

MODELO INSUMO PRODUCTO DINÁMICO PARA UNA ECONOMÍA PEQUEÑA

Noé Arón Fuentes y Sarah Martínez Pellégrini^a

Fecha de recepción: 13 de abril de 2020. Fecha de aceptación: 7 de octubre de 2020.

<http://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69737>

Resumen. El presente trabajo tiene como objetivo aplicar la técnica de Simulación Dinámica (sd) al modelo insumo producto dinámico (sd/ip) diseñado por Johnson (1985 y 1986), que es una generalización del modelo insumo producto estático (Leontief, 1941) con énfasis en el desequilibrio económico. El sd/ip consta de un sistema de $4n$ ecuaciones diferenciales y $2n$ restricciones. Por ello, es poco práctico intentar alcanzar una solución analítica si no se simula numéricamente. Para calibrarlo y validarlo, el sd/ip empleó información de la economía mexicana. Se comprueba que los multiplicadores dinámicos son mayores que los estáticos debido al efecto acelerador. Asimismo, se valida la simulación del sd/ip porque el ajuste entre los valores actuales y las proyecciones de producción de 2013 hasta 2019 es razonable.

Palabras clave: modelo insumo producto dinámico; sistemas dinámicos; simulación; México.

Clasificación JEL: C22; C32; E16.

DYNAMIC INPUT-OUTPUT MODEL FOR A SMALL ECONOMY

Abstract. This article applies the Dynamic Simulation (ds) technique to the dynamic input-output model (ds/io) designed by Johnson (1985 and 1986). The model is a generalization of the static input-output model (Leontief, 1941), with an additional emphasis on economic imbalance. The ds/io consists of a system of $4n$ differential equations and $2n$ constraints. Therefore, attempts to model analytically are likely to be unsuccessful without numerical simulation. The ds/io used data from the Mexican economy for calibration and validation. It was found that the dynamic multipliers are greater than the static multipliers due to the accelerator effect. The simulation of the ds/io is also validated by the fact that the adjustment between current values and production projections from 2013 to 2019 is plausible.

Key Words: dynamic input-output model; dynamic systems; simulation; Mexico.

^a El Colegio de la Frontera Norte, México. Correos electrónicos: afuentes@colef.mx y sarahm@colef.mx, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

Los trabajos de Wheat y Pawluczuk (2014), Jackson *et al.* (2016) y Cordier *et al.* (2017) integran el modelo insumo producto (MIP) y los sistemas dinámicos (SD) en un sistema ecológico-económico (SEE). En tales sistemas, el flujo de material cambia de un estado estacionario a otro en función de la diferencia entre su nivel actual y su nivel de equilibrio. En el SEE la complejidad es un factor esencial (Limburg, 2002; Cordier *et al.* 2017); de otra manera existe una falla importante al no incorporar los procesos de funcionamiento de la realidad, lo cual puede ocasionar fracasos de política pública (Constanza, 1987) cuando se utilizan estas simulaciones. Existen por lo menos, dos principales fuentes de complejidad: la primera, las relaciones entre los elementos del sistema que no son lineales, predecibles o controlables (Folke *et al.*, 2002). La segunda, la dinámica entre los elementos incorpora rezagos, restricciones, límites y circuitos de retroalimentación (Dasgupta y Mäler, 2003).

Incorporar, de alguna manera, el proceso de formación de capital o inversión en el MIP estático lo transforma en un MIP dinámico. El presente texto tiene como objetivo aplicar la técnica de Simulación Dinámica (SD) desarrollada por Forrester (1961) al MIP dinámico (SD/IP) diseñado por Johnson (1985 y 1986); el cual es una generalización del MIP estático (Leontief, 1941) a una situación de desequilibrio económico.

El SD/IP difiere de otros modelos de la literatura en este campo, en cuanto a la incorporación simultánea de desfases de tiempo y mecanismos de ajuste que reflejan rezagos de la producción y la formación de capital o inversión, resultando en un SD/IP de desequilibrio.

El SD/IP considera la situación en que existen ajustes en la producción en el corto plazo debido a las diferencias entre las tasas de cambio del consumo (demanda) y la producción (oferta); es decir, considera la situación en la cual el consumo (demanda) en el año t siempre tiende a inducir un incremento de la producción (oferta) en $t+1$, sujeta a la restricción de que la producción no exceda a la capacidad productiva. Aquí, la producción y el consumo son distintos conceptos con valores iguales cuando el sistema está en equilibrio, pero no cuando está en desequilibrio. Es decir, la diferencia ente producción y consumo es que este último se debe acumular para poder conservar los flujos físicos mediante el canal de producción-distribución. Por esta razón, se requiere un nivel de inventarios, para poder disociar estas dos velocidades de flujo distintas. Si se registra un aumento en el consumo, los inventarios bajan

y la producción debe aumentar más que proporcionalmente al aumento del consumo, restituyendo así el equilibrio entre inventarios y consumo.¹

De igual forma, el SD/IP considera la situación en que la formación de capital depende de la capacidad de producción instalada en t y operada en el periodo $t+1$, sujeta a la restricción de que la inversión neta supere o sea igual a la inversión de remplazo, garantizando una inversión bruta no-negativa.² Aquí, la inversión bruta representa la acumulación de los flujos de inversión neta (o capacidad productiva nueva derivada como la diferencia entre la capacidad productiva deseada y actual), y esta acumulación influye después en las tasas de los flujos. Si se da una acumulación de inversión bruta que sea excesiva no fomentará inversiones sucesivas, lo que afectará la capacidad productiva nueva y, a su vez, afectarán a la producción. Por último, el modelo cuenta con la especificación de la capacidad productiva deseada que refleja el impacto dinámico de una variación del consumo (demanda) en el comportamiento del sistema y genera un esquema de rezagos de los flujos de inversión para describir los procesos reales de la formación de capital hasta su obsolescencia.

El SD/IP es más completo desde el punto de vista de incorporación de los procesos de funcionamiento de la realidad que el MIP estático, permitiendo proyectar las trayectorias temporales de los *stocks* de producción de los n sectores hacia el futuro tomando en cuenta no sólo el crecimiento de la demanda final autónoma, sino también la formación de capital, indispensable para hacer posible dicho crecimiento, las restricciones de capacidad productiva instalada y los límites de desinversión sectorial. El comportamiento de las trayectorias temporales es resultado de la aplicación del principio de aceleración y de suponer que la producción e inversión no varían instantáneamente con los cambios en la demanda final autónoma. Los desfases temporales y mecanismos más flexibles tienden a generar trayectorias más factibles en periodos relativamente largos.

