



Modelos de Equilibrio General Computable

Cabrera Guerrero, Joaquin Alessandro

¹ Undergraduate Economist, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

joaquin.cabrerag@unmsm.edu.pe

Disponible en: <https://mundo-social.com/>

Resumen

El presente documento tiene la finalidad de introducir a los estudiantes de pregrado de la carrera de Economía en el análisis y construcción de los Modelos de Equilibrio General Computable (MEGC). Para ello, se comenzará definiendo sus fundamentos teóricos según la literatura especializada, seguido de una revisión de su evolución histórica. Posteriormente, se explicará su construcción metodológica y los requerimientos técnicos necesarios para su implementación, tales como la calibración y el cierre del modelo. Finalmente, se presentarán ejemplos aplicados de MEGC para ilustrar su aplicación y diversidad en la simulación económica.

Abstract

This document aims to introduce undergraduate economics students to the analysis and construction of Computable General Equilibrium Models (CGEs). It begins by defining their theoretical foundations based on specialized literature, followed by a review of their historical evolution. Subsequently, their methodological construction and the technical requirements for their implementation, such as calibration and model closure, will be explained. Finally, applied examples of CGEs will be presented to illustrate their application and diversity in economic simulation.

Palabras clave: Equilibrio General, Simulación Económica, Modelos Computables.

Clasificación JEL: CG8, D58, A22.

1. Introducción

Uno de los objetivos centrales del análisis económico es comprender la economía como un sistema interdependiente, en el que las decisiones de producción, consumo y distribución se determinan de manera simultánea y no como procesos aislados. En la práctica, los cambios en precios, impuestos, tecnologías o dotaciones de factores no afectan únicamente a un sector específico, sino que generan ajustes encadenados que se transmiten al resto de mercados. Por ello, el estudio de políticas económicas requiere marcos analíticos capaces de capturar estas interrelaciones y de evaluar efectos directos e indirectos de forma consistente.

Los Modelos de Equilibrio General Computable (MEGC) surgen precisamente como una herramienta diseñada para abordar este problema desde una perspectiva estructural. Un MEGC puede entenderse como la representación cuantitativa de una economía completa mediante un sistema de ecuaciones simultáneas que describe el comportamiento optimizador de sus principales agentes. Los hogares maximizan utilidad sujetos a restricciones presupuestarias, las empresas maximizan beneficios dadas sus tecnologías de producción y el gobierno recauda, transfiere y gasta recursos. Los precios, por su parte, se determinan endógenamente de modo que todos los mercados —de bienes, factores y sector externo— se vacían de manera conjunta.

Desde el punto de vista empírico, estos modelos se calibran utilizando información contable consistente, usualmente proveniente de matrices de contabilidad social o tablas insumo–producto, lo que garantiza coherencia entre flujos de ingreso y gasto. Esta base de datos permite reproducir un equilibrio inicial de la economía y, a partir de allí, simular escenarios contrafactuales, tales como reformas tributarias, cambios arancelarios, shocks tecnológicos o variaciones en precios internacionales. En consecuencia, el MEGC no solo describe la estructura productiva, sino que funciona como un laboratorio numérico para evaluar políticas públicas.

A diferencia de los modelos macroeconómicos tradicionales, que con frecuencia se apoyan en relaciones estadísticas agregadas o en estimaciones de series de tiempo, los MEGC incorporan fundamentos microeconómicos explícitos y restricciones de equilibrio general. Esta característica les permite capturar efectos de segundo y tercer orden —como reasignaciones factoriales, variaciones en precios relativos o cambios en el bienestar— que los enfoques de equilibrio parcial tienden a omitir. En este sentido, trabajos como los de Shoven y Whalley (1984) y Dixon y Jorgenson (2013) muestran cómo este tipo de modelos se ha consolidado como una herramienta estándar para el análisis aplicado de políticas económicas.

En suma, los MEGC constituyen una metodología que combina teoría microeconómica, consistencia contable y simulación computacional para estudiar economías complejas de manera integral. Esta sección introduce sus elementos básicos y su lógica de funcionamiento; la siguiente profundiza en su evolución histórica y en los desarrollos teóricos que dieron origen a este enfoque.

2. Contexto Histórico

Antes de que la computación digital hiciera posible la resolución numérica de sistemas económicos de gran escala, la economía enfrentó un desafío más elemental: demostrar la coherencia lógica del enfoque de equilibrio general. Es decir, antes de calcular resultados cuantitativos, era necesario establecer que el sistema admitía solución. En esta primera etapa, el desarrollo del campo estuvo dominado por preocupaciones estrictamente teóricas y por la formalización matemática del problema.

La contribución fundacional proviene de Walras (1954), quien propuso representar la economía como un sistema de ecuaciones simultáneas en el que precios y cantidades se determinan de manera conjunta y donde el equilibrio corresponde a un vector de precios que vacía todos los mercados. No obstante, el mecanismo de ajuste sugerido —el *tâtonnement*— tenía un carácter principalmente heurístico, por lo que la existencia del equilibrio no quedaba garantizada desde el punto de vista formal.

La demostración rigurosa apareció recién a mediados del siglo XX con el trabajo de Arrow and Debreu (1954), quienes, mediante teoremas de punto fijo, establecieron que bajo supuestos de convexidad y racionalidad existe al menos un equilibrio competitivo. Este resultado consolidó el equilibrio general como una teoría matemáticamente consistente. Sin embargo, las pruebas eran no constructivas: se sabía que el equilibrio existía, pero no cómo calcularlo en una economía concreta, persistiendo así una brecha entre validez teórica y aplicabilidad empírica.

