



Revista de Economía

ISSN: 0188-266X

lilian.albornoz@uady.mx

Universidad Autónoma de Yucatán

México

Fuentes Flores, Noé Arón; Brugués Rodríguez, Alejandro; González König, Gabriel
SIMULACIÓN DE UN MODELO INSUMO PRODUCTO DINÁMICO: MULTIPLICADORES
DE PRODUCCIÓN PARA COAHUILA

Revista de Economía, vol. 35, núm. 91, julio-diciembre, 2018, pp. 93-117

Universidad Autónoma de Yucatán

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=674070983004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

SIMULACIÓN DE UN MODELO INSUMO PRODUCTO DINÁMICO: MULTIPLICADORES DE PRODUCCIÓN PARA COAHUILA

SIMULATION OF A DYNAMIC INPUT-OUTPUT MODEL: PRODUCTION MULTIPLIERS FOR COAHUILA

Noé Arón Fuentes
EL COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE
afuentes@colef.mx

Alejandro Brugués
EL COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE
abrugues@colef.mx

Gabriel González-König
CONSULTOR INDEPENDIENTE

RESUMEN

El objetivo del texto es simular el modelo insumo producto dinámico adaptado por Johnson (1986) combinando el enfoque insumo producto con la metodología de simulación dinámica de sistemas para el análisis del sistema ecológico-económico. Para la simulación del modelo empleamos el software Stella que permite realizar una programación por objetos muy sencilla, versátil e intuitiva. Como ilustración de la utilidad de la simulación del modelo calculamos los multiplicadores de producción dinámicos para la economía de Coahuila en ciertos años seleccionados entre 2015 y 2035. Las autoridades estatales están interesadas en conocer cómo un conjunto de políticas diseñadas para reducir las emisiones totales de gas efecto invernadero (GEI) afectan el volumen de producción local. Desde el punto de vista de la planeación ambiental local es muy útil saber la magnitud, la composición sectorial y tiempos de ocurrencia de tales impactos de política medioambiental.

Palabras Clave: insumo-producto, sistemas dinámicos, multiplicadores y medio ambiente.

Recepción: 12 de septiembre de 2018
Aceptación: 8 de noviembre de 2018

Revista de Economía - Vol. XXXV - Núm 91
Julio a Diciembre de 2018 - Págs.: 93-117

ABSTRACT

The objective of the text is to simulate the dynamic input output model adapted by Johnson (1986) by combining the input output approach with the methodology of Dynamic Systems for the analysis of Ecological-Economic System. For the simulation of the model we use the software Stella that allows to realize a programming by objects very simple, versatile and intuitive. As an illustration of the usefulness of the model simulation, we calculate the dynamic production multipliers for the economy of Coahuila in certain years selected between 2015 and 2035. The state authorities are interested in knowing how a set of policies designed to reduce total gas emissions Greenhouse Effect (GHG) affect the volume of local production. From the point of view of local environmental planning, it is very useful to know the magnitude, sectorial composition, and times of occurrence of such environmental policy impacts.

Keywords: input-output, systems dynamics, multipliers and environment.

JEL: C67, D57, D58, R150

INTRODUCCIÓN

Al introducir Leontief (1953) el proceso de formación de capital en el modelo insumo producto estático lo transformó en un modelo dinámico. Sin embargo, el problema de la formación de capital es muy complejo y su método de análisis bastante simplificado, por lo que algunos problemas: a) la inexistencia de plena utilización de la capacidad productiva instalada en todos los sectores y en cualquier tiempo; b) la presencia de retrasos en el proceso de inversión sectorial que es muy complicada y depende de factores tecnológicos, psicológicos y sociales y c) la existencia de límites al crecimiento económico sectorial tuvieron que esperar una solución satisfactoria.

Al considerar dichos problemas Johnson (1986) adaptó el modelo intersectorial dinámico incorporando excesos y restricciones de capacidad

instalada, retrasos en la inversión y límites de desinversión en cada sector. Los retrasos resultaron en un modelo en desequilibrio con un número de beneficios. No obstante, el modelo adaptado presentó la dificultad de no poder ser resuelto analíticamente debido a que una solución nueva es requerida cada vez que un sector alcanza una restricción. Como opción se simuló el modelo mediante un complejo algoritmo basado en métodos numéricos escrito en FORTRAN (GASP IV Simulation Language).

El objetivo en este texto es simular el modelo adaptado por Johnson empleando el enfoque de Wheat y Pawluczuk (2014) que integra los métodos de insumo producto (IP) y la dinámica de sistemas (SD) usado en el sistema ecológico-económico (SEE). Además, la simulación se realiza en el software Stella (Isee Dynamics, 2005) que permite una programación por objetos muy sencilla, versátil e intuitiva. En este marco los coeficientes técnicos insumo producto se convierten en dinámicos junto con las relaciones del sistema (Fuentes, Brugués y González, 2015).

Como ilustración de la utilidad de la simulación del modelo adaptado de insumo-producto calculamos los multiplicadores de producción dinámicos de la economía de Coahuila para años seleccionados entre 2015 y 2036. Las autoridades estatales están interesadas en conocer cómo un conjunto de políticas diseñadas para reducir las emisiones totales de gas efecto invernadero (GEI) afectan el volumen de producción local (Fuentes y Brugués, 2016). Desde el punto de vista de la planeación ambiental es muy útil saber la magnitud, la composición sectorial y tiempos de ocurrencia de los impactos de política.

El estudio consta de seis partes. La parte dos explica los conceptos fundamentales del modelo multisectorial dinámico en la versión de Leontief y sus limitaciones. La parte tres expone el modelo intersectorial dinámico transformado por Johnson. La cuatro muestra el modelo en forma gráfica a través de diagramas de las relaciones entre los distintos elementos. En la parte cinco se simulan los impactos dinámicos de un conjunto de políticas para reducir los GEI. Finalmente, se presentan reflexiones en relación con el uso y beneficios del modelo.

2. MODELO INSUMO-PRODUCTO DINÁMICO DE LEONTIEF

Leontief introdujo una versión del modelo de insumo producto dinámico en un artículo publicado en el libro *Dynamic Analysis* (1953), en donde afirma: “A static theory derives the changes in the variables of a given system from the observed changes in the underlying structural relationships: dynamic theory goes further and shows how certain changes in the variables can be explained on the basis of fixed, i.e, invariant, structural characteristics of the system.

Dynamic theory (thus) enables us to derive the empirical law of change of a particular economy from information obtained through the observation of its structural characteristics at one single point of time” (1953: 53).

