

ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

Crecimiento bajo en carbono y adopción de tecnologías para la mitigación

Los casos de la Argentina y el Brasil

Pablo Ruiz Nápoles



NACIONES UNIDAS

CEPAL



EUROCLIMA



Comisión
Europea

Crecimiento bajo en carbono y adopción de tecnologías para la mitigación

Los casos de la Argentina y el Brasil

Pablo Ruiz Nápoles



Este documento fue preparado por Pablo Ruíz Nápoles, consultor de la Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del Programa EUROCLIMA (CEC/10/001), con financiamiento de la Comisión Europea y ejecutado por la CEPAL.

Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en nombre de la Comisión es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Comisión Europea.

Las opiniones expresadas en el documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las organizaciones.

Índice

Resumen	5
I. Introducción	9
II. Revisión bibliográfica	11
A. Cambio climático y políticas de mitigación	11
B. Instrumentos de política y modelos económicos	12
C. Los modelos de equilibrio general y el cambio climático	13
1. El equilibrio general	13
2. Modelos de equilibrio general computable.....	14
3. Modelos de EGC para cambio climático	14
4. Los modelos de EG de Nordhaus	14
D. Modelos econométricos	16
E. Modelos ambientales de insumo-producto	17
III. Las emisiones de GEI y los sectores estratégicos en la Argentina y el Brasil	19
A. Sectores económicos clave o estratégicos	19
1. Sectores clave según los coeficientes de Rasmussen	20
2. Encadenamientos determinados por el método de extracción	21
B. Ramas o sectores económicos principales emisores de GEI.....	21
C. La estructura de la economía argentina	22
1. Tendencias, ramas o sectores económicos estratégicos	22
2. Ramas o sectores principales emisores de GEI	22
3. Sectores estratégicos y altamente emisores.....	29
D. La estructura económica del Brasil.....	30
1. Ramas o sectores económicos estratégicos.....	30
2. Ramas o sectores principales emisores de GEI	35
3. Sectores estratégicos y altamente emisores.....	35
IV. Modelo ambiental de insumo-producto para la Argentina y el Brasil	39
A. El modelo AIP para la Argentina y el Brasil	39
1. Modelo de producción sin reducción de contaminantes	40
2. Modelo de producción con reducción de contaminantes	40
3. Diferencias en la producción bruta y en las emisiones de GEI con el cambio tecnológico	41

V. Resultados del modelo aplicado	43
A. Tendencias de la economía argentina.....	43
1. Emisiones de gases de efecto invernadero	43
2. Producción bruta y cambio tecnológico	43
B. Tendencias de la economía brasileña	45
1. Emisiones de gases de efecto invernadero	45
2. Producción bruta y cambio tecnológico	47
VI. Conclusiones y recomendaciones de política	49
A. Conclusiones a partir de los resultados del modelo	49
B. Recomendaciones de política	50
C. Fuentes de información estadística y <i>software</i>	50
Bibliografía	53

Cuadros

Cuadro 1	Clasificación Industrial de la MIP de la Argentina, 1997	23
Cuadro 2	Industrias seleccionadas de la matriz I-P 1997 de la Argentina. Principales encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por el método de Rasmussen	25
Cuadro 3	Industrias seleccionadas de la matriz I-P de la Argentina, 1997. Mayores impactos hacia atrás y adelante por el método de extracción	26
Cuadro 4	Emisiones de GEI por sector en la Argentina, 1997. Ramas industriales principales emisoras	28
Cuadro 5	Coeficientes de emisión de GEI en la Argentina, 1997	28
Cuadro 6	Clasificación industrial de la MIP del Brasil, 2009.....	30
Cuadro 7	Industrias seleccionadas de la MIP 2009 del Brasil. Principales encadenamientos hacia atrás y hacia adelante por el método de Rasmussen.....	32
Cuadro 8	Industrias seleccionadas de la matriz I-P del Brasil, 2009. Mayores impactos hacia atrás y hacia adelante por el método de extracción	33
Cuadro 9	Emisiones de GEI por rama en el Brasil, 2009. Ramas industriales principales emisoras	36
Cuadro 10	Coeficientes de emisión de GEI por rama en el Brasil, 2009.....	37
Cuadro 11	Argentina: emisiones de GEI reales y pronosticadas, 1997-2020	44
Cuadro 12	Argentina: producción bruta, 1997-2020	46
Cuadro 13	Brasil: emisiones de GEI pronosticadas, 2010-2020	47
Cuadro 14	Brasil: producción bruta, 2010-2020	48

Gráficos

Gráfico 1	Argentina: trayectoria de emisiones de GEI, 1997-2020	44
Gráfico 2	Argentina: tendencias de producción bruta, 1997-2020	45
Gráfico 3	Brasil: trayectoria de emisiones de GEI, 2010-2020	45
Gráfico 4	Brasil: producción bruta, 2010-2020	47

Resumen

Una de las maneras de enfrentar el cambio climático es a través del cambio tecnológico. Para inducir entre los productores de bienes y servicios un cambio tecnológico que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los gobiernos cuentan con una variedad de instrumentos y medidas de política a aplicar: programas orientados al mercado, medidas regulatorias, acuerdos voluntarios, impulso a la investigación y desarrollo en áreas específicas y medidas de apoyo en infraestructura, entre otros. En este contexto, el objetivo de este estudio es realizar una revisión y análisis de las principales sectores y opciones para la adopción de tecnologías orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Argentina y en Brasil, como parte de una estrategia de crecimiento bajo en carbono, con base en el análisis de las matrices de insumo producto. Con este propósito se analizan las matrices de insumo-producto de estos países con el fin de determinar las ramas o sectores económicos estratégicos y que generan la mayor cantidad de emisiones de GEI en cada una de estas economías. Estos sectores serían objeto fundamental de cambio tecnológico para reducir las emisiones de GEI. Para simular las trayectorias de las emisiones de GEI sin y con cambio tecnológico se utiliza un modelo Ambiental de Insumo-Producto (AIP) aplicado.

Para el caso de la economía Argentina, tomado como base los indicadores de Rasmussen (1956) y Dietzenbacher (1997), se identificaron como sectores estratégicos la Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes; Industria textil y Refinación de petróleo. Como sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se encuentran la Agricultura; Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos; Electricidad, Transporte terrestre de carga y Transporte terrestre de pasajeros. De este modo, se definieron como sectores estratégicos, en referencia a sus emisiones, a la Agricultura, la Electricidad, la Construcción y el Transporte terrestre de pasajeros.

En el caso de la economía de Brasil se identificaron siete ramas o sectores estratégicos: Alimentos y Bebidas; Refinación de petróleo y carbón, Productos químicos, Artículos de caucho y plástico, Fabricación de acero y derivados, Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación, Piezas y accesorios para vehículos automotores. Por su parte las ramas o sectores con más emisiones de GEI son la Agricultura, silvicultura, explotación forestal; Ganadería y pesca; Piezas y accesorios para vehículos automotores; Automóviles y camionetas y, Fabricación de acero y derivados. Se seleccionaron cuatro ramas o sectores económicos como los que reúnen características de ser estratégicos y con emisiones: Agricultura, silvicultura, explotación forestal; Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana; Construcción y Transporte almacenaje y correos.

Se construyó, para Argentina y Brasil, un Modelo Ambiental de Insumo-Producto similar al aplicado por Brink e Idenburg (2007) para el caso de la economía holandesa, aunque los propósitos son muy diferentes. El modelo de Brink e Idenburg es un modelo de optimización para elegir de una amplia gama de tecnologías en cada sector económico aquella que implique el menor costo en cada sector. Los sectores económicos considerados susceptibles de cambio tecnológico son todos los de la matriz holandesa. Una diferencia importante del modelo AIP del presente estudio, con el modelo holandés de Brink e Idenburg, es que no se supone en el modelo que el mercado decide en cada caso qué tecnología resulta más conveniente aplicar, sino que esta decisión es el resultado de una política gubernamental basada en criterios de eficiencia técnica que se aplica por los mecanismos de regulación normativos, que se consideran los más adecuados según la rama, incluyendo la posibilidad de apoyos gubernamentales directos o indirectos para realizar las inversiones necesarias.

El propósito del modelo utilizado en este estudio es el de simular la tendencia de las emisiones de GEI en el caso de cada economía, bajo dos escenarios alternativos: con y sin cambio tecnológico. Estos resultados representan simulaciones que buscan sólo ilustrar posibles trayectorias pero no representan, desde luego, pronósticos específicos para estos países. Para el escenario sin cambio tecnológico el supuesto para la proyección de las emisiones, es que el Producto Interno Bruto de cada país siga al año 2020, la tendencia de crecimiento en términos reales experimentada de 1997 a 2011 en el caso de la Argentina y de 2000 a 2011, en el caso de Brasil. Para el escenario con cambio tecnológico se seleccionaron cuatro sectores económicos en ambos países y se añadieron en cada caso las tecnologías reductoras de GEI del catálogo de tecnologías del modelo holandés, seleccionando en cada uno de los sectores, la tecnología más susceptible de ser utilizada en países como Argentina y Brasil. Los sectores seleccionados son significativos tanto por su papel estratégico como por su nivel absoluto y relativo de emisiones en ambos países, se trata de las ramas industriales que podemos definir genéricamente como: agricultura, electricidad, construcción y transporte.

Los resultados de la modelación, para el caso de la economía Argentina, muestran que las emisiones de GEI, en su línea base, es decir, sin cambio tecnológico (business as usual) presentan una tendencia a incrementarse, determinada esencialmente por el aumento del PIB estimado en una tasa fija de 3.9 por ciento en términos reales, de acuerdo con la tendencia anual observada en el período 1997-2011 según las estadísticas oficiales. Con el cambio tecnológico simulado en cuatro ramas industriales de las 94 que compone la matriz insumo producto (MIP) de la economía Argentina, las emisiones de GEI muestran una fuerte disminución en el año 2014 (15 por ciento) luego una recuperación en 2015 (13 por ciento) para recuperar al año siguiente la tendencia de crecimiento supuesta para el PIB con una tendencia de 3.9 por ciento anual hasta 2020. Los resultados también muestran que la introducción de tecnologías ambientalmente sostenibles en ramas estratégicas y contaminantes tiene efectos ambientales y económicos importantes como son la reducción de la emisión de contaminantes y el crecimiento del producto simultáneamente, a pesar de lo limitado del cambio tecnológico simulado.

Para el caso de Brasil, las emisiones de GEI pronosticadas por el modelo para el período 2010-2020, en su línea base, registran una tendencia a incrementarse, la cual está determinada esencialmente por el aumento del PIB estimado en una tasa fija de 3.5 por ciento en términos reales de acuerdo con la tendencia anual observada en el período 2000-2011 según las estadísticas oficiales. Con el cambio tecnológico simulado en cuatro ramas industriales de las 56 que compone la MIP de Brasil, las emisiones de GEI muestran un cambio en la tendencia a partir del año 2013 que si bien no reduce drásticamente las emisiones en ningún año si modifican la trayectoria de crecimiento. El Valor Bruto de la Producción de la economía Brasileña estimado por el modelo AIP muestra un crecimiento promedio moderado en el período 2010-2020 en la trayectoria base. En la trayectoria con cambio tecnológico simulado en los sectores estratégicos y contaminantes seleccionados se registra un cambio importante de la tendencia en el año 2015. Ello refleja, los efectos positivos del cambio tecnológico sobre el ambiente, al reducir las emisiones de GEI, y también sobre la economía.

De los resultados que se obtienen se desprenden algunas consideraciones de política pública: (i) la agricultura, el sector energético y el del transporte constituyen de manera general, los sectores que requieren un cambio tecnológico inmediato para abatir la emisión de GEI y son los que a su vez difunden sus efectos favorables al resto de la economía, (ii) además de los sectores mencionados se han podido identificar otras ramas industriales en Argentina y en Brasil que requieren inmediata y especial atención en materia de política de mitigación, es decir de cambio tecnológico, y (iii) sin abandonar los mecanismos del mercado, es necesaria la actividad del Estado en materia regulatoria para promover los cambios tecnológicos que el problema requiere para su atención. Las simulaciones presentadas sólo buscan ilustrar posibles trayectorias pero no representan pronósticos específicos.

I. Introducción

El cambio climático es atribuible a las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero (GEI). El cambio climático consiste en un incremento gradual en la temperatura del planeta, en cambios en sus patrones de lluvia, en alza del nivel del mar y de la criósfera y posibles cambios en los patrones de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007). Aunque esta tendencia ha sido científicamente verificada, persiste un cierto grado de incertidumbre acerca de la magnitud y la velocidad de estos cambios a escala regional. Este cambio climático es generado, fundamentalmente, por diversas actividades antropogénicas de donde se derivan los gases de efecto invernadero (IPCC, 1996, 2000, 2001, 2007, Stern, 2006). Así, los GEI son primariamente producidos por el uso de combustibles fósiles, la agricultura, el cambio del uso de la tierra y por la producción de materiales como el cemento.

Esto nos permite proyectar diferentes escenarios futuros para la economía, con base en los cuales podemos evaluar, desde una perspectiva económica las consecuencias del cambio climático y considerar opciones alternativas de políticas de adaptación y de mitigación, a fin de enfrentar el problema. En particular, la mitigación se define como el cambio tecnológico y la sustitución que reduce insumo de recursos y emisiones por unidad de producto. Aun cuando varias políticas tecnológicas, económicas y sociales podrían producir una reducción de emisiones, con respecto al cambio climático, la mitigación significa implementar políticas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y amplíen su captura (IPCC, 2007, Annex II, p. 84).

No obstante, cabe señalar que lo importante para la mitigación no es sólo la reducción de la intensidad de las emisiones lo que cuenta (es decir, las emisiones de GEI por unidad de producto) sino también la reducción de las emisiones en términos absolutos.

En general, las políticas de mitigación se orientan a reducir el uso de combustibles fósiles (y/o la captura del carbón proveniente de las emisiones), así que se requiere abordar los factores que determinan las emisiones. Estos determinantes son principalmente: la dinámica poblacional, la urbanización, el incremento de la producción y el consumo, la eficiencia energética y las tendencias de la innovación tecnológica, así como la estructura económica, en cada país. Todos estos factores están relacionados de una u otra manera con la actividad económica en un sentido amplio, es decir, la producción, el comercio, el consumo y la inversión.

La definición adecuada de un escenario de mitigación requiere identificar a los sectores o ramas de la producción, que directa o indirectamente generan las emisiones de GEI, los cuales se

convierten por lo tanto en los sectores clave o estratégicos para la política de mitigación, es decir, requieren ser atendidos de manera especial.

Por su parte, los costos de la mitigación dependen desde luego de varias circunstancias locales, por ejemplo, en el caso de la producción, de la forma específica del crecimiento económico y de la introducción de desarrollos tecnológicos en la producción orientados a reducir las emisiones de GEI. Esto es, dependen fundamentalmente tanto de las intensidades del uso de la energía de los sectores económicos, como del valor absoluto de sus correspondientes emisiones de GEI, los cuales están asociados a las características tecnológicas de sus respectivos procesos productivos. Por tanto, el potencial de mitigación está distribuido de manera desigual entre los sectores y dependen del uso directo e indirecto de combustibles fósiles en todos y cada uno de los sectores de la economía. En suma, el costo de la mitigación depende fundamentalmente tanto de las intensidades el uso de la energía de los sectores económicos, como del valor absoluto de sus correspondientes emisiones de GEI. Ambos están asociados a las características de sus respectivos procesos productivos.

Existen diferentes modelos económicos que tratan aspectos diversos de las políticas de mitigación: modelos macroeconómicos, modelos econométricos, modelos de equilibrio general, etc. Este estudio se concentra en el uso de los modelos que entran en la tradición del análisis de insumo-producto, también llamado análisis estructural, los cuales pueden ser definidos como modelos meso económicos, es decir, no son modelos macro, ni micro económicos. Son modelos que manejan magnitudes económicas sectoriales.

El objetivo de este estudio consiste en una revisión y análisis de las principales opciones para la adopción de tecnologías de mitigación en Argentina y en Brasil, como parte de una estrategia de crecimiento bajo en carbono. Con este propósito se analizarán las matrices de insumo-producto de estos países a fin de determinar las ramas o sectores económicos que son estratégicos y que generan la mayor cantidad absoluta y relativa de emisiones de GEI. Estos sectores serían sujetos a un cambio tecnológico para abatir sus emisiones de GEI y, por sus efectos indirectos, en toda la economía. Se utiliza un modelo Ambiental de Insumo-Producto (AIP) aplicado para simular las trayectorias de las emisiones de GEI sin y con cambio tecnológico. Estos resultados representan simulaciones que buscan sólo ilustrar posibles trayectorias pero no representan, desde luego, pronósticos específicos.