De manera paralela, surgieron aproximaciones orientadas a la medición cuantitativa de las interdependencias productivas. El análisis de insumo–producto desarrollado por Leontief (1941) simplificó el problema al asumir coeficientes técnicos fijos, transformando el sistema en una estructura lineal del tipo $\mathbf{X} = \mathbf{AX} + \mathbf{Y}$. Esta formulación permitió estimar encadenamientos sectoriales con datos observados, aunque al prescindir de precios endógenos y de comportamientos optimizadores su alcance para el análisis de bienestar resultaba limitado. En una línea complementaria, Kantorovich (1939) introdujo la programación lineal y el concepto de precios sombra, enfoque posteriormente operacionalizado por Dantzig (1949) mediante el método Simplex. Estas herramientas acercaron el problema del equilibrio a métodos efectivos de cálculo.

La transición hacia modelos con precios endógenos y solución numérica se consolidó a comienzos de los años sesenta. Johansen (1960) construyó el primer modelo multisectorial aplicado de equilibrio general, calibrado para la economía noruega, resolviendo el problema de la computabilidad mediante la linealización del sistema alrededor de un equilibrio inicial. Poco después, los trabajos de Scarf (1960, 1967) y posteriormente Scarf and Hansen (1973) desarrollaron algoritmos constructivos de punto fijo que garantizaban convergencia para sistemas no lineales, convirtiendo al equilibrio en un objeto efectivamente calculable y ampliando la flexibilidad funcional de los modelos.

A partir de la década de 1970, con el incremento de la capacidad computacional, el campo se diversificó según distintas agendas aplicadas. Una vertiente empleó modelos de equilibrio general para evaluar distorsiones fiscales y comerciales en economías desarrolladas, con énfasis en la medición de pérdidas de eficiencia y variaciones de bienestar (Shoven and Whalley, 1984). Otra línea, orientada a economías en desarrollo, incorporó rigideces estructurales y reglas de cierre macroeconómico más realistas; destacan los aportes de Adelman and Robinson (1978) y la posterior sistematización de Dervis et al. (1982). En paralelo, la escuela australiana desarrolló modelos de gran escala como ORANI y perfeccionó los métodos de linealización y solución computacional (Dixon et al., 1982).

El avance de los modelos estuvo estrechamente ligado a la evolución de las bases de datos. La introducción de la Matriz de Contabilidad Social (SAM) permitió integrar en un único marco coherente los flujos de producción, ingreso y gasto. Los trabajos de Stone and Brown (1962) formalizaron esta estructura contable, mientras que Pyatt and Thorbecke (1976) la adaptaron al análisis del desarrollo. Posteriormente, las aplicaciones basadas en SAM ampliaron el foco

desde la producción hacia la distribución del ingreso y la pobreza, incorporando elementos como el autoconsumo y los márgenes de comercialización (Round, 2003).

Durante las décadas de 1990 y 2000, el énfasis se desplazó hacia la estandarización internacional de datos y herramientas. El proyecto GTAP, coordinado por Hertel (1997), armonizó bases de datos globales y facilitó el análisis consistente de políticas comerciales multilaterales. De forma complementaria, se consolidaron plataformas de solución como GAMS y GEMPACK, cuya comparación y uso extensivo se documenta en Horridge et al. (2013).

En años más recientes, la frontera metodológica se ha extendido hacia modelos dinámicos e intertemporales. La incorporación de estructuras de generaciones solapadas ha permitido analizar envejecimiento poblacional y sostenibilidad fiscal (Auerbach and Kotlikoff, 1987). Asimismo, la integración de microsimulaciones con modelos de equilibrio general ha mejorado la evaluación de impactos distributivos a nivel de hogares individuales (Cockburn et al., 2014). De manera paralela, los modelos se han convertido en herramientas centrales para el análisis del cambio climático, incorporando emisiones y daños ambientales dentro de la estructura productiva (Nordhaus, 2019).

En perspectiva, la evolución de los modelos de equilibrio general computable puede entenderse como un proceso acumulativo en el que cada etapa resolvió una limitación previa: primero la coherencia lógica del sistema, luego la medición empírica de interdependencias productivas, posteriormente el desarrollo de algoritmos de solución y, finalmente, la consolidación de bases de datos y plataformas estandarizadas. El resultado es una metodología que integra teoría microeconómica, consistencia contable y simulación computacional, hoy ampliamente reconocida como herramienta central para el análisis aplicado de políticas económicas (Burfisher, 2021; Dixon and Jorgenson, 2013).

3. Estructura de un MEGC

El presente capítulo describe la estructura interna de un MEGC moderno, enfatizando que su construcción no es un ejercicio meramente computacional, sino un problema de ingeniería económica donde cada decisión (desde la base de datos hasta las reglas de cierre macroeconómico) condiciona la interpretación de los resultados.

3.1. Fundamentos teóricos del equilibrio general aplicado

La teoría del equilibrio general competitivo parte de una economía con n bienes y m factores en la que existe un vector de precios $p \in \mathbb{R}_n^+$ capaz de igualar oferta y demanda agregadas en todos los mercados, de modo que el exceso de demanda sea nulo para cada bien ($Z_i(p) = D_i(p) - S_i(p) = 0$), lo cual quiere decir que la producción que se realiza en cada mercado es la suficiente como para limpiar cada uno de estos sin generar pérdidas de bienestar por ninguno de los dos lados. La Ley de Walras establece que la suma ponderada de estos excesos es siempre nula, lo que vuelve redundante una ecuación y obliga a fijar un numerario. En términos computacionales, esta propiedad exige eliminar o relajar una ecuación para evitar singularidades y asegurar que el sistema tenga solución numérica.

