

Incorporación de externalidades en el análisis Insumo-Producto: origen de la información

Pedro Andrés Bohórquez Pulido



Centro de Estudios Financieros-CEF
Universidad a Distancia de Madrid-UDIMA
Madrid, España
2020

Incorporación de externalidades en el análisis Insumo-Producto: origen de la información

Pedro Andrés Bohórquez Pulido

Trabajo de Fin de Máster I presentado como requisito parcial para optar al
título de:

Máster en Dirección y Gestión Contable

Director:

D. Luis Ángel Padilla Álvarez

Línea de Investigación:

Accesibilidad a la información económico-financiera. Divulgación y
herramientas de comunicación

Centro de Estudios Financieros-CEF
Universidad a Distancia de Madrid-UDIMA

Madrid, España

03 de mayo de 2020

Resumen

La Matriz Insumo-Producto (MIP) ha sido utilizada a lo largo de la historia para representar los flujos de bienes y servicios en la economía, también se ha extendido esta para exponer el análisis ambiental y ecológico, relacionando la producción económica con los impactos que esta tiene en la naturaleza, con la planeación de esos impactos y con la presencia o dispersión de estos, identificados en múltiples categorías. Basado en estos modelos, el autor expuso en 2018 una propuesta de modelo que plantea incorporar en manera amplia las externalidades en el insumo producto partiendo de la MIP en un periodo específico. Sin embargo, la investigación llegó en el 2018 hasta el planteamiento de la propuesta de modelo; por lo tanto, este documento tiene como objetivo definir el origen de la información para poder aplicar la propuesta de modelo. Finalmente, se concluye que la información tiene origen macro-contable y está contenida en las cuentas funcionales, que hacen parte del Sistema de Cuentas Económico-ambientales (SCEA).

Palabras clave: Matriz Insumo-Producto (MIP), Macro-contabilidad, Sistema de Cuentas Económico-ambientales (SCEA)

Key words: Input-Output Matrix (IOM), Macro-accountability, System of Environmental-Economic Accounting (SEEA)

Índice

Resumen	3
Índice	4
1. Introducción	5
2. Objetivos	7
3. Metodología	6
4. Descripción del modelo base	7
4.1. Contribuciones al análisis ambiental y ecológico	11
4.2. Descripción de la propuesta de modelo	22
5. Información para aplicar la propuesta de modelo	26
5.1. Matriz de contabilidad social	27
5.2. Sistema de Cuentas Económico-Ambientales (SCEA)	29
6. Conclusiones	34
7. Bibliografía	35

1. Introducción

En el año 2016 el autor inició una investigación sobre el análisis de la matriz insumo producto (MIP), la cual explica las demandas intersectoriales en una economía, exponiendo cómo un sector, en la elaboración de sus productos, demanda productos terminados de otro sector como insumos. Para esto, en la matriz se ubican los sectores de una economía en filas y columnas, siendo las intersecciones entre estas, las mencionadas demandas intersectoriales.

En el 2018 culminó la primera fase de la investigación, dando como resultado la propuesta de un modelo que incorpora las externalidades generadas en la producción de bienes y servicios de cada sector de una economía en la MIP. En dicho documento se desarrolló lo siguiente:

- se describieron los aportes y críticas de los modelos derivados de la MIP aplicados al análisis ambiental
- se exploraron múltiples definiciones del término "externalidad" para poder adoptar uno en concreto
- se planteó la estructura matemática de la propuesta de modelo, comprobando que este cumple los supuestos planteados para la aplicación de la MIP y agregando otros supuestos propios del alcance perseguido con la propuesta de modelo
- finalmente, se concluyó que sí es viable incorporar las externalidades en el análisis de la MIP una vez se investigara cómo identificar los datos que alimenten la propuesta de modelo para su futura aplicación.

Los modelos que habían partido hasta el momento de la MIP con aplicaciones ecológicas y ambientales pueden agruparse de dos maneras: según Barker (1998), los modelos pueden ser de tipo estático o dinámico; mientras que Miller y Blair (2004) los agrupan en cuatro marcos de referencia, los de análisis generalizado de insumo-producto, derivados del modelo ampliado de Leontief, modelos económico-ecológicos y Dispersión de contaminantes. Finalmente, todos los modelos explican la interacción entre los aspectos productivos y ambientales en una economía, teniendo como principal diferencia el momento en que se observan los impactos y las herramientas matemáticas y estadísticas utilizadas.

Una vez observadas las categorías y ubicando los estudios realizados al respecto, se encontró que los modelos observados se centraron en algunos desechos gaseosos o sólidos y productos de los ecosistemas (como el agua y el aire), quedando rezagados aspectos culturales, de la salud, del paisaje, entre otros, que también se ven afectados por la producción económica. De lo que surgió la idea de proponer un nuevo modelo que incorporara en un marco general cualquier externalidad que se generara en la producción de bienes y servicios en el análisis de la MIP.

Para identificar las externalidades, se identificó que estas surgen de la demanda de bienes y servicios que se desprenden de un ecosistema adoptando el concepto dado por el IPBES (2015) y Pascual et al. (2017) de "contribuciones de la naturaleza para las personas" o simplemente "contribuciones de la naturaleza", el cual amplía el concepto

de "servicios ecosistémicos" al incluir un conocimiento plural que contempla el conocimiento indígena y local.

Finalmente, se concluyó que el término "externalidad" fue complementado a lo largo de la historia, ampliando su alcance. Para la propuesta de modelo, se decidió que las externalidades a incorporar en el análisis de la MIP se definen como:

"externalidad es una falla del mercado que surge cuando la producción de un bien o servicio causa de manera involuntaria una pérdida o una ganancia en el beneficio de otro agente sin que este sea compensado, es decir cuando el costo social marginal de la producción supera el beneficio que esta genera (Daly y Farley, 2004), o cuando la distribución de las contribuciones a la naturaleza no es eficiente, generando costos sociales derivados del uso de la biodiversidad (IPBES, 2015); estos impactos pueden ser medidos a través del deterioro que las organizaciones (y la cadena de valor de sus productos) generan al consumir contribuciones de la naturaleza a una tasa superior a la de su regeneración y el valor de su provisión, absorción, limpieza u otros métodos para reponerlos (definición del análisis E P&L del APAD, 2014)." (Bohórquez, 2018)

De esta manera, la propuesta de modelo parte de la matriz de demanda intersectorial de Leontief (que es identificada como la matriz superior), integrando una nueva matriz en la parte inferior, cuyas filas representan las contribuciones de la naturaleza, y sus columnas contienen los sectores de la economía. Las intersecciones entre las filas y columnas de la segunda matriz son las externalidades generadas en el periodo en el que se construya la MIP. También se concluyó que estas externalidades deben tener unidad de medida, la cual se decidió que fuera precios, para conservar la uniformidad con la escala de medición de la matriz superior. Así, se tienen dos matrices unidas que permiten analizar de manera lineal las externalidades.

Sin embargo, en la primera investigación quedaron algunos aspectos por profundizar, entre ellos:

- ¿De dónde se obtiene la información que compone la segunda matriz?, es decir, ¿cómo puede identificarse el valor de las externalidades generadas en un periodo dado en una economía?

Esta pregunta es la que motiva la creación de esta extensión de la investigación, porque, antes de aplicar el modelo, es indispensable conocer cuáles son las fuentes de información que permitirán tener los datos para su aplicación. Para lograrlo, se estudiarán los modelos contables para la medición de impactos (Miller y Blair, 2009), los cuales hacen parte del enfoque de los impactos y este del marco de referencia del Análisis generalizado de insumo-producto. También se analizarán las fuentes de información macro-contables¹, según lo indicado por Cañibano (1999) generada por cada país.

Este documento se limita a concluir sobre las fuentes de información y una aproximación teórica a su uso, dejando para futuras investigaciones la aplicación de la propuesta de modelo en aquellos países donde exista información suficiente.

¹ La macro-contabilidad es la rama de la contabilidad que estudia los flujos de los recursos a nivel macroeconómico y se divide en contabilidad de la balanza de pagos, de los flujos de fondos y de la renta nacional (Cañibano, 1999)

2. Objetivos

Principal:

- Continuar la investigación sobre la inclusión de externalidades en el análisis insumo producto identificando las fuentes de información de origen contable que hagan posible la aplicación de la propuesta de modelo.

Secundarios:

- Describir los modelos asociados con el enfoque ambiental y ecológico que se desprenden de la ampliación de la matriz de Leontief.
- Describir la propuesta de modelo para incluir las externalidades en el análisis insumo producto.
- Describir fuentes de información para la aplicación de la propuesta de modelo para incorporar las externalidades en el análisis insumo producto.

3. Metodología

Este documento plantea objetivos derivados de una investigación previa, a la cual le da continuidad. Como fue descrito anteriormente, este es un documento de investigación documental (Muñoz, 1998), donde se exponen argumentos teóricos, cuyo contraste se logrará en futuras investigaciones.

Esta investigación es de corte cualitativo (Hernández, Fernández-Collado y Baptista, 2006). En esta investigación se llevó a cabo una exploración bibliográfica, con un diseño longitudinal, analizando documentos en idioma español e inglés, en revistas indexadas y libros, encontrados en las bases Academic Search Complete (EBSCO), Jstor, Science Direct, Redalyc, Econlite y Scielo.

4. Descripción del modelo base

La primer aproximación al análisis Insumo-Producto data del siglo XVIII con François Quesnay y su "Tableau économique" (Tabla Económica), después, Leon Walras introdujo el concepto de coeficientes de producción al análisis y finalmente, Wassily Leontief creó la teoría Insumo-Producto (DANE, 2013) generando en 1941 la primer aplicación a la economía estadounidense entre 1919-1939 usando una matriz para representar las demandas intersectoriales, aporte que le hizo merecedor del Premio Nobel de Economía en el año 1973.