En su concepción, la manera de agregar la dimensión temporal al modelo intersectorial fue mediante la modelización de la demanda final, es decir, incluyendo en forma explícita el proceso de acumulación de capital. Respecto a la formación de capital, el elemento central fue la incorporación de la teoría de inversión basada en el principio del acelerador; según el cual, la demanda de inversión actual depende de los cambios habidos (o esperados) en la producción. El modelo multisectorial dinámico de Leontief se presenta a continuación:

$$x_t = Ax_t + i_t + y_t \quad (1)$$

$$i_t = B\dot{x}_t \quad (2)$$

$$\dot{x}_t = [B^{-1}(I - A)]x_t - B^{-1}y_t \quad (3)$$

$$x_t = e^{Gt}x_0 + \int_0^t e^{G(t-\tau)} Hy \partial\tau \quad (4)$$

donde, $G = [B^{-1}(I - A)] \quad H = -B^{-1}$

En la ecuación de balance (1), las variables endógenas (x_t) representan la capacidad de producción bruta de los n sectores en la economía en el periodo t expresados por un vector columna de $n \times 1$ y la tasa de inversión para la formación de capital nuevo en la economía según destino en

un vector columna de $n \times 1$. Las variables exógenas (y_t) son las demandas finales de la producción excluyendo la formación de capital en el periodo t representados por un vector de orden $n \times 1$ y (Ax_t) que es la demanda intermedia, donde la matriz A de orden $n \times n$ es la matriz de coeficientes técnicos (invariantes en el tiempo). En la ecuación (2) la tasa de inversión nueva en el periodo t depende del incremento en el producto del periodo anterior, donde B es una matriz diagonal de coeficientes de capital-producto (aceleradores). La ecuación (3) es un sistema de ecuaciones diferenciales de las trayectorias temporales de capacidad productiva bruta de los n sectores y la ecuación (4) es la solución analítica del sistema dinámico que permite proyectar dichos acervos de producción hacia el futuro si se conocen las condiciones iniciales de producción (x_0) y las tasas de crecimiento de la demanda final (G).

El modelo en esta versión presenta tres problemas. En primer lugar, el tener la función de inversión determinada endógenamente no cambia el hecho de partir de una condición de equilibrio estático (ecuación de balance).¹ En segundo lugar, la estructura matemática del modelo tiene algunos problemas al considerar la plena utilización de la capacidad productiva instalada en todos los sectores y el no tomar en cuenta que existen rezagos en las relaciones intersectoriales² —se asume que la producción e inversión varían instantáneamente ante cambios en la demanda final.³ Finalmente, la solución analítica del modelo intersectorial dinámico lleva implícito que el crecimiento que ocurre en el sistema no es reflejo de ningún crecimiento —endógeno o de otra naturaleza—representado, sino es resultado de la inestabilidad intrínseca de la estructura matemática empleada, por lo que su aplicación empírica no puede aportar resultados útiles.

¹ Se considera el modelo dinámico como una simple generalización del estático (Blanc y Ramos, 2002).

² La no existencia de excesos o restricciones de capacidad instalada en sectores, regiones y tiempo es bastante irreal y la estructura de retrasos en el proceso real de inversión es muy complicada y depende de múltiples factores (tecnológicos, psicológicos, sociales, políticos, institucionales, etc.) (Kozikowski, 1988).

³ El supuesto de ajuste instantáneo de la inversión y producción ante cambios en la demanda autónoma genera reacciones dinámicas en el modelo que conduce a proyecciones inaceptables.

3. MODELO INSUMO PRODUCTO DINÁMICO ADAPTADO DE JOHNSON

Leontief reconoció la necesidad de relajar algunos supuestos de su modelo dinámico, como modificar la ecuación de balance (equilibrio estático) por una condición de desequilibrio mediante ajustes en producción en el corto plazo debido a diferencias entre las tasas de producción y consumo.

Adicionalmente, sugirió la incorporación de la teoría de inversión basada en una variante del principio del acelerador; según la cual, la demanda de inversión bruta dependería de los cambios deseados en la capacidad de producción instalada y de la depreciación —que permitirá tomar en cuenta la existencia de rezagos temporales en las relaciones intersectoriales— (Leontief, 1953: 53-54). Johnson (1986) adaptó el modelo multi-sectorial de la forma siguiente:

$$\dot{x}_t = \hat{\varphi}[Ax_t + yr_t + i_t - x_t] = \hat{\varphi}[e_t]$$

$$i_t = B[\dot{x}_t^c + \hat{\delta}x_t^c] \quad (5)$$

$$\dot{x}_t^c = \tilde{K}[x_t^{c*} - x_t^c] \quad (6)$$

$$x_t^{c*} = \alpha + \tilde{\beta}[Ax_t + yr_t + i_t] \quad (7)$$

$$\quad \quad \quad (8)$$

Sujeto a las restricciones:

$$x_t \leq x_t^c \quad (9)$$

$$\dot{x}_t^c \geq -\hat{\delta}x_t^c \quad (10)$$

Las $4 \times n$ variables endógenas son $x_t^c, i_t, x_t^e, y, x_t^{c*}$; las variables exógenas son $A, B, \delta, \phi, y_t, K$ además de las variables y parámetros $\alpha, \beta, X_0, X_0^C$ y t . La condición de balance dinámico (5) incluye un vector que representa la demanda excedente de los sectores por unidad de tiempo $(x_t - A x_t y_t - i_t)$ y puede ser reescrita como un vector de tasas instantáneas del acervo de producción para cada bien por unidad de tiempo (e_t). Esta demanda excedente significa una tasa instantánea adicional de acervo de producción y, en ese sentido, está relacionada al cambio de inventarios.⁴ Sin embargo, no se puede llamar cambio en inventarios. Este ajuste propuesto eliminará la demanda excedente (dando un nuevo equilibrio) en una unidad de tiempo, pero únicamente si dicha demanda excedente y el ajuste de la producción permaneciera invariable a las tasas corrientes. En la práctica, la demanda excedente variará a corto plazo, igual que el ajuste de la producción, dando como resultado una especie de juego de gato del gato (ajuste de la producción) y el ratón (exceso de demanda). Si el proceso es convergente entonces el gato cazará al ratón en el largo plazo.⁵ En esa ecuación $\hat{\phi} < 0$ es una matriz diagonal que representa la relación marginal capital-producto.⁶ La ecuación (6) es la tasa de inversión bruta que se puede desagregar en inversión de reemplazo de capital (depreciación), $B(\hat{d}x_t^e)$ y de nueva inversión (inducida) $B(x_t^e)$, con x_t^e que representa la capacidad instalada de producción. La ecuación (7) considera que el ajuste en la capacidad instalada de producción⁷ x_t^e es a su vez una función de la capacidad deseada de producción $(x_t^{c*} - x_{t-1}^{c*})$, donde \hat{k} es una matriz diagonal de relaciones marginales capital producto (acelerador). La ecuación (8) es la tasa deseada de capacidad instalada de producción $(x_t^{c*} - x_{t-1}^{c*})$, que en

⁴ El movimiento de e_t representa un incremento en la producción y, en este sentido, está relacionado con la tasa de cambio de los inventarios “no planeados.” Sin embargo, no es igual a los inventarios reales que están incluidos en la cuenta de formación bruta de capital, los cuales tienen una relación positiva con el nivel de producción en el equilibrio. En este sentido e_t tiene un valor cero en el equilibrio y únicamente afecta a los inventarios reales cuando el sistema se mueve hacia el equilibrio. (Johnson, et al., 1986).