El ajuste hacia ese vector de precios se concibe, en la teoría pura, mediante el subastador walrasiano, quien modifica iterativamente los precios según los excesos de demanda u oferta sin permitir transacciones hasta que todos los mercados se vacíen simultáneamente. En los modelos aplicados, este papel lo cumplen algoritmos de búsqueda de raíces y complementariedad (como Newton-Raphson o PATH) que reproducen el tâtonnement de manera numérica. La existencia formal del equilibrio fue demostrada por Arrow and Debreu (1954) mediante teoremas de punto fijo, bajo supuestos exigentes: consumidores con preferencias racionales, continuas, convexas y monótonas; dotaciones positivas; tecnologías representadas por conjuntos de producción cerrados y convexas, sin rendimientos crecientes ni “almuerzos gratis”; y mercados completos con competencia perfecta e información simétrica.

El paso de este marco abstracto a un modelo operativo requirió técnicas de programación matemática desarrolladas por Kantorovich (1939) y Dantzig (1949), así como algoritmos numéricos de equilibrio general propuestos por Scarf (1967) y Scarf and Hansen (1973). Estos avances hicieron posible que el equilibrio general dejara de ser una construcción puramente analítica para convertirse en una herramienta empírica.

3.2. La base de datos: la Matriz de Contabilidad Social

Todo MEGC parte sobre una representación contable consistente de la economía en un año base: la Matriz de Contabilidad Social (SAM). Siguiendo a Stone and Brown (1962) y Pyatt and Thorbecke (1976), la SAM organiza los flujos circulares de renta en una matriz cuadrada T donde cada celda T_{ij} registra pagos de la cuenta j hacia la cuenta i .

La condición de equilibrio contable exige:

$$\sum_j T_{ij} = \sum_j T_{ji} \quad \forall i. \quad (1)$$

Esta identidad garantiza que todo ingreso tiene un gasto correspondiente y permite interpretar el año base como un equilibrio observado.

Teniendo en cuenta esta idea general de una SAM, es pertinente indicar que las dimensiones y la información que acoge es tal que agrupe toda la información necesaria accesible de la economía que se quiere analizar. Así, para el caso peruano, la desagregación de una cuenta esta limitada en tanto estén publicados los datos por fuentes como el INEI o el BCRP. Los cuales muchas veces no suelen permitir análisis detallados para muchos años como tampoco modelos que posean cuentas separadas según alguna variable no medida en el país.

a. Estructura típica de cuentas

Las SAM están formadas por diferentes cuentas que son tantas y diferentes en tanto el modelo quiera mostrar el efecto que se busqué. No obstante, una forma general de entender las cuentas que se agrupan es a través de la tabla 1, donde se muestran bloques que reflejan las diferentes partes en la economía. Todo parte del bloque de producción, el cual reúne actividades y bienes, donde se registran las compras de insumos intermedios y factores, así como el valor de la oferta doméstica. De allí se genera el valor agregado que se distribuye hacia los factores de producción (trabajo y capital) en forma de remuneraciones primarias. Así conectando la producción con el pago de factores: lo que para las actividades es costo, para los factores constituye ingreso.

Con lo anterior, los factores transfieren posteriormente dichos ingresos a las instituciones (hogares, empresas y gobierno), que deciden su asignación entre consumo, impuestos, transferencias y ahorro. El ahorro acumulado se canaliza hacia la cuenta de capital para financiar la inversión, cerrando la identidad ahorro–inversión, mientras que la cuenta del resto del mundo registra exportaciones, importaciones y flujos externos que garantizan la coherencia de la balanza de pagos.

Table 1: Estructura simplificada de una Matriz de Contabilidad Social (SAM)

	Producción	Factores	Hogares	Empresas	Gobierno	Capital	RM	Total fila
Producción	Z_{ij}	VA	C_h	C_e	G	I	X	Y_i
Factores	0	0	Y_{fh}	Y_{fe}	0	0	0	Y_f
Hogares	0	W_h	0	Tr_{eh}	Tr_{gh}	S_h	Tr_{rh}	Y_h
Empresas	0	W_e	Div	0	T_e	S_e	0	Y_e
Gobierno	T_{ind}	T_f	T_h	T_e	0	S_g	Tr_{rg}	Y_g
Capital (Ahorro–Inv.)	0	0	0	0	0	0	S_{ext}	I
Resto del mundo	M	0	Tr_{hr}	0	Tr_{gr}	0	0	F
Total columna	Y_i	VA	Y_h	Y_e	Y_g	I	F	

b. Balanceo de la SAM

Al momento de recopilar los datos de una economía, debido a la planificación y métodos diferentes en medición, suele suceder que la SAM no cuadre con la condición de equilibrio contable que se planteó en su definición. Por tanto, aparece la necesidad de balancear la matriz para que pueda ser utilizable en el MEGC.

El balanceo de una SAM se plantea formalmente como un problema de optimización sujeto a restricciones contables, dado que los datos provienen de diversas fuentes con diferentes periodos y métodos de recolección (Fofana et al., 2005). Aunque el método RAS ajusta iterativamente los totales de fila y columna mediante factores de escalamiento, distribuye los errores de manera uniforme sin considerar información adicional sobre la confiabilidad de las celdas (Fofana et al., 2005; Lee and Su, 2014).

Métodos basados en teoría de la información, como la minimización de la entropía cruzada, modelan el balanceo como la minimización de la divergencia de Kullback–Leibler entre una matriz a priori y una matriz estimada sujeta a la consistencia contable, permitiendo incorporar restricciones parciales, sub–totales o tratamiento estocástico de totales de control (Robinson and El-Said, 2000; Lemelin, 2009). Estas técnicas han mostrado mejores propiedades en presencia de datos dispersos o inconsistentes, particularmente en economías en desarrollo (Fofana et al., 2005). Véase el caso de entropía cruzada:

$$\min \sum_i \sum_j p_{ij} \ln \left(\frac{p_{ij}}{q_{ij}} \right), \quad (2)$$

siendo esta la técnica que permite incorporar información parcial y manejar matrices dispersas (Round, 2003).

