



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

ANÁLISIS DE INSUMO–PRODUCTO:  
CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES ASOCIADAS

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
Diego Marie Phillippe Chatellier Lorentzen

TUTOR PRINCIPAL  
Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

MÉXICO, D. F. OCTUBRE 2015

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Rodríguez Padilla Víctor  
Secretario: Dr. De la Vega Navarro José A. F.  
Vocal: Dra. Sheinbaum Pardo Claudia  
1<sup>er</sup>. Suplente: Dra. Martín del Campo Márquez Cecilia  
2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Reinking Cejudo Arturo Guillermo

Lugar donde se realizó la tesis: México, D.F.

**TUTOR DE TESIS:**

Dra. Sheinbaum Pardo Claudia

-----  
**FIRMA**



# Abstract

This work presents an Input-Output analysis applied to energy use and the  $CO_2$ -equivalent emissions associated to consumption. It begins by showing the fundamentals of Input-Output analysis, then the application details to energy field are exposed, which consists in two forms: The hybrid unit method and the conversion vector method. From the conversion vector method, an Input-Output model for Mexican economy is constructed, with 26 producing sectors corresponding to 2008 and 2012 data, which is used for the calculation of elasticity of energy use related to final demand variation, and the elasticity of  $CO_2$ -equivalent emissions associated to energy use related to final demand shift. The results are two impact matrices per year that reflect such sectorial elasticities, and two charts per year that classify sectors according to Rasmussen's method. Finally, an example is included showing how these impact matrices can be employed to determine future energy demand, along with a performance valuation of this technique in the short and long term.



# Resumen

En este trabajo se presenta un análisis de Insumo-Producto aplicado al uso de la energía y a las emisiones de  $CO_2$  -equivalente asociadas a dicho consumo. Se comienza mostrando las bases teóricas del análisis Insumo-Producto. Luego, se exponen los detalles de la aplicación de este análisis al campo de la energía, el cual consta de dos variantes: el método de unidades híbridas y el método de vectores de conversión. A partir de este último se construye un modelo Insumo-Producto para la economía mexicana, que consta de 26 sectores productores para los años 2008 y 2012, el cual se emplea para el cálculo de las elasticidades del uso de la energía en función del cambio en la demanda final, así como las elasticidades de las emisiones de  $CO_2$  -equivalente en función de la misma. Se obtiene como resultado dos matrices de impactos por cada año, que reflejan dichas elasticidades sectoriales, así como dos gráficos por cada año que permiten la clasificación de los sectores según el método de Rasmussen. Finalmente, se incluye un ejemplo de cómo estas matrices de impactos pueden ser empleadas para determinar demandas energéticas para años futuros, junto con una valoración del desempeño a corto y largo plazo de esta técnica.



# Índice general

<b>1. Problemática</b>	<b>1</b>
<b>2. Análisis de Insumo-Producto</b>	<b>5</b>
2.1. Introducción . . . . .	5
2.2. Definiciones básicas . . . . .	7
2.3. Matriz de coeficientes técnicos . . . . .	9
2.4. Matriz de Leontief . . . . .	11
2.5. Multiplicadores y el modelo IP . . . . .	15
2.6. Conclusiones . . . . .	18
<b>3. Análisis IP y consumo de energía.</b>	<b>21</b>
3.1. Vectores y matrices de conversión . . . . .	21
3.2. Modelos IP energéticos . . . . .	22
3.3. Modelo IP energético: unidades híbridas . . . . .	24
3.4. Condiciones de conservación de la energía . . . . .	27
3.5. Matriz de requerimientos energéticos totales . . . . .	29
3.6. Conclusiones . . . . .	32
<b>4. Propuesta metodológica</b>	<b>33</b>
4.1. Vector de conversión energético . . . . .	33
4.2. Elasticidad, economía y energía . . . . .	34
4.3. Emisiones por consumo de combustibles . . . . .	38
4.4. Bases de datos utilizadas . . . . .	40
4.4.1. Matrices Insumo-Producto . . . . .	40



4.4.2. Balance Nacional de Energía (BNE) . . . . .	44
4.5. Construcción del modelo IP para México . . . . .	48
<b>5. Análisis de resultados</b>	<b>63</b>
5.1. Uso de la energía . . . . .	64
5.2. Emisiones asociadas al uso de la energía . . . . .	69
5.3. Ejemplo de prospectiva de escenarios . . . . .	76
5.3.1. Año 2013 . . . . .	77
5.3.2. Año 2028 . . . . .	80
<b>6. Conclusiones</b>	<b>85</b>
<b>A. Álgebra lineal</b>	<b>89</b>
A.1. Sistemas de ecuaciones lineales . . . . .	89
A.2. Vectores . . . . .	92
A.3. Matrices . . . . .	94
A.4. Matrices y sistemas de ecuaciones lineales . . . . .	96
A.5. La matriz de Leontief como serie de potencias . . . . .	99
<b>B. Tablas comparativas</b>	<b>103</b>
<b>C. Tablas de Insumo-Producto México</b>	<b>111</b>
<b>D. Vectores y matrices auxiliares</b>	<b>117</b>
<b>E. Matrices de Impactos</b>	<b>125</b>
<b>F. Cálculo de la demanda final para el 2028</b>	<b>129</b>

# Índice de tablas

2.1. Flujos interindustriales para una economía de 3 sectores en miles de pesos. . . . .	13
3.1. Tabla de Insumo-Producto para una economía de 5 sectores, en miles de pesos. . . . .	30
3.2. Flujos energéticos intersectoriales para una economía con 4 sectores energéticos y 1 sector no energético, en TJ. . . . .	30
4.1. Estructura general del balance de energía en México. . . . .	46
4.2. Tabla comparativa de los sectores industriales del BNE 2012 y los del SCIAN . . . . .	49
4.3. Desagregación sectorial de la economía Mexicana empleada para construir el modelo IP. . . . .	57
5.1. Coeficientes de usos y ventas, modelo del año 2008. . . . .	64
5.2. Coeficientes de usos y ventas, modelo del año 2012. . . . .	64
5.3. Impactos distributivos y totales, energía, año 2008. . . . .	65
5.4. Impactos distributivos y totales, energía, año 2012. . . . .	65
5.5. Categoría a la que pertenece cada sector en el año 2008 y 2012 según la clasificación de Rasmussen (Energía). . . . .	70
5.6. Impactos distributivos y totales de emisiones asociadas al consumo de energía, año 2008. . . . .	71
5.7. Impactos distributivos y totales de emisiones asociadas al consumo de energía, año 2012. . . . .	71

5.8. Categoría a la que pertenece cada sector en el año 2008 y 2012 según la clasificación de Rasmussen (Emisiones). . . . .	75
5.9. Estimación del consumo de energía para el año 2013. . . . .	78
5.10. Estimación del consumo de energía para el año 2028. . . . .	81
B.1. Asignación entre sectores productores del BNE y sectores pertenecientes al SCIAN. . . . .	103
B.2. Asignación de bienes energéticos primarios a sectores productores . .	108
B.3. Asociación de sectores energéticos secundarios a los bienes que producen.	109
C.1. Estimación del consumo energético de las ramas 2121, 2122, 2123 y del subsector 213 en base a la producción total de la industria minera, año 2008. . . . .	112
C.2. Estimación del consumo energético de las ramas 2121, 2122, 2123 y del subsector 213 en base a la producción total de la industria minera, año 2012. . . . .	112
C.3. Estimación del consumo energético del año 2012 del sector del aluminio mediante funciones polinómicas. . . . .	112
C.4. Arriba: matriz de Insumo Producto para México, año 2008 en millones de pesos corrientes. Abajo: demanda final y producción total, año 2008 en millones de pesos corrientes. . . . .	113
C.5. Arriba: matriz de Insumo-Producto para México, año 2012 en millones de pesos corrientes. Abajo: demanda final y producción total, año 2012 en millones de pesos corrientes. . . . .	114
C.6. Matriz de coeficientes técnicos, año 2008. . . . .	115
C.7. Matriz de coeficientes técnicos, año 2012. . . . .	115
C.8. Matriz de Leontief, año 2008. . . . .	116
C.9. Matriz de Leontief, año 2012. . . . .	116
D.1. Factores de emisión por combustión de combustibles en kg/TJ. . . . .	119
D.2. Vector $\bar{s}$ , año 2008. . . . .	120
D.3. Vector $\bar{s}$ , año 2012. . . . .	120
D.4. Vectores auxiliares de energía, año 2008. . . . .	121

D.5. Vectores auxiliares de energía, año 2012. . . . .	121
D.6. Matriz de usos de combustibles $\Upsilon$ , PJ, año 2008. . . . .	122
D.7. Matriz de usos de combustibles $\Upsilon$ , PJ, año 2012. . . . .	122
D.8. Matriz auxiliar $\mathbf{D}$ , año 2008. . . . .	123
D.9. Matriz auxiliar $\mathbf{D}$ , año 2012. . . . .	123
E.1. Matriz de Impactos energéticos, año 2008 ( $10^{-6}$ %). . . . .	126
E.2. Matriz de Impactos energéticos, año 2012 ( $10^{-6}$ %). . . . .	126
E.3. Matriz de Impactos de emisiones, año 2008 ( $10^{-6}$ %). . . . .	127
E.4. Matriz de Impactos de emisiones, año 2012 ( $10^{-6}$ %). . . . .	127
F.1. Datos de la demanda final por sector en millones de pesos constantes del 2012. . . . .	130
F.2. Datos de las exportaciones por sector en millones de pesos constantes del 2012. . . . .	131
F.3. Datos del PIB por sector en millones de pesos constantes del 2012. . .	132
F.4. Cálculo del crecimiento de la Demanda Final durante el periodo 2003- 2013. . . . .	133



# Índice de figuras

4.1. Clasificación de los sectores según el método de Rasmussen. . . . .	39
5.1. Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos de energía, año 2008. . . . .	66
5.2. Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos de energía, año 2012. . . . .	67
5.3. Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos, emisiones, año 2008. . . . .	73
5.4. Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos, emisiones, año 2012. . . . .	74
A.1. Representación geométrica de sistema de ecuaciones lineales. . . . .	91



# Capítulo 1

## Problemática

Pensemos en todo lo necesario para que podamos tener una manzana y comerla: riego, fertilizantes, almacenamiento y transporte. El riego implica la fabricación de bombas de agua y producción de combustibles fósiles para su funcionamiento; que a su vez implican extracción de metales, la fabricación de muchas otras maquinarias, el consumo de recursos energéticos en general y el transporte de materiales y productos. Estos últimos implican más fabricación, transporte y consumo de recursos. A primera vista describir lo que hay detrás del riego en el sector agrícola, se ve como una tarea engorrosa y aún falta describir lo que hay detrás de la fabricación de los fertilizantes, el almacenamiento y el transporte de las manzanas. Hacer esto para cada producto fabricado en una economía es una tarea maratónica. Dada esta complejidad es necesario encontrar un modelo que sea capaz de englobar toda esta información, y que el proceso de obtención de resultados sea eficiente. Es por esta razón que se ha optado por emplear el modelo Insumo-Producto.

Uno de los antecesores históricos del modelo IP es François Quesnay con el "*Tableau Économique*", publicado en 1758, que se interesó en el estudio de las interrelaciones que se dan entre los distintos sectores productivos. Es considerado el primer antecedente en los estudios Insumo-Producto.

El modelo de Leontief simplifica el sistema de Quesnay para poder obtener una



observación completa de los intercambios entre las industrias que componen la economía, que fue lo que le dio el premio Nobel en 1973. Desde entonces ha tenido innumerables aplicaciones en distintos países en diversos campos de la economía, energía y medio ambiente. El mismo Leontief [1], [2], lo aplicó para analizar la contaminación ambiental. A continuación algunos de estos trabajos se describen brevemente.