⁵ Para que las ecuaciones de balance dinámica y estática representen un equilibrio debemos especificar $x = 0$ cuando $e_t = 0$. Por lo tanto, para que la relación sea estable necesitamos que $\partial x / \partial e < 0$. (Johnson, 1986).

⁶ Esta ecuación introduce rezagos temporales del tipo Lundberg. (Burda y Wyolosz, 2005).

⁷ Esta ecuación introduce discontinuidades en el modelo. Es decir, el cambio se dará por brotes finitos en los que no aparece nada o bien ciertas cantidades surgen de golpe. Se puede utilizar la teoría de la discontinuidad.

cualquier punto de tiempo es una función lineal de la tasa de producción en el tiempo, con α que es un vector de intercepto que representa un estado deseable de exceso de capacidad instalada y β es una matriz diagonal de pendientes que representa la proporción deseable de capacidad instalada.

La ecuación (9) asume que hay sectores que están restringidos por el grado de utilización de la capacidad productiva instalada. En la ecuación (10) se asume que la reproducción física de la producción implica que la inversión de nuevo capital debe ser mayor o igual que la depreciación. Así, las ecuaciones (9) y (10) representan límites al crecimiento sectorial.

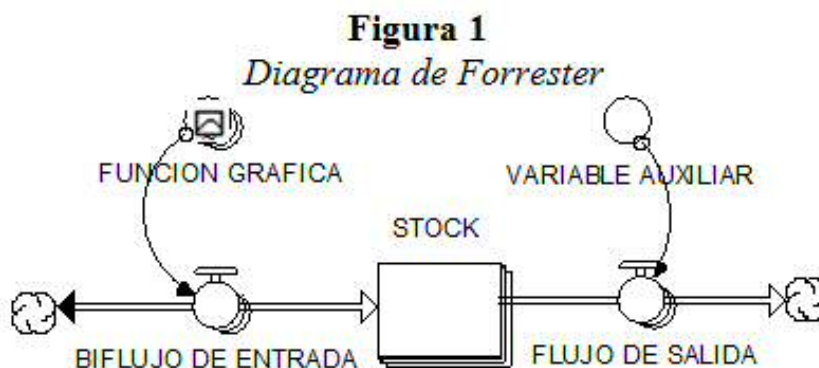
El modelo dinámico adaptado por Johnson incorporó: excesos y restricciones de capacidad instalada, retrasos en la inversión sectorial y límites de desinversión en cada sector. Sin embargo, a pesar de ser más completo desde el punto de vista conceptual presenta una dificultad, se necesita un enorme esfuerzo para resolverlo analíticamente, ya que se requiere una solución nueva cada vez que un sector encuentra una restricción (i.e., en cada fase de cambio). La solución propuesta por el autor consistió en usar métodos numéricos –programado en FORTRAN (GASP IV)- para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales sujeto a las restricciones y simular al modelo a través del tiempo (véase Johnson, 1983).

4. EL MODELO ADAPTADO DE JOHNSON USANDO SIMULACIÓN DINÁMICA

El creciente poder de las computadoras y la gran disponibilidad de programas de simulación para computadora hacen que sea más fácil la simulación del modelo adaptado de Johnson. En nuestro caso, combinamos insumo producto con el enfoque de Simulación Dinámica de Sistemas (SD) para el análisis del Sistema Ecológico-Económico (SEE). En tales sistemas la masa cambia de un estado a otro como una función de la diferencia entre su nivel actual y su nivel de equilibrio; es decir, en el sistema económico, la producción y consumo se mueven hacia el equilibrio a un ritmo que depende de la diferencia entre la demanda y oferta, es decir, como una función del cambio en inventarios no planeados de bienes. Cuando la producción y el consumo son iguales, los inventarios están en equilibrio.

Cuando los inventarios son más grandes al ideal, entonces la producción disminuye e inversamente cuando son menores al ideal (Johnson et al., 2008; Wheat y Pawluczuk, 2014; Fuentes, Brugués y González, 2015; Cordier et al., 2018).

La programación del modelo adoptado por Johnson se realiza en el software Stella que permite realizarla de manera gráfica a través de símbolos. El software utiliza la simbología del diagrama de Forrester (Forrester, 1961), que corresponde a una interpretación hidrodinámica de un sistema. El diagrama conceptual base para la programación se presenta en la figura 1.



Fuente: Cervantes, Chiappa y Simoes (2007)

Las variables de stock o acervo corresponden a las variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Estas acumulan material a través de los canales de material que son controlados por las válvulas. Se representan por un rectángulo.

Las variables de flujo de salida y entrada definen el comportamiento del sistema, ya que determinan la velocidad del flujo de materia (a través de los canales de material) de acuerdo a un conjunto de ecuaciones asociadas. Las ecuaciones dependen de la información que las válvulas reciben del sistema (niveles, variables auxiliares y parámetros) y del entorno (variables exógenas). Se representan como una válvula.

Las variables de bi-flujo de salida y entrada son tasas que pueden tomar valores positivos y negativos. Se representan a través de un canal de material de doble flecha.

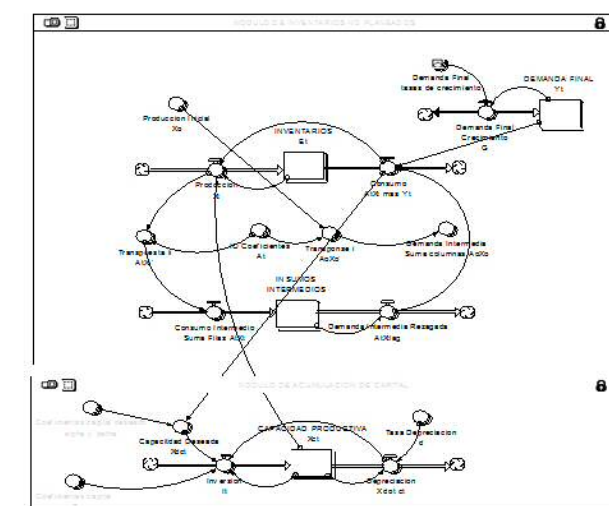
Las variables auxiliares corresponden a pasos intermedios en el cálculo de las funciones asociadas a las válvulas; se utilizan para simplificar el proceso, debido a que ciertos cálculos matemáticos se emplean en varias ecuaciones. Se representan por un círculo (cuando son matrices por un círculo sombreado) y están conectadas por flechas.