Este reporte se divide en seis secciones incluyendo esta introducción. En la segunda se hace una revisión de la literatura económica internacional sobre el tema central del estudio –el cambio climático y las políticas de mitigación– a fin de conocer y documentar el estado del arte, las técnicas y los métodos para abordar el tema, destacando los modelos económicos ambientales de diverso tipo. La tercera sección se centra en el análisis de las matrices de Insumo-Producto de Argentina y de Brasil, así como las emisiones de GEI de estas economías, para detectar los sectores económicos estratégicos y altamente emisores de GEI en cada una de ellas. La cuarta sección expone el modelo diseñado para estimar las emisiones anuales de GEI por sector al año 2020 bajo diferentes escenarios de crecimiento con y sin cambio tecnológico. En la quinta sección se analizan los resultados del modelo en ambos países y, finalmente, en la sexta, se extraen algunas conclusiones y recomendaciones de política con base en los resultados del modelo aplicado.

II. Revisión bibliográfica

Desde la creación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), ha surgido una muy amplia literatura económica relacionada con el cambio climático, las emisiones de GEI y las recomendaciones de política económica para abatirlo. Aunque toda esta literatura económica es importante, revisamos aquí sólo un grupo específico que nos conduce al uso de los modelos de Insumo-Producto para el cambio tecnológico y la mitigación del cambio climático, así como su aplicación en casos particulares. Hemos dividido esta revisión bibliográfica en cuatro secciones: la primera se dedica al cambio climático y las políticas de mitigación; la segunda a los instrumentos de política y los modelos económicos; la tercera a los modelos de equilibrio general, la cuarta a los modelos econométricos y la quinta a los modelos de insumo-producto.

A. Cambio climático y políticas de mitigación

El problema del cambio climático se ha definido como la falla de mercado global más grande que existe (Stern, 2006). Esto significa que la naturaleza del problema impide que los mecanismos del mercado por sí solos puedan resolverlo. Entre las dificultades que se encuentran existe una amplia serie de imperfecciones de mercado que proliferan en todas las economías del mundo, grandes y pequeñas (Duval, 2008; Stiglitz, 1991). Por ejemplo, en la práctica las innovaciones tecnológicas orientadas a reducir la contaminación sólo ocurren cuando el Estado participa activamente en su promoción (Hašičič, y otros, 2010). Asimismo, está el problema de la distribución desigual de los costos de mitigación que crea o acentúa desigualdades preexistentes dentro o entre regiones y países, y que obliga a la acción de los Estados para prevenirlas o compensarlas.

Por todas estas dificultades de los mercados, es una obligación ineludible de los gobiernos la de instrumentar políticas de Estado que complementen o sustituyan a los mecanismos del mercado cuando éstos no funcionan correctamente o con la rapidez suficiente para hacer efectivas las políticas de mitigación del cambio climático.

Algunas de las políticas de mitigación de GEI se centran en la introducción de tecnologías de abatimiento (IPCC, 1996), las cuales en algunos casos son específicas por sector económico¹. Las tecnologías de abatimiento pueden ser de tres tipos: una es la llamada tecnología al final del proceso (*end-of-the-pipe*) que reduce las emisiones de GEI sin implicar otros cambios en el proceso de producción; otra es la tecnología que implica cambios importantes en el proceso productivo –que se reflejan en los coeficientes técnicos de la matriz insumo-producto (MIP)– a fin de reducir las emisiones de GEI y una tercera sería el cambio total del producto por otro que satisfaga la misma necesidad.

Para inducir entre los productores de bienes y servicios un cambio tecnológico que reduzca las emisiones de GEI, los gobiernos cuentan con una variedad de instrumentos y medidas de política a aplicar: programas orientados al mercado, medidas regulatorias, acuerdos voluntarios, impulso a la Investigación y Desarrollo (I y D) en áreas específicas y medidas de apoyo en infraestructura (IPCC, 1996). Es importante destacar la importancia de adoptar un conjunto de medidas de acuerdo con las condiciones nacionales, regionales y locales (IPCC, 2007; OCDE, 2009) y que deben considerar, asimismo, las diferencias en la distribución de los recursos financieros, naturales y tecnológicos entre y dentro de los países y las regiones, y entre generaciones, así como diferencias en los costos (IPCC, 2001).

B. Instrumentos de política y modelos económicos

Existen distintos modelos económicos contruidos con la finalidad de evaluar medidas de mitigación. Desde el punto de vista de su cobertura ha habido modelos globales, nacionales o regionales. Desde otra perspectiva son vistos como modelos que van de lo General a lo Particular (Top-Down) o bien de los Detalles a la Generalización (Bottom-Up). Desde el punto de vista teórico ha habido esencialmente tres tipos: Modelos de Equilibrio General, Modelos Econométricos y Modelos de Insumo-Producto (Barker, 1998; IPCC, 2001).

Los modelos de equilibrio general suponen que las fuerzas del mercado a mercado son las únicas capaces de regular el sistema económico en un país y lograr el “óptimo de Pareto” de su sociedad. Desde esta perspectiva, la forma más adecuada de influir en las decisiones individuales o empresariales sobre el consumo, la producción, el ahorro y la inversión, es el mecanismo de los precios. En otras palabras, para ser eficiente cualquier política pública debe descansar en el mecanismo del libre mercado.

Los modelos de equilibrio general computable (EGC) son la expresión práctica de los modelos de equilibrio general. Los EGC incorporan parámetros, tales como la respuesta al uso de energía respecto a un cambio en el precio de la energía de uno u otro bien o servicio, que se basan en puntos de vista de expertos o en revisiones bibliográficas, sin insertar estos valores en un sistema formal de estimación. Estos modelos, en su versión básica, utilizan los datos de un solo año para hacer proyecciones de largo plazo a futuro, aun cuando estén disponibles series de tiempo de los datos, sin tomar en consideración las propiedades temporales de los datos (Barker, 1998).

Otro enfoque adoptado en la modelación económica son los modelos econométricos. Estos se basan directamente en métodos formales de inferencia estadística que comprenden análisis cruzado de países o datos en series de tiempo, para estimar los parámetros de interés. El papel de los modelos econométricos es principalmente el de evaluar las consecuencias de las políticas, que son frecuentemente fiscales, tales como los impuestos al carbón y a la energía, sobre la economía y el medio ambiente en términos de sus efectos en sobre el producto, el crecimiento y la competitividad, así como en su efectividad en el medio ambiente.

¹ Un sector, industria o rama industrial es un conjunto de empresas que producen un bien o servicio similar y por lo tanto comparten la misma tecnología. En la práctica, sin embargo, puede haber diferencias tecnológicas importantes entre las empresas de un mismo sector, especialmente cuando la estructura del mercado es de competencia imperfecta.

El tercer tipo de modelos son los modelos multisectoriales o modelos de Insumo-Producto (MIP). Estos modelos están basados en las tablas de Insumo-Producto de Wassily Leontief y se han desarrollado para incorporar cuestiones ambientales, a nivel teórico en los trabajos del propio Leontief (1970, 1973), Victor (1972) Lowe (1979) Arrous, (1994), Duchin y Lange (1994), Luptacik y Böhm (1999) e Idenburg (1998), en la época anterior al cambio de siglo. Estos modelos describen las complejas interrelaciones entre los sectores económicos usando conjuntos de ecuaciones lineales simultáneas cuyos coeficientes son fijos, lo que implica que no puede evaluarse, la sustitución de factores, el cambio tecnológico, o aspectos de comportamiento de los agentes relacionados con las políticas de mitigación del cambio climático. Estos modelos son útiles para estudiar las consecuencias de las acciones de mitigación o de adaptación con un alto nivel de desagregación (IPCC, 2001). Es importante destacar que, por su naturaleza, esta metodología es intensiva en el uso de datos.

C. Los modelos de equilibrio general y el cambio climático

1. El equilibrio general

Los modelos de equilibrio general están fundamentados en la economía convencional, dado que ponen especial atención: a la especificación de las funciones de oferta y demanda, que se derivan de los supuestos de maximización de la utilidad de los consumidores y de las ganancias de las empresas; al supuesto de competencia perfecta y al ajuste de los mercados (Mercado, 2003).

Desde el enfoque convencional se afirma que la Economía trata de la elección de opciones sujeta a restricciones. Según este enfoque, el principal problema de la Economía es decidir sobre la distribución de los recursos a fin de maximizar la función de Bienestar Social, que es la suma de las funciones de Bienestar de todos los individuos de la sociedad, es decir, sus funciones individuales de utilidad. Este problema de optimización está sujeto a tres conjuntos de restricciones relacionados con: las dotaciones de factores, la tecnología y las preferencias o gustos de los consumidores. La optimización ocurre en el consumo, en la producción y en las ganancias. Este proceso busca la solución más *eficiente* en los términos de Pareto. Dicha solución es el conjunto de precios de los bienes y de los servicios productivos que satisfacen simultáneamente todas las ecuaciones en los diferentes mercados. La única forma posible en que una economía de libre mercado encuentre la solución más eficiente descansa en cuatro supuestos básicos: mercados perfectamente competitivos, rendimientos constantes a escala para cada empresa en el mercado, que haya externalidades y que no haya fallas de mercado asociadas a la incertidumbre (Layard and Walters, 1978, Cap. I). Otro importante supuesto no siempre explícito es el pleno empleo de todos los factores de la producción. Esto es de hecho de lo que trata el equilibrio general.

La mayoría de los supuestos, implícitos o explícitos, en un modelo de equilibrio general son tan poco realistas que resulta difícil aplicar el modelo a la economía del mundo real. En general, hay una alta probabilidad de que muchos asuntos económicos del mundo real no puedan ser resueltos por las libres fuerzas del mercado actuando por sí mismas sino que requieran de la acción del estado, es decir de una política pública o del estado. Esta situación es llamada *falla de mercado*. La cual puede deberse a las imperfecciones del mercado, a la presencia de externalidades, a la existencia de rentas monopólicas resultantes de rendimientos crecientes a escala, o a la existencia de incertidumbres.

2. Modelos de equilibrio general computable

Los modelos de equilibrio general computable² se fundamentan en la teoría del equilibrio general, y utilizando información tomada de datos económicos reales, tratan de capturar un amplio rango de interacciones económicas entre una variedad de agentes económicos e instituciones. Dados ciertos supuestos de comportamiento respecto a los mencionados agentes e instituciones y respecto al funcionamiento de los mercados, estos modelos son utilizados para determinar precios relativos y cantidades producidas y consumidas. En ocasiones proporcionan un panorama de la economía con un grado relativamente alto de desagregación.

Un modelo EGC requiere de técnicas computacionales para su solución. Muchas veces los parámetros y los valores de las variables de los modelos son estimadas con información obtenida de la Matriz de Contabilidad Social (MCS) que contiene información sobre los flujos de bienes y de pagos entre las instituciones en la economía. Éste es el único vínculo real entre estos modelos y los de Insumo-Producto, ya que los datos de la MCS y de la MIP provienen de la misma fuente: las Cuentas Nacionales del país.

Los modelos EGC han sido utilizados tradicionalmente para responder preguntas de estática comparada o del tipo “que pasa si”, es decir, son en su mayoría estáticos. Aunque especificaciones dinámicas de ellos están siendo utilizadas de manera creciente para fines de pronóstico (Dixon and Rimmer, 2009).

3. Modelos de EGC para cambio climático

Hay una amplia variedad de modelos de EGC que abordan la problemática del cambio climático. Algunos de ellos son considerados modelos híbridos porque manejan simultáneamente datos económicos y datos de cantidades físicas del cambio climático. Por lo tanto, en ocasiones existe una combinación de técnicas diferentes en un mismo modelo.

Hay estudios de EGC para una región o área dentro de un país (véase, por ejemplo, Rose, y otros, 2000); hay otros para un solo sector de una economía dada (véase, por ejemplo, Zhai, y otros, 2009); otros para un solo país (véanse, Fullerton and Heutel, 2010; De Juan, y otros, 2008); para diversas regiones del mundo o el mundo en conjunto (véanse, por ejemplo, Ross, 2008; Sassi, y otros, 2010). Los temas abordados son también variados: análisis sectoriales, estimaciones de demanda de energía, análisis de política de cambio climático, políticas de desarrollo económico sustentable. En todos los casos la idea es reducir los costos o impactos esperados del cambio climático, seleccionando las políticas de adaptación o mitigación adecuadas (más eficientes). Estos costos se miden generalmente en términos de ganancias o pérdidas de *bienestar* de los actuales y/o futuros consumidores.

4. Los modelos de EG de Nordhaus

Los modelos de equilibrio general aplicados al cambio climático más conocidos son los desarrollados por Nordhaus (Nordhaus, 1979; 1992; 1996; 2007).

El trabajo inicial más relevante parece ser el modelo referente al sector de energía de los Estados Unidos en 1979 que busca determinar los precios de los recursos energéticos que impliquen el uso eficiente de dichos recursos. Un resultado interesante es que señala la posibilidad de cambios climáticos de gran magnitud sin una regulación del mercado, a lo cual propone como estrategia de control un impuesto al carbón (Nordhaus, 1979).

² Los modelos de equilibrio general computable son la herramienta prevalectante ya que se fundamentan en la teoría económica convencional. Estos modelos a su vez favorecen la aplicación de mecanismos de mercado más que instrumentos de política de estado para enfrentar casi cualquier problema económico incluyendo desde luego el problema ambiental.

En 1983, Nordhaus y Yohe, presentaron un modelo probabilístico para estimar las emisiones de CO₂. El modelo es uno altamente agregado del sector energético y de la economía a nivel global. El modelo relaciona el PIB mundial con el trabajo, los insumos de combustibles fósiles y los demás insumos. Se incorporan variables de incertidumbre como el crecimiento de la población, la disponibilidad y el precio de los combustibles fósiles, el aumento de la productividad, entre otras. Los resultados apuntan a que la probabilidad de que el dióxido de carbono se duplique entre 2050 y 2100 es igual a que ocurra en otro periodo, de 1 en 4 de que ocurra antes de 2050 y de 1 en 20 de que ocurra antes de 2035 (Nordhaus and Yohe, 1983, p. 94).

El modelo DICE (Dynamic Integrated Climate Economy) intenta corregir los errores de los estudios previos (Nordhaus, 1992) utilizando un modelo de crecimiento económico óptimo tipo Ramsey con ciertos ajustes, con la finalidad de calcular la senda óptima de acumulación de capital y reducción de emisiones de GEI (Nordhaus, 1992). El modelo está diseñado para maximizar la utilidad o satisfacción por consumo descontada, sujeta a varias restricciones económicas y climáticas. Otro aspecto importante del modelo es que supone que las emisiones de GEI pueden ser controladas incrementando los precios de los factores o productos que son intensivos en GEI.

Las conclusiones importantes de esta versión del modelo de Nordhaus son que “una eficiente estrategia para enfrentar el calentamiento global por el efecto invernadero, debe ponderar los costos y beneficios de las diferentes políticas en distintos momentos...Las estimaciones tanto de costos como de daños son altamente inciertas e incompletas... En términos de daños...el impacto del cambio climático ocasionado por un aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre de 3 grados Centígrados...se estima en alrededor de 1.3 por ciento del producto de la economía global” (Nordhaus, 1992).

Como una versión mejorada del modelo DICE se presenta en 1996 el modelo RICE (Regional Integrated model of Climate and the Economy) por parte de Nordhaus y Yang. Este modelo es descrito como uno de equilibrio general dinámico regional de la economía que integra la actividad económica con las fuentes de emisión de GEI, las consecuencias de estas emisiones y el cambio climático. En este modelo el mundo está dividido en 10 regiones cada una con una dotación de acervos de capital, población y tecnología. La acumulación de capital se determina optimizando el consumo en el tiempo. Las decisiones importantes en cada país o región se refieren a (a) consumir bienes y servicios, (b) invertir en capital productivo y (c) reducir el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de CO₂. Hay tres tipos de estrategias: (1) Políticas de mercado (no hay control de las emisiones de GEI); (2) Políticas de cooperación, los países acuerdan reducir las emisiones de CO₂ en una forma eficiente globalmente y (3) Políticas no cooperativas, las naciones en lo individual llevan a cabo políticas que son de su interés nacional, ignorando los efectos que éstas puedan tener indirectamente en otras naciones.

De los resultados del modelo se obtienen varias conclusiones básicas. La más importante se refiere a que el modelo estima la diferencia entre una política cooperativa eficiente y una política no cooperativa. Esta última es aquella en la que los países maximizan su bienestar económico, tomando como dadas las políticas de los demás. “Esto implica que los países pequeños cuyas políticas de cambio climático tienen poco efecto en su propio bienestar económico, tendrán pocos incentivos para reducir las emisiones, mientras que los países más grandes tendrán incentivos grandemente atenuados para involucrarse en costosas reducciones de emisiones de CO₂” (Nordhaus, 1996). Los resultados del modelo indicaban que las inversiones para controlar el calentamiento global serían modestas en el contexto de la actividad económica global del –entonces– siguiente siglo. Las estimaciones señalan que las pérdidas derivadas del calentamiento global en el siglo veintiuno estarían en el rango de 1 a 2 puntos porcentuales del ingreso global. De acuerdo con el modelo una cooperación exitosa llevaría a ganancias netas, aunque sería improbable que el fracaso en la cooperación llevara a un desastre económico en el siglo veintiuno.