3.3. Especificación microeconómica del modelo

Como se especificó en las bases teóricas del equilibrio general, la lógica interna de un Modelo de Equilibrio General Computable descansa en la hipótesis de que los flujos observados en la Matriz de Contabilidad Social pueden racionalizarse como el resultado de decisiones descentralizadas de agentes optimizadores. En consecuencia, cada bloque del modelo (producción, consumo y comercio exterior) se deriva explícitamente de problemas de maximización o minimización sujetos a restricciones tecnológicas y presupuestarias. Esta microfundamentación viene a ser la condición necesaria para garantizar coherencia teórica, homogeneidad de grado cero en precios y cumplimiento de la Ley de Walras (Arrow and Debreu, 1954; Burfisher, 2021; Dixon and Jorgenson, 2013).

a. Producción

Cada actividad productiva a se modela como una firma competitiva que toma precios como dados y elige insumos para minimizar su costo sujeto a una tecnología $F_a(\cdot)$:

$$\min_{\mathbf{x}_a} \sum_i p_i x_{ia} \quad \text{s.a.} \quad F_a(\mathbf{x}_a) \geq y_a. \quad (3)$$

El problema dual genera la función de costo unitario $c_a(\mathbf{p})$, que determina el precio de equilibrio bajo competencia perfecta:

$$p_a = c_a(\mathbf{p}). \quad (4)$$

Esta formulación dual resulta especialmente conveniente en implementaciones tipo MPSGE, donde las condiciones de beneficio cero sustituyen explícitamente a la función de producción primal (Dixon and Jorgenson, 2013).

Empíricamente, la tecnología se representa mediante funciones CES anidadas. Para un origen simple de capital-trabajo:

$$VA_a = A_a [\delta_a K_a^{-\rho_a} + (1 - \delta_a) L_a^{-\rho_a}]^{-1/\rho_a}, \quad (5)$$

donde $\sigma_a = 1/(1 + \rho_a)$ es la elasticidad de sustitución. Las condiciones de primer orden implican:

$$\frac{K_a}{L_a} = \frac{\delta_a}{1 - \delta_a} \left(\frac{w}{r} \right)^{\sigma_a}. \quad (6)$$

Esta relación muestra que las cuotas factoriales observadas en la SAM pueden utilizarse para calibrar δ_a , mientras que σ_a debe importarse de evidencia econométrica externa. La práctica habitual es emplear estructuras multinivel (insumos intermedios Leontief, valor agregado CES, energía separable, etc.), lo que permite capturar sustituciones tecnológicas realistas sin perder tractabilidad computacional (Burfisher, 2021; Dixon and Jorgenson, 2013).

b. Consumo

Los hogares maximizan utilidad sujeta a una restricción presupuestaria:

$$\max_{\mathbf{c}_h} U_h(\mathbf{c}_h) \quad \text{s.a.} \quad \sum_i p_i c_{ih} = Y_h. \quad (7)$$

Si bien la función Cobb–Douglas es algebraicamente simple, impone elasticidades ingreso unitarias y, por tanto, resulta inconsistente con la Ley de Engel. Por esta razón, los MEGC aplicados utilizan el Sistema Lineal de Gasto (LES), derivado de Stone–Geary:

$$U_h = \sum_i \beta_{ih} \ln(c_{ih} - \gamma_{ih}), \quad (8)$$

que produce demandas marshallianas:

$$c_{ih} = \gamma_{ih} + \beta_{ih} \frac{Y_h - \sum_j p_j \gamma_{jh}}{p_i}. \quad (9)$$

Los parámetros γ_{ih} representan consumo de subsistencia y permiten distinguir bienes necesarios de bienes de lujo. Esta propiedad es crucial cuando el interés analítico recae en pobreza, desigualdad o seguridad alimentaria, donde pequeñas variaciones del ingreso tienen efectos distributivos no lineales (Burfisher, 2021; Cockburn et al., 2014).

En aplicaciones más desagregadas, los MEGC integran microsimulaciones o sistemas de demanda flexibles (CDE, AIDADS) para capturar heterogeneidad entre hogares, conectando el bloque macro con información de encuestas (Cockburn et al., 2014).

c. Comercio internacional

La modelización del comercio constituye una desviación deliberada del marco ricardiano puro. Sin diferenciación de producto, pequeñas variaciones de precios inducirían especialización completa, fenómeno empíricamente implausible en horizontes de política. Para evitarlo, los MEGC adoptan la hipótesis de Armington: los bienes se diferencian por origen geográfico.

La demanda compuesta se define mediante una CES:

$$Q_i = \left[\alpha_i D_i^{-\rho_i} + (1 - \alpha_i) M_i^{-\rho_i} \right]^{-1/\rho_i}, \quad (10)$$

lo que implica la relación:

$$\frac{M_i}{D_i} = \frac{1 - \alpha_i}{\alpha_i} \left(\frac{p_{D_i}}{p_{M_i}} \right)^{\sigma_i}. \quad (11)$$

La elasticidad σ_i controla la sensibilidad de las importaciones a cambios arancelarios o variaciones del tipo de cambio real. Este supuesto genera respuestas comerciales graduales y reproduce mejor la evidencia empírica de sustitución imperfecta (Dervis et al., 1982; Hertel, 1997).

Por el lado de la oferta, los productores asignan su producción entre mercado interno y exportaciones maximizando ingresos sujetos a una función de transformación CET:

$$X_i = [\theta_i E_i^{\rho_i} + (1 - \theta_i) D_i^{\rho_i}]^{1/\rho_i}. \quad (12)$$

Esta especificación captura la rigidez de redirigir ventas entre mercados, reflejando fricciones logísticas, contratos y estándares de calidad.