El SD/IP constituye una herramienta útil para la exploración de los problemas de desarrollo relacionados con las posibilidades del crecimiento económico, de la manera de acelerar dicho proceso y de hacerlo más eficiente.

¹ La solución de este sistema es una crónica del juego del gato y el ratón. Para que la solución sea convergente, el gato (ajuste en la producción) deberá atrapar al ratón (excedente de demanda) (Johnson, 1986, p. 179).

² En periodos cíclicos caracterizados por caídas de la demanda permite que la inversión neta sea negativa, pero garantiza que sea mayor o igual que la depreciación, limitado a valores no-negativos de inversión bruta y producción (Johnson, 1986, p. 180).

Para fines de calibración el SD/IP ha sido “ajustado” con información de la Matriz Insumo Producto de México de 2013 (INEGI, 2014); comprimiendo la desagregación de las 72 ramas en tres grupos de actividad sectorial (primario, secundario y terciario). El ejercicio que se realiza tiene que ver con el análisis de los impactos dinámicos en la economía derivado de un alza del gasto público en el sector secundario (5% del total sectorial) que se materializa en un periodo de dos años.

Adicionalmente, se valida la simulación del SD/IP. La validación ideal se produce cuando la simulación es capaz de reproducir los datos experimentales o las observaciones consideradas (San Isidro, 1998). En este caso, la validación del SD/IP involucra disponer para una economía pequeña (regional, estatal, municipal o ciudad) de la información sobre el PIB por tipo de actividad sectorial y el PIB total a partir de la tabla intersectorial, así como de valores del PIB por tipo de actividad sectorial y total durante el periodo 2013- 2019. Porque la información a nivel subnacional es más difícil de conseguir o no es de la mejor calidad y a efectos demostrativos se usa la información nacional.³

El texto se organiza de la siguiente manera: en la segunda sección se presenta de manera resumida la conceptualización fundamental del SD/IP. En la tercera sección se muestra la programación del SD/IP resaltando los ciclos de retroalimentación del ajuste de la producción y la formación de capital. En la sección cuarta se presenta el potencial del SD/IP para una economía pequeña mediante un análisis de multiplicadores dinámicos sectoriales derivados de un *shock* en la demanda final. En la sección quinta se muestra la validación del SD/IP que involucra la proyección en un lapso histórico para la economía mexicana en el periodo 2013- 2019. En la sexta sección se exponen las conclusiones.

2. MODELO SD/IP DE JOHNSON

El SD/IP de Johnson es una generalización del MIP estático (Leontief, 1941) con un énfasis en el desequilibrio del sistema económico. El SD/IP no requiere abandonar el enfoque propuesto por Leontief.⁴ Por el contrario, las condicio-

³ Desafortunadamente, la disponibilidad de información sobre el PIB por sector de actividad y PIB total para un periodo histórico necesario para validar el SD/IP a nivel subnacional es muy difícil de obtener o no es de la mejor calidad. De tal manera que, el uso de la información nacional proporciona una ganancia de consistencia estadística y disponibilidad.

⁴ Leontief (1953) sugirió hacer endógena la inversión para transformar el modelo intersectorial estático en dinámico. Sin embargo, la endogenización de la inversión no cambió el hecho que la *ecuación de balance* aún describía el equilibrio de largo plazo. En otras palabras, su modelo propuesto

nes de equilibrio básicas del modelo estático y dinámico se conservan, pero se incorporan ciertas relaciones que describen las trayectorias de reacción durante el proceso. Esto conduce a la modificación de la *ecuación de balance* que relaciona el nivel de producto con las condiciones de oferta y demanda, el nivel de formación de capital bruta que cambia con la capacidad de producción, la reacción de la capacidad de producción instalada a las diferencias entre los valores actuales y deseados de ésta, y los cambios en la capacidad de producción deseada ante cambios en la demanda. Además, se incluye una restricción sobre la capacidad de producción instalada, y límites a la desinversión en cada sector. El SD/IP completo es el siguiente:

$$\dot{X}(t) = \hat{\phi} [AX(t) + Y(t) + I(t) - X(t)] \quad (1)$$

$$I(t) = B [\hat{d}X^c(t) + \dot{X}^c(t)] \quad (2)$$

$$X^c(t) = \hat{k}\{X^{c*}(t) - X^c(t)\} \quad (3)$$

$$X^{c*}(t) = \alpha + \beta(AX(t) + I(t) + Y(t)) \quad (4)$$

sujeto a las restricciones siguientes:

$$X(t) \leq X^c(t) \quad (5)$$

$$\dot{X}^c(t) \geq -\hat{d}X_t^c \quad (6)$$

La característica de desequilibrio se logra debido al ajuste de la ecuación de balance que permite ajustes en producción en el corto plazo debido a que existen diferencias entre las tasas de cambio del consumo (demanda) y la producción (oferta). La ecuación de balance modificada (1) representa la tasa de ajuste del flujo de producción sectorial por unidad de tiempo ($\dot{X}(t)$). El ajuste propuesto eliminará la demanda excedente ($AX(t) + Y(t) + I(t) - X(t)$) a lo largo del tiempo. En esa ecuación (A) es la matriz de coeficientes técnicos, $X(t)$ es la producción bruta, $Y(t)$ es la demanda final excluyendo inversión bruta ($I(t)$) y $\hat{\phi} < 0$ es una matriz diagonal del acelerador constante en la

describe las condiciones bajo las cuales la economía está en equilibrio, pero no indica cómo llega a él (Johnson, 1986).

economía, que muestra la velocidad de respuesta de la producción a cambios en la demanda.

Para aquellos sectores que están limitados por una tasa de capacidad productiva, se agrega la restricción de la ecuación (5), es decir, se asume que la producción no debe rebasar la capacidad productiva.

La ecuación (2) representa el proceso de formación bruta de capital. La inversión bruta $I(t)$ se puede desagregar en inversión de reemplazo de capital (depreciación) con $X^c(t)$ representando la capacidad productiva total y \hat{d} es el vector de demandas de inversión de reemplazo de capital. Asimismo, en inversión neta (o inducida) con $B(X^c(t))$ representando el vector de demandas de inversión para la formación de capital nuevo; con B es una matriz de distribución de las demandas de inversión.

Para aquellos sectores cuya capacidad productiva nueva (inversión neta) del periodo t se instala y se opera en el periodo $t+1$, se agrega la restricción de la ecuación (6) que establece que la inversión neta supere o sea igual a la inversión de remplazo, garantizando una inversión bruta no-negativa.