Park [3] desarrolla un marco IP para medir el efecto de la energía directa e indirecta por cambios en la demanda final y para estimar los efectos del cambio tecnológico sobre el consumo de energía. Wu Chen [4], realiza desarrollos del modelo IP para ser aplicados al análisis de la energía, elaborando un marco IP estático para analizar la energía en el corto plazo, con el cual analizan la interdependencia entre la producción sectorial mediante un análisis de multiplicadores y el efecto que tiene una sustitución en el cambio de insumos energéticos.

Hsu [5], define y calcula los multiplicadores que relacionan el uso de energía y las actividades económicas a través de una tabla IP 1978 para Taiwán desagregada en 48 sectores.

Gould y Kulshreshtha [6], miden los impactos en el uso de energía causados por cambios en la demanda final para la provincia de Saskatchewan, Canadá. Identifican los sectores clave como aquellos que representan relativamente grandes aumentos en el consumo de energía en respuesta al aumento de la demanda final. Este estudio es muy parecido al que se realiza en este texto. El modelo es extendido para analizar la interacción de los cambios en la demanda final en el uso de energía, en el nivel de ingresos de los hogares y en el empleo.

Han y Lakshmanan [7], realizan estudios sobre el consumo de energía en Japón. Analizan los impactos en el consumo de la energía por cambios estructurales en la economía. Encuentran que los cambios en la demanda final generan un efecto superior al cambio técnico en la reducción de la intensidad de la energía.

Al-Ali [8], elabora un análisis IP de las necesidades de energía de la economía

escocesa para el año 1973. Los resultados muestran la capacidad del modelo IP para analizar la dependencia de la industria de la energía con los demás sectores y con la demanda final así como las relaciones entre los sectores industriales.

Alcántara y Roca [9], presentan una metodología que, a partir de los balances energéticos, permite estimar la demanda de energía primaria así como las emisiones de dióxido de carbono generadas por el uso de la energía. Separan los diferentes efectos que explican los cambios en la demanda de energía y las emisiones de  $CO_2$  para España durante los años 1980 y 1990. Posteriormente, Alcántara y Padilla [10], analizan el consumo de energía con un modelo IP, con base en una metodología que estima las elasticidades del consumo de energía con respecto a la demanda final. Es de este trabajo de investigación que se tomó la idea principal para realizar el presente estudio.

Lenzen [11], presenta un modelo IP estático para el cálculo de multiplicadores para Australia. Calculan varios tipos de multiplicadores de empleo y energía, en referencia a la producción total, la demanda final, y otros factores. En otro trabajo [12] emplea un análisis IP para calcular el contenido de energía primaria y gases de efecto invernadero en los bienes y servicios producidos, la cual afirma que es una técnica útil para el diseño de políticas de reducción de gases de efecto invernadero. Analiza la producción interna australiana y las importaciones, desglosado a 48 sectores. Adicionalmente considera las disparidades sectoriales en los precios de la energía.

Park y Heo [13], calculan los requerimientos totales de energía primaria con base en matrices IP, desde la perspectiva del consumo final en las viviendas de la República de Corea durante los años 1980 a 2000. El trabajo muestra que las intensidades de energía directas, indirectas y totales han disminuido durante el período analizado. También se muestra que los requerimientos indirectos de energía representan la mayor parte de del consumo de energía primaria.

Este trabajo se divide en 5 partes. En la primera, se exponen los principios teóricos del análisis Insumo-Producto, las definiciones básicas e identidades fundamentales

que lo componen. En la segunda parte, se muestra una posible aplicación del análisis Insumo-Producto al campo de la energía mediante el método de las unidades híbridas, se presentan las definiciones y principios básicos que llevan a esta formulación. La tercera parte corresponde a la propuesta metodológica que sustenta las bases del presente trabajo, así como el proceso de construcción del modelo Insumo-Producto para la economía mexicana. En la cuarta parte, se presentan los resultados obtenidos para el uso de la energía y las emisiones asociadas a dicho consumo, se realiza el análisis de dichos resultados y como complemento se muestra un ejemplo de como se pueden utilizar los resultados obtenidos para determinar demandas energéticas futuras. Finalmente, en la quinta y última parte, se presentan las conclusiones generales.

# Capítulo 2

## Análisis de Insumo-Producto

### 2.1. Introducción

Este capítulo se basa principalmente en dos libros [14], [15], sobre el método de matrices Insumo-Producto que tratan las bases conceptuales del modelo y las aplicaciones del mismo.

En la literatura, [16] [17] es común ver que se menciona que el "*tableau économique*" del economista Francés Francois Quesnay de finales del siglo XVIII, es lo que sirvió de base para lo que hoy se conoce como el análisis Insumo-Producto. Las matrices Insumo-Producto y el análisis de Insumo-Producto fueron desarrollados por un economista Estadounidense llamado Wassily Leontief a finales de los años 30. Sus trabajos [18] y [19] escritos en 1936 y 1941 respectivamente, sientan las bases para la construcción de las matrices y la manera de utilizar el modelo. En su trabajo, Leontief establece que su modelo se describe mejor como un intento de construir un "*tableau économique*" para la economía americana de la época [18]. El resultado fueron dos matrices de Insumo-Producto para los años de 1919 y 1929, y el primer modelo de Insumo-Producto aplicado a la economía Estadounidense. Hoy en día la teoría se ha desarrollado ampliamente en una gran variedad de posibilidades y existe una amplia gama de ámbitos en los que el análisis Insumo-Producto se aplica. En las páginas a continuación se describe la metodología desarrollada por Leontief que

se conoce como el modelo tradicional de Insumo-Producto (IP).

Con el fin de evitar ambigüedades se define lo siguiente:

**Definición 2.1.** Se entenderá por economía a la red de centros de producción, distribución y consumo de materia y energía al servicio del humano: la forma en que colectividades prosperan y funcionan a través de la satisfacción de las necesidades humanas por medio de los recursos.

El análisis IP estudia la interdependencia de los sectores de actividad productiva en una economía con base en los flujos de materia que se intercambian entre los centros productivos. Los productos intermedios que se producen en un sector son empleados por otros sectores como insumos para llevar a cabo su producción. El modelo también considera el suministro de bienes y servicios para satisfacer la demanda final es decir al consumo personal, las actividades gubernamentales y exportaciones. También es posible incorporar en el modelo bienes importados.

Al tratar de describir el comportamiento de algo tan complejo como lo es la economía, se debe adoptar un punto de vista un tanto reduccionista con el fin de obtener algunos resultados. En el análisis IP se asume que la economía de un país o una región puede ser descompuesta en  $n$  sectores productivos los cuales pueden ser las industrias y servicios en el sentido general, por ejemplo la industria automotriz. También pueden ser categorías más pequeñas o específicas como la fabricación de camiones refrigerados, o categorías más grandes o generales como el sector manufacturero en su conjunto. La selección de la cantidad de categorías depende del nivel de detalle que se busque y sobre todo de la cantidad de datos con la que se dispone.

La información necesaria para completar el modelo -en el sentido de la definición 2.1- son los flujos de bienes entre estos sectores como productores, hacia cada uno de los otros sectores como consumidores y hacia la demanda final. Los flujos pueden ser medidos en diversas unidades, siendo la más usual la moneda nacional. Es decir, los flujos de productos se cuantifican como intercambios monetarios. Esto último presenta algunas ventajas e inconvenientes que se verán en el camino.

La manera de cuantificar los intercambios entre centros productivos da lugar a las distintas versiones del análisis IP, por ejemplo si se cuantifican los intercambios con base en el contenido energético de los productos se obtendrán resultados acerca del uso de la energía. También existen modelos IP que permiten el análisis de la generación de empleo, o la contaminación por emisiones, etc. Por ahora en este capítulo los flujos de bienes entre los sectores serán medidos en moneda nacional, es decir en pesos mexicanos.

La organización de los datos en el análisis IP es lo que le da la versatilidad y la relativa sencillez con la que se extraen resultados. Los datos se acomodan en un arreglo matricial: en los renglones se representan los sectores como productores y en las columnas a los mismos sectores como consumidores. De tal forma que la información dispuesta en el renglón  $i$  nos dice qué tanto vendió el sector  $i$  a cada uno de los demás sectores. Análogamente, la columna  $j$  nos dice qué tanto compró el sector  $j$  a los demás sectores.

**Definición 2.2.** Se dirá que una economía está definida por los  $n$  sectores que la componen junto con los flujos de intercambio entre ellos.

Otra de las hipótesis fundamentales del análisis IP es que cada sector produce un producto homogéneo. Esto también causa imprecisiones en los resultados que arroja el modelo, pues puede ser el caso que un sector elabore dos tipos de productos uno siendo más barato que el otro, volviéndolos indistinguibles uno del otro. Más aún, desde el punto de vista energético, un producto podría requerir más energía en su fabricación que otro y aun así se considerarían con la misma intensidad energética. Una solución a este problema sería otorgar a cada producto un renglón en la matriz IP, pero los datos necesarios no siempre están disponibles.

## 2.2. Definiciones básicas

Supongamos que la economía Mexicana puede ser descompuesta en  $n$  sectores productivos. Hay dos maneras en las cuales el producto de un sector puede ser empleado: como un insumo de algún otro sector o para satisfacer la demanda final. La

demanda interna (o intermedia) es aquella que existe entre los  $n$  sectores productivos, y la demanda final es aquella que demandan agentes externos a los intercambios entre sectores productores, es decir los consumidores finales. Éstos últimos son regularmente diferenciados en 3 categorías: gobierno, sector comercial y sector residencial; en algunas ocasiones se incluyen las exportaciones. Estos agentes representan las variables exógenas del modelo, ya que su demanda, la demanda final, está relativamente desconectada de la cantidad de bienes producidos por los sectores que componen la economía. Por ejemplo, la demanda de automóviles del sector residencial depende del poder de compra, de la disponibilidad de combustible, de la disponibilidad de caminos, calles y carreteras entre otros factores; y no de la cantidad de autos producidos por el sector automotriz.

**Definición 2.3.** Se definen las siguientes variables:

- $z_{ij}$ : es la cantidad de producto de  $i$  que se necesita para la producción de  $j$ . En otras palabras,  $i$  le vende a  $j$  (o  $j$  le compra a  $i$ ).
- $f_i$ : la demanda final de los productos del sector  $i$ .
- $x_i$ : La producción total del sector  $i$ .

La producción total  $x_i$  se puede escribir de la siguiente manera:

$$x_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + f_i. \quad (2.1)$$

Es decir, la producción total del sector  $i$  es igual a la suma del producto  $i$  vendido como insumo a cada uno de los  $n$  sectores de la economía, más la demanda final de ese producto. La ecuación 2.1 representa dos cosas, por un lado establece un balance entre producción y consumo: lo que se produce es lo que se consume. Por otro lado establece la distribución del consumo del producto del sector  $i$ . Para cada uno de los  $n$  sectores existe una distribución entre el consumo intermedio y final, dando lugar

a un sistema de  $n$  ecuaciones lineales.

$$\begin{aligned} x_1 &= z_{11} + z_{12} + \cdots + z_{1n} + f_1 \\ x_2 &= z_{21} + z_{22} + \cdots + z_{2n} + f_2 \\ &\vdots \\ x_n &= z_{n1} + z_{n2} + \cdots + z_{nn} + f_n \end{aligned} \tag{2.2}$$

Éste sistema de ecuaciones puede ser reescrito en una forma matricial más sencilla:

$$\bar{x} = \mathbf{Z}\bar{1} + \bar{f} \tag{2.3}$$

Donde  $\bar{1}$  representa un vector columna de dimensión  $n$  cuyas entradas son únicamente 1,  $\mathbf{Z} := (z_{ij})_{1 \leq i, j \leq n}$ , es la matriz de Insumo-Producto con dimensión  $n \times n$ . Los vectores columna  $\bar{f}$  vector de demanda final, y  $\bar{x}$  vector de producción total, tienen por coeficientes respectivamente a  $f_i$  y a  $x_i$ . Dado que los escalares  $z_{ij}$  son datos observados del comportamiento de los sectores en un periodo temporal establecido, entonces podemos pensar que la demanda final es el motor que impone el ritmo de producción y la manera en que esta demanda se satisface está definida por los coeficientes  $z_{ij}$ . Las columnas de la matriz  $\mathbf{Z}$  se leen como los insumos que el sector  $j$  requiere de los demás sectores. Los renglones se leen como las ventas de producto del sector  $i$  hacia los demás sectores.

