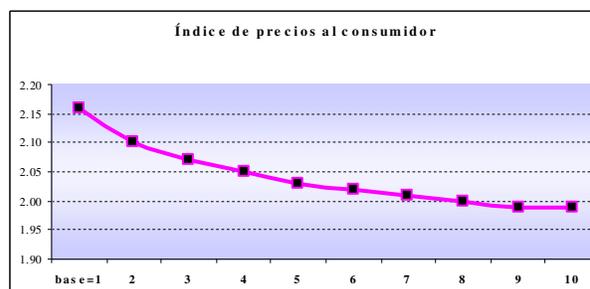
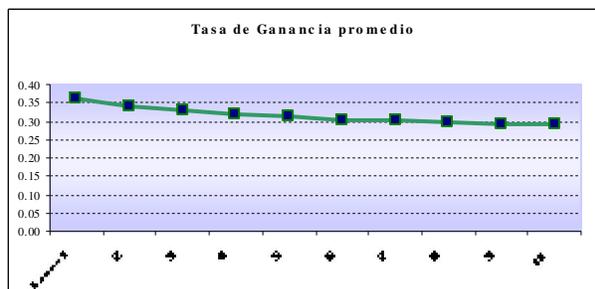
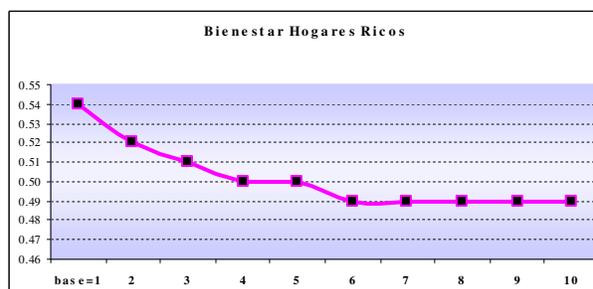
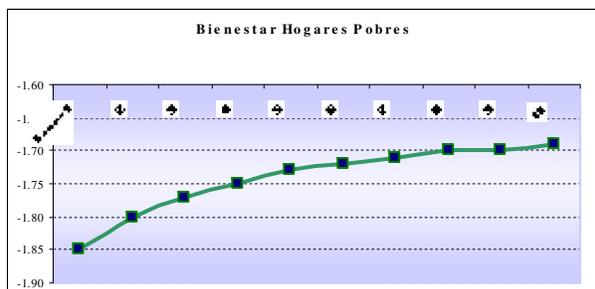
Para la simulación de disminución de impuesto a las exportaciones, se realizó un análisis de sensibilidad a la elasticidad de sustitución correspondiente a la función de utilidad de ambos tipos de hogares. En el Gráfico V-1 se observan los resultados en términos del bienestar de los hogares pobres y ricos.

**Gráfico V-1: Sensibilidad a la elasticidad de sustitución de la función de utilidad**

---

<sup>32</sup> Esta información surge del conjunto de indicadores programados en GAMS que no han sido presentados aquí. Para ver un detalle más amplio de los mismos ver Chisari *et al.* (2009).

<sup>33</sup> Así se utiliza un MEGC, en conjunto con otras metodologías, en Chisari *et al.* (2008) para diagnosticar las restricciones al crecimiento de la Argentina.



Se observa que a medida que aumenta la elasticidad de sustitución el nivel de bienestar aumenta para los pobres, aunque continúan siendo negativos, y disminuye para los ricos. Esta reducción de bienestar de los hogares ricos se origina en la caída de la rentabilidad en el sector servicios como consecuencia de permitir mayor flexibilidad en las decisiones de los hogares y por lo tanto menores niveles de precios.

## VI. Consideraciones finales

El objetivo de esta nota fue el de exponer brevemente las principales características y usos de los MEGC. Este nuevo campo en el área de la economía aplicada ha evolucionado sistemáticamente desde el momento que aparecieron los primeros aportes. Actualmente, la investigación teórica está avanzando hacia modelos más sofisticados y la búsqueda de algoritmos de solución más eficientes, mientras que la investigación aplicada está centrada en mejorar la representación de la economía, especialmente mediante la inclusión de aspectos intertemporales y financieros. En el caso del MEGC de la Argentina, ya se han modelado aspectos financieros y se han incluido mayor cantidad de sectores. Una importante tarea futura será la de perfeccionar los aspectos dinámicos relacionados con la inversión.