La ecuación (3) representa la inversión neta y considera que su ajuste depende de la diferencia entre la capacidad deseada ($X^{c*}(t)$) y actual ($X^c(t)$) donde \hat{k} es una matriz diagonal de las relaciones marginales capital-producto (acelerador).

La ecuación (4) propone que la capacidad productiva deseada ($X^{c*}(t)$) en cualquier punto del tiempo es una función lineal de consumo (demanda) 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 mide la proporción deseada de capacidad instalada.

En síntesis, el SD/IP puede ser descrito como un sistema de $4n$ ecuaciones diferenciales con $4n$ variables endógenas $X_i(t)$, $I_i(t)$, $X^c(t)$ y $X^{c*}(t)$; las siguientes variables exógenas y parámetros $Y(t)$, A , B , Φ , k , d , α , β , y t ; y que tiene $2n$ restricciones $X(t) \leq X^c(t)$ y $X^c(t) \geq -\hat{d}X^c(t)$. Por su complejidad es poco práctico intentar alcanzar una solución analítica, pero se puede aplicar una simulación numérica mediante la técnica de simulación dinámica.

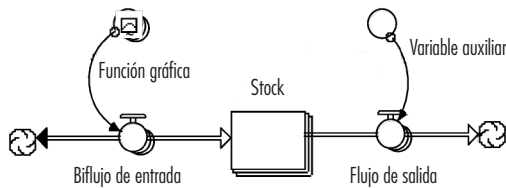
3. INTEGRACIÓN MODELO SD/IP CON SD

Los modelos dinámicos requieren de cierto manejo matemático para encontrar la solución analítica de las ecuaciones en diferencias o diferenciales y tienen una severa limitación en el número de variables dinámicas que se calculan.

La técnica de SD desarrollada por Forrester (1961) permitió romper ambos tipos de barreras, posibilitando elaborar modelos dinámicos sin necesidad de manejar las complicadas ecuaciones analíticas en diferencia o diferenciales y, sobre todo, permitiendo calcularlos con un número ilimitado de variables. En este sentido, la SD ha supuesto un espectacular avance en el uso de modelos dinámicos.

Con el fin de integrar el método de análisis de SD con el SD/IP se empleó el software STELLA (9.1.5). El software es un lenguaje de modelación y simulación visual para SD que utiliza la simbología del diagrama de Forrester. El diagrama básico se presenta en la figura 1 (Cervantes *et al.*, 2007).⁵

Figura 1. Diagrama de Forrester



Fuente: elaboración propia con base en Cervantes *et al.*, 2007.

En esta figura los iconos de construcción de modelos son:

El *stock*, representado por el rectángulo, corresponde a las variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema; ellas acumulan material a través de los canales que son controlados por las válvulas.

Los flujos 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 con un conjunto de ecuaciones asociadas, mismas que 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 flechas representan las relaciones internas existentes entre estas variables. La dirección de la flecha indica el sentido de la causalidad.

El biflujo de salida y entrada son tasas que pueden tomar valores positivos y negativos que se representan a través de un canal de material de doble flecha.

⁵ Este es una guía práctica para conocer y manejar el software de modelación visual STELLA. Proporciona un marco de referencia y una interfase gráfica de usuario para la observación e interacción cuantitativa y cualitativa de las variables de un sistema dinámico (Cervantes *et al.*, 2007).

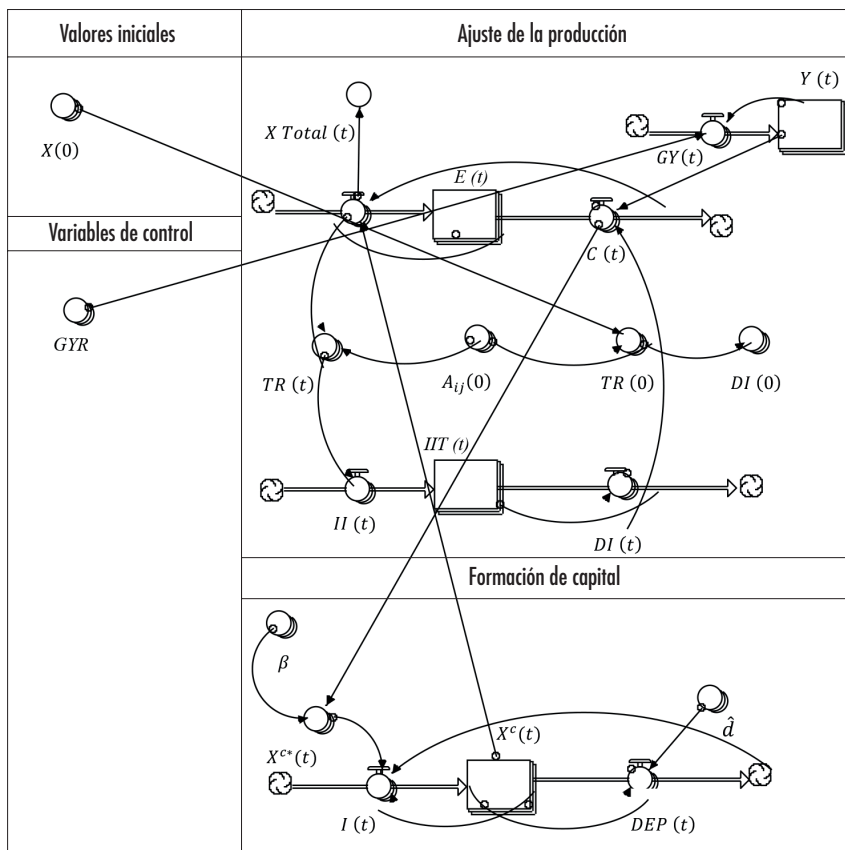
El convertidor o variables auxiliares corresponden a pasos intermedios en el cálculo de las funciones asociadas a las válvulas; se utilizan para simplificar el proceso, debido a que ciertos cálculos matemáticos se emplean en varias ecuaciones. Se representan por un círculo y cuando son matrices por un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

La 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 cantidad indeterminada (infinita) de entrada y salida de material.

De este modo el software STELLA es una interfaz gráfica donde se diseña la programación mediante objetos correspondientes a las ecuaciones del SD/IP.

Figura 2. Modelo SD/IP y sus ciclos de retroalimentación



Fuente: elaboración de la programación propia.

En la figura 2 se resaltan los objetos que representan la programación del SD/IP sobre todo los valores iniciales del modelo, las variables de control, las principales relaciones y los ciclos de retroalimentación.

A continuación, se especificará el *stock* de inventarios. Suponiendo como en un sistema SEE, la producción y el consumo se mueven hacia el equilibrio a una tasa que depende de la diferencia entre demanda y oferta, es decir, la economía responde al cambio de inventarios (Xu, 2014; Yamagushi, 2002).