La variable función gráfica despliega una caja de diálogo que permite definir valores en forma gráfica. Se representa con un círculo y una gráfica en su interior.

Las nubes representan fuentes y sumideros, es decir, una no determinada (infinita) cantidad de material, y las constantes (parámetros) representan valores fijos del sistema.

La programación del modelo adaptado de Johnson se presenta en la figura 2. Se exhiben dos módulos “inventarios no planeados” y “acumulación de capital”, que representan las relaciones e interconexiones del modelo. Todas las variables en forma matricial fueron capturadas en Stella.

Figura 2
Programación del modelo multisectorial dinámico adaptado por Johnson



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2, parte superior, presentamos el módulo “inventarios no planeados”, en el que se observa que las tasas de producción y consumo están vinculadas dinámicamente a través de cambios en inventarios de bienes en una economía que no está en equilibrio⁸; por lo que un aumento en el consumo reduce los inventarios pero induce una respuesta de producción igual al nuevo consumo, más la disminución en los inventarios no planeados.⁹ Para permitir límites a la capacidad instalada de producción sectorial, la producción sectorial es el mínimo de los requisitos de consumo (incluida la reposición de inventarios) y la capacidad productiva de cada sector. El rectángulo denominado inventarios describe la relación dinámica.

También en ese módulo vemos que los ajustes en la producción generan un flujo de consumos intermedios que corresponden a los insumos intermedios usados en el proceso de elaboración de nuevos bienes, esto implica que los coeficientes técnicos dentro del modelo multisectorial deberán convertirse en dinámicos junto con las relaciones del sistema. El consumo intermedio es definido como la suma de cada fila de la matriz de coeficientes de insumo producto multiplicado por la producción sectorial.¹⁰ Además, suponemos que los requerimientos de insumos no responden instantáneamente a cambios en la producción sino responden con retrasos. Los círculos representan la definición del consumo intermedio y el rectángulo titulado insumos intermedios describe la forma de reacción temporal de los mismos.

En la figura 2, parte inferior, presentamos el módulo “acumulación de capital” en el que asumimos que los excesos de producción sobre los requerimientos de insumos intermedios se reinvierten. Aquí se determinan

⁸Nótese que la tasa de variación de la producción está determinada por la tasa de producción, que requiere un sistema diferencial de segundo orden para resolver el modelo. Luego, aquí tratamos a la tasa de variación de la producción como un acervo (producción anual) que se relaciona con un flujo, la tasa en la producción (Johnson, et al, 2008).

⁹Igual que en el modelo usado en el proyecto TOP-MARD suponemos que los inventarios deseados son iguales a $1.0 \times \text{consumo}$, lo que significa que un aumento en el consumo induce una respuesta de la producción de $2.0 \times \text{consumo}$ hasta que los inventarios se recuperen y luego alcanzar el nuevo nivel deseado. Por lo tanto, la respuesta dinámica es $2.0 \times \text{consumo}$ menos los inventarios (Johnson, et al, 2008).

¹⁰ En la tabla de transacciones, en las filas, figuran las ventas que los sectores realizan tanto para el consumo intermedio como para la demanda final (Ángeles, 1991).

los niveles de inversión endógena y la capacidad productiva instalada sectorial. Los sectores tendrán una capacidad productiva instalada deseada que se compararán con la capacidad productiva instalada real. La capacidad deseada es proporcional al nivel de consumo esperado que, a su vez, está relacionado con la corriente demanda intermedia y final. La capacidad productiva se mide en unidades monetarias de producción posibles en lugar de en valor de inversión. La capacidad aumenta con más inversión pero disminuye con la depreciación.¹¹ La tasa de la producción está limitada por la capacidad productiva instalada del sector. En conjunto, estas relaciones crean una serie de rezagos entre los cambios en la demanda intermedia y final, los cambios en la capacidad productiva y los límites al crecimiento sectorial.

Por último, la solución del sistema requiere que se conozca la producción sectorial inicial, la matriz de coeficientes técnicos inicial, la demanda final autónoma inicial y las tasas de crecimiento de la misma (que se representa como un bi-flujo ya que las tasas pueden ser positivas o negativas). En cuanto a las tasas de crecimiento de la demanda final autónoma se requiere una diferenciación sectorial para que existan comportamientos distintos en periodos largos (que se representan como una función gráfica).¹² El gasto de gobierno será el componente que aumentará la demanda final autónoma. El rectángulo llamado demanda final describe esta relación dinámica.

La simulación del modelo dinámico adaptado por Johnson consiste en un conjunto de trayectorias temporales de los acervos de producción de los n sectores que permiten proyectar tales acervos hacia el futuro, tomando en cuenta no solo el crecimiento de la demanda final autónoma sino también la formación endógena de capital, indispensable para hacer posible dicho crecimiento, las restricciones de capacidad productiva instalada y los límites de desinversión sectorial. El comportamiento de las

¹¹ Es importante establecer que no es necesario ingresar los valores iniciales porque el modelo calcula automáticamente los valores de equilibrio cercano a la capacidad productiva inicial en cada sector.

¹² En la vida real, los diversos componentes del vector de demanda final no crecen al mismo ritmo, por lo que, a plazos más largos, sin embargo, el efecto será considerable. (Kozikowski, 1988).

trayectorias temporales es resultado de la aplicación del principio de aceleración en el modelo y de suponer que la producción e inversión varían no instantáneamente con cambios en la demanda final autónoma. Estos mecanismos más flexibles tienen que generar trayectorias factibles en periodos relativamente largos.

5. MULTIPLICADORES DE PRODUCCIÓN DINÁMICOS DE COAHUILA

El modelo multisectorial dinámico adaptado por Johnson puede clasificarse por su ámbito de aplicación como nacional o sub-nacional (i.e., regional o estatal). La respuesta del ámbito más apropiado de aplicación es el sub-nacional según los supuestos del modelo de insumo producto y los temas que son más frecuentemente discutidos a ese nivel territorial. En concreto, por un lado, podemos resaltar algunos supuestos del modelo multisectorial a nivel sub-nacional: primero, el principal determinante de la actividad productiva es el nivel de demanda final autónoma (gasto de los hogares, gobierno o exportaciones). Segundo, los precios, salarios y tasas de interés se determinan exógenamente. Tercero, es más probable la existencia de restricciones de capacidad instalada de producción y de oferta de trabajo.