En particular, el presente trabajo ha discutido los procedimientos necesarios para construir la base de datos y estimar los parámetros que requiere la implementación de un MEGC. Estos procesos conforman los que se denomina “Calibración,” y son utilizados para inferir valores de parámetros a partir de datos económicos de un periodo determinado.

Para la parametrización de un modelo de equilibrio general computado, los valores de algunos de los parámetros son exógenos, mientras que otros (los parámetros calibrados) son endógenamente determinados para reproducir los datos del *benchmark* como un equilibrio del modelo. Los parámetros exógenamente especificados son típicamente las elasticidades de sustitución en formas funcionales CES, las cuales son establecidas sobre la base de las estimaciones de la

literatura. Se ha mostrado como se procede a estimar los parámetros utilizando funciones Cobb-Douglas y CES.

La información obtenida debe ser estructurada dentro de un esquema que asegure el cumplimiento de ciertos requisitos de consistencia sectoriales y macroeconómicos. Por lo cual resulta clave la construcción de una matriz de contabilidad social. Se han mostrado ejemplos acerca de cómo resolver problemas de consistencia en el armado de la SAM y cómo realizar ajustes cuando es preciso cambiar el período base.

Por último se han mostrado a modo de ejemplo los resultados de simulaciones ejecutadas sobre un modelo simplificado que representa la economía Argentina de 2006.

## Referencias

- Armington, P., 1969. "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production," *International Monetary Fund Staff Papers* XVI, pp. 159-78.
- Arndt, C., S. Robinson y F. Tarp, 2002. "Parameter estimation for a computable general equilibrium model: a maximum entropy approach," *Economic Modeling* 19, pp. 375-398
- Arrow, K y G. Debreu, 1954. "Existence of an equilibrium for a Competitive Economy," *Econometrica* 22, pp. 265-90.
- Bacharach, M., 1970. *Biproportional Matrices and Input-Output Change*, (Cambridge: Cambridge University Press).
- Ballard, C., D. Fullerton, J. Shoven, y J. Whalley, 1985. *A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation*, (Chicago: The University of Chicago Press).
- Bergoeing, R., 1998. "Notas en experimentos computacionales y teoría de equilibrio general aplicada," ILADES, Georgetown University, Teaching Notes D-6, enero.
- Brooke, A. D. Kendrick y A. Meeraus, 2002. *GAMS A user's guide*, GAMS Development Corporation.
- Chisari, O. y C. Romero, 1996. "Incidencia Impositiva y Asignación de Recursos. Un modelo de Equilibrio General Computado para la Argentina," *CEPAL: Serie Política Fiscal* 78, División de Desarrollo Económico.
- Chisari, O., E. Corso, J. Fanelli y C. Romero, 2008. "Growth Diagnostics for Argentina," Inter-American Development Bank, Research Dept., Agosto.
- Chisari, O., C. Romero, G. Ferro, R. Theller, M. Cicowicz, J. Ferraro, M. González, A. Blanco y J. Maquieyra, 2009. *Un modelo de equilibrio general computable para la Argentina*, (Buenos Aires: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).
- Canova, F. 1994. "Statistical Inference in Calibrated Models," *Journal of Applied Econometrics* 9, pp. s123-s144
- Dawkins, C., 1997. "Extended Sensitivity Analysis for Applied General Equilibrium Models," *Revista de Economía del Rosario* 8:2, pp. 85-111.
- Crama, Y., J. Defourny y J. Gazon, 1984. "Structural decomposition of multipliers in input-output or social accounting matrix analysis," *Economie appliquée* 37, pp. 215-222.
- Dawkins, C., T. Srinivasan y J. Whalley, 2001. "Calibration," en J. Heckman y E. Leamer (eds.): *Handbook of Econometrics* Vol. 5 (Amsterdam: North Holland).
- Decaluwe, B. y A. Martens, 1988. "CGE modeling and developing economies: A concise empirical survey of 73 applications to 26 countries," *Journal of Policy Modeling* 10:4, pp. 529-568.
- Defourny, J. y E. Thorbecke, 1984. "Structural Path Analysis and Multiplier Decomposition within a Social Accounting Matrix Framework," *Economic Journal* 94:373, pp. 111-136.
- Dervis, K., J. de Melo y S. Robinson, 1982. *General Equilibrium Models for Development Policy*, (New York: Cambridge University Press)
- Devarajan, S. y S. Robinson, 2005. "The influence of Computable General Equilibrium Models on Policy," en T. Kehoe, T. Srinivasan y J. Whalley (eds.): *Frontiers in Applied General equilibrium Modeling*, (Cambridge, MA: Cambridge University Press)