En SD los inventarios son un *stock* físico que registra el nivel acumulado y cuando ocurre un alza del consumo disminuye e induce una respuesta de la producción igual al nuevo consumo más la caída en inventarios (principio de conservación). La ecuación (1) puede ser reescrita en términos de la ecuación *stock*-flujo como:

$$E_i(t) = E(0) + \int_0^t (X_i(t) - C_i(t))dt \quad (7)$$

Donde se definen los inventarios como $E(t) = [X(t) - C(t)]$, el consumo (demanda) como $C(t) = AX(t) + Y(t) + I(t)$, la producción $X(t)$ y $i = 1 \dots s$ (sectores).

El flujo de entrada ($X(t)$) se define como los niveles de producción que son iguales al consumo más reposición de inventarios (consumo menos inventarios), la producción es el doble del consumo menos los inventarios.⁶ Además, se considera que este valor está limitado cuando la producción es inferior a la capacidad productiva instalada actual.⁷

$$X_i(t) = \min(2 * C_i - I_i, (2 * C_i - I_i) * \frac{X_i(t)}{X_i^c(t)}) \quad (8)$$

Según la función de consumo (demanda) se requiere de un *stock* de insumos intermedios disponibles para realizar la producción ($IIT(t)$). Partiendo de la definición que corresponde a la demanda de insumos intermedios ($AX(t)$) y se obtenga el *stock* requerido de insumos intermedios netos por cada sector

⁶ Se considera que los inventarios deseados son iguales a $1.0 * \text{consumo}$ lo que significa que un aumento en el consumo induce una respuesta de producción de $2.0 * \text{consumo}$ hasta que los inventarios se recuperen y luego alcancen el nuevo nivel deseado. Por lo tanto, la respuesta dinámica es $2.0 \text{ veces consumo menos inventario}$ (Johnson *et al.*, 2008).

⁷ Se impone la restricción de capacidad productiva haciendo que la producción sea igual al mínimo de los requisitos de consumo (incluyendo reposición de inventarios) y la capacidad de producir de cada sector (Johnson *et al.*, 2008).

disponible en la economía. El fin es permitir una respuesta dinámica de la economía a la producción. La ecuación *stock*-flujo de insumos intermedios es:

$$IIT(t) = IIT(0) + \int_0^t (II(t) - DI(t))dt \quad (9)$$

Donde los insumos intermedios requeridos para la producción de cada industria ($II(t)$) se obtienen restándole a la producción de cada sector la demanda de insumos intermedios propios y del resto de la demanda intermedia ($DI(t)$). En esta expresión, $IIT(t)$ es el *stock* de insumos intermedios netos de entradas y salidas, y $IIT(0)$ es el *stock* de insumos intermedios netos en el tiempo inicial.

El $IIT(t)$ depende del convertidor auxiliar de la matriz de transacciones intermedias iniciales ($TR(0)$), que se utiliza sólo para medir el uso total de todos los insumos intermedios iniciales computados como la multiplicación de la matriz de coeficientes técnicos al inicio ($A_{i,j}(0)$) por el vector del valor total de producción de cada industria en el primer periodo ($X(0)$). Debido a la forma en que STELLA calcula los productos de matrices y vectores, antes de crear la matriz de transacciones intermedias inicial, se debe transponer los datos de la matriz de coeficientes técnicos inicial y del vector del valor de la producción industrial inicial antes de multiplicar.⁸ Para medir el uso total de los insumos intermedios iniciales ($DI(0)$) se obtiene la suma de cada renglón i ($\sum_{j=1}^n A_{i,j}(0) \cdot X(0)$) que representa la parte de la producción del sector i destinada al consumo intermedio de otros sectores, incluyendo al sector i . Y la medición de la matriz de transacciones intermedias de la producción ($TR(t)$) se obtiene como la multiplicación de la matriz de coeficientes técnicos inicial ($A_{i,j}(0)$) por el vector de nueva producción ($X(t)$).

Continuando con la función consumo, la demanda final que excluye la inversión ($Y(t)$) registra las transacciones referentes a la utilización final de los productos en la economía. La demanda final es un agregado que incluye en este caso el consumo de los hogares, el gasto de gobierno, la variación de existencias y las exportaciones. Se supone que es exógena y crece a tasas proporcionales dadas ($GY(t)$). La ecuación del *stock*-flujo de la demanda final que excluye la inversión puede escribirse como:

$$Y(t) = Y(0) + \int_0^t GY(t)dt \quad (10)$$

⁸ En STELLA la operación de multiplicación de matrices, definida en el álgebra matricial, no está programada directamente. Como el software corre por filas se deben transponer las matrices y los vectores antes de multiplicar (Cervantes *et al.*, 2007).

Donde, $GY(t)$ es una variable en términos de tasas de crecimiento sectorial que puede tomar valores positivos o negativos representando el resto de la demanda final; $Y(0)$ es el resto de la demanda final en el momento inicial. La variable de entrada se obtiene como:

$$GY(t) = GYR * Y(t) \quad (11)$$

Donde $GYR(t)$ es la tasa de crecimiento de la demanda final en el momento t . Para aclarar más la ecuación se puede optar, por un lado, por un supuesto simplificador de que la demanda final residual exógena de todos los sectores crece a una tasa positiva constante (3%). Por otro lado, se puede suponer que las tasas de crecimiento son diferenciadas por sectores (siendo tasas positivas, negativas o bien 0).

De lo anterior, se establece un primer circuito de retroalimentación al que se denomina “Ajuste de la Producción” y que se caracteriza por el hecho de que los inventarios son un *stock* físico que registra un nivel acumulado y cuando ocurre un aumento del consumo (demanda) disminuye e induce una respuesta de la producción más que proporcional al aumento del consumo. Sin embargo, a la producción (oferta) se impone la limitación de que no debe sobrepasar la capacidad de producir de cada sector. El cambio en la producción exige satisfacer los requerimientos de la demanda de insumos intermedios y la demanda final que conjuntamente determinarán el consumo (demanda) cerrando el ciclo.

El conjunto de ecuaciones de producción descritas, anteriormente, indica el ajuste de la producción, sin tener en cuenta la formación de capital, la reacción de la capacidad la producción instalada a las diferencias entre los valores actuales y deseados, ni los cambios en la capacidad productiva deseada ante cambios en la demanda. Sin embargo, el SD/IP señala la existencia de una relación entre capital, capacidad productiva, y demanda: la relación capital-producto (o coeficiente acelerador).