En conjunto, el bloque Armington–CET introduce dos márgenes de ajuste —sustitución en demanda y transformación en oferta— que permiten estudiar política comercial, acuerdos multilaterales o devaluaciones sin generar especialización extrema, característica central de los modelos globales como GTAP (Hertel, 1997).

d. Consistencia agregada

La combinación de estos tres bloques produce un sistema donde las decisiones individuales generan funciones de oferta y demanda continuas, convexas y compatibles con las condiciones de equilibrio general. Bajo competencia perfecta y retornos constantes, el beneficio cero y el balance presupuestario garantizan que el modelo satisfaga automáticamente la Ley de Walras, propiedad indispensable para la estabilidad numérica del sistema (Arrow and Debreu, 1954; Dixon and Jorgenson, 2013).

3.4. Calibración

A diferencia de la estimación econométrica, la calibración impone que el modelo replique exactamente el equilibrio observado en la SAM. Tras normalizar precios a uno, los parámetros de cuota se obtienen directamente de las participaciones de valor, mientras que los parámetros de escala se calculan residualmente.

Las elasticidades, en cambio, deben provenir de evidencia externa o metaanálisis, lo que introduce una fuente inevitable de incertidumbre (Burfisher, 2021). Por ello es práctica estándar realizar análisis de sensibilidad.

3.5. Cierres macroeconómicos

El modelo requiere reglas adicionales para cerrar el sistema macroeconómico y garantizar que el número de ecuaciones independientes coincida con el número de variables endógenas. En términos prácticos, el cierre define qué agregados se determinan dentro del modelo y cuáles se fijan exógenamente. Esta elección introduce una hipótesis explícita sobre el mecanismo de ajuste dominante y, por tanto, sobre la causalidad macroeconómica de la economía simulada.

Siguiendo a Dervis et al. (1982) y la práctica estándar en modelos aplicados, los cierres se concentran en tres balances: ahorro–inversión, presupuesto público y sector externo. Por ejemplo, puede asumirse que el ahorro financia la inversión (enfoque neoclásico de largo plazo) o, alternativamente, que la inversión está determinada por la demanda y el ahorro se ajusta endógenamente (enfoque keynesiano/Johansen). De forma análoga, el equilibrio externo puede lograrse vía precios relativos (tipo de cambio flexible) o vía cantidades financieras (cuenta corriente endógena con tipo de cambio fijo).

Table 2: Tipología de los cierres macroeconómicos

Tipo de cierre	Variable endógena	Interpretación
Ahorro–inversión	Inversión	Largo plazo neoclásico; el capital se ajusta al ahorro disponible
Inversión–ahorro	Ahorro	Demanda efectiva; el ingreso se ajusta para financiar la inversión
Tipo de cambio flexible	Tipo de cambio	Ajuste externo vía precios relativos
Tipo de cambio fijo	Cuenta corriente	Ajuste vía endeudamiento o flujos de capital

Estas decisiones no son meramente técnicas: condicionan la lectura de los resultados, ya que determinan qué precios o cantidades absorben los choques de política y, en consecuencia, cómo se interpreta el comportamiento agregado del modelo.

3.6. Implementación computacional

La dimensión de los MEGC modernos, que pueden involucrar miles de ecuaciones no lineales, vuelve inviable cualquier solución analítica. En la práctica, el equilibrio se obtiene mediante lenguajes especializados como GAMS o GEMPACK (aunque actualmente es posible de resolver en Python) y algoritmos numéricos iterativos. Más que resolver simplemente un sistema de igualdades ($F(x) = 0$), la especificación contemporánea formula el modelo como un Problema de Complementariedad Mixta (MCP), lo que permite representar condiciones de esquina y cambios de régimen productivo de forma natural (Ferris and Munson, 2000; Rutherford, 1995).

Bajo este enfoque, cada actividad satisface condiciones de ortogonalidad del tipo:

$$F(x) \geq 0 \quad \perp \quad x \geq 0,$$

de modo que una actividad puede operar con beneficio nulo ($F(x) = 0$) o cerrar completamente ($x = 0$). Esta estructura replica de manera directa las condiciones de beneficio cero y vaciado de mercado características del equilibrio competitivo.

La implementación numérica exige, además, precauciones técnicas. Primero, la Ley de Walras introduce una ecuación redundante que vuelve singular al Jacobiano; por ello se elimina un mercado o se incorpora una variable “slack” para restablecer un sistema cuadrado. Segundo, el escalamiento de variables es crucial para evitar problemas de precisión cuando coexisten magnitudes muy dispares. Finalmente, el modelo debe inicializarse cerca del equilibrio base para prevenir indeterminaciones algebraicas (por ejemplo, divisiones por cero o logaritmos no definidos).

Estas decisiones computacionales no son triviales: condicionan la estabilidad del algoritmo y la confiabilidad de los resultados, por lo que forman parte integral de la práctica aplicada del MEGC.

3.7. Validación y consistencia

Siguiendo la dimensión de analizar la implementación computacional, cabe destacarse que, después de ejecutarse el modelo, un mensaje del solver como *Optimal Solution Found* solo certifica consistencia matemática, no validez económica. La práctica aplicada exige pruebas sistemáticas de diagnóstico interno y verificación económica (Dixon and Rimmer, 2013).

En primer lugar, debe comprobarse la homogeneidad nominal del sistema. Dado que el equilibrio general determina únicamente precios relativos, el modelo es homogéneo de grado cero en precios. Por tanto, al modificar el numerario (por ejemplo, el tipo de cambio o el IPC) todos los precios nominales deben escalar proporcionalmente mientras que las cantidades reales permanecen invariantes. Cualquier variación real revela “fugas monetarias” o errores de especificación.