- Dinwiddy, C. y F. Teal, 1988. *The two-sector general equilibrium model: A new approach*, (Oxford, UK: Phillip Allan)
- Dixon, P., B. Parmenter, J. Sutton y D. Vincent, 1982. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*, (Amsterdam: North-Holland).
- Dixon, P. y M. Rimmer, 2002. *Dynamic General Equilibrium Modelling for Forecasting and Policy*, (Amsterdam: North Holland).
- Donnelly, W., Johnson, K. y Tsigas, M. (2004): "Revised Armington Elasticities of Substitution for the USITC Model and the Concordance for Constructing a Consistent Set for the GTAP Model," Office of Economics Research Note, United States International Trade Commission
- Ferri, J. y E. Uriel, 2000. "Multiplicadores contables y análisis estructural en la matriz de contabilidad social. Una aplicación al caso español," *Investigaciones Económicas XXIV:2*, pp. 419-453.
- Ginsburgh, V. y M. Keyzer, 1997. *The Structure of Applied General Equilibrium Models*, (Cambridge MA: The MIT Press)
- Golan, A., G. Judge y D. Miller, 1996. *Maximum Entropy Econometrics: Robust Estimation with Limited Data*, (New York: John Wiley & Sons)
- Golan, A., G. Judge y S. Robinson, 1994. "Recovering Information from Incomplete or Partial Multisectoral Economic Data," *Review of Economics and Statistics* 76, pp. 541-9.
- Hansen, L. y A. Heckman, 1996. "The Empirical Foundations of Calibration," *Journal of Economic Perspectives* 10:1, pp. 87-104.
- Harberger, A., 1962. "The Incidence of the Corporation Income Tax," *Journal of Political Economy* 70, pp.215-240.
- Harrison, G., R. Jones, C. Kimbell y R. Wigle, 1992. "How Robust is Applied General Equilibrium Analysis?" *Journal of Policy Modeling* 15, pp. 99-115.
- Jaynes, E., 1982. "On the Rationale of Maximum-Entropy Methods," *Proceedings IEEE* 70.
- Johannsen, L., 1960. *A Multi-sectoral Sstudy of Economic Growth*, (Amsterdam: North Holland)
- Jorgenson, D., 1984. "Econometric methods for applied general equilibrium analysis," en H. Scarf y J. Shoven (eds.): *Applied General Equilibrium Analysis* (New York: Cambridge University Press)
- Kraev, E., 2004. "Financial Accounting Matrix and Transaction matrices: A Concise Formalism for Describing Financial Stock Dynamics, CEPA Working Papers, Center for Economic Policy Analysis, New School for Social Research, 2004-6
- Kydland, F. y E. Prescott, 1982. "Time to Build and Aggregate Fluctuations," *Econometrica* 50:6, pp. 1345-70.
- Lifschitz, E., 1992. "Eslabonamientos productivos: enfoque metodológico y presentación de las matrices sectoriales," *Estudios para el diseño de políticas públicas*, V. 9, (Buenos Aires Gobierno Argentino-PNUD-BIRF).
- Löfgren, H., R. Lee-Harris y S. Robinson, 2002. "A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS," *Microcomputers in Policy Research* 5. International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Lora, E., 1993. "Los modelos de Equilibrio General Computable en el Análisis de Incidencia Fiscal," trabajo presentado al VI Seminario Regional de Política Fiscal, CEPAL, Santiago de Chile, Enero.