Entonces, el siguiente paso es incluir los requerimientos de formación de capital bruto para la producción (Leontief, 1953). La forma tradicional es mediante la ecuación siguiente:

$$I(t) = B(IN(t) + DEP(t)) \quad (12)$$

Donde $I(t)$ representa las demandas de inversión bruta según su origen, $IN(t)$ son las demandas de inversión para la formación de nuevo *stock* de capital según el destino, $DEP(t)$ es depreciación o reemplazo de capital según

el destino, mientras que B representa la matriz de distribución de las demandas de capital según el origen.

El principio del acelerador se aplica sólo a la demanda de nueva inversión (o inversión neta). Existen diferentes funciones posibles para la inversión, en este caso la nueva inversión depende de los cambios entre la capacidad instalada deseada $X^{c*}(t)$ y la capacidad instalada actual de las industrias ($X^c(t)$). La ecuación es:

$$IN(t) = \hat{k}(X^{c*}(t) - \dot{X}^c(t)) \quad (13)$$

El acelerador (\hat{k}) trata de reflejar los rezagos que se necesitan para que se igualen la capacidad deseada y la actual. La disponibilidad de inventarios de bienes de capital afectará a la cantidad de inversión nueva y también a la acumulación de la capacidad productiva.

Además, la inversión neta incorpora procesos asimétricos en los que el capital crecerá o decrecerá, ya que en un alza de consumo (demanda), el capital acumula la diferencia positiva entre la inversión neta y la depreciación; en tanto, en una baja, la salida del capital se limita a la depreciación. En otras palabras, la inversión neta está limitada a ser mayor o igual a la depreciación.

Para proyectar los requisitos de la inversión de remplazo se considera que los mismos constituyen una proporción de la capacidad instalada actual.

$$DEP(t) = \hat{d} X^c(t) \quad (14)$$

Por último, el modelo debe tener en cuenta el *stock* de capital para reflejar el impacto dinámico de un cambio en el consumo (demanda) en el comportamiento del sistema. Por ello, es necesario establecer una relación de comportamiento entre la capacidad productiva deseada $X^{c*}(t)$ y el consumo (demanda). Partiendo de la hipótesis de que en cualquier periodo de tiempo es una función lineal del consumo (demanda) en el mismo periodo de tiempo, es decir,

$$X^{c*}(t) = \alpha + \hat{\beta} (AX(t) + Y(t) + I(t)) \quad (15)$$

Donde, α es un vector columna de intercepto (representa un “colchón” de exceso de capacidad instalada industrial) y $\hat{\beta}$ es una matriz diagonal de pendientes (representa la proporción deseable de capacidad instalada industrial respecto a demanda intermedia y final). Así, la capacidad instalada industrial actual es, a su vez, una función rezagada de la capacidad instalada industrial deseada.

El convertidor del tamaño de la capacidad productiva instalada deseada ($X^{c*}(t)$) es una función lineal del consumo (demanda) actual. Inicialmente resulta conveniente usar sólo las pendientes (los intercepto son 0). El convertidor de la proporción deseable de capacidad instalada industrial respecto al consumo o demanda (β) se calculó como aquellos valores que hacen que la capacidad instalada deseada sea igual al consumo inicial.⁹ En cuanto al *stock* de la capacidad productiva instalada actual ($X^c(t)$) se mide en términos de unidades monetarias de producción en lugar de unidades monetarias de inversión. Aquí no se requiere ingresar valores iniciales debido a que se determinan los valores cercanos al equilibrio de la capacidad productiva inicial de cada industria automáticamente en el modelo. En tanto, el flujo de entrada inversión bruta ($I(t)$) depende de la diferencia de la capacidad productiva deseada ($X^{c*}(t)$) e instalada ($X^c(t)$) multiplicada por el acelerador (\hat{k}) para el que en lugar de una matriz diagonal con las relaciones marginales sectoriales capital-producto, se empleó una constante para todos los sectores.¹⁰ Por último, el flujo de salida depreciación ($DEP(t)$) disminuye la capacidad productiva instalada ($X^c(t)$). El convertidor de la proyección de la depreciación (\hat{d}) se calculó como una proporción constante de la capacidad instalada actual.¹¹

De lo anterior se establece un segundo circuito de retroalimentación al que se denomina “Formación de Capital”, y que se caracteriza porque la inversión bruta representa la acumulación de los flujos de inversión neta y esta acumulación influye después en las tasas de los flujos. Si se da una acumulación de inversión bruta que sea excesiva no fomentará sucesivas inversiones (disminuye la capacidad deseada), lo que afectará a la capacidad productiva nueva y a su vez afecta la producción, cerrando el ciclo.

Para cerrar, es importante mencionar que la programación por objetos permite diseñar el SD/IP en un entorno visual amigable y fácil. Además, que la programación del SD/IP se realizó en forma matricial por lo que la generalización al caso de cualquier número de ramas de actividad es únicamente mediante el cambio apropiado de las dimensiones de las matrices involucradas (Johnson, 1986; Fuentes *et al.*, 2015).¹²

⁹ Estimar los parámetros rigurosamente del SD/IP implicaría un trabajo empírico más arduo y complicado. Sin embargo, para los fines del presente trabajo se optó por un procedimiento arbitrario, procurando que el SD/IP simule el comportamiento del sistema de forma “razonable”.

¹⁰ En valor usado es una constante igual a 7 en tanto Johnson (1986) utiliza un valor igual a 5.

¹¹ En valor usado es una constante igual a (0.1) para cada sector.

¹² De la figura 1 se nota que tanto los convertidores, como las variables auxiliares, cuando son escalares son representados por un círculo. Mientras que en la figura 2, cuando son definidos en términos de matrices se representan por un círculo sombreado.

4. ESTADOS DE EQUILIBRIO DEL SD/IP

Por la naturaleza dinámica de desequilibrio del SD/IP, es muy importante encontrar un equilibrio estacionario (largo plazo) que muestre su consistencia estructural. El estado de equilibrio estacionario implica que todos los *stocks* dejan de cambiar, lo que a su vez significa, para ser precisos, que los flujos netos se vuelven 0. Lo que sucede cuando la producción satisface únicamente la demanda de requerimientos de insumos intermedios más la demanda final, en otras palabras, cuando el MIP dinámico se transforma en MIP estático.

Es de particular interés el examen del SD/IP fuera del estado de equilibrio estacionario. Por ello, como ejercicio experimental se introduce un factor de desequilibrio introduciendo un cambio exógeno de la demanda final, y se analizan los multiplicadores dinámicos. En esencia, el concepto del multiplicador muestra cómo un aumento exógeno en la demanda final genera un incremento en, por ejemplo, la producción mayor que el incremento original (Ángeles, 1991).