En un inicio Wassily Leontief creó la teoría insumo-producto para describir la relación de la producción agrícola con el entorno económico y actualmente la teoría insumo-producto explica la interdependencia sectorial en toda la economía (DANE, 2013). Esta matriz ubica los sectores de la economía en filas y columnas (los mismos sectores tanto en las

filas, como en las columnas), así que cada elemento de la matriz muestra el número total de productos que el sector A demanda del sector B, C, D...Z, lo cuales al mismo tiempo demandan productos de los sectores A, B, C, etc. En este sentido, un incremento en la demanda final del producido de un sector A no solo incrementa la demanda de ese sector, sino también incrementa la demanda de otros sectores de la economía (Miller & Blair, 2009).

Sumado a la matriz de consumo intermedio, la matriz incluye:

- La demanda final: representada por los consumidores finales de origen privado como los hogares, o de origen público como el gobierno; además, se incorpora la inversión. Estas variables se ubican en las últimas columnas de la matriz.
- El valor agregado: el cual comprende la remuneración a los asalariados, los tributos netos pagados por la producción², el ingreso mixto y el excedente bruto de explotación, estas variables se ubican en las últimas filas de la matriz.
- Comercio internacional: el cual incorpora las importaciones (ubicadas en las últimas filas) y las exportaciones (ubicadas en las últimas columnas). Junto con las exportaciones se agregan los ajustes por los costos de exportación y junto a las importaciones las compras directas en el territorio nacional por no residentes.

Una descripción gráfica del modelo abierto³ puede ser vista en la Figura 1: Modelo abierto de la MIP:

² El valor neto surge de los impuestos pagados por las empresas en cada uno de los sectores, menos las subvenciones o subsidios del gobierno recibidos como estímulo para la producción.

³ El modelo de la MIP puede entenderse como abierto cuando incluye aspectos de la demanda final y del trabajo como variables exógenas (cuyos cambios no impactan la economía en su conjunto)

Figura 1: Modelo abierto de la MIP

Matriz $z_{i,j}$		Productores como consumidores			Demanda final			
		Sector 1	Sector j	Sector n	Consumo público	Consumo privado	Inversiones	Exportaciones
Productores	Sector 1	X_{11}	X_{1j}	X_{1n}				
	Sector i	X_{i1}	X_{ij}	X_{in}				
	Sector n	X_{n1}	X_{nj}	X_{nn}				
Importaciones					PIB			
Valor agregado	Salarios							
	Exc. bruto de explotación							
	Tributos netos							
-----> Distribución del producto final ----->								

--> Función de producción ----->

Fuente: Tomado de Bohórquez (2018), elaborado con base en Hernández (2011) y Miller y Blair (2009)

De esta manera, los flujos intersectoriales son representados por la matriz de tamaño $n \times n$, denominada Z , cuyas entradas tienen la siguiente interpretación:

$$z_{i,j} = \text{demanda del insumo por el sector } i \text{ del sector } j$$

La demanda final de cada sector, que es el consumo de los productos de los sectores como bienes finales por los hogares, las empresas o el gobierno, se representa por el vector f , de tamaño $n \times 1$:

$$f_i = \text{demanda final del sector } i$$

De allí, se puede obtener el total de la oferta del sector i , denominado x_i , que corresponde a:

(1)

$$x_i = \sum_{j=1}^n z_{i,j} + f_i$$

La información sobre la oferta total de cada sector será agrupada en un vector denominado x , de tamaño $n \times 1$, cuyas entradas corresponden a x_j .

La ecuación (5) describe como el sector productivo i , distribuye su producto entre las ventas a otros sectores y la demanda final. Este puede ser representado como una matriz:

$$x = Z1 + f$$

Donde 1 es un vector de tamaño $n \times 1$ cuyas entradas son todas 1 . Con esta información se puede definir los coeficientes técnicos de la ecuación:

(2)

$$a_{i,j} = \frac{z_{i,j}}{x_j}$$

Los coeficientes son ratios y su resultado se puede interpretar como la proporción –en términos monetarios- consumida por el sector i del sector j para producir una unidad de producto final. Esta matriz se definirá como A .

Usando esta definición, la ecuación (5) adquiere otra representación matricial:

(3)

$$x = Ax + f$$

La ecuación (3) es equivalente a la siguiente ecuación:

$$(I - A)x = x - Ax = f$$

Asumiendo que la matriz $I-A$ es invertible, se obtiene:

(4)

$$x = (I - A)^{-1}f = Lf$$

Aquí $L = (I - A)^{-1}$ se denomina la matriz inversa de Leontief.

La ecuación (4) permite, bajo la existencia de proyecciones de demanda final para periodos futuros, determinar los niveles de producción que satisfacen futuros cambios en la demanda de un sector.

De las ecuaciones (5) y (6) y suponiendo la existencia de demanda final en cada sector, se obtiene que:

$$0 < \sum_{i=1}^n a_{i,j} < 1$$

Esto describe el modelo básico de Leontief, sin embargo, es posible encontrar en la literatura transformaciones que faciliten interpretaciones con diversos fines.

4.1. Contribuciones al análisis ambiental y ecológico

El modelo de la Matriz Insumo-Producto ha sido la base para múltiples análisis, entre ellos, el análisis ecológico y ambiental-económico, que son los que fundamentan la propuesta de modelo descrita en este documento. Sin embargo, para aproximar el análisis de la realidad del ecosistema, el modelo ha debido ser ajustado a través de la inclusión de variables o de transformaciones matemáticas que difieren del modelo original. Una síntesis de las diversas transformaciones del modelo puede verse en Miller & Blair (2009), mientras que una clasificación alternativa de estos modelos puede verse en Barker (1998). A continuación, se expondrán los principales modelos -derivados de la MIP original de análisis económico-, direccionados hacia el análisis ecológico y ambiental-económico:

Tabla 1: Enfoques ambientales y ecológicos de la MIP

<i>Marco de referencia</i>	<i>Modelo</i>
<i>Análisis generalizado de insumo-producto</i>	Contabilidad para impactos de contaminantes Impactos generalizados
<i>Análisis generalizado de insumo-producto: Enfoque de la planeación</i>	Aplicación del enfoque de la planeación y programación de objetivos Programación de políticas Insumos ecológicos
<i>Modelo ampliado de Leontief</i>	Generación y eliminación de contaminantes
<i>Modelos económicos-ecológicos</i>	Modelos integrados Modelo limitado económico-ecológico
<i>Dispersión de contaminantes</i>	Modelos de dispersión gaussianos

Fuente: Tomado de Bohórquez (2018), modificado de Miller & Blair (2009)

Partiendo del enfoque de **análisis generalizado de Insumo-Producto**, se desprenden el **modelo de contabilidad para los impactos** de contaminantes y el **modelo**

generalizado de impactos: el primer modelo de contabilidad incluye aplicaciones en las que el objetivo ha sido contabilizar la generación de contaminación por la producción de las industrias a través de la construcción de matrices de producción de polución o de coeficientes de efectos directos sobre el ecosistema; el segundo, el modelo generalizado, incluye aplicaciones que miden cualquier impacto de las industrias integrando vectores a la MIP que describen el consumo de insumos o de energía y la generación de contaminantes, desperdicios o cualquier otro factor que varía linealmente con la producción.

Derivado del análisis de impactos generalizado de Insumo-Producto, se desprenden los **enfoques de la planeación** y del **modelo ampliado de Leontief**. Del enfoque de la planeación, surgen las aplicaciones de la planeación y la programación de objetivos, donde se imponen objetivos de demanda final de contaminantes y se halla la producción sectorial eficiente que coincide con aquellos límites a través de la minimización de las funciones de producción que se desprenden de la MIP.

Otro modelo incluido en el enfoque de la planeación es la **programación de políticas**. En este enfoque se definen una serie de escenarios futuros en términos de producción sectorial, consumo de energía, emisiones y empleo regional; estos escenarios satisfacen matrices de Insumo-Producto específicas con coeficientes de impacto directo. Los escenarios políticos que idealmente deben aplicarse se definen usando el método de análisis de jerarquías (desarrollado por Saaty en 1980). Este análisis fue revisado y complementado por el mismo autor en posteriores años, para ver la compilación de su trabajo, ver Saaty (2008).

El último modelo asociado al enfoque de la planeación es el de **insumos ecológicos**, donde a través de la modificación del enfoque generalizado de impactos, se agregan nuevas filas y columnas al modelo básico de la MIP; las nuevas columnas representan la producción de desechos arrojados al ecosistema (como emisiones y desechos) y las nuevas filas representan los insumos ecológicos utilizados (como agua o tierra). Este enfoque incluye mercancías de no mercado (bienes y servicios ecológicos sin precio) medidos en diversas unidades (como litros, toneladas, hectáreas, etc.).

Asociado con el marco teórico de los **modelos ampliados de Leontief** se encuentra el **modelo de generación y eliminación de contaminantes**, el cual incorpora a los contaminantes como una nueva mercancía con su respectiva producción y demanda, así como a un "sector de limpieza" que demanda recursos de otros sectores de la economía y representa el costo de limpiar la contaminación. Este modelo busca endogenizar comportamientos de recuperación ambiental. Para aplicar este modelo es necesario darle un precio tanto a la contaminación como a su limpieza; lo cual difiere del modelo de insumos ecológicos, en cuanto en este último estas variables son medidas en unidades físicas.