- Mankiw, N., 1988. "Recent Developments in macroeconomics: A Quick Refresher Course," *Journal of Money, Credit and Banking* 20, pp. 436-458.
- Mantel, R., 1968. "Toward a Constructive Proof of the Existence of Equilibrium in a Competitive Economy," *Yale Economic Essays* 8, pp. 155-196.
- Mansur, A. y J. Whalley, 1984. "Numerical specification of applied general equilibrium models: estimation, calibration and data," en Scarf, H. y Shoven, J. (eds.): *Applied General Equilibrium Analysis* (New York: Cambridge University Press)
- Markusen, J., 2002. "General Equilibrium modeling using GAMS and MPSGE," Universidad de Colorado.
- McDougall, R., 1999. "Entropy Theory and RAS are Friends," GTAP Working Papers 300, Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- McKittrick, R., 1998. "The econometric critique of computable general equilibrium modeling: The role of parameter estimation," *Economic Modelling* 15, pp. 543-573.
- Pagan, A. y J. Shannon, 1987. "Sensitivity Analysis for Linearized Computable General Equilibrium Models," en J. Piggott y J. Whalley (eds.): *New Developments in applied General Equilibrium Analysis*, (Cambridge: Cambridge University Press)
- Paltsev, S. 2004. "Moving from Static to Dynamic General Equilibrium Models (Notes for a Beginner in MPSGE)," MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical Note 4, Cambridge, MA.
- Piggott, J. y J. Whalley, 1981. *UK tax policy and Applied General Equilibrium Analysis*, (Cambridge MA: Cambridge University Press)
- Prescott, E., 1986. "Theory Ahead of Business Cycle Measurement," *Quarterly Review (Federal Reserve Bank of Minneapolis)* Fall, pp. 9-22
- Pyatt, G. y A. Roe y otros, 1977. *Social Accounting for Development Planning with Special Reference to Sri Lanka*, (Cambridge: Cambridge University Press.)
- Pyatt, G. y J. Round, J., 1979. "Accounting and fixed price multipliers in a social accounting matrix framework," *Economic Journal* 89, pp. 850-873
- Pyatt, G. y J. Round, 1985. *Social Accounting Matrices. A Basis for Planning*, (Washington DC, The World Bank).
- Quirk, J. y R. Saposnik, 1972. *Introducción a la teoría del equilibrio general y a la economía del bienestar* (Barcelona: Bosch, Casa Editorial)
- Reinert, K. y D. Roland-Holst, 1997. "Social Accounting Matrices," en J. Francois y K. Reinert (eds.) : *Applied Methods for Trade Policy Analysis: A Handbook*, (Cambridge: Cambridge University Press).
- Robinson, S., 1989. "Multisectoral Models," en H.Chenery y T. Srinivasan (eds.): *Handbook of Development Economics* Vol. 2 (Amsterdam: North Holland).
- Robinson, S., 1990. *The USDA/ERS computable general equilibrium (CGE) model of the United States*, U.S. Dept. of Agriculture, Washington DC
- Robinson, S., A. Cattaneo y M. El-Said, 2001. "Updating and Estimating a Social Accounting Matrix Using Cross Entropy Methods", *Economic Systems Research* 13:1, pp. 47-64.
- Roland-Holst, D. y F. Sancho, 1992. "Relative Income Determination in the United States: A Social Accounting Perspective," *Review of Income and Wealth* 38:3, pp. 311-27

- Roland-Holst, D. y F. Sancho, 1995. "Modeling Prices in a SAM Structure," *Review of Economics and Statistics* 77:2, pp. 361-371
- Round, J., 2003. "Constructing SAMs for Development Policy Analysis: Lessons Learned and Challenges Ahead," Department of Economics, The University of Warwick.
- Rutherford, T., 1999. "Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: An overview of the modeling framework and syntax," *Computational Economics* 14, pp. 1-46.
- Scarf, H. (con T. Hansen), 1973. *The Computation of Economic Equilibria*, (New Haven: Yale University Press).
- Schneider, M. y S. Zenios, 1990. "A Comparative Study of Algorithms for Matrix Balancing," *Operations Research* 38:3, pp. 439-455.
- Shoven, J. y J. Whalley, 1972. "A General Equilibrium Calculation of the Effects of Differential Taxation of Income from Capital in the United States," *Journal of Public Economics* 1, pp. 281- 322.
- Shoven, J. y J. Whalley, 1992. *Applying General Equilibrium*, (New York: Cambridge University Press).
- St-Hilaire, F. y J. Whalley, 1983. "A microconsistent equilibrium data set for Canada for use in regional general equilibrium policy analysis," *Review of Income and Wealth* 29:2, pp. 175-204.
- Thissen, M., 1999. "Financial CGE models Two Decades of Research in Financial CGE. Models," Research Papers, SOM, University of Groningen, June.
- Thurlow, J., 2004. "A Dynamic Computable General Equilibrium (CGE) Model for South Africa: Extending the Static IFPRI Model," Trade and Industrial Policy Strategies (TIPS) Working Paper 1.
- Wing, S., 2004. "Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis," MIT Joint Program on the Science and Policy of global Change, Technical Note N° 6.
- Wigle, R., 1991. "The Pagan-Shannon Approximation: Unconditional Systematic Sensitivity in Minutes," en J. Piggot y J. Whalley (eds.): *Applied General Equilibrium*, (Heidelberg: Physica-Verlag)