Es posible incluir en el modelo como variable endógena las importaciones de productos. Para ello es necesario tener la matriz de importaciones, que es una matriz de misma dimensión que la matriz IP usualmente denotada por  $\mathbf{M}$ , cuyo elemento  $m_{ij}$  representa el valor monetario del producto importado  $i$  para la producción de  $j$ . De esta manera se define una nueva matriz de transacciones  $\mathbf{Z}^M := \mathbf{Z} - \mathbf{M}$  que modela la economía, en términos de la producción interna, incluyendo las importaciones.

## 2.3. Matriz de coeficientes técnicos

El modelo IP es estático, es como tomar una fotografía de la economía en la que aparecen los distintos sectores que componen la economía intercambiando mercancías



con los demás sectores y con la demanda final. Es por esto que la producción está relacionada a los insumos mediante una relación de proporcionalidad fija. Pensar que existe una proporcionalidad en el sentido de que si se necesitan fabricar más motocicletas se necesita fabricar más acero, es razonable. Pero hay que saber que si la proporcionalidad es fija entonces se omiten posibles economías de escala: la cantidad de insumos requeridos para la fabricación de una unidad de producto puede variar según varíe la cantidad producida.

**Definición 2.4.** Se define la matriz de coeficientes técnicos como

$$\mathbf{A} := \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Donde

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}. \quad (2.4)$$

Los coeficientes técnicos se pueden interpretar como la cantidad de insumos del sector  $i$  que  $j$  necesita para fabricar una unidad de producto  $j$ . Si las unidades son la moneda nacional el coeficiente  $a_{ij}$  es adimensional pero puede leerse como el valor monetario de insumos  $i$  por cada peso de producción de  $j$ . Por ejemplo  $j$  es el sector agrícola e  $i$  el sector que fabrica los fertilizantes empleados para el cultivo de manzanas; entonces  $a_{ij}$  es el valor monetario de los fertilizantes usados por cada peso de manzanas producido.

Una vez que los escalares  $z_{ij}$  y  $x_j$  son conocidos, los coeficientes técnicos  $a_{ij}$  quedan fijos y este hecho tiene dos consecuencias:

1. La cantidad de insumos  $j$  requeridos para la producción de  $i$  siempre están en la misma proporción con la cantidad de productos fabricados por  $i$ . Esto se deriva de notar que la ecuación 2.4 se puede escribir como

$$x_j a_{ij} = z_{ij}. \quad (2.5)$$

Dado que los coeficientes técnicos son constantes,  $x_j$  y  $z_{ij}$  siempre están en la proporción  $a_{ij}$ .

2. Los sectores usan los insumos en proporciones fijas. Por ejemplo supongamos que existen sólo tres sectores en una economía, entonces la proporción entre los insumos empleados por el sector 1 de 2 y 3 ( $z_{21}/z_{31}$ ) es constante, ya que:

$$\frac{z_{21}}{z_{31}} = \frac{x_1 a_{21}}{x_1 a_{31}} = \frac{a_{21}}{a_{31}} = cst.$$

En general los coeficientes técnicos procuran la información acerca del desempeño de los sectores productivos, esto es cómo se producen los bienes y servicios. En ellos también se encuentra la información del rendimiento de la tecnología empleada para la transformación de insumos en productos. Así que por ejemplo, si sabemos que en algún sector se ha hecho un cambio tecnológico que permita usar menos insumos, se tendrán que recalcular los coeficientes técnicos relevantes del sector, lo cual resultará en una nueva matriz de coeficientes técnicos. El modelo IP está hecho para analizar la respuesta de una economía a posibles cambios en la demanda final no obstante su relativa rigidez en el tiempo.

**Observación 2.5.** *Cuando se calculan los coeficientes técnicos a partir de la definición 2.4, puede llegar a ser muy fácil cometer errores. Para hacerlo de manera rápida y eficiente es conveniente notar que de la ecuación 2.4 se obtiene que  $x_j a_{ij} = z_{ij}$ . Si consideramos la matriz diagonal,  $\hat{x}$ , asociada al vector  $x$  podemos escribir:*

$$\hat{x}\mathbf{A} = \mathbf{Z}.$$

Si  $\hat{x}$  es invertible,

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}(\hat{x})^{-1} \quad (2.6)$$

## 2.4. Matriz de Leontief

Si se reemplaza la ecuación 2.5 en el sistema de ecuaciones 2.2 se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n + f_1 \\ x_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n + f_2 \\ &\vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n + f_n \end{aligned} \quad (2.7)$$

El sistema de ecuaciones 2.7 muestra la forma en la que los coeficientes técnicos se emplean, y en la que el análisis IP se lleva a cabo. Se tiene un sistema de  $n$  ecuaciones lineales cuyas incógnitas son las producciones totales de cada sector,  $x_i$ . Entonces para cada nivel de demanda final en cada sector de la economía, se obtiene como solución la producción total de cada sector para satisfacer esta demanda.

**Teorema 2.6.** *Si la matriz  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})$  es invertible, entonces el sistema de ecuaciones 2.7 tiene como solución única:*

$$\bar{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\bar{f}. \quad (2.8)$$

Donde  $\mathbf{I}$  representa la matriz identidad.

*Demostración.* Lo primero que se debe notar es que el sistema de ecuaciones 2.7 se puede reescribir en forma matricial de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \mathbf{A}\bar{x} + \bar{f} \quad (2.9)$$

O bien en esta otra presentación:

$$\bar{x} - \mathbf{A}\bar{x} = \bar{f} \implies (\mathbf{I} - \mathbf{A})\bar{x} = \bar{f}.$$

Entonces si  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})$  es invertible el sistema de ecuaciones tiene solución única y es

$$\bar{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\bar{f}.$$

□

**Definición 2.7.** Se define la matriz de Leontief,  $\mathbf{L}$  como

$$\mathbf{L} := \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{pmatrix} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (2.10)$$

La matriz de Leontief es una manera más eficiente de resolver el sistema de ecuaciones 2.7 comparado con el método de la sustitución, considerando que pueden

llegar a ser sistemas muy grandes. Su uso hace que, al cambiar la demanda final, sea muy sencillo calcular las nuevas producciones totales para todos los sectores. Con base en esto se puede reescribir la ecuación 2.8 en una forma sencilla:

$$\bar{x} = \mathbf{L}\bar{f}. \quad (2.11)$$

**Ejemplo 2.8.** *Sea una economía con 3 sectores: el sector eléctrico, el sector productor de madera y el sector productor de muebles, respectivamente numerados 1, 2 y 3. A partir de los datos de la tabla 2.1 se construyen la matriz de Insumo-Producto y el vector de demanda final:*

	Eléctrico	Madera	Muebles	Demanda final
Eléctrico	10	500	150	900
Madera	0	30	850	350
Muebles	100	250	150	750

Tabla 2.1: Flujos interindustriales para una economía de 3 sectores en miles de pesos.

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} 10 & 500 & 150 \\ 0 & 30 & 850 \\ 100 & 250 & 150 \end{pmatrix} \quad y \quad \bar{f} = \begin{pmatrix} 900 \\ 350 \\ 750 \end{pmatrix}$$

La matriz  $\mathbf{Z}$  dice que por ejemplo el sector productor de madera (sector 2), no le vende nada al sector eléctrico, le vende 30 mil pesos de madera al mismo sector maderero y le vende 850 mil pesos de madera al sector que fabrica muebles. Además, el sector que fabrica muebles compró 150 mil pesos de electricidad, 850 mil pesos de madera y— 150 mil pesos de muebles. Según la ecuación 2.3 se tiene que el vector de producción total es:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \mathbf{Z}\bar{1} + \bar{f} = \begin{pmatrix} 10 & 500 & 150 \\ 0 & 30 & 850 \\ 100 & 250 & 150 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 900 \\ 350 \\ 750 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 1560 \\ 1230 \\ 1250 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Esto quiere decir que el sector eléctrico produjo 1 millón 560 mil pesos de electricidad, el sector maderero produjo 1 millón 230 pesos de madera y finalmente el sector fabricante de muebles produjo 1 millón 250 mil pesos de muebles. Según la ecuación 2.6 la matriz de coeficientes técnicos es:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &:= \mathbf{Z}(\hat{x})^{-1} = \begin{pmatrix} 10 & 500 & 150 \\ 0 & 30 & 850 \\ 100 & 250 & 150 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{1560} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1230} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{1250} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0,0064 & 0,4065 & 0,1200 \\ 0 & 0,0244 & 0,6800 \\ 0,0641 & 0,2032 & 0,1200 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Como ya se dijo antes, la matriz  $\mathbf{A}$  representa la estructura de producción de esta economía de 3 sectores en un momento dado. Para producir 1 peso de valor en muebles se necesitan 6.41 centavos de electricidad, 20.32 centavos de madera y 12 centavos de muebles. Ahora nos podemos preguntar como sería la producción total de los sectores 1 y 2 si la demanda final de muebles aumenta a 850 mil pesos (100 mil más). Para esto se calcula el determinante  $\text{Det}(\mathbf{I} - \mathbf{A}) = 0,69 \neq 0$ , por lo tanto la matriz de Leontief existe y es igual a:

$$\mathbf{L} := (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \begin{pmatrix} 1,0432 & 0,5534 & 0,5699 \\ 0,0631 & 1,2551 & 0,9785 \\ 0,0906 & 0,3302 & 1,4038 \end{pmatrix}$$

Entonces si se quieren calcular los nuevos niveles de producción total respondiendo a la nueva demanda final  $\bar{f}_{\text{nuevo}} = \begin{pmatrix} 900 \\ 350 \\ 850 \end{pmatrix}$ .

Basta con sustituir los valores que lo que se tienen en la ecuación 2.8 para obtener:

$$\bar{x}_{\text{nuevo}} = \mathbf{L}\bar{f}_{\text{nuevo}} = \begin{pmatrix} 1,0432 & 0,5534 & 0,5699 \\ 0,0631 & 1,2551 & 0,9785 \\ 0,0906 & 0,3302 & 1,4038 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 900 \\ 350 \\ 850 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1617 \\ 1328 \\ 1390 \end{pmatrix}.$$

Un aumento de 100 mil pesos en la demanda final de muebles genera un aumento en la producción total del sector eléctrico de 57 mil pesos o bien 4% y un aumento

en el sector de la madera de 98 mil pesos o bien 7%. En el sector de los muebles la producción total debería de aumentar más que lo que aumentó la demanda final, pues los otros dos sectores utilizan como insumos parte de la producción de dicho sector. Así, la producción total de muebles aumenta de 140 mil pesos, es decir el 10%. Estos valores constituyen una medida del impacto en la economía al aumentar la demanda final del producto 3. Visto de otra manera, el cambio en la demanda final

$\Delta \bar{f} = \bar{f}_{\text{nuevo}} - \bar{f}$  es el vector  $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 100 \end{pmatrix}$ . Lo que se hace al multiplicar la matriz  $\mathbf{L}$

con el vector  $\Delta \bar{f}$  es hacer el producto de todos los elementos de la última columna de la matriz de Leontief por 100. De cierta manera se están aislando estos elementos, que son los que cuantifican el impacto que tiene un aumento en la demanda final del sector 3 en los demás sectores. Éste hecho tiene mucha trascendencia en muchos de los trabajos teóricos y aplicados del análisis IP.