En el marco de los **modelos económicos-ecológicos**, se encuentra el **modelo integrado**, el cual se basa en Daly (1968) e Isard y otros (1968) y tiene como objetivo incorporar actividades ambientales en el marco de la matriz insumo-producto a través de la relación entre actividades económicas y procesos ambientales. La versión de Daly usa cuatro submatrices (cuadrantes de una matriz 2X2) de flujos: (1,1) industria-industria, (1,2) industrias-procesos ecológicos, (2,1) procesos ecológicos-industrias y (2,2) procesos ecológicos-procesos ecológicos; los cuales muestran los flujos dentro del sistema económico y dentro del ecosistema, así como interacción de flujos entre la economía y el ecosistema. Por otro lado, Isard y otros adicionan el enfoque de

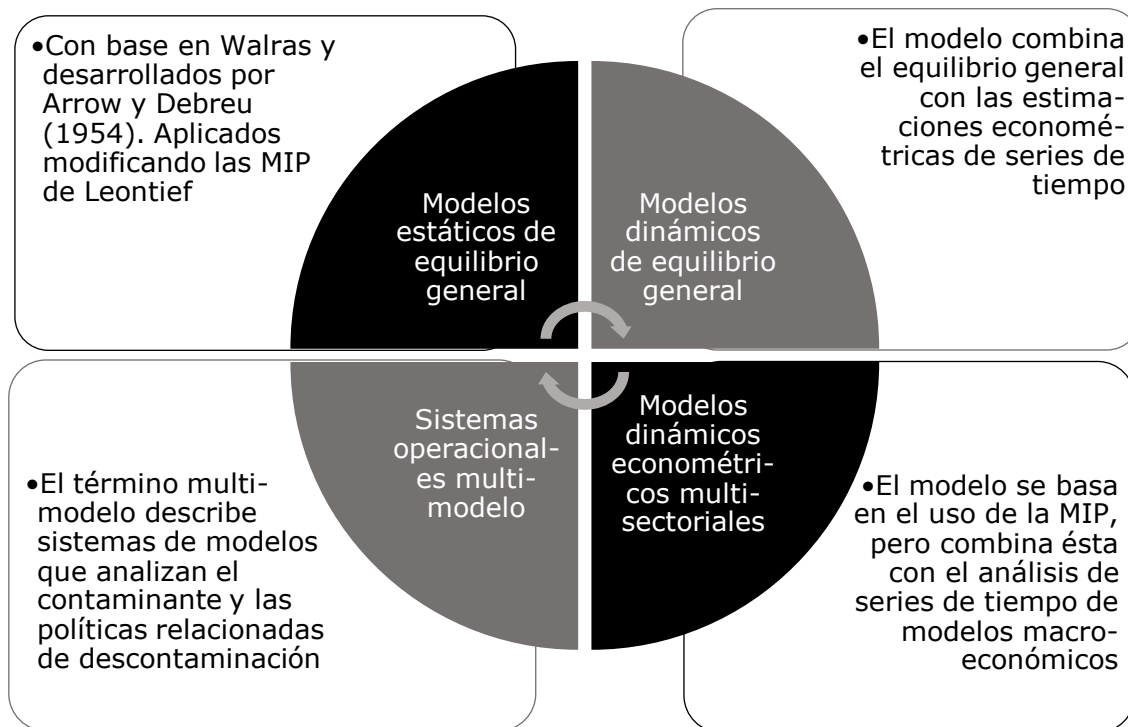
mercancías por industria, el cual permite agregar múltiples mercancías y generadores-eliminadores de contaminación.

En cuanto al **modelo limitado económico-ecológico**, inspirado en Isard y otros (1968) y desarrollado por Victor (1972) (citado en Miller & Blair, 2009), plantea el cálculo de valores límite de los insumos extraídos de los ecosistemas, que posteriormente son utilizados para restringir el uso de insumos ecológicos y la generación de desechos por las industrias.

Finalmente, dentro del **marco de dispersión de contaminantes** se encuentra el **modelo de dispersión gaussiana**, el cual estudia la manera en que la contaminación generada por las industrias se dispersa en el ambiente. Específicamente, la dispersión gaussiana asume que los contaminantes se dispersan simétricamente de forma horizontal y vertical con base en un centro. Este modelo puede acoplarse con el modelo de la MIP agregando una columna de contaminación dispersada y una fila de concentración de contaminación captada en lugares específicos. La dispersión de contaminantes puede ser descrita con coeficientes de generación de contaminación, mientras que los coeficientes de receptores de la contaminación pueden hallarse con el modelo de dispersión gaussiana.

Por otro lado, está la categorización que hace Barker (1998) de los modelos económicos con base en cómo estos describen la dinámica entre los contaminantes y el ambiente:

Figura 2: Modelos de análisis ambiental



Fuente: Tomado de Bohórquez (2018), elaborado con base en Barker (1998)

La diferencia entre los modelos estáticos de equilibrio general, los modelos dinámicos de equilibrio general, los sistemas operacionales multimodelo y los modelos dinámicos econométricos multisectoriales surge del origen de los datos con los que se analiza la interacción de los contaminantes y el ambiente. Para explicar esta diferencia se pueden agrupar las mencionadas categorías en 2 enfoques:

- Modelos estáticos: estos parten de datos tomados en el momento de hacer el análisis y permiten concluir al respecto de una realidad específica; normalmente son lineales y toman como exógeno el cambio del comportamiento de las variables a través del tiempo.
- Modelos dinámicos: estos integran series de tiempo y permiten proyectar las variables analizadas con base en la información de los hechos pasados. Estos modelos incorporan el cambio que sufren las variables a lo largo del tiempo, por lo tanto, parten de funciones de producción que varían en el tiempo, ampliando el análisis. (Duchin, 2004)

Estos modelos han sido aplicados por diversos autores, entre los cuales se destacan:

Tabla 2: Documentos que relacionan el análisis de la MIP y el enfoque ambiental o ecológico

	Documento	Lugar	Variables	Conclusiones
Análisis generalizado de insumo-producto; Enfoque de los impactos	Proops, 1977	N. A.	Flujos energéticos	El autor extiende la metodología de la MIP en precios a una propuesta de medición de intensidad de energía utilizada por los sectores económicos contabilizando los flujos energéticos y su dispersión. Este modelo es una propuesta y sus aplicaciones pueden ser vistas en otros autores como Ayres (1995)
	Hoekstra y van den Bergh (2002)	Varios	Flujos físicos	Los autores proponen un método estático comparativo que introduce el Análisis Estructural de Descomposición (SDA por sus siglas en inglés) en el análisis insumo-producto, lo cual se concluye es un método adecuado para estudiar los determinantes que afectan los flujos físicos en la economía y su relación con el ambiente a lo largo del tiempo y entre países. También es posible relacionar los cambios en los flujos físicos y los coeficientes (efectos tecnológicos) y cambios en la demanda final de los sectores. Los efectos tecnológicos pueden dividirse entre efecto sustitución y efecto productividad; mientras que los efectos de la demanda final pueden dividirse entre efecto producto-diversidad, categoría y nivel. De la aplicación del método se concluye que los cambios en la demanda final son los que afectan mayormente el incremento de los flujos físicos.

	Barker, 1998	N. A.	Externalidades	<p>Los modelos de equilibrio general (CGE por sus siglas en inglés) computables se basan normalmente en matrices de contabilidad social (SAM por sus siglas en inglés) en un año base, tal es el caso del modelo de cuentas verdes de la OCDE. Por lo que, si se parte del supuesto de maximización de la eficiencia en la economía y maximización del beneficio social, es necesario incluir el valor de las externalidades que el consumo de unos bienes y servicios causa a la producción de otros productos. El ajuste a los CGE debe darse desde el ajuste de los precios de la producción, incluyendo el costo de la externalidad; el autor ubica como ejemplo los gases de efecto invernadero que consumen la capacidad de la atmósfera, lo cual es un bien común. El punto de partida de análisis debe ser la matriz de precios ajustados, reconociendo el valor de las externalidades. Una vez se incluyan las externalidades, será viable aproximar una cuota ambiental en la producción, comparando el modelo ajustado con el modelo que no incluye las externalidades, esto según Goulder (1994, citado en Barker, 1998)</p>
	Allan, Hanley, McGregor, Swales y Turner, 2007	Escocia	Generación de desechos y ajuste de los precios por la limpieza de estos	<p>Los autores parten del conocimiento del valor del contaminante, dado que el dato existe según la información publicada por el gobierno escocés. Una vez teniendo este dato, ellos parten de niveles de limpieza según la información expuesta por el mismo gobierno. En este caso existe información sobre el volumen del contaminante, pero no se integra el valor del impacto ambiental causado por la generación de basuras, por lo que el valor utilizado es solamente el revelado y es posible que se excluyan otros gastos de externalidades. A raíz de la endogenización de la generación de desechos y su respectiva limpieza, los precios de la producción de algunos sectores cambiaron, unos precios fueron más altos al incluir la limpieza de los contaminantes y el uso de bienes de uso público antes no incluido, mientras que el precio del producto final de otros sectores fue más bajo en cuanto eran estos sectores los que incorporaban el uso de los bienes de uso público.</p>
	Serrano, 2008	España	Contaminantes del aire	<p>En el trabajo de la autora se analizaron tres factores principales: los efectos de las tecnologías de escala, las preferencias individuales y el comercio internacional. A pesar de que el progreso tecnológico tiene un efecto positivo en la reducción de contaminantes, no es capaz de sostener el efecto negativo provocado por el incremento de la demanda final. Segundo, las personas en cuanto incrementan su ingreso, se preocupan más por la calidad de vida, por el cuidado ambiental y por demandar menos contaminación, aunque esta tendencia no se relaciona con una desvinculación entre crecimiento e impacto ambiental, por lo que no necesariamente existe una mejora ambiental. Finalmente, se concluye que España está desplazando la presión ambiental a otros países a través del comercio internacional en cuanto la contaminación generada en la producción de sus importaciones es menor que la contaminación generada en la producción de sus exportaciones.</p>