En 1999 apareció una publicación titulada Roll the DICE again: Economic Models of Global Warming, por Nordhaus y Boyer. En este trabajo se hace una descripción detallada de todos los modelos de Equilibrio General de Nordhaus elaborados hasta entonces y se corre una nueva versión de

DICE. El modelo llamado RICE-99 estima las funciones de impactos de daño por cambio climático, tanto a nivel del mundo, como de regiones y de sectores. Los resultados parecen de ser de la mayor importancia. Se afirma que: “los resultados difieren marcadamente por región. Los impactos (de un calentamiento global de 2.5°C) van de un beneficio neto de 0.7 por ciento del producto para Rusia, a un daño neto de casi 5 por ciento para la India. El impacto global promedio se estima en 1.5 por ciento del producto, usando ponderaciones del producto pronosticado y 1.9 por ciento usando ponderaciones por tamaño de población en 1995”. “Las proyecciones actuales [entonces] de RICE-99 señalan que el calentamiento total en un ambiente sin control estarán ligeramente debajo de 2.5°C alrededor de 2100. Nuestras estimaciones son que los daños asciendan probablemente a 1.9 por ciento del ingreso global utilizando las ponderaciones del producto de 2100. Los daños para los Estados Unidos, Japón, Rusia y China son esencialmente cero dentro de ese periodo, suponiendo que no se materializan escenarios catastróficos. Europa, la India y muchas regiones de bajos ingresos aparecen como vulnerables a sufrir daños significativos en el siglo siguiente [el veintiuno]” (Nordhaus y Boyer, 1999, cap.4, pág.31).

Finalmente justo después de su famoso debate con Stern, Nordhaus publicó un nuevo libro *The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy* (Nordhaus, 2007) con proyecciones nuevas o revisadas y estimaciones de sus modelos RICE y DICE. Los modelos son de Equilibrio General con sus mismos supuestos y con énfasis en consideraciones de economía del bienestar para efectos de evaluación de las políticas. En ese trabajo el autor se plantea varias preguntas básicas a las que responde: “En la práctica un análisis económico del cambio climático debe ponderar los costos de hacer más lento el cambio climático, contra los daños de un cambio climático más rápido”. “La historia económica y el análisis indican que lo más efectivo será usar señales del mercado, en primer lugar precios más altos para los combustibles de carbón, dar señales y proporcionar incentivos para empresas y consumidores para cambiar sus usos de energía y reducir sus emisiones de carbón. En el largo plazo, los precios más altos del carbón proporcionarán incentivos a las empresas para facilitar la transición a un futuro de bajo carbón”. Los principales resultados del modelo son: “El caso de “línea base” proyecta un incremento rápido y continuo de las emisiones de CO₂ para 2100, las cuales aumentarán la temperatura promedio de la superficie global en 3.1°C para 2100 y en 5.3°C para 2200 respecto a 1900. Los cambios climáticos se estima aumentarán los daños globales a 3 por ciento del producto global en 2100 y cerca de 8 por ciento del producto global en 2200”. Como en los estudios previos del autor un resultado importante es la estimación del precio óptimo del carbón o impuesto óptimo, ya que es la política más favorecida en este tipo de análisis, a la que se denomina la política “eficiente”.

D. Modelos econométricos

Entre los modelos econométricos aplicados destaca el modelo de cobertura mundial llamado Energy-Environment-Economy Model at the Global level (E3MG) construido por expertos de la Universidad de Cambridge en el Reino Unido, el cual en combinación con un modelo de transporte químico llamado p-TOMCAT ha sido aplicado al caso de México. El modelo E3GM es muy atractivo por dos razones: una que está basado en datos históricos de agencias oficiales y dos que se ha definido como Post Keynesiano en el sentido de que es la demanda agregada la que provoca el movimiento y no supone pleno empleo ni competencia perfecta a la manera neoclásica. También resulta interesante porque toma en cuenta varios sectores económicos, es decir, es un modelo multisectorial (Barker, y otros, 2008).

El modelo E3GM aplicado a México proporciona una visión importante de la situación y las perspectivas de los impactos y las opciones de mitigación del cambio climático. Los resultados muestran que la aplicación de políticas orientadas a reducir el consumo de combustibles fósiles podrían mejorar la tasa de crecimiento de la economía en el mediano y largo plazos de 3.61 por ciento al año en el periodo 2005-2050 en términos reales (tendencia de línea base) a 3.64 por ciento (un aumento de 0.03 puntos porcentuales) reduciendo al mismo tiempo las emisiones en 80 por ciento para 2050 respecto a la tendencia. La estrategia implica regulaciones para mejorar el parque vehicular

hacia vehículos de bajas –o cero– emisiones, sustituir los combustibles fósiles por energías renovables y a aumentar la eficiencia energética en la industria y en los edificios. Asimismo, sugieren la aplicación de un esquema de comercialización de bonos de carbón, para reducir las emisiones de los sectores de la energía y de impuestos al carbón para otros sectores (Barker, y otros, 2010). Los resultados pueden mejorarse si el resto del mundo sigue una estrategia baja en carbón similar al mismo tiempo, en cuyo caso la tasa de crecimiento anual de la economía mexicana puede aumentar aún más (a 3.65 por ciento anual en el período 2005-2050).

Otro modelo econométrico aplicado a México es el desarrollado por Luis Miguel Galindo para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del gobierno mexicano (SEMARNAT, 2009a). Éste es un modelo econométrico macro y multisectorial. Sus resultados no fueron en su momento tan optimistas como los del modelo de Barker. El argumento del modelo de Galindo consiste en resumen en lo siguiente: si se supone una tasa media de crecimiento de 3.5 por ciento del PIB en términos reales para la economía mexicana en un escenario inercial, con las actuales tasas de desacoplamiento el consumo de energía al PIB y de las emisiones de CO₂ a la energía entonces la reducción deseada del nivel de emisiones en 50 por ciento para 2050 (respecto a 2002) no puede cumplirse, sin incorporar modificaciones substanciales a la estructura económica y los precios relativos. A fin de alcanzar este objetivo de reducción se tendría que incurrir en varios costos de mitigación cuyo monto asciende en promedio a 2 puntos porcentuales del nivel anual del PIB.

E. Modelos ambientales de insumo-producto

Los modelos de insumo-producto tienen una extensa historia en su aplicación a los problemas medioambientales (Leontief, 1970, 1973). Destacan los modelos aplicados a casos particulares de países o regiones, así como a sectores económicos por ejemplo Duchin y Lange (1992, 1994), Kratena y Scheicher (1999), Idenburg y Wilting (2004) Lenzen, Pade y Munksgaard (2004), Wilting, Faber e Idenburg (2004), Kelly (2006) y Brink e Idenburg, (2007). Así como aquellos enfoques o modelos teóricos de Insumo-Producto relacionados con la limpieza ambiental como los de Steenge (1978), Lowe (1979), Qayum (1991), Arrous (1994), Lager (1998) y Luptacik and Böhm (1999).

El modelo medioambiental estándar de Leontief se ha convertido en un marco conceptual importante para analizar las relaciones económicas medioambientales. El enfoque contiene, sin embargo, un conjunto de supuestos que ocasionan algunos problemas con la implementación del MIP para análisis de política ambiental. Varios de estos supuestos han sido analizados y tratados en diversos estudios. Exponemos sólo los dos de ellos que consideramos relevantes para el análisis de políticas ambientales relacionadas con las emisiones de GEI.

En primer lugar, se supone en el modelo que la contaminación puede eliminarse cuando es liberada en el ambiente (aguas superficiales, la atmósfera, etc.). Este puede ser el caso de cierto tipo de elementos contaminantes como por ejemplo la basura, pero en el caso de la mayoría de las sustancias gaseosas como los GEI, no es posible que se eliminen una vez soltadas a la atmósfera (Lager, 1998), sino que la contaminación debe en estos casos ser eliminada o reducirse en la fuente misma que la ocasiona, es decir en el proceso productivo, mediante la utilización de tecnologías menos contaminantes o bien la modificación de las existentes que evite la salida de estos gases a la atmósfera. Esto tiene dos implicaciones importantes: (1) las actividades de abatimiento de las emisiones están directamente relacionadas –tanto en costos, como en efectos directos– a la contaminación en sus diferentes fuentes específicas y (2) pueden haber en estas fuentes diversas tecnologías correctivas o sustitutas, lo que implica que los costos y el potencial de reducción de gases son específicos de cada rama o sector económico que los emite.

En segundo lugar, en el modelo Insumo-Producto estándar, se supone que el nivel de abatimiento, es decir las proporciones de contaminantes eliminados son exógenos al modelo. Más aún, la reducción proporcional de emisión es la misma para cada una de las ramas. Esto puede ser cierto cuando el abatimiento de la contaminación ocurre una vez que los contaminantes son liberados al medio ambiente, porque en ese caso el costo de abatimiento o reducción por unidad contaminante es el

mismo independientemente de la fuente emisora. Este enfoque implica que el costo de abatimiento se distribuye entre las ramas o sectores de acuerdo con su contribución relativa a la contaminación total. Pero en el contexto de una reducción de emisiones que es específica para cada rama, esto no resulta en un uso eficiente de recursos escasos para reducir la contaminación ambiental. De hecho, puede estar reflejando un criterio que sugiere el uso de la misma tecnología de reducción de contaminantes en todas y cada una de las ramas económicas.

En la bibliografía reciente destacan los modelos Ambientales de Insumo-Producto (AIP) aplicados a la economía holandesa de los siguientes autores: Idenburg (1998); Idenburg y Wilting (2000, 2004); Wilting, Faber e Idenburg (2004); Brink e Idenburg (2007). Estos modelos resultaron de particular interés por ser aplicados a un caso nacional, y porque abordan directamente la introducción de tecnologías de reducción de emisiones de GEI. Estos cuatro trabajos comprenden de hecho dos tipos de modelos uno dinámico y otro estático, con objetivos y metodologías relativamente distintas cada uno. Una característica común es que las matrices consideradas en ambos modelos están altamente agregadas.

El modelo dinámico llamado DIMITRI (Idenburg 1998; Idenburg y Wilting 2000, 2004; Wilting, Faber e Idenburg, 2004) presenta como un elemento fundamental para la introducción de nuevas tecnologías, variables y ecuaciones que incluyen inversión por sector, capacidad instalada (existente y planeada) por sector, tasas de depreciación por sector y una matriz de coeficientes de capital que comprende el total de sectores o ramas de la economía. La tecnología instalada es una mezcla de tecnologías implementadas en periodos anteriores. Esta tecnología cambia cada año a partir de la depreciación de la existente y de la nueva inversión, lo que se refleja en una matriz tecnológica cambiante en cada periodo anual. El modelo estima las matrices tecnológicas de la economía para cada año. Después de probar su efectividad con datos de periodos anteriores. Los autores aplican el modelo hacia adelante para pronosticar los efectos de nuevas tecnologías en escenarios futuros. Entre las nuevas tecnologías a aplicar destacan desde luego las tecnologías de abatimiento.

El segundo modelo AIP aplicado a la economía holandesa, desarrollado por Brink e Idenburg (2007) difiere de DIMITRI en tres aspectos básicos: (1) no es dinámico y por tanto no incluye en la estimación datos relacionados con los acervos de capital, la inversión, la depreciación, ni la matriz de coeficientes de capital; (2) tiene el propósito de analizar la selección de la mejor tecnología reductora de emisiones de GEI por sector entre varias disponibles, a partir de sus efectos y sus costos. Para ello se hace un análisis de costo total mediante un modelo de optimización; (3) las tecnologías consideradas para selección son todas de las llamadas add-on o end-of-the-pipe, es decir no implican cambios ni el proceso productivo, ni en el producto mismo. Un aspecto importante de este modelo es que supone la operación de un sistema de permisos de carbón en condiciones de libre mercado. Es decir, se privilegia la política ambiental de reducción de GEI mediante un sistema de permisos de mercado.

Para el caso de México se elaboró en 2011 un modelo AIP aplicado con apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Agencia Francesa de Desarrollo (AFP) para asesorar a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del gobierno mexicano en las políticas de mitigación. El estudio, antecedente del presente, tuvo como objetivo determinar las tendencias de las emisiones totales de GEI de la economía mexicana al año 2020 y simular un cambio tecnológico de reducción de emisiones en seis ramas seleccionadas de las 79 que componen la Matriz de Insumo-Producto de México para medir el impacto de dicho cambio tecnológico y su expansión en toda la economía en la reducción de las emisiones totales de GEI (Ruiz-Nápoles, 2012).

III. Las emisiones de GEI y los sectores estratégicos en la Argentina y el Brasil

Las Matrices de Insumo-Producto que pudieron obtenerse de las fuentes oficiales para el estudio fueron la de Argentina del año 1997 y la de Brasil del año 2009. Cada una con diferente clasificación industrial y número de ramas. La de Argentina con 94 ramas o sectores, la de Brasil con 56 (véanse los cuadros 1 y 6).

Estas matrices se utilizaron inicialmente para identificar en primer lugar los sectores clave o estratégicos de la economía, así llamados en la bibliografía especializada por su importancia en la estructura económica. Y, en segundo lugar, identificamos a aquellas ramas que dentro del total que integran la matriz de insumo-producto, destacan por ser las que emiten absoluta o relativamente más GEI, de acuerdo con las mediciones oficiales más recientes de que pudimos disponer.

A. Sectores económicos clave o estratégicos

En el análisis de Insumo-Producto se denominan como estratégicas o claves a ciertas ramas económicas por sus efectos en las demás, sea a través de la demanda o de la oferta. La relación económica entre dos ramas se llama encadenamiento. Así, hay encadenamientos hacia adelante o encadenamientos de oferta y encadenamientos hacia atrás o de demanda. Dependiendo del número de encadenamientos entre una rama y las demás cada rama puede tener efectos transmisores fuertes o débiles hacia atrás o hacia adelante con el conjunto de la economía. Las ramas que tienen más encadenamientos son entonces consideradas claves o estratégicas porque su producción puede jalar demandas de otras ramas y, por tanto, incidir en la producción y el empleo o bien son importantes como insumos de muchas otras ramas y entonces cualquier problema de su oferta limita la oferta de las ramas de las que ella es proveedor. Este tipo de ramas son importantes para cualquier política que busque impactos en la economía en su conjunto.

Para medir estos encadenamientos usamos dos índices ampliamente reconocidos en el análisis estructural: los coeficientes de Rasmussen (1956) y los determinados por el método de extracción (Cella, 1984; Dietzenbacher, 1993, 1997).

1. Sectores clave según los coeficientes de Rasmussen

La matriz $(I - A)^{-1}$, conocida como la “inversa de Leontief”, nos permite resolver el sistema para encontrar el nivel de producto del sector i -ésimo que se requiere para satisfacer el incremento de la demanda final del sector j -ésimo en una unidad. Esta matriz se refiere por lo tanto a la demanda. Al mismo tiempo la matriz inversa $(I - D)^{-1}$ que se deriva de la matriz de distribución se refiere a la matriz de oferta. De los elementos de estas dos matrices podemos obtener coeficientes que miden la capacidad de generar o absorber incrementos en las diferentes ramas industriales. Para ello necesitamos considerar primero la suma de los elementos de cada fila z_i y de cada columna z_j , los que se denominan efecto “absorción” y efecto “dispersión” respectivamente (United Nations, 2000). Los coeficientes creados por Rasmussen (1956) están desarrollados sobre la base de cada uno de estos efectos y se obtienen calculando el promedio de cada efecto en cada rama industrial. Los coeficientes son el cociente de estos efectos promedio respecto de los efectos globales.

Rasmussen (1956) definió dos índices o coeficientes, uno de demanda usando la matriz inversa de Leontief al que llamó Índice de Poder de Absorción y otro de oferta usando la inversa de la matriz de Distribución al que llamó Índice de Poder de Dispersión. El primero mide los encadenamientos hacia atrás, el segundo los encadenamientos hacia delante, ambos de cada una de las ramas o sectores que componen la matriz.

El coeficiente basado en el efecto absorción es conocido como el Índice de Poder de Absorción y se obtiene por la fórmula:

$$U_{.j} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (1)$$

Donde: $U_{.j}$ = índice de poder de absorción de la rama j , n = número de filas y columnas de la matriz, z_{ij} = elemento ij de la matriz $(I - A)^{-1}$. Este índice mide en términos relativos el poder de cada rama industrial para jalar al resto de la economía, se conoce también como Encadenamiento hacia Atrás (*Backward Linkage*).