Por el otro lado, a este nivel territorial son frecuentes las preguntas como: ¿cuál será el efecto en la producción si se incrementa el gasto de gobierno? ¿cuáles son los sectores clave de la economía? ¿cómo cambia el volumen de producción interna si realizamos cierto conjunto de políticas? y ¿cuáles serán los efectos multiplicadores de una nueva política en el corto y mediano plazo?

En relación con las últimas preguntas, las dependencias gubernamentales y las agencias oficiales de planeación a nivel estatal están siempre interesadas en rastrear temporalmente los efectos de la instrumentación de políticas públicas en la producción de la economía local. A manera de ilustración usamos la tabla de transacciones domésticas regionales del estado

¹³ El periodo de tiempo corresponde al establecido en el Plan estatal de acción climática de Coahuila.

de Coahuila desagregada a 21 sectores para el año 2008 y calculamos los multiplicadores de producción dinámicos para años seleccionados en el periodo de 2015 a 2035 (Fuentes y Brugués, 2016: 17)¹³. Lo anterior debido al interés de conocer cuáles serían los impactos de un conjunto de políticas de reducción de emisiones totales de GEI sobre el volumen de producción interna en el tiempo.

Mientras que el Plan estatal de acción climática de Coahuila (PEC-CO) no es el centro de nuestro análisis, baste decir que en 2016 el estado de Coahuila llevó a cabo la fase 2 del PECCO, donde se evaluaron los impactos macroeconómicos (o efectos regionales indirectos) de 17 políticas de atenuación de GEI y se seleccionaron cinco políticas clave de absorción o captura de GEI. Para ello se calcularon dos indicadores principales: la reducción neta de emisiones de GEI (medida en \$/MtCO₂e eliminadas) y los impactos en el volumen de producción interna (medido por el valor presente neto, VPN) (Fuentes y Brugués, 2016).

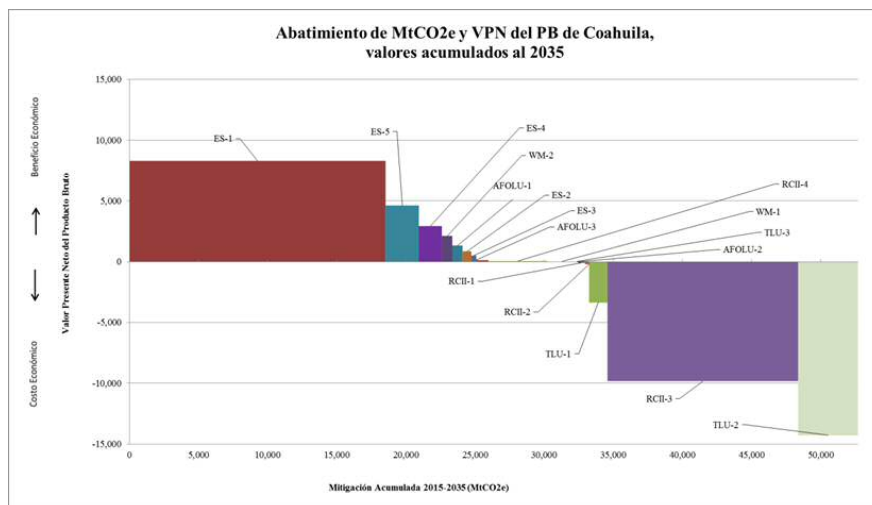
Para la priorización de las opciones de políticas de abatimiento de GEI se usó la curva de abatimiento convencional que se presenta en la gráfica 1.¹⁴ En ella se proporciona una visión global de las políticas de mitigación de GEI, así como de sus impactos ambientales y económicos, en el eje horizontal se tiene el potencial de abatimiento, por lo que una barra más ancha que la otra representa mayores niveles de CO₂e abatidos.

La altura expresa el VPN de la producción, y de izquierda a derecha se han ordenado los resultados de las políticas de mayor a menor impacto en la economía.¹⁵

¹⁴ Es importante aclarar que las curvas de abatimiento permiten priorizar las políticas seleccionadas en cuanto al logro de los objetivos que se buscan con la política y asociar los mismos con el costo que, en este caso, tendría su instrumentación PECCO (Fuentes y Brugués, 2016).

¹⁵ El impacto de política es la diferencia entre el escenario base y el escenario con la política de mitigación. Además, sin cambio tecnológico y bajo dos suposiciones que no hay cambios en la demanda final ni en sus componentes en el periodo de 2008 a 2035. La opción de política de mitigación implica un cambio en la demanda final a partir del año 2015.

Gráfica 1. Abatimiento de TgCO₂e y VPB del PEB de las políticas seleccionadas (valores acumulados al año 2035)



Notas: Para el análisis de las políticas públicas de reducción de GEI a la atmosfera, se creó un ordenamiento de ellas a partir de la clasificación nacional de generación de GEI. Estas son: suministro de energía (SE), residencial, comercial e industrial (RCI y RCII); transporte (TLU), agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU) y administración de residuos (WM). Las políticas evaluadas son: producción de electricidad mediante tecnologías de aprovechamiento de energías renovables (paneles fotovoltaicos, generadores eólicos) en estaciones centrales (ES-1), generación de electricidad in-situ con paneles fotovoltaicos en inmuebles residenciales (ES-2), generación de electricidad in-situ con paneles fotovoltaicos en edificios públicos (ES-3), generación de electricidad in-situ con paneles fotovoltaicos en inmuebles comerciales (ES-4), co-generación de electricidad en la industria (ES-5), incrementar eficiencia energética en construcciones nuevas o existentes (RCII-1), aumentar eficiencia energética en construcciones nuevas –equipamiento– (RCII-2), incrementar eficiencia energética en construcciones existentes, excepto el sector industrial (RCII-3), estimular la eficiencia energética en el sector industrial mediante equipamiento eficiente y mejores procesos industriales (RCII-4), índice de densidad urbano (TLU-1), movilidad urbana de pasajeros sustentable (TLU-2), flota del gobierno energéticamente sustentable (TLU-3), gestión de estiércol del ganado lechero (AFLOU-1), incremento y mantenimiento de vegetación urbana (AFLOU-2), aumento y conservación de vegetación en áreas rurales (AFLOU-3), utilización de metano de rellenos sanitarios (WM-1) y saneamiento y regeneración de agua en procesos industriales e irrigación (WM-2). Fuente: PECC CO, 2017.

A partir de los resultados de la gráfica se puede concluir que las cinco políticas clave son: ES-1, ES-5, RCII-3, TLU-2 y AFLOU-2. También, podemos inferir que todas las políticas de mitigación de GEI tienen un impacto en la reducción los GEI y no todas tienen un impacto positivo en el volumen de producción en Coahuila.¹⁶ Pero, la gráfica no dice cuáles serán las magnitudes, ni su composición sectorial, ni tampoco las trayectorias de los multiplicadores de la producción.