## 2.5. Multiplicadores y el modelo IP

El efecto multiplicador es el concepto de que si alguien gasta o invierte en algún bien o servicio genera ingresos para el proveedor, que a su vez incrementa su consumo y genera ingresos para otros, lo que lleva a más consumo, y así sucesivamente. En otros términos al cambiar una variable exógena, el sistema responde con una cadena de eventos que se multiplican.

El concepto de efecto multiplicador nace de la necesidad de medir los impactos que las inversiones en proyectos pueden tener en el empleo total generado. Uno de los primeros en establecer el concepto de multiplicadores fue el economista R. F. Kahn en 1931 [20]. Su trabajo describe la relación que existe entre estas dos variables calculando los efectos que la variable exógena tendrá en el empleo considerándolos por rondas. Primero calcula los efectos directos y después los indirectos que son efectos derivados de los directos. Prosigue con los efectos indirectos de segundo grado, es decir los que son efecto de los primeros efectos indirectos, etc. Deduce que los efectos

en la cantidad de empleo se comportan como una serie infinita del tipo

$$1 + k + k^2 + k^3 + \dots .$$

Por construcción, en el modelo IP se encuentra codificado el efecto multiplicador que tiene la demanda final en la producción total y se conoce como efecto multiplicador de la demanda. La demostración de este hecho puede encontrarse en el apéndice A, en donde se muestra que la matriz de Leontief se comporta como la serie infinita  $\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots$ .

Así, los elementos de la matriz de Leontief toman en cuenta todos los rangos de interrelaciones entre los sectores productivos. Un incremento en la demanda final de algún producto implica un incremento en los insumos usados por el sector que lo produce. Producir estos insumos tiene como consecuencia un incremento en la demanda de insumos para producir los insumos iniciales, y así sucesivamente. Los coeficientes de la matriz de Leontief miden los requerimientos directos e indirectos necesarios para satisfacer la demanda final de algún producto. Para ilustrar este hecho se puede utilizar la matriz de Leontief calculada en el ejemplo 2.8, esto es:

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} 1,0432 & 0,5534 & 0,5699 \\ 0,0631 & 1,2551 & 0,9785 \\ 0,0906 & 0,3302 & 1,4038 \end{pmatrix}$$

Como ya se mostró anteriormente, y debido a que los coeficientes de la matriz de Leontief son constantes, la ecuación 2.11 puede escribirse en forma de diferencias como  $\Delta\bar{x} = \mathbf{L}\Delta\bar{f}$ . Si se considera un aumento en una unidad en la demanda final del producto del sector 1, las producciones totales sectoriales para satisfacer el aumento en la demanda serán:

$$\Delta\bar{x} = \begin{pmatrix} 1,0432 & 0,5534 & 0,5699 \\ 0,0631 & 1,2551 & 0,9785 \\ 0,0906 & 0,3302 & 1,4038 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,0432 \\ 0,0631 \\ 0,0906 \end{pmatrix} .$$

Al vector resultante se le llama el vector multiplicador del sector 1, es exactamente la primera columna de la matriz de Leontief. Este vector significa que para cada

unidad adicional del sector 1, se necesita aumentar la producción de 2 en 0.0631 unidades, la producción del sector 3 en 0.0906 unidades y la del propio sector 1 en 1.0432 unidades. En otras palabras, para aumentar de una unidad la producción de 1, es necesario aumentar de 1 unidad la producción del mismo sector. Pero los demás sectores deberán producir aún más para que el sector 1 pueda incrementar su producción de una unidad. El incremento en la producción de los sectores 2 y 3 conlleva a un aumento en los insumos necesarios, lo cual eventualmente lleva a un aumento marginal en la producción de 1. Es por esta razón que el primer renglón del vector multiplicador del sector 1 es mayor que la unidad. Al sumar los elementos del vector multiplicador de algún sector, lo que se obtiene es un número que indica el impacto que hay en toda la economía al aumentar la demanda de este sector en 1 unidad.

**Definición 2.9.** Se le llama multiplicador de la demanda del sector  $i$  a la suma de los elementos de su respectivo vector multiplicador, en símbolos esto se puede escribir como:

$$M_i = \sum_{j=1}^n l_{ij} \quad (2.12)$$

Así mismo se define el vector de multiplicadores de demanda al formado por los elementos  $M_i$ :

$$\bar{M} := \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

En el caso del ejemplo 2.8 el multiplicador de la demanda del sector 1 es 1.1969, que es el resultado de sumar los elementos de la primera columna de la matriz de Leontief. Esto quiere decir que al aumentar la demanda final del sector 1 en una unidad, o sea mil pesos, la economía tendrá que aumentar la producción en mil ciento noventa y seis pesos.

Análogamente se puede centrar la atención en la suma por renglones de la matriz



de Leontief, las cuales se obtienen de multiplicar la matriz  $\mathbf{L}$  con el vector columna

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

de dimensión adecuada. Postular esto equivale a aumentar la demanda final sectorial de la economía de 1 unidad, y la suma por renglones corresponde a la respuesta que los demás sectores tendrán por dicho aumento. A estos efectos se les llaman efectos distributivos de la economía.

**Definición 2.10.** Se definen los efectos distributivos de la economía en el sector  $j$ ,  $N_j$  como el impacto que hay en el sector  $j$  debido al aumento en la demanda final en una unidad de todos los sectores de la economía, es decir:

$$N_j := \sum_{i=1}^n l_{ij}. \quad (2.14)$$

También se define el vector de efectos distributivos como el vector formado por los elementos  $N_j$ :

$$\bar{N} := \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

## 2.6. Conclusiones

En resumen, se pueden identificar 4 hipótesis fundamentales sobre las cuales se basa el modelo IP:

1. La economía debe poderse descomponer en un número finito de sectores productivos.
2. Cada sector en la economía produce un bien o servicio homogéneo.

3. Los coeficientes técnicos  $a_{ij}$  son constantes.
4. Los insumos de cada sector siempre se dan en proporciones fijas.

Estas hipótesis restringen el modelo y hacen que surjan algunas desventajas, que se detallan a continuación. El primer punto implica una limitación en cuanto al nivel de detalle que se desea, esto porque los datos no siempre están disponibles. La condición 2 implica imprecisiones en cuanto a diferencias de precios por producto que puede tener cada sector productivo. Por ejemplo no todos los automóviles tienen el mismo precio. La hipótesis 3 implica que las formas de producción de los bienes y servicios no varían en un momento dado, más aún que las cantidades de insumos necesarios son directamente proporcionales a la cantidad producida, en el sentido de que si se quiere producir el triple, es necesario disponer del triple de insumos. La condición 4 se traduce en que la estructura de la economía es fija, entendiendo por la estructura la manera en la que los productos se intercambian, lo cual es sólo válido en el corto plazo.

Pero se pueden identificar dos beneficios principales que arroja el modelo:

1. Permite facilidad y sencillez para el cálculo de producciones totales según cambios instantáneos en la demanda final.
2. Considera el efecto multiplicador que la demanda final tiene sobre la producción en conjunto.



# Capítulo 3

## Análisis IP y consumo de energía.

El contenido de este capítulo se basa principalmente en las dos ediciones del libro de Miller y Blair ([16], [14]) y en los siguientes trabajos de investigación: [21], [22], [23] y [24].

### 3.1. Vectores y matrices de conversión

En muchos casos el valor monetario de la producción sectorial total no es una medida que interese o que sea relevante para los propósitos de un análisis en particular. En esta sección se tratará una forma de modificar los resultados del análisis IP y traducirlos en términos que pueden llegar a ser más relevantes para otros propósitos. Un ejemplo clásico ([14, p. 24-26], [25, p. 465-466]) es traducir las producciones totales sectoriales en términos de generación de empleo mediante coeficientes apropiados.

Sea el vector de conversión  $\bar{C} = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ , donde  $c_i$  es por ejemplo el número de personas empleadas por año por unidad de producción. Es decir cuántos empleos por año existen por cada peso de producción. De esta manera se puede escribir:

$$c_j x_j = \epsilon_j$$

Donde  $\epsilon_j$  son las personas-año empleadas en el sector  $j$ . Si se diagonaliza el vector  $\bar{C}$  obtenemos que  $\bar{\epsilon} = \hat{C}\bar{x}$  y sustituyendo lo anterior en la ecuación 2.11 se obtiene el

vector de empleo total en función de la demanda final, bajo la forma:

$$\bar{\epsilon} = \widehat{C}\mathbf{L}\bar{f} \quad (3.1)$$

Es posible generalizar este concepto a una gran variedad de vectores de conversión  $\bar{C}$  que permitan adaptar el análisis IP tradicional a otras situaciones. Por ejemplo en alguna región en dónde el agua escasea es importante saber en qué medida la producción impacta el uso del agua. Para esto se tiene que definir y encontrar el vector de conversión  $\bar{W}$  con unidades apropiadas (por ejemplo  $m^3$  por peso producido) y determinar la cantidad total de agua por sector que se emplea en los procesos productivos mediante la ecuación 3.1. Así mismo es posible definir un vector de conversión que tenga que ver con el uso de la energía por sectores y con las emisiones asociadas, lo cuál se verá con detalle más adelante.

A lo largo de este capítulo se hablará de modelos IP relacionados con temas de energía y no directamente de emisiones. Hay tres razones para esto. Primero porque estos temas se desarrollaron en los años 70's y 80's, cuando el interés estaba vertido en el uso de la energía y no en las emisiones. Segundo porque las metodologías existentes para emisiones son exactamente iguales a las de energía. Y tercero porque las emisiones de  $CO_2$  y otro gases de efecto invernadero están directamente ligadas al consumo de productos energéticos fósiles.

## 3.2. Modelos IP energéticos

Típicamente el análisis IP energético se enfoca en determinar la cantidad de energía que se utiliza para satisfacer la demanda final de bienes y servicios. Esto es lo que resulta de las cadenas energéticas: cuando un producto es identificado (bien o servicio), se puede hacer una lista de insumos directamente empleados para la producción del bien o servicio. Éstos son llamados insumos directos y se conforman de insumos energéticos y de productos elaborados por otras industrias. El mismo procedimiento se aplica para determinar los insumos adicionales necesarios para fabricar los insumos directos. De esta manera la primera ronda de insumos energéticos se llamará el insumo directo de energía o el requerimiento directo de energía. Los insumos

presentes en las rondas subsecuentes se les llamarán los requerimientos indirectos de energía o los insumos indirectos de energía. La suma de estas dos cantidades son los insumos totales de energía o los requerimientos totales de energía por cada bien o servicio.

Este método nos da una visión global de lo que involucra el proceso de producción de un único bien o servicio, y teóricamente permite rastrear los procesos de producción hasta sus últimas consecuencias, es decir hasta la extracción de las materias primas. [24]

Si bien este enfoque ofrece mucha certidumbre en los resultados obtenidos, tiene ciertas desventajas con respecto al análisis IP. Si se quisiera modelar una economía que tenga por ejemplo 20 sectores, entonces se tendría que repetir el proceso anteriormente descrito 20 veces. Esto puede llegar a ser un trabajo de tiempo completo, por ejemplo el documento [26] es un reporte que rastrea la cadena de producción de una hamburguesa con queso con el fin de investigar los requerimientos totales de energía. Otro inconveniente que presenta este tipo de análisis, que también comparte con el modelo IP, es la disponibilidad reducida de los datos necesarios.

En general existen dos formas en las que se puede conducir un análisis IP energético. Ambos enfoques se basan en el análisis IP tradicional desarrollado en el capítulo 2. Una primera forma de hacerlo que se podría considerar intuitivamente como la "mejor" forma, es medir los flujos entre las industrias como intercambios de energía. Se puede ampliar el modelo IP en el enfoque de emplear unidades físicas, lo cual se usa en la ecología industrial y la economía ecológica. Además, se han producido avances sustanciales en áreas relacionadas con políticas públicas, [16] [10]. Entre estos temas, como se verá más adelante, el análisis IP proporciona una herramienta útil para el rastreo del uso de la energía y las emisiones asociadas.