De modo similar, con el efecto dispersión, el Índice de Poder de Dispersión se calcula por una ecuación basada en la matriz de distribución:

$$U_{.i} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (2)$$

Donde: $U_{.i}$ = índice de poder de dispersión de la rama i , n = número de filas y columnas de la matriz, z_{ij} = elemento ij de la matriz $(I - D)^{-1}$. Este índice mide en términos relativos el impacto producido por cada rama industrial sobre las demás, se conoce también como Encadenamiento hacia Adelante (*Forward Linkage*).

2. Encadenamientos determinados por el método de extracción

El llamado método de extracción, postulado por Guido Cella (1984) y desarrollado posteriormente por Eric Dietzenbacher (1993, 1997), calcula también encadenamientos hacia atrás (de demanda) y hacia adelante (de oferta) usando también las matrices de insumos y de distribución respectivamente, pero con una formulación diferente a la de Rasmussen.

El método de extracción funciona de la siguiente manera: 1) Dado el vector de demanda final el producto bruto es calculado para cada uno de los n sectores o ramas; 2) Uno de estos n sectores es hipotéticamente extraído de la economía eliminando su fila y columna correspondientes de la matriz A de coeficientes técnicos; 3) Utilizando el vector de demanda final reducido, es decir, quitando la demanda del sector extraído de la matriz, se calcula el valor bruto de la producción de los restantes $n - 1$ sectores; 4) El efecto de extraer esta rama industrial particular se obtiene por la diferencia de la suma del producto de todos los sectores y el producto total del conjunto completo. La magnitud de esa diferencia es indicativa de la relevancia de la industria hipotéticamente excluida (Dietzenbacher, y otros, 1993, p.3).

B. Ramas o sectores económicos principales emisores de GEI

De acuerdo con los distintos modelos AIP, la identificación de las ramas o sectores económicos contaminantes es crucial para estimar los efectos directos e indirectos de la contaminación (Leontief, 1970; Lenzen y otros, 2004; Munksgaard y otros, 2005). En este caso nos referimos específicamente a la emisión de los *gases de efecto invernadero* GEI.

Para identificar las ramas económicas altamente emisoras de GEI se utilizaron dos indicadores. En primer lugar, se estimaron los niveles absolutos de emisión por rama económica tomando como base los reportes de los inventarios nacionales de GEI de Argentina y de Brasil al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas, al Banco Mundial y/o a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas (véase: Fuentes de información y software al final). Estos reportes se presentan en una clasificación sectorial particular que no coincide con la Clasificación Industrial comúnmente utilizada en el Sistema de Cuentas Nacionales de las Naciones Unidas actualmente, ni tampoco con la clasificación industrial de las matrices de Insumo-Producto, en este caso de Argentina y de Brasil, por lo cual tuvo que hacerse una homologación de sectores entre diferentes metodologías de clasificación para acoplar la información de la emisión de GEI a la correspondiente a la matriz de Insumo-Producto de cada uno de estos dos países.

Se calculó, en segundo lugar, el vector de coeficientes de emisiones por rama normalizando las emisiones con respecto a la producción bruta del mismo año para obtener las emisiones por unidad de producto en este caso Giga-gramos de CO₂ equivalente de GEI por millón de unidades monetarias del producto bruto de cada país, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_i = E_i / x_i \quad (3)$$

Donde: e_i = coeficiente de emisión anual de la rama i ; E_i = Giga-gramos de GEI generados por la rama i ; x_i = producto bruto anual de la rama i en millones de unidades monetarias; $i = (1, \dots, n)$.

C. La estructura de la economía argentina

La Matriz de Insumo-Producto MIP de la economía argentina más reciente que se pudo encontrar de fuentes oficiales fue la del año 1997 con 94 sectores, cuya clasificación aparece en el cuadro 1.

1. Tendencias, ramas o sectores económicos estratégicos

Siguiendo la metodología de Rasmussen descrita arriba se calcularon los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de los 94 sectores de la MIP de 1997. Se seleccionaron los que presentaron los primeros 25 sectores con los Índices de Absorción y de Dispersión más altos y se muestran en el cuadro 2.

Los encadenamientos hacia atrás son en general bajos respecto a los encadenamientos hacia adelante, hay pocas ramas en común entre las dos listas, son sólo seis de un total de 25 y son las siguientes en orden de importancia de los encadenamientos hacia atrás: (11) Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes; (25) Industria textil (incluyendo producción de prendas); (50) Metalurgia de no ferrosos; (32) Refinación de petróleo; (30) Industria del papel; (35) Materias primas plásticas y caucho sintético.

También se calcularon los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás siguiendo el método de extracción descrito arriba. De igual forma se seleccionaron los 25 sectores con mayores encadenamientos en cada caso y se muestran en el cuadro 3.

Según este método hay una mayor coincidencia entre las dos listas de sectores con encadenamientos hacia atrás y hacia adelante. Destacan en este sentido las siguientes 16 ramas en orden de clasificación de la matriz: (1) Agricultura; (2) Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos; (8) Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio; (11) Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes; (14) Aceites y subproductos oleaginosos; (15) Productos lácteos; (23) Industria de bebidas alcohólicas y no alcohólicas; (25) Industria textil (incluyendo producción de prendas); (30) Industria del papel; (31) Edición e impresión (incluye grabaciones); (32) Refinación de petróleo; (43) Productos de plástico; (49) Industrias básicas de hierro y acero; (75) Electricidad; (78) Construcción.

2. Ramas o sectores principales emisores de GEI

Se estimaron las emisiones por rama industrial de la MIP Argentina y se presentan en el cuadro 4 las 25 ramas más contaminantes en términos absolutos más la de Silvicultura y extracción de madera que no emite sino absorbe CO₂.

Las ramas más contaminantes en términos absolutos son las siguientes doce: (1) Agricultura; (2) Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos (75) Electricidad; (82) Transporte terrestre de carga; (81) Transporte terrestre de pasajeros; (94) Servicios personales (incluyendo servicio doméstico); (76) Gas; (93) Servicios de saneamiento; (43) Productos de plástico; (9) Extracción de minerales metalíferos; (47) Cemento, cal y yeso; (8) Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio.

Finalmente se estimaron los valores relativos de emisión de GEI respecto al producto para cada una de las ramas industriales de la MIP Argentina y se obtuvieron los resultados que se presentan en el Cuadro A.5 de las principales 25 ramas.

Como se aprecia en el cuadro, once ramas industriales tienen coeficientes con un valor superior a la unidad, estas son de mayor a menor las siguientes: (9) Extracción de minerales metalíferos; (2) Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos; (84) Transporte marítimo; (76) Gas; (93) Servicios de saneamiento; (1) Agricultura; (47) Cemento, cal y yeso; (75) Electricidad; (82) Transporte terrestre de carga; (81) Transporte terrestre de pasajeros; (85) Transporte aéreo.

CUADRO 1
CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL DE LA MIP DE ARGENTINA, 1997

Número	Rama
1	Agricultura
2	Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos
3	Producción de granja
4	Servicios agropecuarios
5	Caza
6	Silvicultura y extracción de madera
7	Pesca
8	Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio
9	Extracción de minerales metalíferos
10	Extracción de otros minerales
11	Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes
12	Elaboración y conservación de pescado y productos de pescado
13	Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas
14	Aceites y subproductos oleaginosos
15	Productos lácteos
16	Molienda de trigo y de otros cereales
17	Alimentos balanceados
18	Productos de panadería
19	Azúcar
20	Cacao, chocolate y productos de confitería
21	Pastas alimenticias
22	Otros productos alimenticios
23	Industria de bebidas alcohólicas y no alcohólicas
24	Productos de tabaco
25	Industria textil (incluyendo producción de prendas)
26	Industria del cuero (incluye talabartería)
27	Calzado y sus partes
28	Aserraderos
29	Madera y sus productos
30	Industria del papel
31	Edición e impresión (incluye grabaciones)
32	Refinación de petróleo
33	Química básica
34	Fertilizantes y plaguicidas
35	Materias primas plásticas y caucho sintético
36	Pinturas y barnices
37	Productos medicinales
38	Jabones, detergentes y cosméticos
39	Otros productos químicos
40	Fibras sintéticas manufacturadas
41	Cubiertas, cámaras y recauchutado de cubiertas
42	Productos de caucho
43	Productos de plástico
44	Vidrio y productos de vidrio
45	Productos de cerámica refractaria y no refractaria
46	Arcilla y cerámica no refractaria para uso estructural
47	Cemento, cal y yeso
48	Artículos de hormigón, cemento y yeso
49	Industrias básicas de hierro y acero

Cuadro 1 (conclusión)

Número	Rama
50	Metalurgia de no ferrosos
51	Fundición de metales
52	Estructuras metálicas, tanques, depósitos y generadores de vapor
53	Forja, laminado y tratamiento de metales
54	Artículos de cuchillería, ferretería y herramientas de mano
55	Otros productos metálicos
56	Motores, turbinas, bombas y compresores
57	Engranajes, hornos, elevadores y otras maquinarias de uso general
58	Tractores y maquinaria agrícola
59	Otra maquinaria de uso especial
60	Aparatos de uso doméstico y de oficina
61	Motores, generadores y transformadores eléctricos
62	Aparatos de control y distribución de energía eléctrica
63	Hilos y cables aislados
64	Acumuladores y pilas
65	Lámparas eléctricas y equipos de iluminación
66	Accesorio para telecomunicaciones
67	Instrumentos médicos, ópticos y de precisión y relojes
68	Vehículos automotores
69	Carrocerías y remolques
70	Autopartes
71	Buques, locomotoras y aeronaves
72	Motocicletas, bicicletas y otros tipos de transportes
73	Muebles y colchones
74	Otras industrias manufactureras
75	Electricidad
76	Gas
77	Agua
78	Construcción
79	Comercio general
80	Hoteles y Restaurantes
81	Transporte terrestre de pasajeros
82	Transporte terrestre de carga
83	Transporte por tuberías
84	Transporte marítimo
85	Transporte aéreo
86	Actividades de transporte complementarias
87	Correo y Telecomunicaciones
88	Intermediación financiera
89	Actividades inmobiliarias empresariales y de alquiler
90	Administración pública, defensa y planes de la seguridad social
91	Enseñanza
92	Salud
93	Servicios de saneamiento
94	Servicios personales (incluyendo servicio doméstico)

Fuente: Matriz I-P de la República de Argentina 1997.

CUADRO 2
INDUSTRIAS SELECCIONADAS DE LA MATRIZ I-P 1997 DE LA ARGENTINA. PRINCIPALES
ENCADENAMIENTOS HACIA ATRÁS Y HACIA ADELANTE POR EL MÉTODO DE RASMUSEN

Número de orden	Número de clasificación	Rama Industrial	Índice de absorción	Número de clasificación	Rama	Índice de difusión
1	26	Industria del cuero (incluye talabartería)	1 429	89	Actividades inmobiliarias empresariales y de alquiler	4 916
2	11	Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes	1 418	79	Comercio general	3 825
3	14	Aceites y subproductos oleaginosos	1 354	1	Agricultura	2 854
4	17	Alimentos balanceados	1 339	82	Transporte terrestre de carga	2 623
5	15	Productos lácteos	1 330	8	Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio	2 079
6	12	Elaboración y conservación de pescado y productos de pescado	1 281	75	Electricidad	2 055
7	16	Molienda de trigo y de otros cereales	1 280	88	Intermediación financiera	2 051
8	3	Producción de granja	1 258	49	Industrias básicas de hierro y acero	1 940
9	13	Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas	1 196	94	Servicios personales (incluyendo servicio doméstico)	1 925
10	21	Pastas alimenticias	1 160	43	Productos de plástico	1 697
11	20	Cacao, chocolate y productos de confitería	1 160	32	Refinación de petróleo	1 641
12	69	Carrocerías y remolques	1 157	2	Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos	1 504
13	63	Hilos y cables aislados	1 154	87	Correo y Telecomunicaciones	1 339
14	25	Industria textil (incluyendo producción de prendas)	1 150	35	Materias primas plásticas y caucho sintético	1 293
15	50	Metalurgia de no ferrosos	1 147	30	Industria del papel	1 287
16	23	Industria de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	1 141	50	Metalurgia de no ferrosos	1 283
17	32	Refinación de petróleo	1 139	51	Fundición de metales	1 247
18	52	Estructuras metálicas, tanques, depósitos y generadores de vapor	1 136	25	Industria textil (incluyendo producción de prendas)	1 230
19	30	Industria del papel	1 132	55	Otros productos metálicos	1 201
20	24	Productos de tabaco	1 129	33	Química básica	1 180
21	18	Productos de panadería	1 114	86	Actividades de transporte complementarias	1 163
22	57	Engranajes, hornos, elevadores y otras maquinarias de uso general	1 105	31	Edición e impresión (incluye grabaciones)	1 121
23	80	Hoteles y Restaurantes	1 101	11	Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes	1 075
24	73	Muebles y colchones	1 100	39	Otros productos químicos	1 055
25	35	Materias primas plásticas y caucho sintético	1 096	76	Gas	1 005

Fuente: Elaboración propia con datos de la Matriz Simétrica de Insumo Producto de 1997 de la República Argentina.

CUADRO 3
INDUSTRIAS SELECCIONADAS DE LA MATRIZ I-P DE LA ARGENTINA, 1997. MAYORES
IMPACTOS HACIA ATRÁS Y ADELANTE POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN

Número de orden	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de pesos	Porcentaje de producción	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de pesos	Porcentaje de producción
1	89	Actividades inmobiliarias empresariales y de alquiler	33 198,3	8,6	89	Actividades inmobiliarias empresariales y de alquiler	40 312,0	10,6
2	78	Construcción	26 699,5	6,9	79	Comercio general	27 958,3	7,3
3	79	Comercio general	26 079,6	6,8	78	Construcción	18 715,2	4,9
4	94	Servicios personales (incluyendo servicio doméstico)	15 213,4	4,0	94	Servicios personales (incluyendo servicio doméstico)	16 324,0	4,3
5	1	Agricultura	15 007,1	3,9	1	Agricultura	16 201,1	4,2
6	88	Intermediación financiera	13 595,8	3,5	88	Intermediación financiera	15 732,0	4,1
7	11	Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes	13 032,4	3,4	82	Transporte terrestre de carga	13 894,5	3,6
8	80	Hoteles y Restaurantes	12 965,8	3,4	8	Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio	11 035,3	2,9
9	82	Transporte terrestre de carga	11 951,4	3,1	2	Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos	10 509,0	2,8
10	2	Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos	10 625,1	2,8	32	Refinación de petróleo	10 407,5	2,7
11	90	Administración pública, defensa y planes de la seguridad social	9 911,7	2,6	11	Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes	9 178,7	2,4
12	32	Refinación de petróleo	8 996,8	2,3	87	Correo y Telecomunicaciones	8 799,2	2,3
13	43	Productos de plástico	7 623,4	2,0	80	Hoteles y Restaurantes	8 464,5	2,2
14	87	Correo y Telecomunicaciones	7 488,3	1,9	43	Productos de plástico	7 974,1	2,1
15	14	Aceites y subproductos oleaginosos	7 244,6	1,9	90	Administración pública, defensa y planes de la seguridad social	7 938,5	2,1
16	8	Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio	6 983,9	1,8	75	Electricidad	7 493,5	2,0
17	75	Electricidad	6 681,4	1,7	86	Actividades de transporte complementarias	6 231,1	1,6
18	92	Salud	6 560,7	1,7	31	Edición e impresión (incluye grabaciones)	6 034,2	1,6
19	23	Industria de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	6 372,4	1,7	25	Industria textil (incluyendo producción de prendas)	5 641,2	1,5

Cuadro 3 (conclusión)

Número de orden	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de pesos	Porcentaje de producción	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de pesos	Porcentaje de producción
20	15	Productos lácteos	6 176,1	1,6	14	Aceites y subproductos oleaginosos	5 131,2	1,3
21	25	Industria textil (incluyendo producción de prendas)	5 985,7	1,6	30	Industria del papel	5 086,2	1,3
22	86	Actividades de transporte complementarias	5 559,5	1,4	49	Industrias básicas de hierro y acero	4 950,3	1,3
23	31	Edición e impresión (incluye grabaciones)	5 518,9	1,4	92	Salud	4 910,1	1,3
24	30	Industria del papel	4 944,9	1,3	23	Industria de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	4 755,0	1,2
25	49	Industrias básicas de hierro y acero	4 938,6	1,3	15	Productos lácteos	4 207,7	1,1
		Total ramas seleccionadas	279 355,2	72,6		Total ramas seleccionadas	277 884,3	72,9

Fuente: Elaboración propia basada en la Matriz I-P de la República de Argentina 1997.