Es importante advertir sobre el anterior conjunto de políticas clave de mitigación de GEI que, en algunos casos, estas tienen un impacto directo sobre el proceso productivo sectorial e implican un cambio en la producción sectorial, lo que puede tener efectos transmisores fuertes o débiles hacia atrás o hacia adelante en la economía; pero, en otros casos, solo tienen un impacto indirecto sobre el proceso productivo sectorial.¹⁷ De aquí que debamos extender la evaluación de los efectos regionales indirectos incorporando un análisis de multiplicadores de producción dinámicos para trazar las cadenas sectoriales de impactos a lo largo del tiempo.

Específicamente, el multiplicador de producción indica cuáles serán los requisitos de producción necesarios para satisfacer cualquier aumento en la demanda final autónoma debido a la política de determinado sector.

Como ejemplo ilustrativo, en el cuadro 1 se presentan los efectos multiplicadores correspondientes al tipo I del modelo insumo producto estático y los dinámicos de la política ES-1 del modelo dinámico de insumo producto.¹⁸ En el cuadro 1 notamos que el multiplicador de producción tipo I (promedio) es 1.1124, el cual es considerablemente menor que su contraparte dinámico (en promedio) de 1.3089, y en general son mayores

¹⁶ De acuerdo con el PECCO la valuación microeconómica provee los diversos costos y beneficios directos sectoriales derivados de la instrumentación de las políticas de mitigación de los GEI. Luego, la estimación del impacto macroeconómico muestra los costos y beneficios directos e indirectos derivados de la variación en la demanda final sectorial incurridos para garantizar las metas de reducción de GEI de cada política -efectos multiplicadores dinámicos- (Fuentes y Brugués, 2016).

¹⁷ Es importante aclarar que AFLOU-2 no cumple con estos requisitos. Sin embargo, con fines de diversificación de las políticas de mitigación de GEI se incluyó como clave ((Fuentes y Brugués, 2016).

¹⁸ Por cuestiones de espacio no es posible presentar los cuadros completos de los multiplicadores para cada política. Los cuadros están disponibles a solicitud expresa a los autores.

para todos los sectores de actividad productiva debido a la proporción de insumos intermedios utilizados en su producción y al efecto acelerador del incremento en la demanda final.¹⁹

Cuadro 1. Multiplicadores estáticos y dinámicos de insumo producto de Coahuila

	<i>Multiplicadores</i>					
	<i>Estático*</i>	<i>Dinámicos (política ES-1)**</i>				
	<i>_/</i>	<i>_/</i>				
	Tipo I	2015	2020	2025	2030	2035
Sector primario	1.1124	1.1124	1.1864	1.1950	1.1812	1.1803
Extracción de petróleo y gas	1.0024	1.0024	1.0015	1.0015	1.0015	1.0015
Aprovechamiento forestal y minería metálica y no metálica	1.1206	1.1206	1.1280	1.1456	1.1345	1.1313
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	1.1538	1.1538	1.1881	1.2009	1.1807	1.1799
Suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	1.0199	1.0199	1.0006	1.0006	1.0006	1.0006
Construcción	1.1995	1.1995	1.0696	1.1003	1.0889	1.0452
Industria alimentaria, bebidas y tabaco	1.1245	1.1245	1.2422	1.2442	1.2417	1.2416
Industria textil y cuero	1.0437	1.0437	1.0321	1.0324	1.0319	1.0319
Industria de la madera y el papel	1.1257	1.1257	1.0928	1.0931	1.0927	1.0926
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	1.0001	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Industria química y minerales no metálicos	1.0691	1.0691	1.0919	1.0941	1.0927	1.0926
Industria metálica básica	1.7141	1.7141	4.9907	5.2592	5.1348	5.1384
Industria de maquinaria y equipo	1.2598	1.2598	2.0041	2.0310	2.0132	2.0126
Otras industrias manufactureras	1.0586	1.0586	1.0085	1.0086	1.0085	1.0085
Comercio	1.0630	1.0630	1.1115	1.1147	1.1095	1.1093
Transporte aéreo	1.0260	1.0260	1.0029	1.0029	1.0029	1.0029
Transporte terrestre	1.0491	1.0491	1.0473	1.0489	1.0462	1.0460
Transporte por agua	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Anexos del transporte	1.0147	1.0147	1.0008	1.0008	1.0008	1.0008
Servicios comerciales	1.0333	1.0333	1.1072	1.1084	1.1065	1.1064
Servicios no comerciales	1.0480	1.0480	1.1803	1.1904	1.1712	1.1705
Promedio	1.1124	1.1124	1.3089	1.3273	1.3162	1.3139

Fuente: Estimación propia a partir de datos de PECCO 2017. *_/ MIP Coahuila (2008) y **_/ MIP Coahuila dinámica (2015-2035). La división de las ramas corresponde a ramas productivas clave y altamente generadoras de GEI.

En el cuadro 1 se observa que el multiplicador estático es el mismo (al promedio y por sector) que el multiplicador dinámico de impacto del año 2015 (periodo base de la política) debido a la relación de retrasos entre las variables. También se observa que el multiplicador dinámico decrece cuando el número de periodos se incrementa, siendo el multiplicador dinámico de impacto del segundo periodo el mayor debido a la estructura de retrasos.

¹⁹ El multiplicador de producción tipo I se calcula mediante el modelo insumo producto abierto que excluye los vectores de ingresos y consumo y los de ingreso y empleo tipo II se calculan mediante el modelo cerrado que incluye los anteriores vectores dentro de la matriz de transacciones. (Ángeles, 1991).

Del cuadro 1 se deduce, a partir de los multiplicadores estáticos, la identificación de sectores considerados como económicamente clave y altos emisores de GEI de Coahuila. En la intersección de estos dos conjuntos (claves y emisores) existen tres grupos de sectores. El primero, con fuertes encadenamientos y emisiones de GEI: generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, industria metálica básica, extracción de petróleo y gas, construcción y fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón. El segundo, con medianos encadenamientos y altas emisiones de GEI: aprovechamiento forestal y minería metálica y no metálica y sector primario. El tercer grupo, con débiles encadenamientos y altas emisiones de GEI asociadas al transporte: aéreo, terrestre y anexos del transporte.²⁰

Año	Con política (ES-1)				Con política (RCiI-3)			
	Volumen de producción (millones de pesos)		Δ Producción debida a política	Multiplicador promedio	Volumen de producción (millones de pesos)		Δ Producción debida a política	Multiplicador promedio
	Base	Predicción			Base	Predicción		
2008	433,226	433,226	--	1.1124	433,226	433,226	--	1.1124
2015	446,220	446,890	670	1.1124	446,220	445,680	-540	1.1124
2020	446,308	447,439	1,131	1.3082	446,308	445,562	-746	1.3263
2025	447,785	449,017	1,232	1.3173	447,785	446,318	-1,467	1.3334
2030	446,492	448,677	2,185	1.3162	446,492	444,385	-2,107	1.3365
2035	446,155	448,332	2,177	1.3139	446,155	443,766	-2,389	1.3336