El segundo enfoque que se le puede dar a un análisis IP con el fin de rastrear los requerimientos de energía, es en base a los vectores de conversión definidos en la sección anterior 3.1. Entre los primeros autores en aplicar este método en un marco

IP para encontrar el uso de energía en los productos se encuentran Bullard y Herendeen [21]. Esta metodología ha sido ampliamente usada pues ofrece una buena alternativa con respecto al primer enfoque arriba descrito [23] [14] [10].

Antes de continuar es preciso definir algunos términos básicos empleados en el ámbito energético que fueron extraídos de [27, p. 3].

- Definición 3.1.**
- **Energía primaria:** es la energía disponible en estado bruto, sin transformación alguna. Se presenta generalmente en depósitos (carbón, petróleo, gas) o en forma de flujo (luz solar, viento, flujos de agua).
  - **Energía secundaria:** es la energía que surge de la transformación de la energía primaria, por ejemplo los productos refinados o la electricidad.
  - **Sector energético primario:** sector que se encarga de la apropiación o extracción de la energía primaria contenida en la tierra u otros recursos naturales.
  - **Sector energético secundario:** sector que se encarga de transformar la energía primaria en productos energéticos secundarios.

### 3.3. Modelo IP energético: unidades híbridas

Lo ideal sería que se pudieran encontrar matrices análogas a  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{L}$  en donde los elementos de la matriz  $\mathbf{Z}$  sean todos medidos en unidades energéticas. El problema surge con los flujos no energéticos, es decir ¿cómo se le asigna un valor energético a un flujo de materiales o uno de servicios? Por ejemplo no es fácil asignarle un valor energético a una tonelada de acero y a una de azúcar de manera que las dos medidas sean compatibles; aún se podría encontrar alguna manera de hacerlo por ejemplo a través de la energía interna del acero y del azúcar. Pero esto no es posible con un servicio de hospedaje en un hotel o con un servicio postal. Por esto, se debe construir una matriz de flujos entre las industrias, como  $\mathbf{Z}$ , en unidades híbridas. Los flujos energéticos serán medidos en unidades físicas tales como BTU o Joules y los flujos no energéticos se medirán en unidades monetarias, es decir en pesos mexicanos.

**Definición 3.2.** Sea una economía que puede ser descompuesta en  $n$  sectores de los cuales  $m$  son sectores energéticos. Un sector energético es un sector en el cual se produce un bien energético.

▪  $\mathbf{E} := \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mn} \end{pmatrix}$ . Matriz de flujos energéticos de dimensión  $m \times$

$n$ . El elemento  $e_{kj}$  indica la cantidad de energía del sector  $k$  empleada para la producción del sector  $j$ . Son los flujos de energía de los  $m$  sectores energéticos a los otros  $n$  sectores como consumidores de energía.

▪  $\bar{q} := \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_m \end{pmatrix}$ . El vector columna de la demanda final de energía cuya dimensión es  $m \times 1$ .

▪  $\bar{g} := \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_m \end{pmatrix}$ . El vector de producción total de energía cuya dimensión es  $m \times 1$ .

En analogía directa con lo que la ecuación 2.3 establece, se obtiene:

$$\mathbf{E}\bar{1} + \bar{q} = \bar{g} \quad (3.2)$$

La producción total de energía es igual a la demanda final más las ventas a los demás sectores. Para calcular  $\bar{g}$  en base a la demanda final  $\bar{q}$  no se puede recurrir a la inversa de ninguna matriz pues las matrices involucradas no son matrices cuadradas. A la matriz  $\mathbf{E}$  falta la información acerca de los flujos no energéticos, los cuales están dados por los flujos de productos entre los  $n - m$  sectores restantes. Sin pérdida de generalidad se puede suponer que los sectores energéticos están acomodados de tal manera que aparezcan en los primeros renglones, esto con el fin de que las siguientes



definiciones tengan sentido. Así si se reemplazan los  $m$  primeros renglones de  $\mathbf{Z}$  por la matriz de flujos energéticos  $\mathbf{E}$ , se obtiene una matriz cuadrada de unidades híbridas.

**Definición 3.3.** Se define la matriz de IP de unidades híbridas o matriz de IP híbrida,  $\mathbf{Z}^*$  como sigue:

$$\mathbf{Z}^* := \begin{cases} e_{kj} & \text{si } k \text{ es un sector energético} \\ z_{ij} & \text{si } i \text{ no es sector energético} \end{cases} \quad (3.3)$$

Así mismo se deben definir magnitudes en analogía a la demanda final  $\bar{f}$  y la producción total  $\bar{x}$ . La construcción es idéntica a la de la matriz de insumo-producto híbrida es decir se reemplazan los primeros  $m$  renglones de  $\bar{f}$  y  $\bar{x}$  por  $\bar{q}$  y  $\bar{g}$  respectivamente.

**Definición 3.4.** Los vectores que a continuación se definen son vectores columna de dimensión  $n \times 1$ .

$$\begin{aligned} \bar{f}^* &:= \begin{cases} q_k & \text{si } k \text{ es un sector energético} \\ f_i & \text{si } i \text{ no es sector energético} \end{cases} \\ \bar{x}^* &:= \begin{cases} g_k & \text{si } k \text{ es un sector energético} \\ x_i & \text{si } i \text{ no es sector energético} \end{cases} \\ \bar{g}^* &:= \begin{cases} g_k & \text{si } k \text{ es un sector energético} \\ 0 & \text{si } k \text{ no es sector energético} \end{cases} \end{aligned}$$

Basándose en las ecuaciones 2.6 y 2.10 se pueden definir las matrices de coeficientes técnicos híbrida y la matriz de Leontief híbrida, esto es:

$$\mathbf{A}^* := \mathbf{Z}^*(\hat{x}^*)^{-1} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{L}^* := (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \quad (3.5)$$

Considérese una economía con únicamente dos sectores productores, donde el primer sector es un sector energético y el segundo es un sector no energético. Las unidades de la matriz  $\mathbf{Z}^*$  y de los vectores de la definición 3.4 se pueden describir como sigue:

$$[\mathbf{Z}^*] = \begin{bmatrix} \text{Joules} & \text{Joules} \\ \$ & \$ \end{bmatrix}; \quad [\bar{f}^*] = \begin{bmatrix} \text{Joules} \\ \$ \end{bmatrix} = [\bar{x}^*]; \quad [\bar{g}^*] = \begin{bmatrix} \text{Joules} \\ 0 \end{bmatrix}$$

En general si se tiene un economía de  $n$  sectores donde  $m$  son sectores energéticos, las unidades de lo anterior son: los primeros  $m$  renglones tienen unidades energéticas (Joules), y los  $n - m$  renglones restantes tienen unidades de moneda nacional (\$). Con el ejemplo anterior de la economía de dos sectores, y con la ecuación 3.4 se obtiene:

$$[\mathbf{A}^*] = \begin{bmatrix} \frac{J}{J} & \frac{J}{\$} \\ \frac{\$}{J} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix}$$

La matriz  $\mathbf{L}^*$  tendrá las mismas unidades que  $\mathbf{A}^*$  pues está definida por esta última con la ecuación 3.5. En general en una economía de  $n$  sectores donde  $m$  son energéticos, el primer cuadrante  $m \times m$  de la matriz  $\mathbf{A}^*$  tendrá unidades  $\frac{\text{Joules}}{\text{Joules}}$ . Después el cuadrante  $m \times (n - m)$  tendrá siempre unidades de  $\frac{\text{Joules}}{\$}$ , e inversamente el cuadrante  $(n - m) \times m$  siempre tendrá unidades de  $\frac{\$}{\text{Joules}}$ . Finalmente el cuadrante  $(n - m) \times (n - m)$  tiene unidades de  $\frac{\$}{\$}$ .

### 3.4. Condiciones de conservación de la energía

Una vez definidas las cantidades y magnitudes involucradas en el modelo híbrido IP de energía, se debe encontrar una ecuación que relacione estas nuevas matrices y vectores de tal manera que se encuentre una expresión del tipo  $\bar{x} = \mathbf{L}\bar{f}$ . Las ecuaciones 2.3 y 3.2 establecen condiciones de conservación, en el primer caso se supone que la producción iguala el consumo total, y en el segundo caso está la condición de conservación de la energía: nuevamente lo que se produce es lo que se consume. En el modelo IP energético de unidades híbridas una condición de conservación de la energía, que sólo se aplica a sectores energéticos es:

*La cantidad total de energía primaria empleada por un sector energético debe igualar la energía secundaria que produce más las pérdidas por transformación.*

La energía primaria que los sectores energéticos primarios producen no viene de ningún otro sector en la economía, es por esto que la introducción de la energía primaria en el modelo, actúa como una variable exógena pues son productos externos a la economía. En contraste, la energía secundaria sí se considera como parte de la

economía ya que son sectores de la economía que se encargan de su producción; así la energía secundaria es una variable endógena al modelo. Para un sector no energético la condición de conservación de la energía es distinta, pues son sectores que por decirlo de alguna manera "transfieren" la energía que emplean a los productos que fabrican, y entonces la condición de conservación de estos sectores debe centrarse en el contenido energético de su producción. En general en estos sectores no se emplea directamente la energía primaria, aunque hay excepciones como el sector siderúrgico que emplea carbón para sus actividades. Por ahora se considerará que ningún sector no energético consume energía primaria; así los insumos de energía de sectores no energéticos son únicamente de energía secundaria. Considerando estos últimos detalles técnicos, se puede enunciar una condición de conservación de la energía de manera más general para todos los sectores de la economía.

*La cantidad total de energía requerida para la producción de  $j$  debe igualar a la energía empleada para producir los insumos de  $j$  más la energía directamente empleada por  $j$ .*

Si  $j$  es un sector no energético, el término "energía directamente empleada por  $j$ " es cero pues el consumo de energía secundaria viene incluido dentro de los insumos empleados por  $j$ . Si  $j$  es un sector energético, el término "energía directamente empleada por  $j$ " se refiere a la energía primaria empleada por el sector, pues la energía secundaria que se emplea está incluida en los insumos del sector.

Para poder escribir el enunciado anterior en una ecuación hace falta introducir coeficientes que permitan relacionar las cantidades de energía empleadas con la producción total y los insumos provenientes de otros sectores. Es decir un coeficiente que indique la cantidad de energía que se emplea en la producción de cada sector: la intensidad energética. Es preciso definir estos coeficientes separadamente para sectores energéticos y no energéticos.

Para un sector energético este coeficiente es el cociente del consumo de energía proveniente del sector  $k$  y de la energía total producida por el sector. Para un sector no energético el coeficiente es el cociente del consumo de energía proveniente del

sector  $k$  y el valor monetario de la producción total del mismo. De tal manera que la multiplicación  $\alpha_{kj}x_j^*$  es el consumo de energía del sector  $j$  proveniente del sector  $k$ , para cualquier sector. Entonces el enunciado de conservación de la energía se puede escribir en una ecuación de la siguiente manera:

$$\alpha_{kj}x_j^* = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_{kj}z_{ij}^* \right) + g_{kj} \quad (3.6)$$

Donde  $g_{kj}$  se define como  $g_k$  si  $j = k$  y cero en cualquier otro caso. Este término es distinto de cero únicamente para sectores energéticos, los cuales por definición transforman la energía primaria y secundaria. De esta manera si hay  $q$  tipos de energía y  $n$  sectores energéticos quedan definidas dos nuevas matrices de dimensión  $q \times n$ ,  $\mathbf{G}$  y  $\boldsymbol{\alpha}$ , cuyas entradas son los elementos  $g_{kj}$  y  $\alpha_{kj}$  respectivamente. Así, la ecuación 3.6 se puede escribir en forma matricial como:

$$\boldsymbol{\alpha}\hat{x}^* = \boldsymbol{\alpha}\mathbf{Z}^* + \mathbf{G} \quad (3.7)$$

### 3.5. Matriz de requerimientos energéticos totales

**Definición 3.5.** Se define a la matriz  $\boldsymbol{\alpha}$ , como la matriz de requerimientos energéticos totales, cuyos elementos están definidos por la ecuación 3.6.