CUADRO 4
EMISIONES DE GEI POR SECTOR EN LA ARGENTINA, 1997.
RAMAS INDUSTRIALES PRINCIPALES EMISORAS

Número de orden	Número de clasificación	Rama industrial	Emisiones GEI (CO ₂ eq)	Porcentaje del total
1	1	Agricultura	62 016,13	25,6
2	2	Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos	60 711,33	25,1
3	75	Electricidad	28 966,31	12,0
4	82	Transporte terrestre de carga	23 909,02	9,9
5	81	Transporte terrestre de pasajeros	15 939,35	6,6
6	94	Servicios personales (incluyendo servicio doméstico)	14 737,15	6,1
7	76	Gas	11 636,94	4,8
8	93	Servicios de saneamiento	11 366,84	4,7
9	43	Productos de plástico	4 734,19	2,0
10	9	Extracción de minerales metalíferos	4 687,75	1,9
11	47	Cemento, cal y yeso	4 163,05	1,7
12	8	Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio	3 194,05	1,3
13	79	Comercio general	2 907,50	1,2
14	85	Transporte aéreo	2 219,92	0,9
15	84	Transporte marítimo	1 957,76	0,8
16	36	Pinturas y barnices	707,87	0,3
17	3	Producción de granja	695,14	0,3
18	4	Servicios agropecuarios	695,14	0,3
19	33	Química básica	389,43	0,2
20	34	Fertilizantes y plaguicidas	275,54	0,1
21	68	Vehículos automotores	256,26	0,1
22	25	Industria textil (incluyendo producción de prendas)	249,28	0,1
23	49	Industrias básicas de hierro y acero	245,57	0,1
24	31	Edición e impresión (incluye grabaciones)	181,66	0,1
25	37	Productos medicinales	176,64	0,1
26	6	Silvicultura y extracción de madera	17 231,15	-7,1
Emisiones de las industrias seleccionadas (excluyendo absorción de CO ₂)			257 019,79	99,1
Emisiones totales netas de GEI en Argentina (considerando absorción de CO ₂)			241 956,20	

Fuente: Elaboración propia con datos de la Matriz I-P de 1997 y del Ministerio de Economía Argentinos.

CUADRO 5
COEFICIENTES DE EMISIÓN DE GEI EN LA ARGENTINA, 1997
(Gigagramos de GEI por millón de reales de VBP)

Número de orden	Número de clasificación	Ramas industriales	GEI Gg CO ₂ eq	VBP (en millones de pesos)	Coefficiente de emisión
1	9	Extracción de minerales metalíferos	4 687,7	205,1	22,855
2	2	Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos	60 711,3	7 823,7	7,760
3	84	Transporte marítimo	1 957,8	280,3	6,983
4	76	Gas	11 636,9	2 099,3	5,543
5	93	Servicios de saneamiento	11 366,8	2 117,7	5,367
6	1	Agricultura	62 016,1	13 276,3	4,671
7	47	Cemento, cal y yeso	4 163,1	964,4	4,317

Cuadro 5 (conclusión)

Número de orden	Número de clasificación.	Ramas industriales	GEI Gg CO ₂ eq	VBP (en millones de pesos)	Coefficiente de emisión
8	75	Electricidad	28 966,3	6 989,0	4,145
9	82	Transporte terrestre de carga	23 909,0	9 047,1	2,643
10	81	Transporte terrestre de pasajeros	15 939,3	7 272,5	2,192
11	85	Transporte aéreo	2 219,9	1 677,9	1,323
12	43	Productos de plástico	4 734,2	4 982,8	0,950
13	36	Pinturas y barnices	707,9	943,5	0,750
14	4	Servicios agropecuarios	695,1	1 092,4	0,636
15	94	Servicios personales (incluyendo servicio doméstico)	14 737,1	24 538,2	0,601
16	8	Extracción de petróleo, gas, carbón y uranio	3 194,0	7 409,3	0,431
17	3	Producción de granja	695,1	1 626,7	0,427
18	34	Fertilizantes y plaguicidas	275,5	1 194,5	0,231
19	33	Química básica	389,4	1 860,0	0,209
20	79	Comercio general	2 907,5	41 889,5	0,069
21	49	Industrias básicas de hierro y acero	245,6	4 586,5	0,054
22	74	Otras industrias manufactureras	35,3	779,8	0,045
23	71	Buques, locomotoras y aeronaves	23,2	514,5	0,045
24	39	Otros productos químicos	62,8	1 434,7	0,044
25	66	Accesorios para telecomunicaciones	61,1	1 402,7	0,044
		Total ramas industriales seleccionadas	256 338,3	146 008,4	1,756
		Todas las ramas industriales de la MIP	241 956,2	443 869,0	0,545

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la MIP de 1997 y del Ministerio de Economía Argentinos.

3. Sectores estratégicos y altamente emisores

El grupo de ramas o sectores estratégicos donde hay coincidencia en los indicadores de Rasmussen y de Dietzenbacher son sólo tres ramas: (11) Matanza de animales, conservación y procesamiento de carnes (25) Industria textil (incluyendo producción de prendas) 32) Refinación de petróleo.

El grupo de ramas o sectores más emisores de GEI en donde hay coincidencia entre las mediciones absolutas y relativas son cinco (1) Agricultura; (2) Cría de ganado y producción de leche, lana y pelos (75) Electricidad; (82) Transporte terrestre de carga; (81) Transporte terrestre de pasajeros.

A simple vista no parece haber intersección entre ambos conjuntos. No obstante, se puede formar un grupo con las cuatro siguientes ramas industriales o sectores:

(1) *Agricultura*, con altos encadenamientos hacia adelante (método Rasmussen); altos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (método de extracción); altamente emisor de GEI en términos absolutos y relativos.

(75) *Electricidad*, con altos encadenamientos hacia adelante (método Rasmussen); altos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (método de extracción); altamente emisor de GEI en términos absolutos y relativos.

(78) *Construcción*, con altos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (método de extracción); bajos niveles de emisión directa de GEI en términos absolutos y relativos, pero indirectamente emisor importante por el uso de materiales vinculados a su actividad como el cemento, la madera, el hierro y el metal, cuya producción es generadora de GEI.

(81) *Transporte terrestre de pasajeros*, con bajos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante según ambos métodos; altamente emisor de GEI en términos absolutos y relativos.

Este grupo de ramas industriales sería susceptible en primer lugar de un cambio tecnológico en el sentido de reducir sus emisiones, lo que tendría efectos directos e indirectos en toda la economía.

D. La estructura económica del Brasil

La Matriz de Insumo-Producto MIP de Brasil más reciente que se pudo encontrar de fuentes oficiales fue la del año 2009 con 56 sectores, cuya clasificación aparece en el cuadro 6.

1. Ramas o sectores económicos estratégicos

Siguiendo la metodología de Rasmussen descrita arriba se calcularon los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de los 56 sectores de la MIP de Brasil de 2009. Se seleccionaron los que presentaron los primeros 25 sectores con los Índices de Absorción y de Dispersión más altos y se muestran en el cuadro 6.

Al igual que en el caso de Argentina puede observarse que los encadenamientos hacia adelante son mayores que hacia atrás en las primeras doce ramas industriales, pero en el resto de ellas, el fenómeno se invierte y son mayores los encadenamientos hacia atrás que hacia adelante. La coincidencia ocurre en once ramas industriales que son: (6) Alimentos y Bebidas; (12) Celulosa y productos de papel; (14) Refinación de petróleo y carbón; (16) Productos químicos; (17) Fabricación de resina y elastómeros; (23) Artículos de caucho y plástico; (26) Fabricación de acero y derivados (27) Metalurgia de metales no ferrosos (29) Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación; (32) Máquinas, aparatos y materiales eléctricos; (37) Piezas y accesorios para vehículos automotores.

También se calcularon los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás siguiendo el método de extracción descrito arriba. De igual forma se seleccionaron los 25 sectores con mayores encadenamientos en cada caso y se muestran en el Cuadro B.3 Según el método de extracción hay 14 ramas industriales que tienen altos encadenamientos hacia adelante y hacia atrás simultáneamente dentro de las primeras 25 ramas seleccionadas por su importancia. Estas 14 ramas o sectores son, en orden de clasificación industrial, las siguientes: (1) Agricultura, silvicultura, explotación forestal; (2) Ganadería y pesca; (3) Petróleo y gas natural; (6) Alimentos y Bebidas; (14) Refinación de petróleo y carbón (16) Productos químicos; (23) Artículos de caucho y plástico; (25) Otros productos de minerales no metálicos; (26) Fabricación de acero y derivados; (28) Productos de metal, excepto maquinaria y equipo; (29) Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación; (37) Piezas y accesorios para vehículos automotores; (40) Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana; (41) Construcción.

CUADRO 6
CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL DE LA MIP DEL BRASIL, 2009

Número	Rama
1	Agricultura, silvicultura, explotación forestal
2	Ganadería y pesca
3	Petróleo y gas natural
4	Explotación de hierro
5	Otras industrias extractivas
6	Alimentos y bebidas
7	Productos de tabaco
8	Textiles
9	Artículos de vestido y accesorios
10	Productos de cuero y calzado

Cuadro 6 (conclusión)

Número	Rama
11	Productos de madera, excepto muebles
12	Celulosa y productos de papel
13	Periódicos, revistas, discos
14	Refinación de petróleo y carbón
15	Alcohol
16	Productos químicos
17	Fabricación de resina y elastómeros
18	Productos farmacéuticos
19	Plaguicidas agrícolas
20	Perfumería, higiene y limpieza
21	Pinturas barnices, esmaltes y lacas
22	Preparados y productos químicos diversos
23	Artículos de caucho y plástico
24	Cemento
25	Otros productos de minerales no metálicos
26	Fabricación de acero y derivados
27	Metalurgia de metales no ferrosos
28	Productos de metal, excepto maquinaria y equipo
29	Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación
30	Electrodomésticos
31	Máquinas para escritorio y equipo de informática
32	Máquinas, aparatos y materiales eléctricos
33	Material electrónico y equipo de comunicaciones
34	Aparatos e instrumentos para medicina y hospitales
35	Automóviles y camionetas
36	Camiones y Autobuses
37	Piezas y accesorios para vehículos automotores
38	Otros equipos de transporte
39	Muebles y productos de industrias diversas
40	Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana
41	Construcción
42	Comercio
43	Transporte, almacenaje y correo
44	Servicios de información
45	Intermediación financiera y seguros
46	Servicios inmobiliarios y de alquiler
47	Servicios de mantenimiento y reparación
48	Servicios de alojamiento y alimentación
49	Servicios de negocios
50	Educación privada
51	Salud privada
52	Servicios prestados a familias y asociaciones
53	Servicios domésticos
54	Educación pública
55	Salud pública
56	Administración pública y seguridad social

Fuente: Matriz Simétrica de Insumo-Producto de Brasil 2009.

CUADRO 7
INDUSTRIAS SELECCIONADAS DE LA MIP 2009 DEL BRASIL.
PRINCIPALES ENCADENAMIENTOS HACIA ATRÁS Y HACIA ADELANTE POR EL MÉTODO DE RASMUSEN

Número de orden	Número de clasificación	Rama Industrial	Índice de absorción	Número de clasificación	Rama	Índice de difusión
1	6	Alimentos y Bebidas	1,278	42	Comercio	2,846
2	35	Automóviles y camionetas	1,273	43	Transporte, almacenaje y correo	2,454
3	36	Camiones y Autobuses	1,253	45	Intermediación financiera y seguros	2,372
4	19	Plaguicidas agrícolas	1,202	49	Servicios de negocios	2,199
5	17	Fabricación de resina y elastómeros	1,172	40	Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana	1,948
6	7	Productos de tabaco	1,165	14	Refinación de petróleo y carbón	1,940
7	14	Refinación de petróleo y carbón	1,165	16	Productos químicos	1,818
8	16	Productos químicos	1,152	1	Agricultura, silvicultura, explotación forestal	1,808
9	27	Metalurgia de metales no ferrosos	1,138	44	Servicios de información	1,743
10	37	Piezas y accesorios para vehículos automotores	1,136	26	Fabricación de acero y derivados	1,447
11	30	Electrodomésticos	1,135	3	Petróleo y gas natural	1,332
12	33	Material electrónico y equipo de comunicaciones	1,120	6	Alimentos y Bebidas	1,287
13	38	Otros equipos de transporte	1,118	37	Piezas y accesorios para vehículos automotores	1,270
14	12	Celulosa y productos de papel	1,117	23	Artículos de caucho y plástico	1,207
15	15	Alcohol	1,107	28	Productos de metal, excepto maquinaria y equipo	1,194
16	24	Cemento	1,101	12	Celulosa y productos de papel	1,030
17	10	Productos de cuero y calzado	1,094	8	Textiles	0,994
18	22	Preparados y productos químicos diversos	1,093	17	Fabricación de resina y elastómeros	0,974
19	20	Perfumería, higiene y limpieza	1,091	32	Máquinas, aparatos y materiales eléctricos	0,951
20	29	Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación	1,089	46	Servicios inmobiliarios y de alquiler	0,934
21	32	Máquinas, aparatos y materiales eléctricos	1,084	27	Metalurgia de metales no ferrosos	0,917
22	23	Artículos de caucho y plástico	1,070	5	Otras industrias extractivas	0,895
23	31	Máquinas para escritorio y equipo de informática	1,068	29	Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación	0,886
24	26	Fabricación de acero y derivados	1,057	11	Productos de madera, excepto muebles	0,828
25	21	Pinturas barnices, esmaltes y lacas	1,046	2	Ganadería y pesca	0,823

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz Simétrica de Insumo Producto de Brasil 2009.

CUADRO 8
INDUSTRIAS SELECCIONADAS DE LA MATRIZ I-P DEL BRASIL, 2009. MAYORES IMPACTOS HACIA ATRÁS
Y HACIA ADELANTE POR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN

Impacto Encadenamientos hacia atrás					Impacto Encadenamientos hacia adelante			
Número de orden	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de reales	Porcentaje de producción	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de reales	Porcentaje de Producción
1	6	Alimentos y Bebidas	409 255,9	7,5	42	Comercio	428 974,0	8,0
2	42	Comercio	378 188,4	7,0	49	Servicios de negocio	365 752,1	6,8
3	43	Transporte, almacenaje y correo	308 531,2	5,7	43	Transporte, almacenaje y correo	341 496,0	6,4
4	49	Servicios de negocios	299 046,0	5,5	6	Alimentos y bebidas	332 196,4	6,2
5	45	Intermediación financiera y seguros	247 298,1	4,6	45	Intermediación financiera y seguros	293 765,1	5,5
6	41	Construcción	245 987,5	4,5	44	Servicios de información	260 832,7	4,9
7	56	Administración pública y seguridad social	230 535,6	4,2	14	Refinación de petróleo y carbón	255 799,7	4,8
8	14	Refinación de petróleo y carbón	230 381,1	4,2	1	Agricultura, silvicultura, explotación forestal	212 356,8	4,0
9	44	Servicios de información	224 493,4	4,1	3	Petróleo y gas natural	188 908,5	3,5
10	1	Agricultura, silvicultura, explotación forestal	198 821,0	3,7	40	Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana	184 554,3	3,4
11	40	Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana	160 147,0	2,9	41	Construcción	165 340,2	3,1
12	2	Ganadería y pesca	135 783,7	2,5	56	Administración pública y seguridad social	153 732,7	2,9
13	48	Servicios de alojamiento y alimentación	132 237,4	2,4	16	Productos químicos	140 109,0	2,6
14	3	Petróleo y gas natural	127 880,8	2,4	2	Ganadería y pesca	127 102,9	2,4
15	35	Automóviles y camionetas	117 660,4	2,2	26	Fabricación de acero y derivados	123 224,1	2,3
16	26	Fabricación de acero y derivados	112 541,0	2,1	23	Artículos de caucho y plástico	115 331,9	2,2
17	16	Productos químicos	111 834,6	2,1	28	Productos de metal, excepto maquinaria y equipo	103 241,3	1,9
18	23	Artículos de caucho y plástico	107 759,7	2,0	46	Servicios inmobiliarios y de alquiler	98 939,1	1,8
19	52	Servicios prestados a familias y asociaciones	107 071,5	2,0	37	Piezas y accesorios para vehículos automotores	96 378,2	1,8
20	37	Piezas y accesorios para vehículos automotores	102 075,5	1,9	52	Servicios prestados a familias y asociaciones	86 475,3	1,6

Cuadro 8 (conclusión)

Impacto Encadenamientos hacia atrás					Impacto Encadenamientos hacia adelante			
Número de orden	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de reales	Porcentaje de producción	Número de clasificación	Rama industrial	Millones de reales	Porcentaje de producción
21	29	Maquinaria y equipo, incl mantenimiento y reparación	102 050,4	1,9	48	Servicios de alojamiento y alimentación	84 161,5	1,6
22	28	Productos de metal, excepto maquinaria y equipo	96 570,9	1,8	29	Maquinaria y equipo, incl. mantenimiento y reparación	82 252,6	1,5
23	46	Servicios inmobiliarios y de alquiler	73 020,2	1,3	13	Periódicos, revistas, discos	69 086,5	1,3
24	25	Otros productos de minerales no metálicos	70 868,5	1,3	25	Otros productos de minerales no metálicos	66 961,1	1,2
25	51	Salud privada	67 537,3	1,2	32	Máquinas, aparatos y materiales eléctricos	66 356,2	1,2
Total de las ramas seleccionadas				80,9	Total de las ramas seleccionadas		82,9	

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Matriz Simétrica de Insumo Producto de Brasil 2009.