Segundo, la Ley de Walras debe cumplirse numéricamente. Si se utiliza una variable de holgura (*Walras_slack*), su valor posterior a cada simulación debe ser exactamente cero; desviaciones indican inconsistencias contables o pérdidas de recursos dentro de la SAM.

Finalmente, la validación económica requiere contrastes de plausibilidad. La tradición australiana propone cálculos *Back-of-the-Envelope* (BOTE), que reducen el experimento a un modelo linealizado mínimo para anticipar signo y orden de magnitud de los resultados. El MEGC debe replicar esa intuición básica o, en su defecto, el modelador debe identificar explícitamente los canales adicionales que expliquen la divergencia.

Estas comprobaciones transforman al MEGC de una “caja negra” numérica en un instrumento de análisis económico interpretable.

3.8. Limitaciones estructurales

A pesar de su amplia utilización en la evaluación de política pública, los modelos de equilibrio general computable no son representaciones neutrales de la economía, sino construcciones que descansan en supuestos fuertes de agregación y comportamiento. En la práctica, la calibración exige condensar a los agentes en categorías institucionales amplias —hogares, firmas y gobierno— tratadas como agentes representativos. Esta simplificación facilita la coherencia contable con la SAM, pero implica asumir que el comportamiento macroeconómico es una versión escalada de un único optimizador. Como advierte Kirman (1992), dicha equivalencia no está garantizada, por lo que interacciones estratégicas, heterogeneidad, contagios financieros o efectos de red quedan débilmente capturados o directamente excluidos del análisis.

Del mismo modo, la estructura estándar supone competencia perfecta y beneficios económicos nulos, condiciones que ayudan a cerrar el sistema y a interpretar el equilibrio como un estado

estacionario. Sin embargo, cuando se introducen rasgos empíricamente relevantes —economías de escala, rendimientos crecientes o competencia monopolística— la convexidad del problema se pierde y la unicidad del equilibrio deja de estar asegurada. En esos casos, el resultado numérico puede depender del punto inicial y el solver puede converger a soluciones locales alternativas, lo que obliga a interpretar las simulaciones como escenarios plausibles más que como predicciones únicas.

En consecuencia, el tamaño del modelo y la superposición de funciones anidadas convierten al MEGC en un instrumento potencialmente opaco. Sin ejercicios de verificación externa y trazabilidad de mecanismos, el análisis corre el riesgo de transformarse en una “caja negra”. Por ello, las aplicaciones rigurosas complementan las simulaciones con comprobaciones simplificadas y contrastes lógicos que permitan identificar con claridad los canales causales detrás de los resultados cuantitativos.

4. Ejemplos de MEGC

En esta última sección se presenta una recopilación de 60 aplicaciones de MEGC para diferentes economías (tanto para análisis de políticas de un país como por experimento teórico). Sírvase revisarlas y buscar otras aplicaciones de los MEGC según los intereses que usted posea.

Tema o Propósito del MEGC	Autores / Organizaciones	Descripción del Aporte
Documentación de línea base dinámica	Walmsley, T., Dimaranan, B., & McDougall, R. (2000)	Desarrollo de un escenario base para modelos GTAP dinámicos. Economía global.
Liberalización comercial en Jordania	Feraboli (2003)	Análisis de acuerdos preferenciales con la Unión Europea. Economía de Jordania.
Vínculo entre Comercio y Clima	Costantini et al. (2020)	Evaluación de políticas comerciales y ambientales concurrentes. Economía global.
Crecimiento basado en R&D	Diao and Roe (1996)	Experimento usando la Nueva Teoría del Crecimiento. Economía de EE. UU.
Prohibición de exportaciones de carne	Philippidis and Hubbard (2005)	Impacto de restricciones comerciales por motivos sanitarios. Reino Unido y UE.
Área de Libre Comercio de las Américas	Diao and Somwaru (2001)	Evaluación dinámica de la integración hemisférica. América del Norte y del Sur.
Inmigración en Asia Oriental	Phillips (2010)	Análisis de flujos migratorios entre Japón y Corea.
Producción de biocombustibles	Beach et al. (2011)	Evaluación de energías renovables y uso de la tierra. Economía de EE. UU.
Migración internacional y desarrollo	Aguiar and Walmsley (2010)	Modelo dinámico sobre los efectos de la migración. América del Norte.
Impacto económico del SARS	Hsu et al. (2004)	Evaluación ex-post de los daños por pandemia en el PBI. Economía de Taiwán.
Crisis pesquera regional	Mardones (2012)	Modelo regional para medir impactos de la crisis del jurel. Región del Bío Bío, Chile.
Erradicación de cultivos ilícitos	Sierra and Manrique (2007)	Evaluación de alternativas económicas ante la coca. Valle del Cauca, Colombia.
Enfoque Macro-Micro MAMS	Cicowiez (2012)	Actualización del modelo MAMS para metas sociales. Economía de Ecuador.
Incidencia fiscal y pobreza	Lora (1996)	Análisis de incidencia tributaria en el bienestar. Economías en desarrollo (LAC).
Dolarización y política monetaria	Castillo et al. (2009)	DSGE calibrado para efectos de la dolarización. Economía de Perú.
Desarrollo productivo y manufactura	Ministerio de la Producción (PRODUCE) (2024)	Modelo para simular aumentos de productividad. Economía de Perú.
Impacto del empleo en los TLC	CEPAL – Oficina de Bogotá (2005)	Estimación de empleo tras la firma de tratados comerciales. Economía de Colombia.
Relación comercial con China	Afonso et al. (2021)	Evaluación de dependencia vs. beneficio mutuo. América Latina y China.