Dado que  $\mathbf{Z}^* = \mathbf{A}^*\hat{x}^*$ , la ecuación 3.7 se puede reescribir como:

$$\boldsymbol{\alpha}\hat{x}^* = \boldsymbol{\alpha}\mathbf{A}^*\hat{x}^* + \mathbf{G} \quad (3.8)$$

De donde se deduce:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\alpha}\hat{x}^* - \boldsymbol{\alpha}\mathbf{A}^*\hat{x}^* &= \mathbf{G} \\ \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)\hat{x}^* &= \mathbf{G} \\ \boldsymbol{\alpha} &= \mathbf{G}(\hat{x}^*)^{-1}(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Nótese que por definición la matriz  $\mathbf{G}$  es la matriz  $\hat{x}^*$  restringida a los sectores energéticos. El producto  $\mathbf{G}(\hat{x}^*)^{-1}$  es una matriz de  $q \times n$  cuyas entradas son unos en la diagonal principal y ceros en otras partes. Operacionalmente lo que la ecuación

	<i>Carbón</i>	<i>Crudo</i>	<i>Electricidad</i>	<i>Refinados</i>	<i>Automóviles</i>	<i>Demanda final</i>	<i>Producción total</i>
<i>Carbón</i>	100	0	600	0	0	10	710
<i>Crudo</i>	0	520	0	1350	0	0	1870
<i>Electricidad</i>	210	100	120	150	200	350	1130
<i>Refinados</i>	0	0	475	50	340	400	1265
<i>Automóviles</i>	20	30	50	30	60	375	565

Tabla 3.1: Tabla de Insumo-Producto para una economía de 5 sectores, en miles de pesos.

	<i>Carbón</i>	<i>Crudo</i>	<i>Electricidad</i>	<i>Refinados</i>	<i>Automóviles</i>	<i>Demanda final</i>	<i>Producción total</i>
<i>Carbón</i>	300	0	400	0	0	30	730
<i>Crudo</i>	0	360	0	800	0	0	1160
<i>Electricidad</i>	130	30	50	10	175	300	665
<i>Refinados</i>	0	0	300	25	40	300	565

Tabla 3.2: Flujos energéticos intersectoriales para una economía con 4 sectores energéticos y 1 sector no energético, en TJ.

3.9 permite extraer los renglones de  $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1}$  que corresponden a los sectores energéticos. La información que  $\alpha$ , como su nombre lo indica, corresponde a las necesidades energéticas para la producción de bienes y servicios considerando todos los efectos que la matriz de Leontief original considera.

**Ejemplo 3.6.** Sea una economía de 5 sectores de los cuales 4 son energéticos, carbón, petróleo crudo, electricidad y refinerías, el quinto es el sector automotriz. De las tablas 3.1 y 3.2 se obtienen las matrices de unidades híbridas:

$$\mathbf{Z}^* = \begin{pmatrix} 300 & 0 & 400 & 0 & 0 \\ 0 & 360 & 0 & 800 & 0 \\ 130 & 30 & 50 & 10 & 175 \\ 0 & 0 & 300 & 25 & 40 \\ 20 & 30 & 50 & 30 & 60 \end{pmatrix}; \quad \bar{f}^* = \begin{pmatrix} 30 \\ 0 \\ 250 \\ 300 \\ 375 \end{pmatrix}; \quad \bar{x}^* = \begin{pmatrix} 730 \\ 1160 \\ 645 \\ 665 \\ 565 \end{pmatrix}$$

Para calcular la matriz de requerimientos totales de energía es necesario calcular

primero  $\mathbf{A}^*$  y  $\mathbf{L}^*$ , esto es:

$$\mathbf{A}^* = \begin{pmatrix} 0,4110 & 0 & 0,6202 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3103 & 0 & 1,2030 & 0 \\ 0,1781 & 0,0259 & 0,0775 & 0,0150 & 0,3097 \\ 0 & 0 & 0,4651 & 0,0376 & 0,0708 \\ 0,0274 & 0,0259 & 0,0775 & 0,0451 & 0,1062 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{L}^* = \begin{pmatrix} 2,2118 & 0,0819 & 1,6127 & 0,1543 & 0,5711 \\ 0,4290 & 1,5227 & 1,3246 & 1,9528 & 0,6137 \\ 0,4883 & 0,0778 & 1,5318 & 0,1466 & 0,5424 \\ 0,2459 & 0,0417 & 0,7594 & 1,1195 & 0,3518 \\ 0,1350 & 0,0554 & 0,2589 & 0,1305 & 1,2189 \end{pmatrix}$$

De esta manera se obtiene que la matriz de requerimientos totales de energía es

$$\boldsymbol{\alpha} = \mathbf{G}(\hat{x}^*)^{-1}\mathbf{L}^* = \begin{pmatrix} 2,2118 & 0,0819 & 1,6127 & 0,1543 & 0,5711 \\ 0,4290 & 1,5227 & 1,3246 & 1,9528 & 0,6137 \\ 0,4883 & 0,0778 & 1,5318 & 0,1466 & 0,5424 \\ 0,2459 & 0,0417 & 0,7594 & 1,1195 & 0,3518 \end{pmatrix}.$$

Se verifica que  $\boldsymbol{\alpha}$  corresponde a la matriz formada por los renglones que corresponden a sectores energéticos de la matriz  $\mathbf{L}^*$ . Se pueden observar dos propiedades de la matriz de requerimientos totales de energía. Primero, al multiplicar  $\boldsymbol{\alpha}$  con  $\bar{f}^*$  se obtiene que:

$$\boldsymbol{\alpha}\bar{f}^* = \begin{pmatrix} 2,2118 & 0,0819 & 1,6127 & 0,1543 & 0,5711 \\ 0,4290 & 1,5227 & 1,3246 & 1,9528 & 0,6137 \\ 0,4883 & 0,0778 & 1,5318 & 0,1466 & 0,5424 \\ 0,2459 & 0,0417 & 0,7594 & 1,1195 & 0,3518 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 30 \\ 0 \\ 250 \\ 300 \\ 375 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 730 \\ 1160 \\ 645 \\ 665 \end{pmatrix}$$

$$= \bar{g}.$$

Lo que este ejemplo muestra es que una vez que se tiene la matriz de requerimientos totales de energía se puede calcular la producción total de energía en función de la demanda final de energía y de productos no energéticos. Es decir se ha logrado conservar la esencia del modelo IP original en términos energéticos.

### 3.6. Conclusiones

Con la ayuda del modelo de unidades híbridas del análisis IP se ha podido llegar a la ecuación  $\bar{g} = \alpha \bar{f}^*$ , en analogía con  $\bar{x} = \mathbf{L}\bar{f}$  tal como en el modelo tradicional IP desarrollado en el capítulo 2. Estas dos ecuaciones presentan las mismas funciones, la de poder estimar producciones totales con base en un nivel determinado de demanda final de los productos. Las dos versiones de los modelos IP están sujetas a las mismas hipótesis fundamentales.

En general se pueden identificar dos grandes campos en las que el análisis IP puede ser empleado:

1. Utilizando vectores de conversión, se puede modificar la producción total en unidades monetarias con coeficientes que relacionen la variable que se desea medir por unidad de producción. Este tipo de análisis se enfoca en el aspecto del consumo.
2. Los flujos de cualquier variable de interés se miden en unidades pertinentes con ella. Al incorporar esta información en una matriz de IP híbrida. Se vuelve a encontrar la misma forma operacional del teorema 2.6, con respecto a la variable de interés. Con este tipo de análisis el enfoque es desde la producción.

# Capítulo 4

## Propuesta metodológica

La propuesta metodológica que a continuación se propone fue extraída de los siguientes textos: [10] [15].

### 4.1. Vector de conversión energético

Tal como se vio en la sección 3.1, se define un vector de conversión energético. Sea el vector  $\bar{e}' = (e'_1, e'_2, \dots, e'_n)$  donde  $e'_j$  es la intensidad energética, es decir la cantidad de energía empleada por el sector  $j$  por peso (\$) producido. La intensidad energética multiplicada por la producción total iguala a la energía total empleada por ese sector, es decir:

$$E_j = e'_j x_j$$

Así podemos encontrar el vector de energía total empleada por cada sector, diagonalizando el vector  $\bar{e}'$  y escribiendo la ecuación anterior en forma matricial:

$$\bar{E} := \hat{e}' \bar{x} = \bar{e}' \hat{x} \quad (4.1)$$

Aplicando el teorema 2.6 en la ecuación 4.1 se obtiene el vector de energía total en función de la demanda final, es decir:

$$\bar{E} := \bar{e}' \hat{x} = \bar{e}' (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \bar{f} \quad (4.2)$$

A partir de esta ecuación se quiere obtener lo que se conoce como la elasticidad del uso de la energía con respecto a cambios en la demanda final sectorial.



## 4.2. Elasticidad, economía y energía

**Definición 4.1.** La elasticidad mide la sensibilidad de una variable con respecto al cambio de otra. Es un número que indica el porcentaje de cambio que puede ocurrir en una variable en respuesta a un 1 % de incremento en otra variable [28].

Se denotará al cambio en la variable  $u$  como  $\Delta u := u^1 - u^0$ , donde  $u^0$  es el valor de la variable al inicio y  $u^1$  es el valor de la variable después del cambio. Adicionalmente el cambio porcentual de una variable se denota como  $\frac{\Delta u}{u^0}$  o simplemente  $\frac{\Delta u}{u}$ . En algunas ocasiones con el fin de no sobrecargar la notación se escribirá a  $u^0$  simplemente como  $u$ .

Si  $u$  es la variable que responde al cambio de la variable  $v$  entonces la elasticidad  $\kappa$  se puede escribir de la siguiente manera:

$$\kappa := \frac{\frac{\Delta u}{u}}{\frac{\Delta v}{v}} \quad (4.3)$$

O bien en forma diferencial la ecuación 4.3 se escribe:

$$\kappa := \frac{du}{dv} \frac{v^0}{u^0}$$

La elasticidad también se puede interpretar como el coeficiente de proporcionalidad que existe entre el cambio porcentual de dos variables, es decir el cambio porcentual de la variable es  $\kappa$  veces la variación porcentual de la variable que cambia. En símbolos esto se escribe de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta u}{u} = \kappa \frac{\Delta v}{v} \quad (4.4)$$

El objetivo es obtener una expresión como 4.4 en donde  $\frac{\Delta u}{u}$  represente el cambio en el uso de la energía -podría ser medido en Joules o BTU- y  $\frac{\Delta v}{v}$  represente la variación de la demanda final medida en pesos. Precisamente lo que se quiere es el porcentaje de cambio en el uso de la energía en algún sector  $j$  en respuesta al aumento de 1 % en la demanda final de otro sector  $i$ . La ecuación 4.1 que relaciona el uso de la energía con la demanda final permite calcular las elasticidades tales como se quieren.