<i>Análisis generalizado de insumo-producto: Enfoque de la planeación</i>	Kananen, Korhonen, Wallenius y Wallenius, 1990	Finlandia	Sectores económicos, múltiples objetivos	Con el fin de analizar el impacto económico y político de una crisis en la economía finlandesa los autores crearon un modelo de insumo-producto de 17 sectores con múltiples objetivos. Este modelo surge como respuesta a las limitaciones con los enfoques tradicionales y se basa en un enfoque visual, interactivo, de múltiples objetivos linealmente programados (IVG por sus siglas en inglés). El modelo tiene las siguientes características: a) múltiples objetivos de conflicto pueden ser estudiados simultáneamente; b) el rol de los objetivos y limitaciones puede ser cambiado durante la solución del problema; c) el uso de las gráficas de computadora son claves; d) es fácil implementar el análisis "qué tal si"; e) El enfoque es compatible con los descubrimientos de la psicología para la toma de decisiones del momento; f) el enfoque garantiza que todas las soluciones son eficientes (Pareto-óptimas) al respecto de las funciones objetivo.
	Moffatt y Hanley, 2001	Escocia	12 contaminantes de aire	Los autores crearon un modelo que calcula el cambio en un contaminante con base en el cambio de la demanda final de un sector, además de transformaciones de producción entre sectores, como el cambio en el transporte de carretera al de tren y el cambio de uso de electricidad a uso del gas. El modelo también cumple funciones de planeación, en cuanto permite incorporar metas de producción de contaminantes.
	Lenzen (2003)	Australia	Agua	Los autores analizan los flujos del agua en Australia con el uso de la MIP. Las conclusiones incluyen distribución del uso del agua, donde aproximadamente 30% se destina para la producción de comida y otro 30% se destina para las exportaciones; en contraste, sólo 7% se destina para consumo de los hogares. Otro objetivo principal fue evaluar políticas públicas relacionadas con el agua en el país. El análisis también permitió analizar escenarios futuros sobre el crecimiento poblacional.
	Brink y Idenburg, 2007	Países Bajos	Contaminantes de aire	Los autores incorporaron en el modelo múltiples opciones para eliminar los contaminantes CO2 y NOx, logrando comparar alternativas para escoger la que mejor cumpliera una meta de reducción prevista. Y, una vez la entidad compara el costo de descontaminar y el costo de contaminar, puede decidir. Por otro lado, con el modelo se internaliza el costo de la contaminación en los precios de los productos.

	Ruiz, 2012	México	Contaminantes de aire	Los autores aplicaron la metodología de la MIP ambiental al caso mexicano con el fin de evaluar estrategias para lograr que el gobierno mexicano logre reducir en 30% los gases de efecto invernadero para el año 2020. Los principales hallazgos es que son 15 los sectores más importantes en la economía mexicana y son 21 sectores los que impactan en mayor grado la contaminación del aire, esto con base en la clasificación sectorial dada por el gobierno de los Estados Unidos, la cual se compone de 79 sectores. Los sectores de mayor impacto son: electricidad, hierro y acero, transporte de camiones, petróleo y gas, silvicultura y minería. Los autores concluyeron que la única estrategia de mitigación de la contaminación efectiva es el cambio tecnológico.
	Livas, 2014	México	Energía	El consumo de energía en México ha aumentado por la producción de hidrocarburos, más no por mejoras tecnológicas en su transformación o distribución. Por lo que se utiliza la MIP aplicada a requerimientos energéticos en combinación con el análisis de cambio estructural. Los autores concluyeron que la estructura de requerimientos energéticos mexicana se ha sostenido en los hidrocarburos, donde a lo largo del tiempo se pasó de un mayor consumo directo a un mayor consumo indirecto (60%) del cual los sectores de exportaciones, economía y transporte demanda el 97%; estos mismos sectores demandan en total un 83% del consumo directo e indirecto de energía. Adicionalmente los autores encontraron que la principal causa de los cambios en el consumo directo e indirecto la provocó la producción de hidrocarburos en la década de 1970, más que un cambio tecnológico.
<i>Modelo ampliado de Leontief</i>	Leontief, 1974	Mundo	45 sectores, contaminantes varios	El autor propone la primer matriz mundial insumo-producto incluyendo el efecto de la contaminación y la descontaminación a través del uso de la matriz ampliada de Leontief. Por otro lado, el autor compara los resultados de 28 países, uniéndolos entre desarrollados y menos desarrollados. Adicionalmente propone proyecciones que van 26 años adelante.
	Gutmanis, 1975	Estados Unidos	Contaminantes de aire y tecnología	Los modelos insumo-producto contienen más información estructural que la mayoría de los demás modelos y satisfacen una serie de leyes de la conservación e identidades esenciales, incluyendo interdependencia general. Además, evidencian la desagregación sectorial hasta el punto en que se subdivida cada sector. Este análisis también permite evaluar los cambios de las políticas económicas aplicadas a cada sector a través del análisis forwards o backwards y de coeficientes directos o indirectos.

	Lenzen y Foran, 2001	Australia	Contaminantes de aire	El estudio se basó en encontrar los sectores clave (key sectors) en la contaminación del aire con base en el análisis forward y backward, aplicando la metodología planteada por el modelo ampliado de Leontief y el modelo de Ghosh (1958). Como se esperó, los sectores primarios (como pastoreo o minería) tienen fuerte impacto forward, mientras que los sectores secundarios (como producción de leche o carne) tienen fuerte impacto backward. El modelo fue aplicado usando precios.
	Comisión europea, 2006	Unión Europea	Cuentas ambientales nacionales	La Comisión Europea en el 2006 hizo el inventario de las MIP ambientales en la Unión Europea, sin embargo, al indagar en los países de la unión, se encontró que no es posible hablar de MIP ambientales, sino de Matrices de Contabilidad Nacional con Cuentas Ambientales (NAMEA por sus siglas en inglés). De este modelo de cuentas nacionales ambientales, las tablas que existen son al respecto de contaminantes desechados en el aire. La lista de contaminantes asciende a 20 según el Eurostat (2004), aunque no todos los países tienen tablas y las tablas existentes no son uniformes. Las tablas existentes cubren entre 10 y 20 contaminantes, sin embargo, son cientos de ellos los que son arrojados a la atmósfera.
	Giacomelli, 2013	Brasil	Basuras	El modelo ampliado de la MIP permite detectar el nivel de basuras necesario para la producción de un sector, por lo que permite detectar los costos y beneficios de la producción. Adicionalmente el modelo permite hacer seguimiento a lo largo de la cadena de consumo y de la cadena de suministros, permitiendo incluir la basura generada en todo el ciclo de vida del producto. El autor representa en matrices separadas la cadena de consumo y la cadena de suministros, encontrando que unos sectores afectan más que otros los costos en cada una de las cadenas. A través de este modelo se observa que los materiales y desechos con el menor costo biofísico por unidad son los que el mayor costo monetario unitario, lo que comprueba la realidad de la paradoja de Jevons.
<i>Modelos económico-ecológicos</i>	Cordier, Uehara, Hamaide y Weih, 2015	Francia	Recursos naturales, actividades económicas, análisis dinámico	Los autores hicieron un modelo sobre un sistema económico-ecológico, basados en dos enfoques: modelación dinámica de sistemas (SD modeling por el nombre del término en inglés) con base en el software Powersim para el sistema ecológico y modelación de la MIP en Excel para el sistema económico; posteriormente aplican el modelo a la destrucción y posterior restauración del Estuario del río Sena (Francia) incluyendo circuitos de retroalimentación en las dinámicas económicas y ecológicas. La razón para unir los dos conceptos surge de la no convexidad y no linealidad de las dinámicas ecosistémicas, la posibilidad de capturar efectos directos e indirectos a través del análisis de la MIP y la disponibilidad de información acerca de los datos a incluir en la MIP. Sin embargo, en este modelo la variable de cambios en la productividad y en la tecnología son estimados a través de un análisis de sensibilidad, partiendo de que existen cambios aproximadamente cada 8 años; esta limitación es variable de región a región dado el nivel de desarrollo tecnológico y productivo de donde se aplique el modelo.