Continúa en la siguiente página

Tema o Propósito del MEGC	Autores / Organizaciones	Descripción del Aporte
Escasez de agua y macroeconomía	Roson and Damania (2016)	Simulación de impactos por estrés hídrico futuro. Escenarios globales.
Reducción de desperdicio de alimentos	Britz et al. (2019)	Análisis de costos y beneficios de reducir residuos. Economía global.
Impuestos al carbono e informalidad	Timilsina et al. (2021)	Co-beneficios fiscales del impuesto al carbono. Economía de Côte d'Ivoire.
Transición energética en la Eurozona	Coenen et al. (2025)	Efectos de políticas de reducción de emisiones. Área del euro.
Modelo Global LINKAGE	van der Mensbrugghe (2011)	Modelo del Banco Mundial para proyecciones globales.
Modelo MIRAGE	Bchir et al. (2002)	Modelo del CEPII para análisis de comercio internacional.
Modelo PEP multisectorial	Lemelin et al. (2011)	Marco para análisis de políticas de desarrollo en países en desarrollo.
Modelo MONASH de Australia	Dixon and Rimmer (2002)	Modelo dinámico para previsión de políticas económicas.
Modelo G-Cubed	McKibbin and Wilcoxon (1998)	Integración de dinámica financiera y real. Economía global.
Descarbonización en España	Rojas-Romagosa et al. (2022)	Consecuencias fiscales de la transición neta cero. Economía de España.
COVID-19 y sistemas alimentarios	Pauw et al. (2020)	Shocks en producción y pobreza por pandemia. Países en desarrollo.
IMF-ENV integrado	Chateau et al. (2025)	Clima, energía y comercio en un solo marco para 160 países.
GIDD: dinámicas de ingreso global	World Bank (2024)	Modelo macro-micro de largo plazo. Economía global.

References

- Adelman, I. and Robinson, S. (1978). *Income Distribution Policy in Developing Countries: A Case Study of Korea*. Stanford University Press.
- Afonso, D. L., Bastos, S. Q. A., and Perobelli, F. S. (2021). América latina y china: ¿beneficio mutuo o dependencia? *Revista CEPAL*, (135):159–176.
- Aguiar, A. and Walmsley, T. (2010). A dynamic general equilibrium model of international migration. Technical report, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Arrow, K. J. and Debreu, G. (1954). Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*, 22(3):265–290.
- Auerbach, A. J. and Kotlikoff, L. J. (1987). *Dynamic Fiscal Policy*. Cambridge University Press.
- Bchir, M. H., Decreux, Y., Guérin, J.-L., and Jean, S. (2002). MIRAGE: A computable general equilibrium model for trade policy analysis. Technical report, CEPPII.
- Beach, R., Birur, D., Davis, L., and Ross, M. (2011). A dynamic general equilibrium analysis of u.s. biofuels production. Presented at the 14th Annual Conference on Global Economic Analysis, Venice, Italy.
- Britz, W., Dudu, H., Fusacchia, I., Jafari, Y., Roson, R., Salvatici, L., and Sartori, M. (2019). Economy-wide analysis of food waste reductions and related costs. Jrc research report, Joint Research Centre, European Commission.
- Burfisher, M. E. (2021). *Introduction to Computable General Equilibrium Models*. Cambridge University Press, 3 edition.
- Castillo, P., Montoro, C., and Tuesta, V. (2009). Un modelo de equilibrio general con dolarización para la economía peruana. Technical Report Documento de Trabajo 03-2009, Banco Central de Reserva del Perú.
- CEPAL – Oficina de Bogotá (2005). Estimación del impacto sobre el empleo de los tratados de libre comercio en Colombia: análisis de equilibrio general computable. Serie Estudios y Perspectivas.
- Chateau, J., Rojas-Romagosa, H., Thube, S., and van der Mensbrugghe, D. (2025). Imf-env: Integrating climate, energy, and trade policies in a general equilibrium framework. Technical Report Working Paper 2025/077, International Monetary Fund.
- Cicowiez, M. (2012). Modelos de equilibrio general computable: El enfoque macro-micro. Taller y reuniones de trabajo del proyecto de actualización e institucionalización del MAMS-Ecuador.
- Cockburn, J., Savard, L., and Tiberti, L. (2014). Macro-micro models. In Dixon, P. B. and Jorgenson, D. W., editors, *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, volume 1, pages 1645–1718. Elsevier.
- Coenen, G. et al. (2025). Macroeconomic effects of transition policies aimed at reducing carbon emissions in the euro area. ECB Working Paper Series No. 2819.
- Costantini, V., Fusacchia, I., Paglialunga, E., and Salvatici, L. (2020). A dynamic cge GTAP-type model to assess linkages between trade and climate change policies. Paper presented at the 23rd Annual Conference on Global Economic Analysis.
- Dantzig, G. B. (1949). Programming of interdependent activities: Ii mathematical model. *Econometrica*, 17(3/4):200–211.