Año	Con política (ES-5)				Con política (TLU-2)			
	Volumen de producción (millones de pesos)		Δ Producción debida a política	Multiplicador promedio	Volumen de producción (millones de pesos)		Δ Producción debida a política	Multiplicador promedio
	Base	Predicción			Base	Predicción		
2008	433,226	433,226	--	1.1124	433,226	433,226	--	1.1124
2015	446,220	446,377	157	1.1124	446,220	444,789	-1,431	1.1124
2020	446,308	446,643	335	1.3244	446,308	444,865	-1,443	1.3235
2025	447,785	448,237	452	1.3338	447,785	445,645	-2,140	1.3269
2030	446,492	447,072	580	1.3313	446,492	444,373	-2,119	1.3256
2035	446,155	446,273	118	1.3302	446,155	445,769	-386	1.3074

Año	Con política (AFLOU-2)			
	Volumen de producción (millones de pesos)		Δ Producción debida a política	Multiplicador promedio
	Base	Predicción		
2008	433,226	433,226	--	1.1124
2015	446,220	446,135	-85	1.1124
2020	446,308	446,261	-47	1.1239
2025	447,785	447,749	-36	1.1247
2030	446,492	446,400	-92	1.1249
2035	446,155	446,155	-55	1.2233

20 La clasificación de las ramas corresponde a ramas productivas clave y altamente generadoras de GEI. Para identificar las ramas económicas clave se calcularon los coeficientes de Rasmussen (1956) a la matriz insumo-producto de México de 2008 (INEGI, 2011) y para las emisiones más altas de GEI se utilizaron dos indicadores: primero se estimaron los niveles absolutos de emisión por rama económica tomando como base el Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero del Instituto Nacional de Ecología (INE) (2008), acoplado la clasificación de actividades del panel intergubernamental del cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) que se usa en el inventario con la del Sistema de clasificación industrial de América del Norte, que usa la matriz de insumo-producto de México (Nápoles, 2014).

De esta manera, el modelo adoptado por Johnson nos proporciona mucha información sobre el impacto temporal del conjunto de políticas de mitigación de GEI. En el cuadro 2 se presenta la información sobre los multiplicadores de producción dinámicos de Coahuila.

La política ES-1 tiene como objetivo reducir la dependencia de combustibles fósiles con alto contenido de CO₂ en la generación de electricidad, promueve la instalación de plantas de energía que utilizan fuentes de energía renovables, específicamente viento y sol, que ayuda a reducir las emisiones de GEI por megavatio generado, situándose el impulso en los sectores construcción y minería. Esta estrategia es consistente con los recursos del estado, ya que Coahuila recibe un alto nivel de radiación solar (2.9 a 6.7 kwh/m²) con alto potencial de conversión de energía.

La magnitud del multiplicador de producción está positivamente correlacionada con la cantidad de insumos intermedios usados en el producto total y el efecto acelerador, en este caso es 1.3139 (promedio). La composición sectorial de los impactos recae en construcción y minería que tienen altos efectos transmisores directos hacia atrás. La distribución para años seleccionados de los impactos calculados como el porcentaje del multiplicador dinámico relativo al estático es 17.60 para el primer periodo, 18.42 para el segundo, 18.32 para el tercero y 18.11 para el cuarto periodo. Es importante notar que la magnitud y tasa de convergencia de los multiplicadores están relacionadas con la razón capital producto de los sectores impactados.

La política ES-5 pretende la promoción de sistemas eficientes de cogeneración de electricidad industrial según la estructura productiva del estado, donde el impulso para la cogeneración —cuando el calor y la electricidad son insumos esenciales en la producción— se centra el estímulo a los sectores: industria del cemento, industria metálica básica (metalurgia) y minería. El modo de cogeneración de electricidad industrial representa una opción viable para contribuir a la sostenibilidad energética al aumentar la eficiencia energética y económica de la empresa.

El tamaño del multiplicador de producción es 1.3300 (promedio) debido a que es mayor la proporción de insumos intermedios usados cuando

se incrementa la producción. De la composición sectorial de los impactos resalta la industria metálica básica y minería, que tienen multiplicadores con altos efectos transmisores hacia atrás. El patrón temporal de distribución porcentual de los multiplicadores de producción es: 19.06, 19.90, 19.68 y 19.58. La baja convergencia se puede explicar por la alta razón capital producto de los sectores impactados.

La política RCII-3 está orientada a satisfacer las necesidades energéticas de los edificios existentes en los sectores residencial, comercial e institucional, al reemplazar las tecnologías de alto consumo de energía (electricidad y gas) por otras más eficientes –la contracción se ubica en el sector generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, construcción e industria manufacturera. En particular, la política pretende reemplazar electrodomésticos, iluminación, calentadores de agua solares, calentadores de agua de flujo, etc.

El tamaño del multiplicador de producción por la combinación de intensidad de uso y efecto acelerador es 1.3325 (promedio). La composición sectorial que resalta es: generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y construcción con importantes encadenamientos hacia atrás y hacia adelante. En general, el impacto negativo será grande debido a la mayor caída proporcional del consumo de insumos intermedios cuando disminuye la producción de estos sectores. La distribución porcentual de los multiplicadores de producción para los años seleccionados es: 19.23, 20.15, 19.95 y 19.88, respectivamente. El sector generación, transmisión y distribución de energía eléctrica tiene la más alta razón capital producto en la economía estatal.

La política TLU-2 tiene el fin de reestructurar la demanda de los diversos modos de transporte, es decir, reducir el porcentaje de uso privado de automóviles de pasajeros y aumentar la participación relativa en el uso del transporte público masivo, andar en bicicleta y caminar – la contracción se enfoca en el sector transporte (terrestre y aéreo) y construcción (infraestructura). Coahuila busca diseñar e instrumentar una política de movilidad sostenible para ciudades de 500,000 habitantes o más, que apunten a promover proyectos claves de transporte que muestren reducción del

tiempo de viaje en tránsito, rentabilidad socioeconómica e impacto ambiental mejorado. La magnitud del multiplicador de producción es 1.3209 (promedio) debido al alto consumo de insumos intermedios en el proceso productivo y al efecto acelerador. De la composición sectorial se destacan los importantes encadenamientos hacia atrás porque su producción está orientada a los demás sectores, además de ser un bien final. El padrón de la distribución de los multiplicadores de producción para los años seleccionados es: 18.97, 19.28, 19.16 y 17.53, respectivamente, los cuales tienen efectos transmisores fuertes. Los sectores de transporte y construcción tienen una alta razón capital producto.