<i>Modelos dinámicos</i>	Carter, 1974	Estados Unidos	Tecnología, emisiones, descontaminación de aire, agua y basuras	<p>La autora parte de un modelo dinámico cerrado que predice el crecimiento de la economía con base en la interacción de algoritmos en el modelo de la MIP. También integra cambios en la tecnología en la generación de energía a través del tiempo, así como el cambio en la matriz energética tendiente hacia el uso del carbón. La contaminación que incluyó la autora fue polución del aire, del agua, de efecto invernadero, por aguas residuales, por explotación minera a cielo abierto y por basuras; aplicando un coeficiente de reducción que da cuenta del Acto del aire limpio de 1971. El crecimiento del consumo se computó con base en una estimación de crecimiento poblacional y del crecimiento per-cápita, donde este último depende del crecimiento económico proyectado según el comportamiento de los últimos 25 años previos al estudio, mientras la población se dijo crecer a una tasa menor del crecimiento económico, pero siempre positiva. Finalmente, el análisis se da a través de escenarios. La conclusión general es que el cambio de cada variable independiente no afecta al crecimiento económico, pero sus cambios se combinan, el efecto puede ser significativo, principalmente en los cambios tecnológicos en contraste con los cambios en la eliminación de contaminantes dados los altos costos de la inversión. Aunque, a pesar de no haber sido incluidas, existen otras variables que influyen en el crecimiento, tales como la política fiscal, el gasto público, los precios y la productividad laboral.</p>
	Duchin, 1992	Estados Unidos	N. A.	<p>La ecología industria provee las bases procedimentales para optimizar el uso de los recursos, incluyendo el cambio al interior de las empresas y de las industrias, así como los enfoques para reducir, reusar y reciclar basuras. Para ello se lleva el análisis económico al estudio de variables físicas más allá de las monetarias y aplica el enfoque de análisis dinámico; de allí que se demande de la MIP incluir enfoque dinámicos e incluyentes de variables analizadas por la ecología industrial. De esta manera la MIP se extiende para incluir valores en unidades físicas y monetarias a través de la multiplicación de valores físicos por precios unitarios. Para dinamizar el modelo se debe incorporar los cambios de los coeficientes tecnológicos, así el modelo dinámico en unidades físicas permite analizar los stocks y las inversiones; mientras que el modelo dinámico en los precios permite analizar los costos y los rendimientos del capital.</p>

	Sonis y Hewings, 1998	Indonesia	MIP regionales	Los autores presentan la descripción de algunas propiedades fundamentales de redes de economías autoinfluidas y transferencia de influencia económica entre jerarquías de subsistemas económicos, usando análisis estructural de sendas (structural path analysis) entre sistemas de insumo-producto multirregionales; esto en cuanto estas transferencias pueden verse como una red que puede ser descompuesta jerárquicamente que se comporta de manera compleja. Este modelo es aplicable cuando existe información sobre Matrices Contables Sociales (SAM por sus siglas en inglés). La complejidad en la transferencia de los flujos económicos, de información, de conocimiento, de tecnología y de innovaciones culturales son componentes necesarios.
	Idenburg y Wilting, 2000	Países Bajos	N. A.	Con el ánimo de relacionar los cambios tecnológicos con el grado de separación entre crecimiento económico e impacto ambiental, se crea el Modelo Dinámico de Insumo-producto para estudiar los Impactos de las Innovaciones Tecnológicas Relacionadas (DIMITRI por sus siglas en inglés) en los sectores productivos. Para testear el modelo se aplicó el mismo a los cambios tecnológicos ocurridos entre 1980-1997 y se compararon los resultados con los datos reales facilitados por el Departamento de Estadísticas de los Países Bajos; como resultado se encontró que las salidas del modelo coinciden en una importante proporción con los datos reales. El modelo fue aplicado por Wilting, Faber e Idenburg (2004)

Fuente: Elaboración propia con base en varios autores

4.2. Descripción de la propuesta de modelo

Una vez descritos los modelos derivados de la MIP para el análisis ambiental y ecológico el autor creó una propuesta de modelo que integra el análisis de las externalidades en la MIP, tomando como referente la matriz ampliada de Leontief y un concepto específico de externalidad:

“externalidad es una falla del mercado que surge cuando la producción de un bien o servicio causa de manera involuntaria una pérdida o una ganancia en el beneficio de otro agente sin que este sea compensado, es decir cuando el costo social marginal de la producción supera el beneficio que esta genera (Daly y Farley, 2004), o cuando la distribución de las contribuciones a la naturaleza no es eficiente, generando costos sociales derivados del uso de la biodiversidad (IPBES, 2015); estos impactos pueden ser medidos a través del deterioro que las organizaciones (y la cadena de valor de sus productos) generan al consumir contribuciones de la naturaleza a una tasa superior a la de su regeneración y el valor de su provisión, absorción, limpieza u otros métodos para reponerlos (definición del análisis E P&L del APAD, 2014).” (Bohórquez, 2018)

Se sugiere que, al momento de incorporar la información sobre las externalidades, las contribuciones de la naturaleza sobre las que se evalúan estas externalidades sigan la clasificación dada por el SCAEI (ONU, 2014b):

- Servicios de aprovisionamiento: son las externalidades generadas (o el deterioro o agotamiento) sobre los servicios de aprovisionamiento.
- Servicios de regulación: son las externalidades generadas (o el deterioro o agotamiento) sobre los servicios de regulación.
- Servicios culturales: son las externalidades generadas (o el deterioro o agotamiento) sobre los servicios culturales.

Agregando dos categorías adicionales (Bohórquez, 2018):

- Calidad de vida: son las externalidades generadas (o el deterioro o agotamiento) sobre la calidad de vida de los seres humanos.
- Regeneración de la existencia de seres vivos no humanos: es el valor intrínseco (no instrumental) de la regeneración de las especies vivas no humanas (animales y plantas) destruidas por la producción económica.

De esta manera, partiendo de los flujos intersectoriales de la MIP, en la parte inferior se adiciona una matriz cuyas entradas en las columnas son los sectores de la economía de la MIP y las entradas de las filas son las externalidades, representadas mediante las contribuciones de la naturaleza impactadas. Esto requiere que las externalidades sean medidas en precios, con el fin de hacer comparable el valor de estas con el valor de la producción de la MIP base que sea tomada en el análisis.

La propuesta de modelo se ve como se indica a continuación:

Figura 3: Integración de las externalidades en la MIP

		Sectores de la economía			Demanda final
		Sector 1	Sector j	Sector n	
Sectores	Sector 1	$Z_{1,1}$	$Z_{1,j}$	$Z_{1,n}$	f_1
	Sector i	$Z_{i,1}$	$Z_{i,j}$	$Z_{i,n}$	f_i
	Sector n	$Z_{n,1}$	$Z_{n,j}$	$Z_{n,n}$	f_n
Externalidades	Clasificación	Contribución 1	$Z_{s_1,1}$	$Z_{s_1,j}$	$Z_{s_1,n}$
		Contribución i	$Z_{s_i,1}$	$Z_{s_i,j}$	$Z_{s_i,n}$
		Contribución n	$Z_{s_n,1}$	$Z_{s_n,j}$	$Z_{s_n,n}$

Fuente: Tomado de Bohórquez (2018)

Donde:

$z_{i,j}$ = demanda del insumo por el sector i del sector j

f_i = demanda final del sector i

De allí, se puede obtener el total de la oferta del sector i , denominado x_i , que corresponde a:

(5)

$$x_i = \sum_{j=1}^n z_{i,j} + f_i$$

Posteriormente se obtienen los coeficientes técnicos:

(6)

$$a_{i,j} = \frac{z_{i,j}}{x_j}$$

(3)

$$a_{s_i,j} = \frac{z_{s_i,j}}{x_j}$$

Usando estos, se puede expresar las ecuaciones anteriores mediante:

(7)

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{i,j} x_j + f_i \text{ para } i = 1, \dots, n.$$

(8)

$$x_{s_i} = \sum_{j=1}^n a_{s_i,j} x_j \text{ para } i = 1, \dots, m.$$

Definiendo los vectores $f = [f_i]$, $x = [x_i]$, $x_s = [x_{s_i}]$, y las matrices $A = [a_{i,j}]$, $A_s = [a_{s_i,j}]$.

El anterior sistema de $n + m$ ecuaciones se puede escribir en notación matricial como:

(9)

$$\begin{bmatrix} x \\ x_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & \mathbf{0}_{n \times m} \\ A_s & \mathbf{0}_{m \times m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f \\ \mathbf{0}_{m \times 1} \end{bmatrix}$$

Lo que lleva a la siguiente expresión:

(10)

$$\left(I_{n+m, n+m} - \begin{bmatrix} A & \mathbf{0}_{n \times m} \\ A_s & \mathbf{0}_{m \times m} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} x \\ x_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \\ \mathbf{0}_{m \times 1} \end{bmatrix}$$

Usando todo lo anterior se obtiene:

(8)

$$\begin{bmatrix} x \\ x_s \end{bmatrix} = \left(I_{n+m, n+m} - \begin{bmatrix} A & \mathbf{0}_{n \times m} \\ A_s & \mathbf{0}_{m \times m} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} f \\ \mathbf{0}_{m \times 1} \end{bmatrix}$$

De estas transformaciones se llega a dos matrices inversas:

- A^{-1} : Es la matriz inversa de los coeficientes técnicos extraídos de la relación entre la demanda intersectorial y la demanda total de cada sector.
- A_s^{-1} : Es la matriz inversa de los coeficientes técnicos extraídos de la relación entre las externalidades que genera un sector sobre una contribución de la naturaleza y la suma de las externalidades totales generadas sobre dicha contribución.

Debe tenerse en cuenta que es necesario adicional dos matrices de valor 0 porque la inversión de las matrices requiere que estas sean cuadradas, es decir, de tamaño $n \times n$.

Los coeficientes inversos permiten hallar la demanda de servicios ecosistémicos s_1, \dots, s_m necesaria para satisfacer una demanda hipotética $f = [f_i]$.

Esta información es lo que hace posible aproximar las externalidades causadas por cambios en la demanda final de los sectores de la economía que no son consideradas en la matriz insumo-producto original. Finalmente, la sumatoria de los datos consignados en las columnas dará como resultado el vector fila del total de las contribuciones de la naturaleza consumidas.

Este modelo debe extenderse a todos los servicios ecosistémicos consumidos, de tal manera que se pueda incluir la mayor cantidad de externalidades posibles generadas por la producción económica en un periodo determinado.