**Definición 4.2.** Se define al escalar  $\mathcal{E}$  como la energía empleada por toda la economía. Así,

$$\mathcal{E} := \bar{e}'\bar{x}. \quad (4.5)$$

Empleando el teorema 2.6 podemos escribir a  $\mathcal{E}$  en función de la demanda final.

$$\mathcal{E} = \bar{e}'(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\bar{f} = \bar{e}'\mathbf{L}\bar{f}$$

Lo que aquí interesa es analizar cómo es el cambio en  $\mathcal{E}$  con respecto al cambio en  $\bar{f}$ . Se asume que este cambio se da durante un periodo de tiempo en el que sea razonable considerar que las condiciones de producción y consumo de energía quedan inalteradas. Entonces se puede suponer que el vector de conversión  $\bar{e}'$  y la matriz de Leontief son constantes. Por lo tanto el cambio en el consumo de energía total está definido únicamente por el cambio en la demanda final. Es decir,

$$\Delta\mathcal{E} = \bar{e}'\mathbf{L}\Delta\bar{f}. \quad (4.6)$$

Si se quiere que  $\Delta\bar{f}$  sea un cambio porcentual entonces se debe cumplir que  $\bar{f}^1 = (1 + \beta)\bar{f}^0$  para algún escalar  $\beta$ . Entonces se puede traducir el cambio en la demanda final como  $\Delta\bar{f} = \beta\bar{f}^0 = \beta\bar{f}$ . Sustituyendo esto y multiplicando de ambos lados de la ecuación 4.6 por  $\mathcal{E}^{-1}$  se obtiene

$$\frac{\Delta\mathcal{E}}{\mathcal{E}} = \mathcal{E}^{-1}\bar{e}'\mathbf{L}\beta\bar{f} \quad (4.7)$$

Es correcto pensar que  $\mathcal{E}^{-1}$  existe pues se está tratando de desarrollar un método para saber como se usa la energía, y no tendría sentido alguno seguir con el análisis si resultara ser que en una economía  $\mathcal{E} = 0$ . Lo que la ecuación 4.7 indica es el cambio en el uso de energía ante una alteración de la demanda final sectorial. El cambio del uso total de la energía con respecto a la demanda final es:

$$\bar{\kappa} = \mathcal{E}^{-1}\bar{e}'\mathbf{L} \quad (4.8)$$

En este caso en particular, la elasticidad es una cantidad vectorial. Esto constituye el primer paso hacia lo que se quiere llegar que es una desagregación sectorial de la elasticidad. Para esto hace falta hacer ciertas transformaciones a la ecuación

4.7. Se busca evaluar los impactos en la producción debido a cambios en la demanda final. Entonces, se debe traducir la demanda final en términos de la producción total, es decir en los términos reales de cómo influyen los cambios de la demanda final con respecto a la producción total. Hacer esto es diferenciar entre los impactos directos e indirectos. Por ejemplo si el producto de algún sector sirve principalmente como insumo de otros sectores y una pequeña parte de la producción es para la demanda final, entonces un aumento en la demanda final de este producto tendría pocos impactos directos y muchos impactos indirectos. Así mismo se necesita introducir una variable energética que indique la distribución sectorial del consumo energético.

**Definición 4.3.** Se define  $\bar{f}' = (f'_1, f'_2, \dots, f'_n)$  el vector de la distribución del uso de la energía final entre los  $n$  sectores productivos, de tal manera que  $\sum f'_i = 1$ .

Análogamente se define el vector  $\bar{s} = \begin{pmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_n \end{pmatrix}$  que es la proporción de la producción total que directamente satisface la demanda final, es decir  $s_i := \frac{f_i}{x_i}$  [10], [15].

De la definición anterior es inmediato deducir que  $\bar{s} = \hat{x}^{-1}\bar{f}$ . Entonces se puede escribir a la demanda final como:

$$\bar{f} = \hat{x}\bar{s} \quad (4.9)$$

Es de gran utilidad notar que al multiplicar  $\mathcal{E}$  con  $f'_i$  se obtiene la cantidad de energía total que el sector  $i$  emplea para su producción, es decir  $E_i$  del vector de energía total definido en la ecuación 4.2. De esta manera  $\mathcal{E} \frac{f'_i}{x_i}$  es precisamente la intensidad energética del sector  $i$ , o bien la  $i$ -ésima entrada del vector  $\bar{e}'$ . En forma matricial esto se escribe de la siguiente manera:

$$\bar{e}' = \mathcal{E}\bar{f}'\hat{x}^{-1} \quad (4.10)$$

Sustituyendo la ecuaciones 4.9 y 4.10 en la ecuación 4.7 obtenemos una simplificación de la misma.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta\mathcal{E}}{\mathcal{E}} &= \mathcal{E}^{-1}\mathcal{E}\bar{f}'\hat{x}^{-1}\mathbf{L}\hat{x}\bar{s} \\ &= \bar{f}'\hat{x}^{-1}\mathbf{L}\hat{x}\bar{s} \end{aligned}$$

A partir de aquí se omitirá el escalar  $\beta$  pues el interés reside en el cambio unitario de la demanda final. La información que se busca es la que está contenida en la matriz  $\mathbf{D} := \widehat{x}^{-1}\mathbf{L}\widehat{x}$ . Entonces la expresión anterior se vuelve

$$\frac{\Delta_{\mathcal{E}}}{\mathcal{E}} = \bar{f}'\mathbf{D}\bar{s} \quad (4.11)$$

La expresión 4.11 es aún una magnitud escalar que refleja la elasticidad de  $\mathcal{E}$  con respecto a la demanda final que viene codificada en el vector  $\bar{s}$ . Lo que aquí se está buscando es la desagregación sectorial de esta elasticidad, es decir que el resultado sea una matriz de  $n \times n$ . Para esto sólo hace falta diagonalizar los vectores  $\bar{f}'$  y  $\bar{s}$ , para que la ecuación 4.11 sea una multiplicación de matrices y el resultado sea una matriz. Así se tiene la siguiente definición.

**Definición 4.4.** Se define a  $\mathbf{E}^f$  como la matriz de impactos energéticos [10], con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{E}^f = \widehat{f}'\mathbf{D}\widehat{s} \quad (4.12)$$

La matriz de impactos lleva el superíndice  $f$  para indicar que es la elasticidad con respecto de la demanda final. Los elementos de esta matriz  $E_{ij}^f$  expresan, por construcción, el porcentaje de incremento en el uso final de la energía del sector  $i$  en respuesta a 1% de aumento en la demanda final de los productos de  $j$ . Si se descompone la ecuación 4.12 en términos de variables más conocidas se tiene que  $\mathbf{E}^f = \widehat{f}'\widehat{x}^{-1}\mathbf{L}\widehat{x}\widehat{s}$ . La matriz del lado izquierdo de  $\mathbf{L}$  equivale a una intensidad energética pero no se considera con respecto al total del consumo energético, sino en proporción del consumo total. Estos coeficientes indican el peso porcentual del consumo de energía por cada unidad monetaria producida, en cada sector. La matriz del lado derecho de  $\mathbf{L}$  es, según la definición 4.3, la demanda final en forma de matriz diagonalizada, esto es la variable exógena al modelo. Implícitamente se están empleando los multiplicadores que la matriz de Leontief arroja, modificándolos con  $\widehat{f}'\widehat{x}^{-1}$  y  $\widehat{x}\widehat{s}$ . Retomando las definiciones 2.9 y 2.10 de los efectos totales y distributivos, se pueden definir estas mismas variables para la matriz de impactos, es decir las sumas por renglones y por columnas respectivamente.

El objetivo de la construcción de este modelo es un análisis de los impactos en el consumo de energía y de las emisiones asociadas de la economía mexicana que inducen los cambios en la demanda final. Por esta razón no se incluyen importaciones en el modelo, pues al hacerlo se estarían midiendo los impactos en otras partes del mundo debido a cambios de la demanda final en México. Por ejemplo, si México importa alimentos de Canadá, entonces el impacto en el sector transporte debido al aumento en la demanda de productos alimenticios se compone del impacto en el transporte nacional más el impacto en el transporte en Canadá. Este es el problema que Miller señala: “[...] causa problemas cuando se emplea el modelo de Insumo-Producto para análisis de impactos.” [14, p. 30].

### 4.3. Emisiones por consumo de combustibles

Para introducir las emisiones asociadas al consumo energético, es necesario contar con los datos del consumo por tipo de combustible y con factores de emisión extraídos de las directrices para el inventario de gases de efecto invernadero que publica el Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés [29]). En el anexo D se presentan los datos extraídos de este documento en las tablas D.1 y ??, en donde se puede notar que existen diferentes factores de emisión según el tipo de sector. Los únicos dos sectores que se diferencian de los demás en este aspecto son el sector Agropecuario y el sector Comercio. Esto se debe a la diferencia de la tecnología empleada por estos sectores en contraste con los demás.

Para incluir resultados acerca de las emisiones de gases de efecto invernadero lo que se hará es modificar la ecuación 4.12 y definir una nueva matriz de impactos para las emisiones. Para esto hay que definir un vector análogo a  $\vec{f}'$  que contenga información de las emisiones de gases de efecto invernadero. La construcción de este vector se basa en la matriz de usos de combustibles de los diferentes combustibles empleados por sector.

**Definición 4.5.** La matriz de usos de combustibles  $\Upsilon$ , se define como aquella for-

mada por los elementos  $v_{ik}$ , que es el consumo del combustible  $k$  por el sector  $i$ . Esta matriz tiene dimensión  $n \times p$ , donde  $p$  es el número de distintos combustibles empleados por los sectores. También se define el vector columna de factores de emisión  $CO_2$  equivalente por tipo de combustible,  $\mathbf{F}$ , de dimensión  $p \times 1$ .

Supongamos por el momento que todos los sectores tengan el mismo factor de emisión para cada combustible, entonces al multiplicar  $\mathbf{Y}$  con  $\mathbf{F}$  lo que se obtiene es el vector de emisiones de  $CO_2$ -eq totales por sector. Ya que se tiene el vector  $\mathbf{YF}$  se puede definir el vector  $\vec{c}' = (c'_1, c'_2, \dots, c'_n)$  (en analogía con  $\vec{f}'$ ) de la distribución de emisiones, de tal manera que  $\sum_{i=1}^n c'_i = 1$ .

**Definición 4.6.** Se define la matriz de impactos de emisiones  $\mathbf{C}^f$  como

$$\mathbf{C}^f := \vec{c}' \mathbf{D} \hat{s}. \quad (4.13)$$

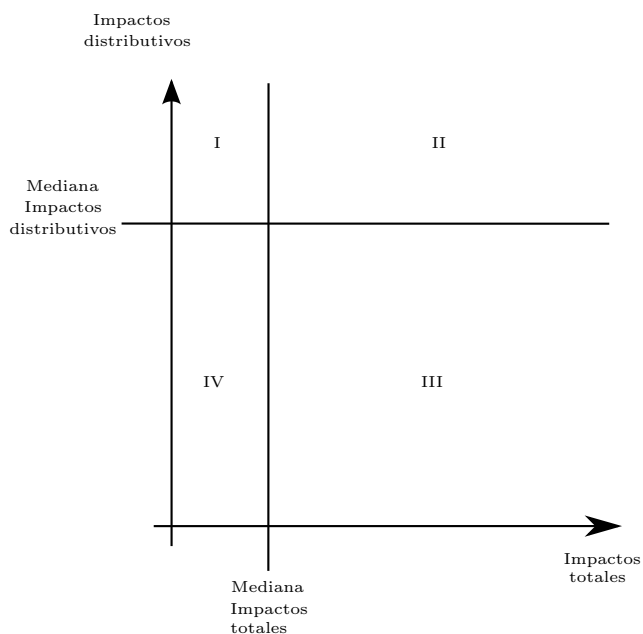


Figura 4.1: Clasificación de los sectores según el método de Rasmussen.

Los elementos de la matriz de impactos energéticos y de emisiones no tienen unidades pero pueden ser interpretados como el porcentaje de cambio por 1% de

incremento en la demanda final. Nótese que por cada sector queda definido un vector bidimensional cuyas entradas están determinadas por los impactos totales y distributivos respectivamente. Entonces es posible hacer una gráfica de estos vectores (puntos en un plano) para tener una visión gráfica de los resultados. Así mismo es posible definir una clasificación de los sectores según su posición en dicha gráfica. Esta clasificación depende de los resultados obtenidos, siguiendo la línea de pensamiento de varios autores ( [10] y [30] ) se puede definir esta clasificación mediante las medianas de la serie de datos de impactos totales y distributivos. Este método se conoce como el método de Rasmussen. Así, se divide el plano en cuatro áreas como en la figura 4.1, las cuales resultan de comparar el valor de los impactos de cada sector con las respectivas medianas encontradas. Con resultados en mano se analizarán las propiedades que las distintas áreas que en la figura 4.1 se muestran.