- Dervis, K., de Melo, J., and Robinson, S. (1982). *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge University Press.
- Diao, X. and Roe, T. (1996). A dynamic cge model of r&d based growth in the u.s. economy: An experiment using the new growth theory. Technical report, International Agricultural Trade Research Consortium.
- Diao, X. and Somwaru, A. (2001). A dynamic evaluation of the effects of a free trade area of the americas. *Journal of Regional Integration*.
- Dixon, P. B. and Jorgenson, D. W., editors (2013). *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, volume 1A and 1B. North-Holland.
- Dixon, P. B., Parmenter, B. R., Sutton, J., and Vincent, D. P. (1982). *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. North-Holland.
- Dixon, P. B. and Rimmer, M. T. (2002). *Dynamic General Equilibrium Modelling for Forecasting and Policy: A Practical Guide and Documentation of MONASH*. North-Holland.
- Dixon, P. B. and Rimmer, M. T. (2013). *Dynamic General Equilibrium Modelling for Forecasting and Policy: A Practical Guide and Documentation of MONASH*. North-Holland.
- Feraboli, O. (2003). A dynamic analysis of jordan's trade liberalisation. Paper presented at the 6th Annual Conference on Global Economic Analysis, The Hague.
- Ferris, M. C. and Munson, T. S. (2000). Complementarity problems in gams and the path solver. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24(2):165–188.
- Fofana, I., Lemelin, A., and Cockburn, J. (2005). Balancing a social accounting matrix: Theory and application. Technical report, Centre Interuniversitaire sur le Risque, les Politiques Economiques et l'Emploi (CIRPEE), Université Laval.
- Hertel, T. W., editor (1997). *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press.
- Horridge, M. J., Meeraus, A., Pearson, K. R., and Rutherford, T. F. (2013). Solution software for computable general equilibrium modeling. In Dixon, P. B. and Jorgenson, D. W., editors, *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, volume 1, pages 1331–1381. North-Holland.
- Hsu, S.-H., Chang, C.-C., Yang, T.-C., Lin, H.-C., and Su, H.-P. (2004). An ex post evaluation of economic impacts of SARS on taiwan using a dynamic computable general equilibrium model. Technical report, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Johansen, L. (1960). *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*. North-Holland.
- Kantorovich, L. V. (1939). *Mathematical Methods of Organizing and Planning Production*. Leningrad State University.
- Kirman, A. P. (1992). Whom or what does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives*, 6(2):117–136.
- Lee, M.-C. and Su, L.-E. (2014). Social accounting matrix balanced based on mathematical optimization method and general algebraic modeling system. Technical Report 8, Journal of Economics, Management and Trade.
- Lemelin, A. (2009). Gpcema: General purpose cross-entropy matrix adjustment. PEP Standard CGE Models documentation.

- Lemelin, A. et al. (2011). PEP-1-t: The PEP standard single-country, recursive dynamic cge model. Technical report, Partnership for Economic Policy.
- Leontief, W. W. (1941). *The Structure of American Economy, 1919–1929*. Harvard University Press.
- Lora, E. (1996). Los modelos de equilibrio general computable en análisis de incidencia fiscal. Technical report, CEPAL.
- Mardones, C. (2012). Elaboración de un modelo de equilibrio general computable regional (CGEREG) con una aplicación para la región del bío bío. Master's thesis, Universidad de Concepción.
- McKibbin, W. J. and Wilcoxon, P. J. (1998). The theoretical and empirical structure of the G-Cubed model. *Economic Modelling*, 16(1):123–148.
- Ministerio de la Producción (PRODUCE) (2024). Modelo económico de equilibrio general computable para simular impactos de políticas de desarrollo productivo. Technical report, Dirección de Estudios Económicos de Mype e Industria, Perú.
- Nordhaus, W. (2019). Climate change: The ultimate challenge for economics. *American Economic Review*, 109(6):1991–2014.
- Pauw, K., Randriamamonjy, J., Sangare, S. A., and Thurlow, J. (2020). Impacts of COVID-19 on production, poverty and food systems.
- Philippidis, G. and Hubbard, L. (2005). Trade restrictions on meat exports: Sanitary measures and their economic impacts. Computable general equilibrium analysis for the United Kingdom and European Union.
- Phillips, K. (2010). A dynamic general equilibrium analysis of japanese and korean immigration. Technical report, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Pyatt, G. and Thorbecke, E. (1976). *Planning Techniques for a Better Future*. International Labour Office.
- Robinson, S. and El-Said, M. (2000). Gams code for estimating a social accounting matrix (sam) using cross entropy methods. TMD Discussion Paper, International Food Policy Research Institute.
- Rojas-Romagosa, H. et al. (2022). The imf-env model: Technical documentation. Technical report, International Monetary Fund.
- Roson, R. and Damania, R. (2016). Simulating the macroeconomic impact of future water scarcity: An assessment of alternative scenarios. Technical report, World Bank.
- Round, J. I. (2003). Social accounting matrices and sam-based multiplier analysis. In Bourguignon, F. and Pereira da Silva, L. A., editors, *The Impact of Economic Policies on Poverty and Income Distribution*, pages 261–276. World Bank and Oxford University Press.
- Rutherford, T. F. (1995). Extension of gams for complementarity problems arising in applied economic analysis. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 19(8):1299–1324.
- Scarf, H. E. (1960). Some examples of global instability of the competitive equilibrium. *International Economic Review*, 1(3):157–172.
- Scarf, H. E. (1967). The approximation of fixed points of a continuous mapping. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 15(5):1328–1343.

- Scarf, H. E. and Hansen, T. (1973). *The Computation of Economic Equilibria*. Yale University Press.
- Shoven, J. B. and Whalley, J. (1984). Applied general-equilibrium models of taxation and international trade: An introduction and survey. *Journal of Economic Literature*, 22(3):1007–1051.
- Sierra, L. and Manrique, H. (2007). Modelo de equilibrio general computable para el valle del cauca. *Ingeniería*, 12(1).
- Stone, R. and Brown, A. (1962). *A Computable Model of Economic Growth*. Chapman and Hall.
- Timilsina, G. R. et al. (2021). Carbon tax in an economy with informality: A computable general equilibrium analysis for côte d’Ivoire. Policy research working paper, World Bank.
- van der Mensbrugghe, D. (2011). The linkage model: Technical documentation. Technical report, World Bank.
- Walras, L. (1954). *Elements of Pure Economics*. Richard D. Irwin. Translated by William Jaffé. Original work published 1874.
- World Bank (2024). Global income distribution dynamics (gidd) model documentation.