Para que esta propuesta pueda ser aplicada, se requiere que se cumplan los siguientes supuestos, establecidos en la investigación inicial:

Supuestos del modelo base:

- a) Los flujos interindustriales, para un periodo específico, de un sector x a un sector y , corresponden al total de producto del sector y para el mismo periodo.
- b) Rendimientos constantes de escala: la multiplicación de $z_{1,j}, z_{2,j}, \dots, z_{n,j}$ por una constante cualquiera, multiplicará x_j por la misma constante.
- c) Las funciones de producción planteadas en el modelo requieren de insumos en proporciones fijas. Lo cual puede entenderse del supuesto de rendimientos constantes de escala.⁴
- d) Todos los productos de la economía consumen por lo menos un insumo.⁵

Supuestos adicionales del modelo propuesto:

- a) No hay un total de externalidades: solamente es posible sumar el volumen de externalidades identificadas.
- b) Una externalidad no genera otra externalidad: solamente la producción en un sector dado puede generar estas.
- c) Una externalidad no consume producto final de los sectores de la economía.
- d) Es posible medir en términos monetarios todas las contribuciones de la naturaleza.

Algunos supuestos que se integran a la matriz de externalidades, pero toman una connotación diferente, son:

- a) La cantidad de externalidad y generada en un periodo específico, a causa de la producción de un sector x de la economía, corresponde al total de externalidad y para el mismo periodo.
- b) Generación de externalidades constante de escala: la multiplicación de $z_{1,j}, z_{2,j}, \dots, z_{n,j}$ por una constante cualquiera, multiplicará x_j por la misma constante.
- c) Todas las externalidades integradas en la matriz de análisis para un periodo son diferentes a cero.⁶

⁴ Este planteamiento puede verse como un reemplazo del supuesto de sustitución perfecta entre factores, ya que en el modelo de Leontief no tiene sentido reemplazar la cantidad de un insumo por otro de diferentes características.

⁵ Esta es una condición necesaria para que la matriz identidad menos la matriz de coeficientes sea invertible (es decir, que exista $(I - A)^{-1}$)

⁶ Esta es una condición necesaria para que la matriz identidad menos la matriz de coeficientes de las externalidades sea invertible (es decir, que exista $(I - A_s)^{-1}$)

Una vez la propuesta de modelo sea aplicada y se compruebe que puede plantarse un modelo, el alcance que tendrá será tan extenso como sea la información de las externalidades que en el modelo se introduzcan. Finalmente, un modelo teórico es solamente una historia con una estructura específica, dada por una forma lógica y matemática de un grupo de postulados (Gibbard y Varian, 1978) y es la información que tiene de insumo lo que permite obtener un análisis coherente con el fin que el modelo se propone.

El objetivo final de esta propuesta de modelo es permitir conocer el impacto en las externalidades que tiene la variación en la demanda de un sector, para identificar cuáles sectores son los que contaminan más y requieren mayor atención, u observar a aquellos sectores que demandan menos y permiten una producción de bienes y servicios con menor impacto.

Por lo dicho, es importante identificar cuáles fuentes de información se pueden utilizar para permitir la aplicación de la propuesta de modelo.

5. Información para aplicar la propuesta de modelo

Este documento plantea que la información que alimenta a la propuesta de modelo depende de la continuidad del proceso contable para la recolección de información, donde cada etapa del proceso puede describirse de la siguiente manera:

- Identificación: identificar la externalidad generada
- Reconocimiento: clasificar la externalidad según la contribución de la naturaleza afectada y dar una medición inicial al impacto⁷ para proceder a su registro en bases establecidas donde se recolecte esta información al interior de cada empresa.
- Medición: hacer seguimiento al valor y ajustarlo según varíe la externalidad.
- Presentación: acumular, presentar y publicar la información cuantitativa y cualitativa de las externalidades generadas durante cada año.

De la recolección de información se desprende la creación de modelos de orden macro-contables⁸, según lo indicado por Cañibano (1999) generada por cada país. Para lo cual se exponen los modelos explorados para obtener información sobre la generación de externalidades, descritos en las siguientes secciones.

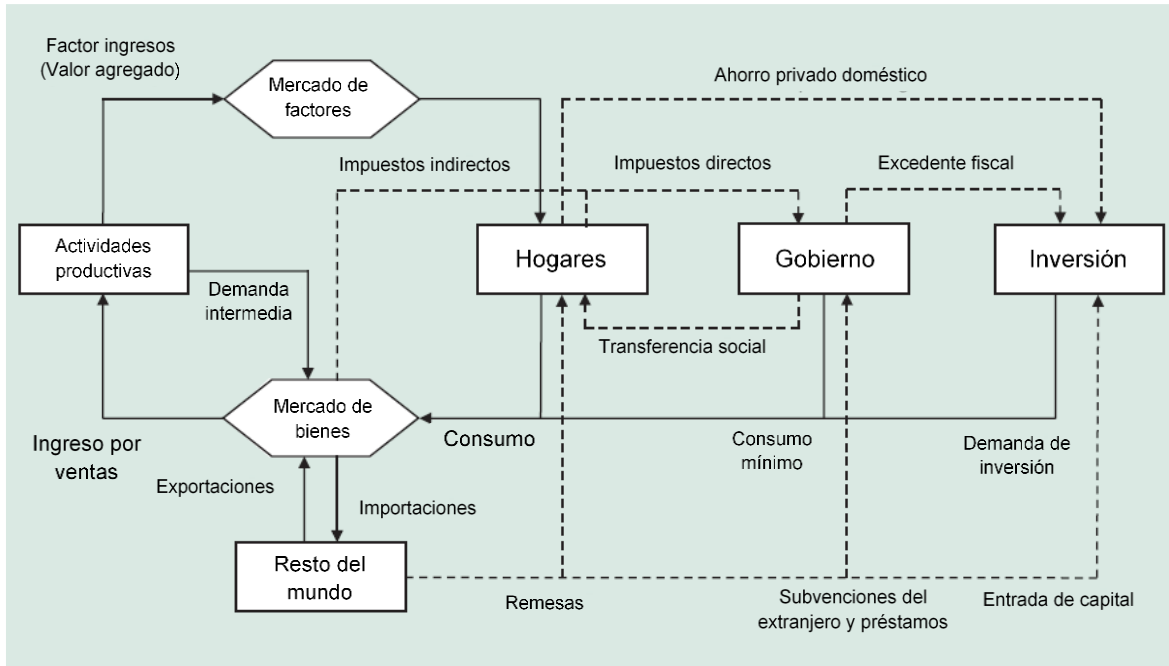
⁷ Este documento no plantea métodos para medir las externalidades, pero se sugiere revisar Azqueta (2007) y Pascual et al. (2017) -estos últimos exponen la visión del IPBES- sobre la valuación económica y alternativa contrastando las técnicas extrínsecas e intrínsecas.

⁸ La macro-contabilidad es la rama de la contabilidad que estudia los flujos de los recursos a nivel macroeconómico y se divide en contabilidad de la balanza de pagos, de los flujos de fondos y de la renta nacional (Cañibano, 1999)

5.1. Matriz de contabilidad social

Breisinger, Thomas y Thurlow (2009) definen la Matriz de Contabilidad Social (MCS) como una representación de las diversas operaciones en una economía en forma de flujos económicos:

Figura 4: Diagrama circular de flujos económicos



Fuente: Tomado de Bohórquez (2018), traducido de Breisinger, Thomas y Thurlow (2009, pág. 1)⁹

Lo cual se traduce en la MCS al describirse de manera matricial, representando la interacción entre los agentes. De esta manera, la MCS se asimila a un sistema contable, en el que cada fila y columna contiene las mismas actividades, bienes y agentes que componen el sistema económico. Esta interacción se indica en siguiente figura:

⁹ Este diagrama fue construido de manera similar para explicar la MCS por Round (2003, pág. 314), adaptado de Chung-I Li (2002)

Figura 5: Estructura de una MCS

		Columnas del gasto							Total
		C1: Actividades	C2: Bienes	C3: Factores	C4: Hogares	C5: Gobierno	C6: Ahorro e inversión	C7: Resto del mundo	
Filas de ingreso	F1: Actividades		Oferta doméstica						Ingreso por las actividades
	F2: Bienes	Demanda intermedia			Consumo	Consumo mínimo	Demanda de inversión	Exportaciones	Demanda total
	F3: Factores	Valor agregado							Ingreso total de los factores
	F4: Hogares			Pago de los factores de los hogares		Transferencias sociales		Remesas	Ingreso total de los hogares
	F5: Gobierno		Impuesto a las ventas y a las importaciones		Impuestos directos			Subvenciones del extranjero y préstamos	Ingreso del Gobierno
	F6: Ahorro e inversión				Ahorros privados	Excedente fiscal		Balanza corriente	Ahorro total
	F7: Resto del mundo		Importaciones						Salida de divisas
	Total	Producción bruta	Oferta total	Consumo total de factores	Consumo total de los hogares	Gasto del Gobierno	Consumo total de inversión	Entrada de divisas	

Fuente: Tomado de Bohórquez (2018), traducido de Breisinger, Thomas y Thurlow (2009, pág.2)

La MCS describe la realidad de múltiples maneras, rescatando que:

- La MCS contiene la información de la MIP ampliada, incorporada en la demanda de bienes (que es el cruce de las columnas y la fila 2 del ingreso), viéndose en las siguientes intersecciones:
 - F2-C4 y F2-C5 con el consumo de los hogares y del gobierno respectivamente
 - F2-C6 con la demanda de inversión en la intersección
 - F2-C7 con las exportaciones
 - F7-C2 con las importaciones
 - F5-C2 con los impuestos y los aranceles
 - F1-C2 con el pago de las rentas de los factores (u oferta doméstica de factores)
- Breisinger, Thomas y Thurlow (2009) quienes indican que dividir la renta de los salarios entre renta urbana y rural permite evaluar el impacto de las políticas públicas a nivel social
- Se puede extraer información de la relación entre el gobierno y los hogares, tal como son los subsidios y los impuestos hacia y desde los hogares, en las celdas F4-C5 y F5-C4
- Y se puede evaluar la interacción entre los hogares de un país y el resto del mundo, como son las remesas internacionales en la celda F4-C7.
- Pyatt y Round (1985) y Reinert y Roland-Holst (1997) (citados por Round, 2003, pág. 301) indican que la MCS es "una representación particular de las cuentas macro

y meso económicas de un sistema económico-social, el cual captura las transacciones entre todos los agentes económicos en el sistema”¹⁰

- Round (2003) indica que de la MCS se pueden derivar modelos en la medida que se agreguen a la matriz transformaciones lineales para llegar a análisis económicos, como es el caso de la obtención las cuentas nacionales.