El análisis de impactos o multiplicadores es una de las aplicaciones más importantes del SD/IP a nivel subnacional (región, estado, municipio o ciudad), no sólo por el supuesto implícito de que la actividad económica a ese nivel está determinada, principalmente, por el nivel de demanda final, sino también porque los precios, los salarios y la tasa de interés son exógenos en esas economías pequeñas (Johnson, 1985 y 1986).

En este punto, es importante señalar que como se quiere no sólo realizar el análisis de impactos o multiplicadores, sino también validar la simulación del SD/IP (véase siguiente sección), involucra también computar tanto el PIB por tipo de actividad sectorial y el PIB total a partir de la tabla intersectorial, como contar con valores del PIB por tipo de actividad sectorial y la disponibilidad de valores del PIB total durante un periodo histórico. Por esta razón, se optó por usar información nacional dada su consistencia estadística y disponibilidad.¹³

Se ilustra el análisis de impacto o multiplicadores usando la Matriz de Insumo Producto de México de 2013 publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014). Toda la economía mexicana está dividida en 72 ramas industriales. Para los fines del análisis se usó una agregación de este total por tipo de actividad. El sector 1 (actividades primarias) corresponde a las primeras 10 ramas industriales de la tabla nacional; el sector 2 (actividades industriales) agrega 51 ramas y el sector 3 (actividades de

¹³ Como se estableció, anteriormente, utilizando la información nacional se garantiza la consistencia estadística de la información.

servicio) incluye las restantes industrias. La matriz intersectorial agregada se presenta en la tabla 1 junto con los datos del PIB por tipo de actividad sectorial y PIB total del país.

Tabla 1. MIP nacional por tipo de actividad, 2013 (millones de pesos)

<i>Actividades</i>	<i>Actividades primarias</i>	<i>Actividades industriales</i>	<i>Actividades servicios</i>	<i>Demanda intermedia</i>	<i>Demanda final</i>	<i>Utilización total</i>
Actividades primarias	64 515	421 732	5 170	491 417	288 325	779 742
Actividades industriales	117 098	3 021 320	746 758	3 885 176	9 753 926	13 639 102
Actividades de servicios	55 740	1 853 896	1 805 456	3 715 092	9 508 711	13 223 804
Consumo intermedio nacional	237 353	5 296 948	2 557 383	8 091 685	19 951*	27 642 648
Importaciones	65 594	3 200 166	633 124	3 898 884	1 384 564	5 283 449
Impuestos sobre los productos netos de subsidios	-419	-19 679	29 556	9 459	625 109	634 567
Total de usos a precios de comprador	302 529	8 477 436	3 220 064	12 000 028	21 561*	33 560 664
Valor agregado bruto	477 213	5 161 666	10 003 740	15 642 620	0	15 642 620
Producción bruta total	779 742	13 639 102	13 223 804	27 642 648	0	27 642 648
PIB	476 794	5 141 987	10 033 297	15 652 079	625 109	16 277 1

Nota: * miles.

Fuente: INEGI. SCNM. <https://www.inegi.org.mx/temas/mip/>

El SD/IP simuló el escenario de un alza exógena en la demanda final de 682 mil millones que recaen en el sector secundario (5% del total de su valor) y que se realiza a lo largo de dos años. La economía se monitorea un trimestre antes del cambio, durante el cambio y el siguiente año y medio, considerando periodos trimestrales.

En cuanto a cómo el SD/IP programado en STELLA se vincula con EXCEL se tiene que, mientras que todas las variables son capturadas directamente en el software de SD algunas son procesadas en EXCEL por eficiencia técnica. En particular, de las ecuaciones del SD/IP en STELLA se hace un vínculo (*link*) con la plataforma de EXCEL para calcular los multiplicadores dinámicos.

Siguiendo el procedimiento anterior, se pueden calcular los multiplicadores. Los estáticos sólo muestran la magnitud del impacto económico, en tanto, los multiplicadores dinámicos, muestran la magnitud del impacto, el tiempo de ocurrencia y la composición temporal entre los sectores. Los efectos multiplicadores dinámicos del *shock* de demanda final en el sector secundario para trimestres seleccionados son presentados en la tabla 2. Estos multiplicadores son interpretados como multiplicadores Tipo II debido a que el modelo se cierra para los hogares. Los multiplicadores dinámicos son más grandes que los multiplicadores estáticos y son para el sector primario (1.44), para el secundario (1.56), para el sector terciario (1.26) y para el promedio de la economía (1.42). Este resultado se debe al principio del acelerador que reconoce que cualquier incremento temporal de la producción requiere un mayor *stock* de capital que a su vez implica más gastos de depreciación.

De la tabla 2 se deduce que el impacto económico de un cambio exógeno en el tipo de actividad del sector secundario es mayor para todos los periodos. Por ejemplo, el multiplicador el primer año es 1.56, el segundo año es 1.58 y el tercer año es 1.62. En general la magnitud del multiplicador dinámico está correlacionada positivamente con la proporción de insumos intermedios respecto a la producción total. En otras palabras, el multiplicador sectorial será mayor cuando la proporción de insumos intermedios usados en la producción total sea más grande.

En la tabla 2 también se observa que dependiendo de la razón capital producto del sector, la tasa de convergencia es diferente. Por ejemplo, en los sectores caracterizados por una mayor proporción de capital por producto,

Tabla 2. Multiplicadores dinámicos semestrales debido un shock de demanda final

<i>Semestre</i>	<i>Sector primario (S1)</i>	<i>Sector secundario (S2)</i>	<i>Sector terciario (S3)</i>	<i>Promedio de la economía</i>
0.5	1.42	1.51	1.24	1.39
1	1.44	1.56	1.26	1.42
1.5	1.45	1.56	1.26	1.43
2	1.49	1.58	1.27	1.45
2.5	1.55	1.62	1.28	1.48
3	1.55	1.62	1.28	1.48
3.5	1.55	1.62	1.28	1.48

Fuente: estimación directa SD/IP.

tal como el secundario y terciario, se exhibe una menor tasa de convergencia del multiplicador. El sector terciario tiene una baja tasa de convergencia con un multiplicador de 2.16 el año uno, el siguiente semestre 0.70, el año dos un 1.40 y el siguiente trimestre 2.07. Un patrón similar al anterior ocurre para el sector secundario.

En síntesis, la experimentación del SD/IP en el caso de un *shock* de demanda final permite comprobar que los multiplicadores dinámicos son mayores que los estáticos, que su magnitud por sector depende de la proporción de insumos intermedios respecto a la producción y que la longitud temporal de su impacto está en función de la relación capital-producto.