2. Ramas o sectores principales emisores de GEI

En la economía brasileña las ramas industriales más contaminantes en términos absolutos dentro de las 25 primeras del Cuadro B.4 son, en importancia, las siguientes ocho: (1) Agricultura, silvicultura, explotación forestal; (2) Ganadería y pesca; (37) Piezas y accesorios para vehículos automotores; (51) Salud privada; (35) Automóviles y camionetas; (41) Construcción; (40) Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana; (26) Fabricación de acero y derivados.

Por último, en el Cuadro B.5 aparecen las ramas industriales o sectores económicos que registraron los coeficientes de emisión más altos en la economía brasileña. De este conjunto, las ramas que destacan son las siguientes siete: (1) Agricultura, silvicultura, explotación forestal; (2) Ganadería y pesca; (38) Otros equipos de transporte; (37) Piezas y accesorios para vehículos automotores; (4) Explotación de hierro; (36) Camiones y autobuses; (35) Automóviles y camionetas.

3. Sectores estratégicos y altamente emisores

Habría coincidencia entre las dos metodologías consideradas para determinar las ramas o sectores estratégicos en siete de ellas que son: (6) Alimentos y Bebidas; (14) Refinación de petróleo y carbón; (16) Productos químicos; (23) Artículos de caucho y plástico; (26) Fabricación de acero y derivados; (29) Maquinaria y equipo, incluido mantenimiento y reparación; (37) Piezas y accesorios para vehículos automotores.

Por su parte las ramas o sectores más emisores de GEI simultáneamente en términos absolutos y relativos componen el siguiente conjunto de cinco ramas: (1) Agricultura, silvicultura, explotación forestal; (2) Ganadería y pesca; (37) Piezas y accesorios para vehículos automotores; (35) Automóviles y camionetas; (26) Fabricación de acero y derivados.

La intersección entre los dos conjuntos es la rama (26) Fabricación de acero y derivados. Es decir, en la economía brasileña ocurre algo similar que en la economía Argentina, no hay coincidencias importantes entre los sectores estratégicos y los contaminantes, a diferencia de lo que encontramos en el estudio hecho para México (véase Ruiz-Nápoles, 2012).

En este caso y de igual manera que se hace para la Argentina, seleccionamos cuatro ramas o sectores económicos como los que reúnen características de ser estratégicos y contaminantes:

(1) *Agricultura, silvicultura, explotación forestal* con altos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (método de extracción); primer emisor de GEI en términos absolutos y relativos.

(40) *Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana* con altos encadenamientos hacia adelante (método Rasmussen); altos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (método de extracción); séptimo mayor emisor de GEI en términos absolutos y décimo con coeficiente de emisión más alto.

(41) *Construcción*, con altos encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (método de extracción); sexto lugar como emisor de GEI en términos absolutos y décimo quinto en relativos,

(43) *Transporte almacenaje y correos*, con altos encadenamientos hacia adelante (método Rasmussen); tercer lugar en encadenamientos hacia adelante y hacia atrás (método de extracción); duodécimo emisor de GEI en términos absolutos.

CUADRO 9
EMISIONES DE GEI POR RAMA EN EL BRASIL, 2009.
RAMAS INDUSTRIALES PRINCIPALES EMISORAS

Número de orden	Número de clasificación	Rama Industrial	Emsiones GEI GgCO ₂ eq	Porcentaje del total
1	1	Agricultura, silvicultura, explotación forestal	590 941,7	57,4
2	2	Ganadería y pesca	227 168,5	22,1
3	37	Piezas y accesorios para vehículos automotores	25 086,8	2,4
4	51	Salud privada	22 812,4	2,2
5	35	Automóviles y camionetas	22 195,5	2,2
6	41	Construcción	16 793,0	1,6
7	40	Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana	16 009,6	1,6
8	26	Fabricación de acero y derivados	15 991,5	1,6
9	38	Otros equipos de transporte	13 387,3	1,3
10	14	Refinación de petróleo y carbón	9 261,0	0,9
11	4	Explotación de hierro	8 846,6	0,9
12	43	Transporte, almacenaje y correo	6 850,7	0,7
13	36	Camiones y Autobuses	6 133,4	0,6
14	3	Petróleo y gas natural	5 479,4	0,5
15	56	Administración pública y seguridad social	4 852,6	0,5
16	46	Servicios inmobiliarios y de alquiler	3 731,8	0,4
17	45	Intermediación financiera y seguros	3 403,0	0,3
18	49	Servicios de negocios	2 413,5	0,2
19	23	Artículos de caucho y plástico	2 083,6	0,2
20	54	Educación pública	1 842,2	0,2
21	44	Servicios de información	1 839,2	0,2
22	16	Productos químicos	1 783,4	0,2
23	42	Comercio	1 683,0	0,2
24	18	Productos farmacéuticos	1 632,6	0,2
25	6	Alimentos y bebidas	1 441,0	0,1
26	5	Otras industrias extractivas	1 371,4	0,1
		Total ramas seleccionadas	1 015 034,6	98,7
		Total todas las ramas	1 028 633,0	100,0

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la MIP 2009, Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil, de la CEPAL y del Banco Mundial.

CUADRO 10
COEFICIENTES DE EMISION DE GEI POR RAMA EN EL BRASIL, 2009
(Gigagramos de GEI por millón de reales de VBP)

Número de orden	Número de clasificación	Ramas industriales	GEI Gg CO ₂ eq	VBP (Millones de Reales)	Coefficiente de emisión
1	1	Agricultura, silvicultura, explotación forestal	590 941,7	176 093	3,356
2	2	Ganadería y pesca	227 168,5	100 354	2,264
3	38	Otros equipos de transporte	13 387,3	33 685	0,397
4	37	Piezas y accesorios para vehículos automotores	25 086,8	65 741	0,382
5	4	Explotación de hierro	8 846,6	29 516	0,300
6	36	Camiones y autobuses	6 133,4	22 163	0,277
7	35	Automóviles y camionetas	22 195,5	88 419	0,251
8	51	Salud privada	22 812,4	99 267	0,230
9	26	Fabricación de acero y derivados	15 991,5	70 506	0,227
10	40	Electricidad y gas, agua, cloaca y limpieza urbana	16 009,6	170 669	0,094
11	5	Otras industrias extractivas	1 371,4	19 494	0,070
12	3	Petróleo y gas natural	5 479,4	81 614	0,067
13	14	Refinación de petróleo y carbón	9 261,0	150 105	0,062
14	17	Fabricación de resina y elastómeros	1 288,6	21 566	0,060
15	41	Construcción	16 793,0	285 293	0,059
		Ramas seleccionadas total	982 766,7	1 414 485	0,695
		Todas las Ramas	1 028 633,0	5 480 741	0,188

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la MIP 2009, Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil, de la CEPAL y del Banco Mundial.

IV. Modelo ambiental de insumo-producto para la Argentina y el Brasil

A. El Modelo AIP para la Argentina y el Brasil

El modelo AIP que construimos para aplicarlo a los casos de Argentina y Brasil tiene mucha similitud con el de Brink e Idenburg (2007), aunque los propósitos son muy diferentes. El modelo holandés de Brink e Idenburg (2007) es a final de cuentas un modelo de optimización para elegir de una amplia gama de tecnologías en cada sector económico aquella que implique el menor costo en cada sector. Las tecnologías son todas *add-on* o *at the end-of-the-pipe*, es decir, no implican un cambio en los vectores de la matriz de coeficientes técnicos de los sectores a modificar con el cambio tecnológico, como se hizo en el estudio sobre México (Ruiz-Nápoles, 2012) sino la adición de un vector fila reductor. Los sectores económicos considerados susceptibles de cambio tecnológico son todos los de matriz holandesa que está sumamente agregada ya que considera sólo cinco sectores.

En el caso de Argentina los sectores componentes de la matriz son 94 y en el caso de Brasil 56.

El propósito del modelo utilizado en este estudio es, como se explica arriba, el de simular la tendencia de las emisiones de GEI en el caso de cada economía, bajo dos escenarios alternativos: uno sin cambio tecnológico y otro con cambio tecnológico. De hecho se trata de dos modelos diferentes como se verá más adelante.

Para el escenario sin cambio tecnológico el supuesto para la proyección de las emisiones, es que el Producto Interno Bruto de cada país siga al año 2020, la tendencia de crecimiento en términos reales experimentada de 1997 a 2011 en el caso de la Argentina y de 2000 a 2011, en el caso de Brasil.

Para el escenario con cambio tecnológico se seleccionaron cuatro sectores económicos en ambos países y se añadieron en cada caso las tecnologías reductoras de GEI del catálogo de tecnologías del modelo holandés, seleccionando en cada uno de los sectores, la tecnología más susceptible de ser utilizada en países como Argentina y Brasil que son sin duda distintos de Holanda. Los sectores seleccionados son significativos tanto por su papel estratégico como por su nivel absoluto y relativo de emisiones en ambos países, se trata de las ramas industriales que podríamos definir genéricamente como: agricultura, electricidad, construcción y transporte.

Una diferencia importante del modelo AIP del presente estudio, con el modelo holandés de Brink e Idenburg (2007) es que no se supone en el modelo que el mercado decide en cada caso qué tecnología resulta más conveniente aplicar, sino que esta decisión es el resultado de una política

gubernamental basada en criterios de eficiencia técnica que se aplica por los mecanismos de regulación normativos que se consideren más adecuados según la rama, incluyendo la posibilidad de apoyos gubernamentales directos o indirectos para realizar las inversiones necesarias.

No obstante, es importante aclarar que el cambio tecnológico es *simulado* y *exógeno* al modelo, es decir, no está determinado dentro de éste. Una limitación del pronóstico es que se supone en ambos casos, tanto en el de Argentina como en el de Brasil que no hay cambios en la demanda final, ni en su estructura institucional ni en su estructura sectorial en el periodo a pronosticar.

1. Modelo de producción sin reducción de contaminantes

Partimos de la solución usual del modelo de I-P:

$$x_t = (I - A)^{-1} y_t \quad (4)$$

Donde: x_t = producción bruta medida en términos económicos en el tiempo t ; A_t = matriz de coeficientes técnicos (de 1997 en Argentina, de 2009 en Brasil); y_t = vector de demanda final o Producto Interno Bruto (PIB) en el tiempo t .

Introducimos ahora la ecuación de la emisión de GEI como subproducto:

$$xp_t = \hat{e} x_t \quad (5)$$

Donde: xp_t = vector de emisiones de GEI medido en unidades de CO₂ equivalente; \hat{e} = matriz diagonal de emisiones de GEI por unidad de producto x ; $t = 0, \dots, 9$, sea $t=0$ (2011) el año base y $t = 9$ (2020) el año final.

Combinando las ecuaciones (1) y (2) obtenemos:

$$xp_t = \hat{e} (I - A)^{-1} y_t \quad (6)$$

Suponiendo una tasa fija de crecimiento real anual de y , $g_y = \Delta y_t / y_{t-1}$ (y = producto interno bruto) en el periodo $t = 1$ a $t = 9$, con un valor de 3.9 por ciento para el caso de Argentina y de 3.5 por ciento para Brasil, estas tasas se obtuvieron analizando las tendencias de años anteriores según cifras oficiales.

2. Modelo de producción con reducción de contaminantes

Partimos del modelo general ambiental de Leontief (Leontief, 1970, 1973) citado por Brink e Idenburg (2007) y modificado por nosotros que se describe así:

$$\begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{12} & I - A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

dónde: A_{11} = matriz de coeficientes técnicos –equivalente a A en las ecuaciones (4) y (6); A_{12} = matriz de coeficientes de insumos por unidad de contaminante a eliminar; A_{21} = matriz de contaminación por unidad de producto –equivalente a \hat{e} en el modelo de las ecuaciones (5) y (6); A_{22} = matriz que muestra la contaminación generada como sub-producto de las actividades que pretenden reducir la contaminación; x_1 = vector del valor bruto de la producción; x_2 = vector de niveles de contaminación reducida; y_1 = vector de demanda final; y_2 = vector de demanda final de contaminación, una vez que se han aplicado las tecnologías “end-of-the-pipe” en los sectores seleccionados .

Para resolver el modelo y encontrar los niveles de x_1 y x_2 la ecuación (7) queda como:

$$\begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{12} & I - A_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Todos los vectores x y y expresan valores anuales (subíndice implícito t) $t = 0, \dots, 9$, sea $t = 0$ (2011) el año base y $t = 9$ (2020) el año final. El periodo en el que empieza a dar resultados el cambio tecnológico es 2013, es decir, $t = 2$.

De la solución a la ecuación (8) obtenemos dos resultados: el vector x_1 que representa el vector del nuevo valor bruto de la producción asociado al cambio tecnológico; el escalar x_2 que representa el nuevo nivel de emisiones de toda la economía luego de que se aplicara la tecnología a los sectores seleccionados.

3. Diferencias en la producción bruta y en las emisiones de GEI con el cambio tecnológico

Para evaluar los resultados de la aplicación del cambio tecnológico se estiman ahora diferencias absolutas y relativas entre los pronósticos de ambos modelos respecto a dos variables: el nivel de emisiones totales anuales de GEI y el nivel de valor bruto de la producción anual, ambas del periodo $t = 2$ (2013) a $t = 9$ (2020), en ambas economías la de Argentina y la de Brasil, suponiendo tasas anuales de crecimiento del PIB fijas en el periodo de 3.9 y 3.5 por ciento en términos reales respectivamente.

Las diferencias en los niveles de emisiones las calculamos tomando de la ecuación (6) el vector estimado x_{p_t} y de la ecuación (8) el escalar estimado x_{2t} , y estableciendo la ecuación siguiente:

$$E_t^* = i' x_{p_t} - x_{2t} \quad (9)$$

Donde E_t^* = emisiones totales reducidas en el año t , i' = vector renglón suma de orden n , (n = orden del vector x_p), x_{p_t} = vector de emisiones de GEI en el año estimado por el modelo sin cambio tecnológico y x_{2t} = escalar de emisiones de GEI en el año t , con cambio tecnológico, $t = 2, \dots, 9$

Las diferencias en los niveles de producción bruta las calculamos tomando de la ecuación (4) el vector estimado x_t y de la ecuación (8) el vector estimado x_{1t} con la ecuación siguiente:

$$x_t^* = i' x_{1t} - i' x_t \quad (10)$$

Dónde x_t^* = escalar de diferencias en el total del valor bruto de la producción con cambio tecnológico y sin cambio tecnológico en el año t , i' = vector renglón unitario de orden n , (n = orden del vector x_1), x_{1t} = vector del valor bruto de la producción en el año t , estimado por el modelo con cambio tecnológico, x_t = vector del valor bruto de la producción en el año estimado por el modelo sin cambio tecnológico y, $t = 2, \dots, 9$.

V. Resultados del modelo aplicado

A. Tendencias de la economía argentina

1. Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de GEI de la economía Argentina, simuladas por el modelo, en su línea base, es decir, sin cambio tecnológico (business as usual) muestran una tendencia a incrementarse determinada esencialmente por el aumento del PIB como se aprecia en el cuadro 11 estimado en una tasa fija de 3.9 en términos reales de acuerdo con la tendencia anual observada en el período 1997-2011 según las estadísticas oficiales. Con el cambio tecnológico simulado en cuatro ramas industriales de las 94 que compone la MIP de la economía Argentina, las emisiones de GEI muestran una fuerte disminución en el año 2014 (15 por ciento) luego una recuperación en 2015 (13 por ciento) para recuperar al año siguiente la tendencia de crecimiento supuesta para el PIB con una tendencia de 3.9 por ciento anual hasta 2020, según se muestra en el cuadro 11 y en el gráfico 1.