La política AFLOU-2 aborda plantaciones de árboles urbanos incrementales de 5,000 árboles por año a partir de 2016 durante todo el período de planificación de 2035. Lo que da como resultado una expansión total del bosque urbano del estado de 100,000 árboles (el equivalente a unas 240 hectáreas de zonas rurales para el estado). Además, la mayoría de estas nuevas plantaciones (65%) estarán estratégicamente ubicadas para lograr beneficios de ahorro de energía.

El tamaño del multiplicador de producción es 1.1242 (promedio) debido a bajo consumo de insumos intermedios en el proceso productivo. Es importante aclarar que esta política fue incluida teniendo solo efectos indirectos en la actividad productiva, aunque si resulta fundamental que sea atendida por el alto nivel de reducción de emisiones de GEI que implica esta actividad. El aprovechamiento forestal es la actividad estimulada y la distribución porcentual de los multiplicadores de producción es: 7.16, 7.30, 7.38 y 5.58, respectivamente. Se resalta que la magnitud y tasa de convergencia de los multiplicadores están relacionadas con la baja razón capital producto de los sectores impactados.

En síntesis, no podemos permitir que el conjunto de políticas diseñadas para reducir los GEI esté basado únicamente en la caída del valor de la producción local en el corto plazo. Esta decisión debe ser el resultado de una política gubernamental basada en criterios de la magnitud del impacto y también el tiempo de su ocurrencia para determinar cuáles serían los efectos de estas políticas en la economía en el corto y mediano plazo. Así, podemos establecer el orden temporal de las políticas de mitigación de

GEI: ES-1, RCII-3, ES-5, TLU-2 y AFLOU-2 que se deben aplicar por los mecanismos de regulación normativos que se consideren más adecuados según sus impactos temporales en sectores económicos.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se realiza una simulación del modelo dinámico insumo producto adaptado por Johnson, el cual relaja ciertas restricciones del modelo seminal propuesto por Leontief consistentes en: la inexistencia de plena utilización de la capacidad productiva instalada en todos los sectores y en cualquier tiempo; la presencia de retrasos en el proceso de inversión sectorial que es muy complicada y depende de factores tecnológicos, psicológicos y sociales y la existencia de límites al crecimiento económico sectorial. Para la simulación, el enfoque se basa en la integración de dos métodos: insumo producto y dinámica de sistemas, que utilizan enfoques sistémicos complementarios para ver el funcionamiento de las economías del mundo real. La metodología de dinámica de sistemas permite a los analistas de insumo producto insertar su método en el de simulación dinámica y relajar algunas de las limitaciones que se plantean en el modelo de insumo producto, permitiendo que pueda resolver preguntas importantes sobre el crecimiento económico regional y diseño de política a ese mismo nivel. Como ilustración de estas preguntas usamos la tabla de transacciones domésticas regionales del estado de Coahuila desagregada a 21 sectores para el año 2008 y calculamos los multiplicadores de producción dinámicos para años seleccionados en el periodo de 2015 a 2035. Esto debido al interés de conocer cuáles serían los impactos de un conjunto de cinco políticas clave (ES-1, ES-5, RCII-3, TLU-2 y AFLOU-2) de reducción de emisiones totales de GEI sobre el volumen de producción interna en el tiempo.

Como resultado general, no podemos permitir que el conjunto de políticas diseñadas para reducir los GEI esté basado, únicamente, en la caída del valor de la producción local en el corto plazo. Sino que, esta decisión, debe ser el resultado de una política gubernamental basada en criterios de la magnitud del impacto en el corto y mediano plazo. Específicamente,

podemos establecer el orden temporal de las políticas de mitigación de GEI: ES-1, RCII-3, ES-5, TLU-2 y AFLOU-2, que se deben aplicar con el uso de mecanismos de regulación normativos que se consideren más adecuados de acuerdo con sus impactos temporales en sectores productivos y en la evolución de la economía regional.

BIBLIOGRAFÍA

Ángeles, Manuel. 1991. “Multiplicadores de producción, ingreso y empleo en la economía mexicana: un enfoque insumo-producto”, Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 13(33): 31-37.

Blanc Díaz, M. y C. Ramos. 2002. Revisión de los fundamentos del input output dinámico, Facultad de Ciencias Económicas, Oviedo (mimeo).

Burda, A. y C. Wyplosz. 2005. *Macroeconomic a European Text*, 4a. edición, Oxford University Press.

Cervantes, A., Chiappa, X. y N. Simoes. 2007. Manual práctico de Stella, Software de simulación dinámica, internet en <https://www.slideshare.net/lonelyheart/manual-ithink>

Cordier, M.T., T. Uchera, J. Weih y B. Hamaide. 2017. An input output economic model integrated within a system dynamics ecological model: Feedback loop methodology applied to fish nursery restoration, *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 140(C), pp. 46-57.

Forrester, J. 1961. *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Fuentes, N.A., A. Brugués Rodríguez y G. González-König. 2015. Modelo insumo producto regional dinámico, *Revista de Economía*, 32(84): 79-85.

Fuentes, N.A. y A. Brugués Rodríguez. 2016. Análisis macroeconómico: cuantificación ambiental y socioeconómica de las políticas de mitigación de Coahuila, Fase 2, PECCO, Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza y Gobierno de Coahuila.

Instituto Nacional de Ecología (2008) Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, internet en <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Sistema mexicano de cuentas nacionales (SMCN). Matriz de insumo-producto 2008, México, en: <www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/>.

Johnson, T. 1983. The use of simulation techniques in dynamic input output modeling, *Simulation*, 41(3): 93-101

Johnson, T. 1986. A dynamic input-output model for small regions, *Review of Regional Studies*, 16(1): 14-23.

Johnson, T., J. Bryden, K. Refsgaard y S. Alva. 2008. A system dynamics model of agriculture and rural development: The TOPMARD core model, 107th EAAE Seminar, Sevilla (mimeo).

Leontief, W. 1953. Dynamic analysis, en W. Leontief, H.B. Chenery, P. Clark, J.S. Duesenberry y A.R. Ferguson (comps.). *Studies in the Structure of the American Economy: Theoretical and Empirical Explorations in Input-Output Analysis*, NY, Oxford University Press, pp. 53-90.

Nápoles, Pablo. 2014. Políticas de mitigación del cambio climático en México: un análisis insumo-producto, *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 5(1): 16-31.

Kozikowski, Z. 1988. *Técnicas de Planificación Macroeconómica*, México, Editorial Trillas.

Rasmussen, P. N. 1956. *Studies in Intersectorial Relations*, Amsterdam, North-Holland.

Weath, D. y A. Pawluczuk. 2014. Dynamic regional economic modeling: A system approach, *Economic Management*, 4: 230-341.