5. VALIDACIÓN DEL SD/IP

La validación de un modelo se produce cuando la simulación es capaz de reproducir los datos experimentales o las observaciones consideradas. El SD/IP debería ser probado utilizando el criterio de predicción de un lapso histórico para una economía pequeña (región, estado, municipio o ciudad). Sin embargo, como ya se señaló, a nivel subnacional no existe información insumo producto oficial ni mucho menos series históricas compatibles con este esquema contable.

Por esta razón se ilustra el procedimiento de validación del SD/IP con base en la Matriz Insumo Producto Nacional de 2013. A partir de ésta se “proyectan” los indicadores por grupo de actividad sectorial del PIB y el PIB total para el periodo 2013-2019. Del INEGI se obtuvieron las series de tiempo de los valores actuales del PIB por sector de actividad y el total; desestacionalizadas y en millones de pesos de 2013. El problema más difícil consistió en computar el PIB por tipo de actividad sectorial y total a partir de la tabla intersectorial. Ambos datos se calculan (véase tabla 1) como el valor agregado bruto por grupo de actividad (MXN\$477 213 para actividades primarias; MXN\$5 161 666 para actividades industriales; y MXN\$10 003 740 para actividades de servicios) y total (MXN\$15 642 620 de valor agregado). El segundo paso, fue definir el acelerador (\hat{k}), en lugar de como una matriz diagonal con las relaciones marginales sectoriales capital-producto, como una constante para todos los sectores con un valor de 7.¹⁴ El tercer paso, los coeficientes de la capaci-

¹⁴ El acelerador refleja la estructura de rezagos proyectados en el periodo de gestación de la inversión. La inclusión de una estructura complicada de rezagos hace al SD/IP difícil de entender y manejar, y puede provocar problemas de inestabilidad y de comportamiento extraño (Kozikowski, 1988, p. 192).

dad productiva instalada deseada (β) es un vector calculado según sea igual la capacidad productiva instalada deseada al consumo en el periodo inicial (1.0; 1.3 y 1.25). Por lo general, sería un trabajo empírico bastante arduo y complicado. Sin embargo, para los fines del presente ejercicio se optó por un procedimiento arbitrario, procurando que el SD/IP simule el comportamiento del sistema hacia el futuro, partiendo de condiciones iniciales de producción como se muestra en la tabla 1 (MXN\$779 742 para actividades primarias; MXN\$13 639 102 para actividades industriales, y MXN\$13 223 804 para actividades de servicios) y dado que se conocen los niveles de demanda final.

Las series de tiempo de la demanda final para el periodo 2013-2019 fueron obtenidas como la tasa de variación porcentual respecto al mismo trimestre el año anterior del PIB por tipo de actividad sectorial (trimestral), serie desestacionalizada a precios de 2013 (INEGI). En la tabla 3 se presenta la información.

Tabla 3. Tasa de variación porcentual respecto al mismo semestre el año anterior del PIB por tipo de actividad sectorial

<i>Año y semestre</i>	<i>Sector primario</i>	<i>Sector secundario</i>	<i>Sector terciario</i>
2013.1	2.25	0.02	2.76
2	2.10	-0.11	2.05
2014.1	4.04	2.35	2.23
2	4.03	2.85	3.10
2015.1	3.37	1.01	4.26
2	1.77	1.51	4.27
2016.1	1.97	0.75	3.40
2	4.97	-0.29	3.89
2017.1	3.90	0.29	4.09
2	2.68	-0.39	2.52
2018.1	3.90	0.94	2.81
2	0.92	-0.05	2.96
2019.1	0.62	-1.85	0.87
2	5.37	-1.47	0.11

Fuente: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>

A pesar de la “calidad” de los parámetros utilizados, el SD/IP puede producir proyecciones confiables del crecimiento del PIB por grupo de actividad y total. Los valores actuales y proyectados de estas variables son comparados en la tabla 4. Usando la suma acumulativa de los errores de pronóstico promedio (CFA, por sus siglas en inglés) como una medida del sesgo de pronóstico (proyección menos valor actual) se ve que la mayor subestimación ocurre en el PIB del sector primario (17.9), en tanto que es menor en el sector secundario (1.4), en el sector terciario (7.1) y en el PIB total (4.0). Además, se calcula la raíz del cuadrado del error porcentual medio (RMSPE, por sus siglas en inglés) el cual varía para el sector primario (18.8), en tanto que disminuye en el sector secundario (2.4), sector terciario (8.5) y en el PIB total (5.0), como una medida de la tendencia del pronóstico a variar temporalmente. Como se puede observar de los datos sólo en el sector primario hay diferencias significativas entre el resultado proyectado y el valor actual.

En síntesis, un refinamiento de los datos estadísticos de los parámetros mejorará la capacidad predictiva del SD/IP, es decir, la calidad de las proyecciones. No obstante, el ajuste del pronóstico de crecimiento del PIB es satisfactorio.

Tabla 4. Valores actuales y proyectados del PIB por grupo de actividad y total, 2013-2019 (semestres).
Millones de pesos

Año y semestre	Sector primario		Sector secundario	
	Actual	Proyectado	Actual	Proyectado
2013.1	503402	303800	5174235	5161666
2	516369	456079	5201139	5253069
2014.1	523656	458360	5295659	5288181
2	537012	460652	5349469	5290292
2015.1	541224	462955	5349187	5292414
2	541757	465270	5430082	5294546
2016.1	551831	467596	5389069	5296689
2	568708	469934	5413984	5298843
2017.1	573322	472284	5404874	5301008
2	583981	474645	5392982	5303183

Continúa

Tabla 4. Valores actuales y proyectados del PIB por grupo de actividad y total, 2013-2019 (semestres). Millones de pesos (continuación)

<i>Año y semestre</i>	<i>Sector primario</i>		<i>Sector secundario</i>	
	<i>Actual</i>	<i>Proyectado</i>	<i>Actual</i>	<i>Proyectado</i>
2018.1	583981	477018	5455794	5305369
2	595683	479403	5389986	5307567
2019.1	599411	481800	5354902	5309775
2	614618	532567	5343800	5312566
CPE	17.9		1.4	
RMSPE	18.8		2.4	
2013.1	9900169	7938636	15577806	13404102
2	10000334	10193366	15717842	15902514
2014.1	10120864	11474402	15940178	17220942
2	10310462	11531774	16196943	17282717
2015.1	10551870	11589433	16442282	17344801
2	10750754	11647380	16722592	17407196
2016.1	10909887	11705617	16850787	17469902
2	11168694	11764145	17151386	17532922
2017.1	11356340	11822966	17334536	17596257
2	11450454	11882081	17427417	17659909
2018.1	11675315	11999999	17715091	17782387
2	11788712	12001198	17774381	17788169
2019.1	11776597	12061204	17730909	17852780
2	11787068	12072120	17745486	17853985
CPE	7.1		4.0	
RMSPE	8.5		5.0	