La recuperación de la tendencia de las emisiones en el mediano plazo resulta del poco efecto que tiene el cambio tecnológico supuesto en la composición de la demanda agregada

2. Producción bruta y cambio tecnológico

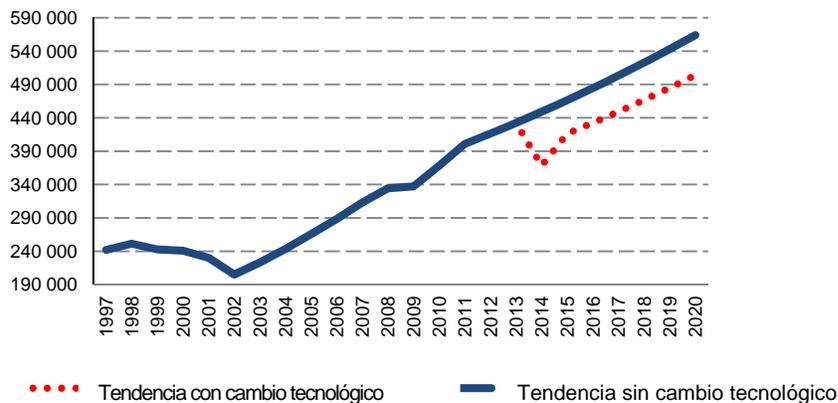
El cuadro 12 y el gráfico 2 muestran la trayectoria del Valor Bruto de la Producción en los dos escenarios considerados. Aunque el indicador podría no ser considerado como el más adecuado para medir el crecimiento económico, refleja de cualquier manera el impulso favorable del cambio tecnológico simulado en la tendencia general de la economía. Se puede apreciar con claridad que la introducción de tecnologías reductoras de las emisiones de GEI en ramas estratégicas y contaminantes tiene efectos importantes y benéficos como son la reducción de la emisión de contaminantes y el crecimiento del producto simultáneamente, a pesar de lo limitado del cambio tecnológico simulado.

CUADRO 11
ARGENTINA: EMISIONES DE GEI REALES Y PRONOSTICADAS, 1997-2020

Año	Sin cambio tecnológico Gg CO ₂ eq.	Variación anual (en porcentajes)	Con cambio tecnológico Gg CO ₂ eq.	Variación anual (en porcentajes)
1997	241 956,2			
1998	251 271,9	3,9		
1999	242 765,2	-3,4		
2000	240 849,8	-0,8		
2001	230 231,1	-4,4		
2002	205 148,6	-10,9		
2003	223 277,7	8,8		
2004	243 438,7	9,0		
2005	265 783,9	9,2		
2006	288 285,3	8,5		
2007	313 231,6	8,7		
2008	334 401,2	6,8		
2009	337 244,4	0,9		
2010	368 139,1	9,2		
2011	400 791,3	8,9		
2012	416 301,0	3,9		
2013	432 410,8	3,9	432 410,8	3,9
2014	449 144,0	3,9	368 266,0	-14,8
2015	466 524,8	3,9	416 308,8	13,0
2016	484 578,1	3,9	432 405,0	3,9
2017	503 330,1	3,9	449 203,6	3,9
2018	522 807,7	3,9	466 731,8	3,9
2019	543 039,0	3,9	485 017,9	3,9
2020	564 053,3	3,9	504 091,2	3,9

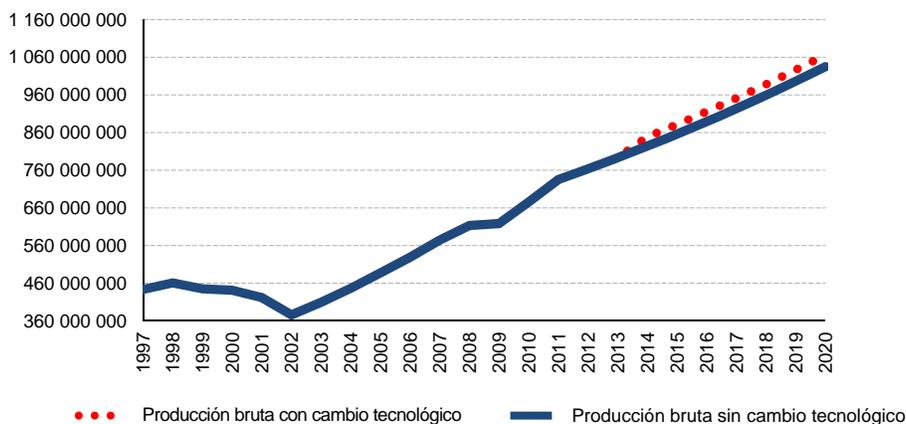
Fuente: Elaboración propia basada en datos de la MIP de 1997 y del Ministerio de Economía Argentinos.

GRÁFICO 1
ARGENTINA: TRAYECTORIA DE EMISIONES DE GEI, 1997-2020
(Gigagramos de CO₂ equivalente)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2
ARGENTINA: TENDENCIAS DE PRODUCCIÓN BRUTA, 1997-2020
(en millones de pesos)



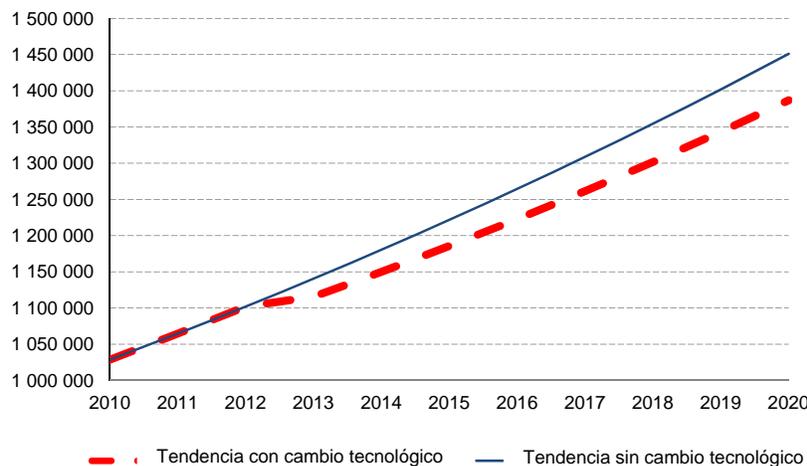
Fuente: Elaboración propia.

B. Tendencias de la economía brasileña

1. Emisiones de gases de efecto invernadero

El cuadro 13 muestra que las emisiones de GEI de la economía del Brasil, pronosticadas por el modelo para el periodo 2010-2020, en su línea base, es decir, sin cambio tecnológico (business as usual) registran una tendencia a incrementarse, la cual está determinada esencialmente por el aumento del PIB estimado en una tasa fija de 3.5 en términos reales de acuerdo con la tendencia anual observada en el período 2000-2011 según las estadísticas oficiales. Pero con el cambio tecnológico simulado en cuatro ramas industriales de las 56 que compone la MIP de Brasil, las emisiones de GEI muestran un cambio en la tendencia a partir del año 2013 que si bien no reduce drásticamente las emisiones en ningún año si modifican la trayectoria de crecimiento como se puede apreciar en el gráfico 3.

GRÁFICO 3
BRASIL: TRAYECTORIA DE EMISIONES DE GEI, 2010-2020
(Gigagramos de CO2 equivalente)



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 12
ARGENTINA: PRODUCCIÓN BRUTA, 1997-2020
(en millones de pesos)

Año	Sin cambio tecnológico	Variación anual <i>(en porcentajes)</i>	Con cambio tecnológico	Variación anual <i>(en porcentajes)</i>
1997	443 868 992			
1998	460 958 742	3,9		
1999	445 353 182	-3,4		
2000	441 839 350	-0,8		
2001	422 359 362	-4,4		
2002	376 345 485	-10,9		
2003	409 603 289	8,8		
2004	446 588 718	9,0		
2005	487 580 875	9,2		
2006	528 859 730	8,5		
2007	574 623 795	8,7		
2008	613 459 396	6,8		
2009	618 675 282	0,9		
2010	675 351 611	9,2		
2011	735 252 286	8,9		
2012	763 704 719	3,9		
2013 ^a	793 258 190	3,9	793 258 955	3,9
2014 ^a	823 955 307	3,9	848 673 966	7,0
2015 ^a	855 840 326	3,9	881 515 535	3,9
2016 ^a	888 959 215	3,9	915 627 992	3,9
2017 ^a	923 359 723	3,9	951 060 515	3,9
2018 ^a	959 091 445	3,9	987 864 189	3,9
2019 ^a	996 205 896	3,9	1 026 092 073	3,9
2020 ^a	1 034 756 584	3,9	1 065 799 281	3,9

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la MIP de 1997 y del Ministerio de Economía Argentinos.

^a Datos pronosticados por el modelo AIP.

CUADRO 13
BRASIL: EMISIONES DE GEI PRONOSTICADAS, 2010-2020

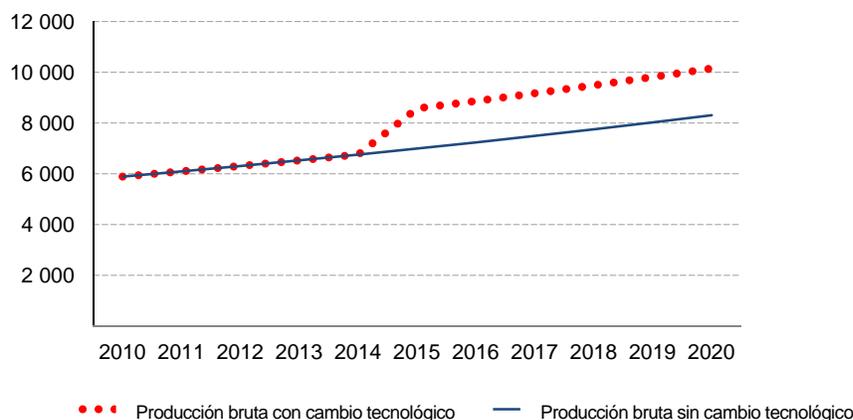
Año	Sin cambio tecnológico Gg CO ₂ eq.	Variación anual (en porcentajes)	Con cambio tecnológico Gg CO ₂ eq.	Variación anual (en porcentajes)
2010	1 028 633		1 028 633	
2011	1 064 635	3,5	1 064 635	3,5
2012	1 101 897	3,5	1 101 897	3,5
2013	1 140 464	3,5	1 115 500	1,2
2014	1 180 380	3,5	1 149 895	3,1
2015	1 221 693	3,5	1 185 662	3,1
2016	1 264 453	3,5	1 222 849	3,1
2017	1 308 708	3,5	1 261 507	3,2
2018	1 354 513	3,5	1 301 686	3,2
2019	1 401 921	3,5	1 343 440	3,2
2020	1 450 988	3,5	1 386 823	3,2

Fuente: Elaboración propia con datos de la MIP 2009, del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil, de la CEPAL del Banco Mundial.

2. Producción bruta y cambio tecnológico

El Valor Bruto de la Producción de la economía Brasileña estimado por el modelo AIP muestra un crecimiento promedio moderado en el periodo 2010-2020 en la trayectoria base. Pero en la trayectoria con cambio tecnológico simulado en los sectores estratégicos y contaminantes seleccionados, registra un cambio importante de la tendencia en el año 2015. Lo que refleja, al igual que en el caso de la Argentina y el de México (Ruiz-Nápoles, 2012), las bondades del cambio tecnológico reductor de emisiones de GEI en sólo cuatro sectores económicos, que al tiempo que reduce dichas emisiones mejora la eficiencia y este impacto favorable se proyecta al resto de la economía. Como se puede apreciar con claridad en el cuadro 14 y en el gráfico 3.

GRÁFICO 4
BRASIL: PRODUCCIÓN BRUTA, 2010-2020
(en millones de reales)



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 14
BRASIL: PRODUCCIÓN BRUTA, 2010-2020
(en millones de reales)

Año	Sin cambio tecnológico	Variación anual (en porcentajes)	Con cambio tecnológico	Variación anual (en porcentajes)
2010	5 891 797		5 891 797	
2011	6 098 009	3,5	6 098 009	3,5
2012	6 311 440	3,5	6 311 440	3,5
2013	6 532 340	3,5	6 533 874	3,5
2014	6 760 972	3,5	6 763 518	3,5
2015	6 997 606	3,5	8 579 918	26,9
2016	7 242 522	3,5	8 873 203	3,4
2017	7 496 011	3,5	9 177 027	3,4
2018	7 758 371	3,5	9 491 760	3,4
2019	8 029 914	3,5	9 817 782	3,4
2020	8 310 961	3,5	10 155 489	3,4

Fuente: Elaboración propia con datos de la MIP 2009, del Ministerio Ciencia y Tecnología de Brasil, de la CEPAL, y del Banco Mundial.

VI. Conclusiones y recomendaciones de política

A. Conclusiones a partir de los resultados del modelo

El estudio basado en un modelo Ambiental de Insumo-Producto aplicado a las economías de Argentina y de Brasil muestra la forma en que las emisiones de GEI son generadas como sub-productos en la estructura de estas economías.

En el caso de la economía Argentina el estudio muestra que no hay mucha coincidencia entre los indicadores que muestran a los principales sectores estratégicos de la estructura económica Argentina y los principales sectores emisores de GEI. En otras palabras los grandes emisores no tienen grandes encadenamientos hacia atrás o hacia adelante por lo que el impacto esperado en el resto de la economía de la reducción de sus emisiones, como producto de un cambio tecnológico (simulado), en ellos es menor de lo deseado. No obstante, el cambio tecnológico reductor de GEI en cuatro sectores que en Argentina son grandes emisores de GEI, agricultura, electricidad, construcción y transporte, reduce significativamente las emisiones totales de GEI de toda la economía, pero esto ocurre de modo temporal y en el corto plazo. En el largo plazo la tendencia a incrementar las emisiones de GEI se mantiene a tasas similares a las del PIB real. La razón de ello está en el número reducido de sectores seleccionados para el cambio tecnológico reductor de emisiones y el impacto limitado que éstos tienen en el resto de la economía Argentina. Un resultado favorable del modelo es que el cambio tecnológico reductor de emisiones en cuatro sectores de un total de 94, prueba ser capaz de reducir las emisiones totales y simultáneamente aumentar la eficiencia productiva de la economía.

Por su parte, en el caso de Brasil los resultados del estudio son similares en materia de sectores estratégicos y contaminantes respecto a lo mencionado con referencia a la economía Argentina. Es decir, no es posible identificar a sectores que son, simultáneamente, estratégicos y grandes emisores de GEI. Sólo en el caso de la industria acerera de Brasil se puede hablar de un sector estratégico o clave según todos los indicadores y altamente emisor de GEI en términos absolutos y relativos. No obstante, los sectores seleccionados –agricultura, electricidad, construcción y transporte– para simular el cambio tecnológico son significativos por sus encadenamientos y sus emisiones de GEI en la economía Brasileña. Así el cambio tecnológico reductor de emisiones de GEI en estos sectores tiene efectos quizá no tan fuertes e inmediatos como en el caso de Argentina pero sí de cambio en la trayectoria de largo plazo.

En ambos casos, al igual que en el estudio hecho sobre la economía mexicana (Ruiz-Nápoles, 2012) encontramos que la tendencia ascendente de las emisiones pese al cambio tecnológico simulado

se mantiene en el largo plazo. Ello se explica por dos razones básicas, la primera es como ya se dijo el cambio tecnológico se ha simulado sólo en cuatro ramas o sectores económicos y no en la mayoría de las ramas o sectores emisores de GEI, ni siquiera en los diez más importantes. La segunda es que el impacto de un cambio tecnológico en la producción se ve reflejado en la demanda final y ello tiene un efecto retro alimentador sobre la estructura económica que no se considera en este estudio.

B. Recomendaciones de política

De los debates y las experiencias respecto a las políticas para reducir las emisiones de GEI que ocasionan el cambio climático, expresados en la revisión bibliográfica de la sección II de este estudio así como de los resultados de la aplicación del modelo AIP para Argentina y Brasil se desprenden algunas lecciones que pueden servir como recomendaciones de política:

Las políticas basadas exclusivamente en los mecanismos del libre mercado han dado a la fecha resultados no eficientes, inequitativos, insuficientes o tardíos, principalmente por imperfecciones de la competencia. Es decir son comunes las “fallas del mercado” en el ámbito de las políticas ambientales. Ello obliga a considerar como necesaria la participación directa e indirecta del Estado en la aplicación de medidas que induzcan los cambios tecnológicos que se requieren con oportunidad y eficiencia.

La agricultura, el sector energético y el del transporte constituyen en muchos países, los sectores que requieren un cambio tecnológico inmediato para abatir la emisión de GEI y son los que a su vez difunden sus efectos favorables al resto de la economía.

Además de los sectores mencionados se han podido identificar otras ramas industriales en Argentina y en Brasil que requieren inmediata y especial atención en materia de política de mitigación, es decir de cambio tecnológico.

Sin abandonar los mecanismos del mercado, es necesaria la actividad del Estado en materia regulatoria para promover los cambios tecnológicos que el problema requiere para su atención. La evidencia indica que para avanzar en el desarrollo tecnológico es requisito indispensable la acción directa y decidida del Estado a través de diversos mecanismos.

C. Fuentes de información estadística y *software*

Brasil Ministério Da Ciencia E Tecnologia, 2009. Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: informações gerais e valores preliminares. Novembro Brasil.