De lo observado, la MCS incorpora información útil para identificar los flujos de la producción económica, pero no incorpora información sobre las externalidades. Por lo que es necesario identificar una aplicación posterior a la MCS.

5.2. Sistema de Cuentas Económico-Ambientales (SCEA)

Como se expone en el Marco Conceptual Central del Sistema de Cuentas Económico-Ambientales creado la Organización de las Naciones Unidas (2014).

Conocido por su nombre en inglés como System of Environmental-Economic Accounting, nace de la necesidad de crear un sistema integrado de cuentas ambientales y económicas en todos los países, presentada en la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y Desarrollo realizada en Río de Janeiro-Brasil en 1992, siendo su primera versión el desarrollo del “Manual de 1993 de Cuentas Nacionales: Contabilidad Económica y Ambiental Integrada”, el cual fue actualizado en su versión del 2003.

Este sistema orienta la valuación de los recursos naturales renovables y no renovables, su interacción con el sistema económico y su stock (y los cambios en este), a través de un conjunto de tablas y cuentas, las cuales, también alimentan el Sistema de Cuenta Nacionales (SCN). para la investigación, análisis y para la creación de políticas públicas. Estas han sido producidas bajo la orientación de la Organización de las Naciones Unidas, la Comisión Europea, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial.

Las cuentas económico-ambientales incluyen la suma de las tablas de oferta y demanda de recursos físicos, las cuentas funcionales (como el gasto de protección del ambiente) y las cuentas de stock de los recursos naturales representados por el agua, los minerales, la energía, la madera, los recursos de la pesca, los terrenos y ecosistemas, el suelo cultivable, la contaminación, los desperdicios, la producción, el consumo y la acumulación. Para esto, presenta de manera combinada información organizada en términos monetarios y físicos.

El SCEA se diferencia del SCN en dos aspectos:

- Mientras el SCN se centra en medir el consumo y la producción de bienes al interior de las organizaciones y de los hogares (como el consumo, la producción de bienes y la formación propia de capital), el SCAE agrega a esto la medición de la producción total de los bienes y servicios obtenidos de la naturaleza no solo con fines económicos, sino para la protección y administración de estos recursos.
- Por otro lado, en el SCEA se recomienda registrar el flujo de bienes cuando estos son enviados al extranjero para su procesamiento, reparación o venta (como el

¹⁰ Texto original en inglés: “a particular representation of the macro and meso economic accounts of a socio-economic system, which capture the transactions and transfers between all economic agents in the system”

refinamiento de petróleo) aun cuando estos no cambien de dueño y no haya una relación contractual que genere un flujo monetario por la entrega de los bienes; en cambio, en el SCN y la balanza de pagos, estas entregas no serían tenidas en cuenta porque solo se tienen en cuenta los flujos monetarios.

El sistema está conformado por la siguiente información:

Figura 6: Sistema de Cuentas Económico-Ambientales (SCEA)

						Cuentas de recursos	
		Industrias	Hogares	Gobierno	Resto del mundo	En términos físicos y monetarios	
						Bienes producidos	Recursos naturales
						Saldos iniciales	
Tablas monetarias de oferta y demanda	Oferta de bienes	Producción final			Importaciones		
	Demanda de bienes	Consumo intermedio	Consumo final de los hogares	Consumo final del gobierno	Exportaciones	Capital bruto	
Tablas físicas de oferta y demanda	Oferta de insumos naturales						Recursos naturales extraídos
	Demanda de insumos naturales	Insumos de recursos naturales					
	Oferta de bienes	Producción final			Importaciones		
	Demanda de bienes	Consumo intermedio			Exportaciones	Formación de capital bruto	
	Oferta de residuos	Residuos generados por la industria	Residuos generados por los hogares			Residuos recibidos al resto del mundo	Residuos y emisiones de la producción de bienes
	Demanda de residuos	Recolección y tratamiento de desperdicios y residuos			Residuos enviados al resto del mundo	Acumulación de desperdicios en vertederos	Residuos enviados al ambiente
							Otros cambios en el volumen de los recursos (ej. Descubrimientos, catástrofes)
						Revaloraciones	
						Saldos finales	

Fuente: Traducido de Naciones Unidas (2014, p. 21)

Los colores en la imagen representan la información utilizada, donde: el color verde más oscuro, son aquellas intersecciones que carecen de información porque no existe; el color verde más claro y el color blanco (cada fila con un color diferente) representa los flujos relevantes para el análisis económico y ambiental.

Como se explicó, la matriz tiene tres aspectos principales:

La oferta y demanda de recursos físicos: expresadas en términos monetarios y físicos, la matriz explica los bienes demandados por las empresas (representadas por las industrias), los hogares, el gobierno y el resto del mundo, de manera similar a lo que puede verse en la MSC y en la MIP, a las cuales también se suman las exportaciones. Y, respondiendo a la demanda, se encuentra la oferta de bienes producidos por las industrias (como salida de sus procesos productivos) y los que están disponibles en los ecosistemas. Acompañando a la oferta y demanda de bienes, se encuentra la producción de desechos y contaminantes producidos por las industrias y los hogares, así como la recolección de desechos depositados en los vertederos.

Las cuentas funcionales: estas representan los recursos invertidos por las industrias y los hogares con un fin ambiental, como lo es su protección o recuperación. Esta información se encuentra a lo largo de la matriz y se mide en términos monetarios; en particular puede verse en las cifras de recolección y tratamiento de desperdicios y residuos fruto de la intersección entre las industrias y la demanda de recursos.

las cuentas de stock de los recursos naturales: están representadas por las últimas columnas de la matriz en las cuentas de recursos naturales en términos físicos y monetarios, lo cual puede verse en términos contables, como el saldo inicial, las transformaciones, adiciones y pérdidas del periodo y el saldo final de estos recursos siguiendo el siguiente esquema:

Figura 7: representación de los saldos de los recursos naturales

Apertura de cuenta de los recursos naturales	
Adiciones al stock	
	Crecimiento del stock
	Descubrimiento de recursos
	Crecimiento en mediciones posteriores
	Reclasificaciones
	<i>Total de adiciones al stock</i>
Reduccion del stock	
	Extracciones
	Pérdida normal de stock
	Catástrofes
	Reducciones en mediciones posteriores
	Reclasificaciones
	<i>Total de reducciones del stock</i>
Revaluación del stock	
Cierre de cuenta de los recursos naturales	

Fuente: Traducido de ONU (2014, p. 19)

La intersección entre los bienes producidos y la demanda de bienes en términos monetarios corresponde al capital bruto en una economía, equiparable con el producto interno bruto, incluyendo la demanda de recursos naturales medidos en el mercado¹¹; de igual manera, la intersección entre los dos grupos está medida en términos físicos en la formación de capital bruto. En la interacción entre la producción industrial y el ambiente también está la producción de residuos y emisiones y la acumulación de desperdicios en vertederos, los cuales no son incorporados en la estructura de costes de las organizaciones si no se han invertido recursos en su reducción y limpieza (estos últimos costes harían parte de las cuentas funcionales).

Finalmente, la interacción entre los recursos naturales y la oferta y demanda de bienes por la industria, los hogares y el gobierno, se ve en la medición de la extracción de recursos naturales y los residuos enviados al ambiente en estado físico, líquido o gaseoso.

Para efectos de la complementación del modelo, las cuentas funcionales y la generación de residuos harían parte de las externalidades. Sin embargo, son las cuentas funcionales las que realmente reflejan el valor de la externalidad, porque son estas cuentas las que reflejan el valor que debe invertirse para recuperar el daño causado; otras mediciones como el coste de la generación de desechos representado por los impuestos

¹¹ Solamente los recursos naturales que tienen mercado son incluidos en la demanda de los recursos naturales medidos en términos monetarios, porque tienen precio y las empresas y hogares pagan por ellos, como lo es el agua. Sin embargo, hay muchos recursos naturales que no tienen valor monetario y su consumo no es incorporado en la estructura de costes de las empresas y hogares, además, tampoco se incluye en el precio final de los bienes. Para conocer más del tema, ver Pascual et al. (2017)

ambientales¹², podrían representar el valor de la externalidad solo en la medida que pueda medirse la proporción de la externalidad que es compensada con el recurso pagado por quienes producen los residuos.