Fuente: los valores "Actuales" del PIB por grupo de actividad sectorial y PIB están disponibles en <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestra que aunque existen mayores costos, de optar por un modelo multisectorial dinámico en desequilibrio, los beneficios pueden superarlo. Las ventajas consisten, principalmente, en que el esquema de desfases de la producción e inversión reflejan de mejor manera los retrasos provocados en el proceso de ajuste del mercado de bienes y en el periodo de gestación de los proyectos de inversión, permite excesos de la producción, diversos grados de capacidad productiva instalada y mantener la sustentabilidad económica del sistema. El SD/IP ofrece un modelo más completo desde el punto de vista de incorporación de los procesos de funcionamiento de la realidad.

En segundo lugar, mediante el SD/IP es posible calcular los multiplicadores dinámicos. En general, la magnitud del multiplicador dinámico está correlacionada positivamente con la proporción de insumos intermedios respecto a la producción total. En otras palabras, el multiplicador sectorial será mayor cuando la proporción de insumos intermedios usados en la producción total sea más grande. Se observa que dependiendo de la razón capital-producto del sector, la tasa de convergencia es diferente. En los sectores caracterizados por una mayor proporción de capital producto, tal como el secundario y el terciario, habrá menores tasas de convergencia del multiplicador.

En tercer lugar, es posible realizar proyecciones confiables del crecimiento del PIB a pesar de la “calidad” de los parámetros utilizados en el SD/IP. Los valores actuales y proyectados de crecimiento del PIB en el tiempo son “razonables”.

En cuarto lugar, el SD/IP constituye una herramienta útil en la exploración de las posibilidades de crecimiento económico y maneras de acelerar dicho proceso y hacerlo más eficiente.

Finalmente, se debe reconocer que el SD/IP tiene también limitaciones. Entre las más importantes están: 1) no toda la inversión puede explicarse en función de los niveles de producción; gran parte de la inversión está compuesta por obras de infraestructura, proyectos militares y existencias mantenidas con fines especulativos que no están directamente vinculados con la producción; 2) la estructura de rezagos en el proceso de formación de capital o inversión es muy complicada y depende de factores tecnológicos, psicológicos y sociales, políticos e institucionales; y 3) existe una gran cantidad de formas de ajustar el exceso de producción como trabajar turnos adicionales, ampliar o construir nuevas instalaciones e introducir cambios tecnológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángeles, M. (1991). Multiplicadores de producción, ingreso y empleo en la economía mexicana: un enfoque insumo-producto, *Ciencias y Humanidades*, 13(33). Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Cervantes A., Chiappa X. y Nuno, S. (2007), Manual Práctico de Stella, software de simulación dinámica. <https://vdocuments.mx/manual-stella.html>
- Cordier, M., Uchara, T., Weih, J. y Hamaide, B. (2017). An input output economic model integrated within a system dynamics ecological model: feedback loop methodology applied to fish nursery restoration. *Ecological Economics*, 40 (C). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.005>
- Constanza, R. (1987). Social traps and environmental policy. *Bioscience*, 37(6). <https://academic.oup.com/bioscience/issue/37/6>
- Dasgupta, P. y Mäler, K. (2003). The economics of non-convex ecosystem. <https://doi.org/10.1023/B:EARE.0000007347.37345.55>
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. y Walker, B. (2002). Resilience and sustainable developing building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO. A Journal of the Human Environment*, 31(5).
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. M.I.T. Press.
- Fuentes, N. A., Brugués Rodríguez, A. y González-König, G. (2015). Modelo insumo producto regional dinámico. *Revista de Economía*, 32(84).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2014). Sistema Mexicano de Cuentas Nacionales (SMCN). Matriz de Insumo-Producto 2013. www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2019). Sistema Mexicano de Cuentas Nacionales (SMCN). Producto Interno Bruto: Series desestacionalizadas 1994-2019. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2019). Sistema Mexicano de Cuentas Nacionales (SMCN). Producto Interno Bruto: variación porcentual respecto al mismo trimestre de un año anterior 1994-2019. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>
- Jackson, T., Victor, P. y Naqvi, A. (2016). Towards a stock-flow consistent ecological macroeconomics. *WWFforEurope Working Paper*, No. 114. WIFO studies, WIFO, number 58799. <https://ideas.repec.org/b/wfo/wstudy/58788.html>
- Johnson, T. (1985). A continuous Leontief dynamic input output model. *Eighth Pacific Congress of the Regional Science Association*. USA.

- _____ (1986). A dynamic input-output model for small regions. *Review of Regional Studies*, 56. <https://rrs.scholasticahq.com/article/9474-a-dynamic-input-output-model-for-small-regions>
- Johnson, T., Bryden, J., Refsgaard, K. y Alva Lizarraga, S. (2008). A system dynamic model of agriculture and rural development: The TOPMARD core model. 107th EAAE Seminar, Spain, January 29th-February 1st.
- Kozikowski, Z. (1988). *Técnicas de planificación macroeconómica*. Trillas.
- Leontief, W. (1941). *The structure of the american economy, 1919-1929*. Harvard University Press.
- _____ (1953). Dynamic analysis. En W. Leontief., H. Chenery, P. Clark, J. Suesenberry, A. Ferguson, A. Grosse. R. Grosse, M. Holzman, W. Isard y H. Kinstin (eds.). *Studies in the structure of the american economy: Theoretical and empirical explorations in input output analysis* (pp. 53-90). Oxford University Press.
- Limburg, R. E., O'Neil R. V., Costanza R. y Farber, G. (2002). Complex systems and valuation. *Ecological Economics*, 41(3). [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00090-3)
- San Isidro, M. de J. (1998). El proceso de validación de modelos de simulación. Informe Técnico CIEMAT, Centro de Investigaciones Tecnológicas y Medioambientales, Ciudad Universitaria, España.
- Wheat, D. y Pawluczuk, A. (2014). Dynamic regional economic modeling a system approach. *Economic Management*, 4. DOI 10.12846/j.em.2014.04.18
- Xu, M. (2014). *Modelo de gestión de existencias de una empresa a través de dinámica de sistemas* [Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas, Universidad de Jaén, España].
- Yamagushi, K. (2002). Step-by-step system dynamics modelling of sustainability. Osaka Sangyo University. 19th International Conference in System Dynamics Society. USA.