Banco Mundial, Brasil, Emisiones de CO₂, de Metano CO₂eq, de Óxido Nitroso CO₂eq, y otras emisiones de GEI en:

<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT/CE>

<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.KT.CE>

<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.NOXE.KT.CE>

<http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGO.KT.CE>

CEPAL Emisiones de CO₂. Totales 2009,

<http://Websie.Eclac.Cl/Sisgen/Consultaintegrada.Asp?Idaplicacion=22&Idtema=247&Idioma=E>

Brasil, Banco de Dados Matrizes Nacionais, 2009, Matriz Brasil 2009

<http://Guilhotojjmg.Wordpress.Com/Banco-De-Dados/Matrizes-Nacionais-2/>

República Argentina, 2ª Comunicación de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Argentina, 2007 pp-169-171

Ministerio de Economía de Argentina,

<http://www.mecon.gov.ar/peconomica/matriz/menu.html>

University of Illinois at Urbana-Champaign, Regional Economics Applications Laboratory (REAL) PyIO: Input-Output Analysis with Python.

Wolfram Research, Inc., 2008, Mathematica 7.

Bibliografía

- Augusztinovics, M., 1970, “Methods of International and Inter-temporal Comparison of Structure”, In Anne P. Carter and A. Bródy (eds.) *Contributions to Input-Output Analysis, Proceedings of the Fourth International Conference on Input-Output Techniques*, Vol. I, Geneva, 1968, North-Holland, Amsterdam, pp.249-269.
- Auray, J. P., Duru, G., y Mougeot, M., 1980, “Influence par les prix et influence par les quantités dans un modèle input-output”, *Économie Appliquée*, XXXIII, N° 3-4, pp. 695-725.
- Barker, T., A. Anger, O. Dessens, H. Pollitt, H. Rogers, S. Scricciu, R. Jones and J. Pyle,(2010), “Integrated modelling of climate control and air pollution: Methodology and results from one-way coupling of an energy–environment–economy (E3MG) and atmospheric chemistry model (p-TOMCAT) in decarbonizing scenarios for Mexico to 2050”, *Environmental Science & Policy*, vol. 13, no. 8, December, pp. 661-670.
- _____, (2008), “The Economics of Avoiding Dangerous Climate Change. Editorial Essay on the Stern Review”, *Climatic Change*, Springer Science and Business Media.
- _____, (2008), “World economic dynamics and technological change: projecting interactions between economic output and CO2 emissions”, *Tyndall Working Paper 124*, October.
- _____, (2006), “The Costs of Greenhouse Gas Mitigation with Induced Technological Change: A Meta-Analysis of Estimates in the Literature” *Working Paper 89*, Tyndall Centre for Climate Change Mitigation Research, Department of Land Economy, University of Cambridge.
- _____, (2005), “4CMR (University of Cambridge) and ICEPT (Imperial College London) submission to the Stern Review on the Economics of Climate Change”, unpublished manuscript, December.
- _____, (2004), “Economic theory and the transition to sustainability:a comparison of general-equilibrium and space-time-economics approaches” *Tyndall Centre Working Paper No. 62*, November, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- _____, (1998), “Use of energy-environment-economy models to inform greenhouse gas mitigation policy”, *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol.16, No. 2, June, pp. 123-131.
- _____, (1995), “Taxing pollution instead of employment: greenhouse gas abatement through fiscal policy in the UK”, *Energy and Environment*, vol.6, No. 1, pp. 1-28.
- Boyd, R., and M.E. Ibararán, 2008, “Extreme climate events and adaptation: an exploratory analysis of drought in Mexico”, *Environment and Development Economics* No. 14, pp. 371–395.
- Bravo H.M., J. C. Castro y M.A. Gutiérrez, 2011, “Análisis económico robusto para el desarrollo de estrategias de bajas emisiones para México”, un published paper, Facultad de Economía, UNAM, México.
- Brink, C. and A. Idenburg, 2007 “Cost-effective pollution-abatement in an input-output model”, presented at the 16th International Input-Output Conference, July, Istanbul, Turkey.

- Cella, G., 1984, "The Input-Output Measurement of Interindustry Linkages", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70, pp. 705-12.
- Cumberland, J.H. and B. Stram, 1976 "Empirical Application of Input-Output Models to Environmental Problems" in K. Polenske and J.V. Skolka (eds.) *Advances in Input-Output Analysis. Proceedings of the Sixth International Conferences on Input-Output Techniques*, Vienna, April, 1974, Cambridge MA, Ballinger, pp. 365-382.
- den Elzen, M., A.F. Hof, A. Mendoza-Beltrán, G. Grassi, M. Roelfsema, B. van Ruijven, J. van Vilet, D.P. van Vuuren, 2010, "The Copenhagen Accord: abatement costs and carbon prices resulting from the submissions", *Science Direct, Elsevier*. Publication on line: www.elsevier.com/locate/envsci.
- Dejuán, O, N. Gómez, D. Pedregal, M.A. Tobarra and J. Zafrilla, 2008, "An energy AGE model. Forecasting energy demand in Spain", Paper presented to the Input Output Meeting on Managing the Environment, Sevilla, Spain, 9-11 July.
- Dietzenbacher, E., (1997), "In vindication of the Ghosh model: a reinterpretation as a price model", *Journal of Regional Science*, vol. 37 no. 4, pp. 629-651.
- _____, (1997), "Sectoral and Spatial Linkages in the EC Production Structure", *Journal of Regional Science*, vol. 37, no.2, pp.235-257.
- _____, (1993), "The Regional Extracion Method: EC Input-Output Comparisons!", *Economic Systems Research*, vol.5, no.2, pp.185-206.
- Dixon, P.B. and M.T. Rimmer, 2009, "Forecasting with a CGE model: Does it Work?", General Paper No. G-197 May, Centre of Policy Studies, Monash University, Australia.
- Drejer, Ina "Input-Output Based Measures of Interindustry Linkages Revisited - A Survey and Discussion", Centre for Economic and Business Research, Ministry of Economic and Business, Copenhagen, Denmark.
- Duchin, F. and G-M Lange, (1994), *The future of the environment, ecological economics & technological change*, Oxford University Press, New York.
- _____, (1992), "Technological choices and prices, and their implications for the US economy", *Economic Systems Research*, vol. 4, N° 1, pp. 53-76.
- Duval, R., 2008, "A Taxonomy of Instruments to Reduce Greenhouse Gas Emissions and their Interactions", *OECD Economics Department Working Papers*, N° 636, OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/236846121450>.
- Foley, D., (2007), "The economic fundamentals of Global Warming", paper prepared for the Workshop on the Economics of Global Warming sponsored by the Schwartz Centre for Economic Policy Analysis, October 12, 2007.
- _____, (2006), *Adam's Fallacy*, Harvard University Press, Cambridge MA.
- Fullerton, D. and G. Heutely, 2010, "Analytical General Equilibrium Effects of Energy Policy on Output and Factor Prices" *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, vol.10, N° 2 (Symposium) Article 15.
- Furman, J., M. Porter and S. Stern, 2002, "The Determinants of National Innovative Capacity", *Research Policy*, N° 31, pp. 899-933.
- Gazon, J., (1979), "Une nouvelle methodologie l'approche structurale de l'influence économique", *Économie Appliquée*, XXXII, 2-3, pp. 301-337.
- _____, (1975), *Transmission de l'influence économique. Une approche structurale*, Collection de l'Institut de Mathématiques Economiques, N° 13, Sirey, Paris.
- Ghosh, A., 1958, "Input-Output Approach in an Allocation System," *Economica*, 25, 185-206.
- Haščič, I., y otros, 2009, "Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results", *OECD Environment Working Papers*, No. 30, OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/5km33bnggcd0-en>.
- Hansen, B., 1966, "The Walrasian System", in H. Townsend (ed.), *Price Theory*, 1971, Penguin, New York, pp.107-127.
- Hepburn, C., 2010, "Environmental policy, government, and the market" *Oxford Review of Economic Policy*, Vol 26, N° 2, pp.117-136.

- Idenburg, A. and H. Wilting, (2004), “DIMITRI: A Model to Study Policy Issues in relation to Economy, Technology and Environment”, in: van den Bergh, J.C., and M. Janssen, *Economics of Industrial Ecology; Materials, Structural Change, and Spatial Scales*, MIT Press, Cambridge, MA., pp.223-254.
- _____, (2000), “DIMITRI: a Dynamic Input-output Model to study the Impacts of Technology Related Innovations” Paper presented at the 13th International Input-Output Conference, University of Macerata, Italy, August 21-25, 2000.
- _____, (1998), “Technological Choices and the Eco-efficiency of the Economy: a dynamic input-output approach” paper presented at the 12th International Input-Output Conference, New York, 18-22 May 1998.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2011), web link for history:
 _____ http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml
- _____, (2007), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*, R.K. Pachauri and A. Reisinger (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 104.
- _____, (2001), *Climate Change 2001: Mitigation*. IPCC, Working Group III. Ch. 7 “Costing Methodologies”, Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 451-498.
- _____, (2000), *IPCC Special Report Emissions Scenarios*, IPCC Working Group III, IPPC, Geneva, Switzerland.
- _____, (1996), *Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change*, IPCC, Technical Paper I, WMO UNEP, Geneva, Switzerland.
- Jakob, M., G. Luderer, J. Steckel, M. Tavoni and S. Monjon, 2011, “Time to act now? Assessing the costs of delaying climate measures and benefits of early action” *Climatic Change*, online issue.
- Kelly, A., 2006, “An Overview of the RAINS Model”, Environmental Research Centre Report, Environmental Protection Agency, Ireland.
- Kratena, K. and S. Scheicher, 1999, *Impact of CO2 Emissions Reductions on the Austrian Economy*, *Economics Systems Research*, vol.11, N^o, pp. 245-261.
- Laffont, J.J. and D., Martimort, 2002, *The Theory of Incentives. The Principal-Agent model*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Lager, C., 1998, “Prices of ‘Goods’ and ‘Bads’: an application of the Ricardian theory of differential rent”, *Economic Systems Research*, 10 (3), pp.203-222.
- Lambert, P.J., D. L. Millimet and D. Slottje, 2003, “Inequality aversion and the natural rate of subjective inequality” *Journal of Public Economics*, 87 pp.1061–1090.
- Layard P.R.G. and A.A. Walters, 1978, *Microeconomic Theory*, McGraw-Hill, New York.
- Lenzen, M., L-L Pade, and J. Munksgaard, 2004, “CO2 Multipliers in Multi-region Input-Output Models”, *Economic Systems Research*, vol.16 N^o 4, pp. 391-412.
- Leontief, W., (1970), “Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach”, *The Review of Economics and Statistics* vol.52, N^o 3, 262-271.
- _____, (1973), “National Income, economic structure and environmental externalities” in M. Moss (ed.) *The measurement of Economic and Social Performance*, *Studies in Income and Wealth*, vol. 38, New York, National Bureau of Economic Research.
- Lowe, P., 1979, “Pricing problems in an input-output approach to environmental protection”, *The Review of Economics and Statistics*, 61, pp. 110-117.
- Luptacik, M. and B. Böhm, 1999, “A consistent formulation of the Leontief pollution model” *Economic Systems Research* vol.11 N^o 3, pp.263-275.
- Mercado, R., 2003, “Empirical Economy wide Modeling in Argentina”, *Visiting Professors Working Papers*, Lozano-Long Institute of Latin American Studies. The University of Texas at Austin, February.
- Metz, B., O. Davidson, J-W., Martens, S. Van Rooijen and L. Van Wie Mcgrory, (Eds.) 2000, *Methodological and Technological Issues in Technology Transfer* IPCC, Cambridge University Press, UK, pp. 432.
- Miller, R. and P. Blair, 2009, *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*, 2nd Edition, Ch. 10 “Environmental Analysis”, Cambridge, U.K., Cambridge University Press, pp. 446-498.

- Munksgaard, J., Wier M., Lenzen M., and Dey Ch., 2005, “Using Input-Output Analysis to Measure the Environmental Pressure of Consumption at Different Spatial Levels” *Journal of Industrial Ecology*, vol. 9, N° 1–2, pp.169-185.
- Naciones Unidas, 2000, *Manual sobre la compilación y el análisis de los cuadros de insumo-producto, Serie Estudios de métodos*, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Nueva York, Naciones Unidas.
- Nordhaus, W., (2007), “The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy”, July, Yale University New Haven, Conn.
- _____, (2006), “The ‘Stern Review’ On the Economics of Climate Change” Working Paper 12741, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- _____, (2000), *Warming the World: Economic Modeling of Global Warming*, Cambridge: MIT Press.
- _____, (1996), “A Regional Dynamic General-Equilibrium model of Alternative Climate Change Strategies, *The American Economic Review*, vol. 86, N° 4, pp.741-765.
- _____, (1994), *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge, MA.
- _____, (1992), “The ‘Dice’ Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate Economy Model of the Economics of Global Warming”, Cowles Foundation Discussion Paper No. 1009, Yale University, New Haven, Conn.
- _____, (1991), “An Inter-temporal General Equilibrium Model of Economic Growth and Climate Change”, in *Energy and the Environment in the 21st Century*, J. W. Tester, D. O. Wood, and N. A. Ferrari (eds.), MIT Press, Cambridge, MA.
- _____, (1979), *The Efficient Use of Energy Resources*, Yale University Press, New Haven, CT, USA.
- _____, (1983), “Future Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels,” in *National Research Council-National Academy of Sciences, Changing Climate*, National Academy Press, Washington, DC.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, 1999, *Action Against Climate Change: The Kyoto Protocol and Beyond*, Paris, OECD publications.
- Otto, V.M. and J., Reilly, 2008, “Directed technical change and the adoption of CO² abatement technology: The case of CO² capture and storage” *Energy Economics*, 30, 2879–2898.
- Pasinetti, L., 1973, “The Notion of Vertical Integration in Economic Analysis”, *Metroeconomica*, vol. 25, no. 1, pp.1-29, February.
- Qayum, A., 1991, “A reformulation of the Leontief pollution model”, *Economic Systems Research*, 3, pp. 428-430.
- Rasmussen, P., 1956, *Studies in Inter-Sectoral Relations*, Copenhagen, Einar Harks.
- Rose, A., Y. Cao, and G. Oladosu, 2000, “Simulating the economic impacts of climate change in the Mid-Atlantic Region”, *Climate Research*, vol. 14, pp. 175-183.
- Ross, M., 2008, “Documentation of the Applied Dynamic Analysis of the Global Economy (ADAGE) Model” Working Paper 08, Research Triangle Institute, September.
- Rozenberg, J., S. Hallegatte, A. Vogt-Schilb, O. Sassi, C. Guivarch, H. Waisman and J-C Hourcade, 2010, “Climate policies as a hedge against the uncertainty on future oil supply. A letter”, *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-010-9868-8.
- Ruiz-Nápoles, P., 2012, *Low Carbon Development Strategy for Mexico: An Input-Output Analysis*, Final Report, PNUMA, AFD y SEMARNAT.
- Steenge, A. E., 1978, “Environmental repercussions and the economic structure: further comments”, *The Review of Economics and Statistics*, 60, pp. 482-486.
- Stiglitz, J.E., 1991, “The Invisible Hand and Modern Welfare Economics” Working Paper N° 3641 National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, March.
- Ten Raa, T., 2006, *The Economics of Input-Output Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. Ch.11 “Environmental input-output economics”, pp.139-150.
- Sassi, O., R. Crassous, J-C, Hourcade, J-C, V. Gitz, H. Waisman, and C., Guivarch, 2010, “IMACLIM-R: a modelling framework to simulate sustainable development pathways”, *International Journal of Global Environmental Issues*, Vol. 10, Nos. 1/2, pp. 5–24.

- SEMARNAT, (2009a), *The Economics of Climate Change in Mexico Synopsis*, L.M. Galindo (coord.), SEMARNAT, Gobierno Federal, México.
- _____ (2009b), *Distribución de los costos del cambio climático entre los sectores de la economía mexicana. Un enfoque de insumo-producto*, P. Ruiz-Nápoles (coord.), SEMARNAT, Gobierno Federal, México.
- Stern, N., (2007), *The Economics of Climate Change, the Stern Review*, Cambridge UK, Cambridge University Press.
- _____ (2006), *The Stern Review on the Economics of Climate Change*, H.M. Treasury, London, UK, October.
- _____ (1977), “The marginal valuation of income” in Artis, M.J., Nobay, A.R. (Eds.), *Essays in Economic Analysis*, University Press, Cambridge. Cited by Lambert y otros, 2003 “Inequality aversion and the natural rate of subjective inequality” *Journal of Public Economics*, 87 pp. 1061-1090.
- Victor, P.A., 1972, *Pollution: Economy and Environment*, Allen & Unwin Ltd., London.
- Wilting, H., A. Faber, and A. Idenburg, 2004, “Exploring Technology Scenarios with an Input-Output Model” Paper presented at the International Conference on “Input-Output and General Equilibrium: Data, Modelling and Policy Analysis”, September 2-4, 2004, Brussels, Belgium.
- World Meteorological Organisation (WMO), 1986. “Report of the International Conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts”.
- Zhai, F., T. Lin, and E. Byambadorj, 2009, “A General Equilibrium Analysis of the Impact of Climate Change on Agriculture in the People’s Republic of China” *Asian Development Review*, vol. 26, N° 1, pp. 206-225.



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org