6. Conclusiones

La matriz insumo producto (MIP) ha evolucionado desde su primer modelo, el de la tabla económica, hasta convertirse en un referente a nivel mundial para representar el flujo de bienes y servicios en la economía. Este modelo base se ha aplicado a múltiples usos, entre ellos, el ambiental y ecológico, relacionando la producción económica con los impactos que esta tiene en la naturaleza, con la planeación de esos impactos y con la presencia o dispersión de estos, identificados en múltiples categorías.

Los múltiples modelos que se han desarrollado a partir de la MIP en referencia con el ambiente se han aplicado de manera lineal o dinámica, reflejando para un periodo dado el análisis de las variables de estudio (asociadas a impactos ambientales) o en múltiples periodos con miras a la aproximación de escenarios futuros, siendo modelos estáticos o dinámicos respectivamente.

Como alternativa a los modelos creados, el autor inició en el 2016 con una investigación que planteó incorporar en manera amplia las externalidades en el insumo producto, logrando proponer un modelo que parte de la MIP estática y explica la interacción de la producción económica con las contribuciones de la naturaleza en un periodo específico. Sin embargo, la investigación llegó en el 2018 hasta el planteamiento de la propuesta de modelo.

De allí que este documento tuviera como objetivo definir el origen de la información para poder aplicar la propuesta de modelo, dando continuidad a la investigación original. Como fuente se ubican dos modelos de corte contable, la Matriz de Contabilidad Social (MCS) y el Sistema de Cuentas Económico-ambientales (SCEA), concluyendo que las cuentas funcionales (que hacen parte del SCEA) son las que realmente reflejan el valor de las externalidades, porque son estas cuentas las que reflejan el valor que debe invertirse para recuperar el daño causado, siendo la principal fuente de información para aplicar la propuesta de modelo.

Una vez concluido esto, futuras investigaciones tendrán como objetivo la identificación de la información en el SCEA para aplicar la propuesta de modelo para un año en particular en un país que cuente con la información descrita.

¹² Los impuestos ambientales son la materialización de los impuestos pigouvianos que gravan la generación de externalidades y son creados para persuadir a las industrias para reducir el impacto negativo fruto de la producción de bienes y servicios. Para saber más de este tema, se sugiere ver Mas-Colell, Whinston y Green (1995), Daly (2004), Vallejo, Pérez y Martínez-Alier (2011) y Shmelev (2012).

7. Bibliografía

- Agencia para la Protección Ambiental de Dinamarca – APAD (2014). Methodology report for Novo Nordisk’s environmental profit and loss account (1a. ed.). Copenhagen, Dinamarca.
- Agencia para la Protección Ambiental de Dinamarca – APAD (2014). Methodology report for Novo Nordisk’s environmental profit and loss account (1a. ed.). Copenhagen, Dinamarca.
- Allan, G., Hanley, N., McGregor, P., Kim, J., & Turner, K. (2007). Augmenting the input-output framework for “common pool” resources: Operationalising the full Leontief environmental model. *Economic Systems Research*, 19, 1-22.
- Barker, T. (1998). Use of energy-environment-economy models to inform greenhouse gas mitigation policy. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 16(2), 123-131.
- Bohórquez, P. (2018). Incorporación de externalidades en el análisis Insumo-Producto (Tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Breisinger, C., Thomas, M. & Thurlow, J. (2009). *Social accounting matrices and multiplier analysis: An introduction with exercises*. Washington, Estados Unidos: International Food Policy Research Institute.
- Brink, C. & Idenburg, A. (2007). Cost-effective pollution-abatement in an input-output model. Ponencia presentada en The 16th International Input-Output Conference. Estambul, Turkey.
- Cañibano, L (1999). Teoría actual de la contabilidad. Madrid, España: ICAC.
- Carter, A. (1974). Energy, Environment, and Economic Growth. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5(2), 578-592.
- Comisión Europea. (2005). Europe in figures: Eurostat yearbook 2005. Luxemburgo: Eurostat.
- Cordier, M., Uehara, T., Hamaide, B. & Weih, J. (2015). An input-output economic model integrated within a system dynamics ecological model: Feedback loop methodology applied to fish nursery restoration. *Ecological Economics*, 140, 46-57.
- Daly, H. & Farley, J. (2004). *Ecological economics: Principles and applications*. Washington D.C., Estados Unidos: Island Press.
- Daly, H. (1968). On Economics as a Life Science. *Journal of Political Economy*, 76, 392-406.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE (2013). Metodología de la Matriz Insumo-Producto (MIP). Bogotá, Colombia: DANE.

- Duchin, F. (1992). Industrial input-output analysis: Implications for industrial ecology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(3), 851-855.
- Duchin, F. (2004). Input-Output economics and material flows. *Rensselaer Working Papers in Economics*, 424, 1-20.
- Giacomelli, V. (2013). "Cradle-to-grave" sustainability: Extension of input-output models to municipal solid wastes and to corporate social and environmental responsibility in the retail sector. *Ambiente & Sociedade*, 16(4), 21-42.
- Gibbard, A. & Varian, H. (1978). Economic Models. *Journal of Philosophy*, 75(11), 664-677.
- Gutmanis, I. (1975). Input-Output models in economic and environmental policy analyses. *Proceedings of the IEEE*, 63(3), 431-437.
- Hernández, G. (2011). Matrices Insumo-Producto y Análisis de Multiplicadores: Una aplicación para Colombia. *Archivos de Economía*, 373, 22.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista P. (2006). Metodología de la investigación (1a. ed.). México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hoekstra, R. & van den Bergh, J. (2002). Structural decomposition analysis of physical flows in the economy. *Environmental and Resource Economics*, 23(3), 357-378.
- Idenburg, A. & Wilting, H. (2000). DIMITRI: A dynamic input-output model to study the impacts of technology related innovations. Ponencia presentada en The 13th International Input-Output Conference, University of Macerata. Italy: *ResearchGate*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/252025926_DIMITRI_a_Dynamic_Input-output_Model_to_study_the_Impacts_of_Technology_Related_Innovations, el 15 de julio de 2016.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES (2015). Preliminary guide regarding diverse conceptualization of multiple values of nature and its benefits, including biodiversity and ecosystem functions and services (deliverable 3 (d)). Kuala Lumpur.
- Isard, W., Bassett, K., Choguill, C., Furtado, J., Izumita, R., Kissin, J., Romanoff, E., Seyfarth, R. & Tatlock, R. (1968). On the Linkage of Socio-Economic and Ecological Systems. *Papers of the Regional Science Association*, 21(1), 79-99.
- Kananen, I., Korhonen, P., Wallenius, J. & Wallenius, H. (1990). Multiple objective analysis of input-output models for emergency management. *Operations Research*, 38(2), 193-201.
- Lenzen, M. & Foran, B. (2001). An input-output analysis of Australian water usage. *Water Policy*, 3, 321-340.
- Lenzen, M. (2003). environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy. *Structural Change and Economic Dynamics*, 14(1). 1-34.

- Leontief, W. (1974). Structure of the world economy: Outline of a simple input-output formulation. *The Swedish Journal of Economics*, 76(4), 387-401.
- Livas, A. (2014). Análisis de insumo-producto de energía y observaciones sobre el desarrollo sustentable, caso mexicano 1970-2010. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 16(2), 239-251.
- Miller, R. & Blair, P. (2009). Input-Output Analysis Foundations and extensions (2 ed.). New York, United States of America: Cambridge University Press. Rescatado de <http://www.cambridge.org/978052151713>, el 10 de Agosto de 2017.
- Moffatt, I. & Hanley, N. (2001). Modelling sustainable development: Systems dynamic and input-output approaches. *Environmental Modelling and Software with Environment Data News*, 16, 545-557.
- Muñoz, C. (1998). Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis. México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A.
- Organización de las Naciones Unidas, ONU (2014b). system of environmental-economic accounting 2012: Experimental ecosystem accounting. Nueva York: Naciones Unidas.
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R., Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y., Amankwah, E., Asah, S., Berry, P., Bilgin, A., Breslow, S., Bullock, C., Cáceres, D., Daly-Hassen, D., Figueroa, E., Golden, C., Gómez-Baggethun, E., González, D., Houdet, J., Keune, H., Kumar, R., Ma, K., May, P., Mead, A., O'Farrell, P., Pandit, R., Pengue, W., Pichis-Madruga, R., Popa, F., Preston, S., Pacheco, D., Saarikoski, H., Strassburg, B., Van den Belt, M., Verma, M., Wickson, F. & Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26, 7-16.
- Proops, J. (1977). Input-output analysis and energy intensities: A comparison of some methodologies. *Applied Mathematical Modelling*, 1(4), 181-186.
- Round, J. (2003). Social Accounting Matrices and SAM-based Multiplier Analysis. En F. Bourguignon, & L. Pereira da Silva (eds.), *Techniques and Tools for Evaluating the Poverty Impact of Economic Policies* (301-324). Inglaterra: World Bank and Oxford University Press.
- Ruiz, C. (2007). Protección Penal del medio ambiente estado de la cuestión y acción civil dentro del proceso penal. En: M. Gómez, J. González, J. Guayacán, T. Hutchinson, L. Macías, Á. Sierra, C. Ruíz, A. Ramelli, S. Salinas & C. Tirado, Daño Ambiental (eds.). *Daño ambiental* (pp. 89-124). Bogotá D.C., Colombia: Universidad Externado de Colombia.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Serrano, M. (2008). Economic activity and atmospheric pollution in Spain: an input-output approach (Tesis de doctorado), Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

- Sonis, M. & Hewings, G. (1998). Economic complexity as network complication: multiregional input-output structural path analysis. *The Annals of Regional Science*, 32(3), 407-436.