## 4.4. Bases de datos utilizadas

### 4.4.1. Matrices Insumo-Producto

En México existe, desde hace ya varios años, la necesidad y la buena voluntad para recabar los datos necesarios y construir una matrices IP. En 1957 el Banco de México en conjunto con Nacional Financiera y las secretarías de Economía y Hacienda publicaron una tabla IP para el año 1950 desagregada en 32 sectores y en 1966 una segunda tabla para 1960, con 45 sectores. Más adelante la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática (CGSNEGI) publicó una serie de tablas IP que comprenden las matrices correspondientes a 1970, 1975 y 1980 desagregadas en 72 sectores. A partir de la matriz 1970 la desagregación sectorial se homogeneizó con la del sistemas de cuentas nacionales conforme a la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU), recomendada por las Naciones Unidas [31]. En 1983 el CGSNEGI se convirtió en Instituto Nacional de Geografía, Informática y Estadística (INEGI). En el año 2006 este nuevo organismo emprendió la tarea de construir una nueva tabla IP para el año 2003. Entre 1980 y el 2003 entró en vigor el TLC lo que tuvo por consecuencia un nuevo cambio en la metodología del sistema de cuentas nacionales y por consecuencia en las nuevas matrices

que se querían construir.

Para la matriz IP del 2003 se empleó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte del 2002 (SCIAN 2002), con el fin de poder utilizar las nuevas tablas en análisis internacionales. La matrices IP del año 2003 se presenta en desagregaciones de 20 sectores y 79 subsectores. La última versión de las matrices que fue publicada en el año 2013 (según la fecha del documento [32] que contiene la metodología empleada para dichas matrices) corresponde al año 2008. La novedad de estas matrices es que tienen un nivel de desagregación mucho mayor. Éstas se presentan en tres niveles de desagregación, Sector, Subsector y Rama que respectivamente tienen 19, 79 y 262 categorías, las cuales pertenecen a la clasificación SCIAN del 2007 [32]. En el transcurso del año 2014, el INEGI publicó una actualización de las tablas del 2008 al año 2012. Esta actualización fue llevada a cabo mediante el método de actualización de RAS [33], el cual se explicará más adelante. Dichas matrices fueron obtenidas mediante la descarga del sitio web del INEGI, [34] [35].

La Matriz de IP representa un instrumento en los cálculos y proyectos que el INEGI desarrolla a través del Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM) que refleja las relaciones formales que llevan a cabo los diversos sectores y agentes económicos que intervienen en todas las fases del ciclo económico (producción, comercialización, consumo y acumulación). Las matrices IP de México se obtuvieron a través del cálculo de funciones de producción, las cuales constituyen las columnas de la matriz. Su elaboración se basó en información censal, complementada con datos de cámaras, asociaciones, empresas públicas y privadas. El análisis de esta información permitió obtener los componentes del valor bruto de producción, consumo intermedio y del valor agregado bruto.

Los cálculos de los componentes de la demanda final se basaron en las encuestas de ingreso-gasto de los hogares, en registros administrativos del gobierno, en la balanza de pagos y en investigaciones específicas, que permitieron obtener el consumo privado, el consumo de gobierno, la formación bruta de capital y las exportaciones. Mención especial le corresponde al aprovechamiento de los datos que se presentaron



en la cuenta corriente de la balanza de pagos, pues además de permitir los cálculos para las exportaciones, hizo posible construir matrices de importaciones.

La base de datos de tablas IP proporcionadas por el INEGI se pueden en general considerar que es una buena fuente y en un buen nivel de desagregación. Por ejemplo en países como Uruguay, en donde no existe ninguna matriz IP [30], o incluso en la década de los 60's, en Estados Unidos no se tenían matrices tan desagregadas como se tienen hoy en México.

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) también posee tablas IP de los países miembros. Al menos para el caso de México, las tablas de la OCDE se basan en la información proporcionada por INEGI. Esto quiere decir que en realidad son las mismas tablas con la información modificada según los criterios de esta organización. Para realizar el análisis propuesto se emplearán los datos que provienen directamente de la fuente, es decir los del INEGI.

El análisis propuesto se refiere a las últimas dos matrices disponibles, es decir la del año base 2008 y su actualización 2012. Así se obtienen dos matrices IP con las cuales se podrán realizar los cálculos pertinentes. La construcción de éstas dos matrices está detallada más adelante.

### **Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte**

Como se dijo anteriormente, en el SCIAN existen varios niveles de desagregación, que van desde el nivel más agregado: el sector, hasta el más desagregado: la clase. Se implementó un sistema de codificación de las distintas unidades productivas que permite saber el nivel de desagregación y las categorías más grandes a las cuales pertenece dicha unidad productiva. A nivel sector, las unidades productivas se codifican con dos cifras, por ejemplo el sector 11, que corresponde con el sector agropecuario. Después se encuentra el nivel subsector que se codifica con tres cifras, donde las primeras dos denotan el sector que contiene a dicho subsector. Por ejemplo, el subsector 481, subsector transporte aéreo, pertenece al sector 48, sector transporte.

De la misma manera, el nivel rama se codifica con cuatro cifras donde las tres primeras denotan el subsector que contiene a dicha rama y las dos primeras denotan el sector que contiene a dicha rama. Por ejemplo la rama 3311 (siderurgia) pertenece al subsector 331, industrias metálicas básicas, que a su vez pertenece al sector 33, industrias manufactureras. Los subsecuentes niveles de desagregación, subrama y clase, cumplen con lo mismo, pero no son de interés aquí ya que no se tienen datos con tal nivel de desagregación.

### Método de actualización de RAS.

Este método que fue desarrollado por el economista Inglés Richard Stone ([33]), sirve para actualizar los valores de la matriz de coeficientes técnicos de un año base  $t_0$  a otro año  $t_1$ . Esto se logra con base en el conocimiento previo de  $\mathbf{Z}(0)$ ,  $\bar{x}(0)$ ,  $\bar{f}_0$  que componen el modelo IP para el año  $t_0$ , al conocimiento de  $\bar{x}(1)$  y al total de usos y ventas intersectoriales, es decir las sumas por columnas y renglones de la matriz IP para el año  $t_1$  ( $U(1)$  y  $V(1)$ ). Sean

$$U_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} \quad y \quad V_j = \sum_{i=1}^n z_{ij}$$

el total de usos y ventas por sector. Denotemos a  $\mathbf{A}(t)$  la matriz  $\mathbf{A}$  en el año  $t$ . La primera aproximación de  $\mathbf{A}(1)$  es suponer que es igual a la del año base, es decir que los coeficientes técnicos se mantuvieron constantes en el tiempo. Entonces la matriz IP del año  $t_1$  se calcula mediante  $\mathbf{Z}^1(1) = \mathbf{A}(0)\hat{x}(1)$  y con ella se calculan las sumas por columnas y renglones  $U^1$  y  $V^1$ . Si éstos últimos resultaran ser iguales a los datos  $U(1)$  y  $V(1)$  entonces el trabajo está terminado. En general esto no tiene porqué pasar. Dado que esta es la primera aproximación, la matriz  $\mathbf{Z}^1(1)$  lleva el superíndice 1 para indicar el número de aproximación, así como sus sumas por filas y columnas. Supongamos, sin pérdida de generalidad, que las sumas por columnas no coinciden con el dato  $U(1)$ , es decir  $U^1 \neq U(1)$ . Para hacer que sean iguales se

introduce el coeficiente  $r_i^1 = \frac{U_i(1)}{U_i^1}$  y se define la matriz

$$\mathbf{R}^1 = \begin{pmatrix} r_1^1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & r_2^1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_n^1 \end{pmatrix}$$

de tal manera que  $\mathbf{A}^1 := \mathbf{R}^1 \mathbf{A}(0)$  cumple que la suma por renglones es exactamente  $U(1)$ . El siguiente paso es verificar si las sumas por columnas de esta nueva matriz sea  $V(1)$ . En general esto no pasa y se define un nuevo coeficiente  $s_i^1 = \frac{V_i(1)}{V_i^1}$  y análogamente la matriz

$$\mathbf{S}^1 = \begin{pmatrix} s_1^1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & s_2^1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & s_n^1 \end{pmatrix}$$

de tal manera que  $\mathbf{A}^2 := \mathbf{A}^1 \mathbf{S}^1$  cumpla ahora que las sumas por columnas son exactamente  $V(1)$ . El nombre de la metodología se debe a la siguiente ecuación:  $\mathbf{A}^2 = \mathbf{R}^1 \mathbf{A}(0) \mathbf{S}^1$ . Al modificar la matriz  $\mathbf{A}^1$  con  $\mathbf{S}^1$  también lo hacen las sumas por renglones resultantes de la matriz  $\mathbf{A}^2$ . En este caso se tienen que volver a estimar los elementos de  $\mathbf{A}^2$  con el mismo procedimiento que anteriormente definiendo  $r_i^2 := \frac{U_i(1)}{U_i^2}$  y  $s_i^2 := \frac{V_i(1)}{V_i^2}$  siendo  $U^2$  y  $V^2$  las sumas por renglones y columnas de  $\mathbf{A}^2$  respectivamente. Este proceso iterativo se repite hasta que se haya alcanzado el nivel de aproximación deseado. Resulta que este procedimiento iterativo es convergente en el sentido que el paso  $k + 1$  es una mejor aproximación que el paso  $k$ . El número de pasos empleados para el cálculo de la actualización de la matriz IP 2008 no se especifica en la metodología [33].

#### 4.4.2. Balance Nacional de Energía (BNE)

El BNE presenta las estadísticas energéticas a nivel nacional sobre el origen y destino de las fuentes primarias y secundarias de energía durante el año analizado comparado con las de años anteriores. También incorpora información útil para el

análisis del desempeño del sector energético y para el diseño, formulación e implantación de políticas. Es la Secretaría de Energía el organismo encargado de la elaboración y publicación del documento. En general la estructura de los balances nacionales es la misma, pero existen particularidades que los distinguen unos de otros. Dado que las matrices disponibles son de los años 2008 y 2012, se analizarán los balances correspondientes a dichos años.

El BNE 2008 se compone de 6 secciones, mientras que el BNE 2012 tiene 7; todos los balances contienen un anexo estadístico y un anexo metodológico. La diferencia entre el número de secciones se debe a que a partir del 2009 los balances incluyen un apartado sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. En la primer sección se presenta un panorama mundial de los principales flujos de oferta y demanda de energía. Se exponen cifras de los principales países productores, proveedores y consumidores de energía. En la segunda sección se ofrece un panorama nacional macroeconómico. En respuesta a la crisis financiera que se vivió en el 2008, en el balance de ese año se presentan en esta sección cifras del PIB, del valor de las exportaciones e importaciones totales, de la inflación, de los ingresos del sector público, etc. En el BNE 2012 en esta sección se presentan datos más significativos en el contexto energético tales como la intensidad energética, una gráfica comparativa entre la evolución del PIB y de la evolución del consumo nacional de energía, consumo de energía per capita, etc. En la tercera sección se analizan la producción, el comercio exterior, la oferta interna bruta y el consumo nacional de energía. Este último se desglosa en consumo por transformación, consumo no energético y consumo final por sector.

A partir de aquí los BNE 2008 y 2012 cambian la estructura, pues en el 2012 en la cuarta sección se presenta un estimado de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de combustibles en los sectores energético, transporte e industrial, así como las emisiones asociadas a las actividades de las industrias del carbón, petróleo y gas. Se incluyen estimaciones en términos de  $CO_2$  equivalente para tres gases distintos: bióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ). En la siguiente sección, la cuarta y quinta respectivamente en el orden cronológico, se muestra la evolución de los precios y tarifas de los energéticos. Se

Tabla 4.1: Estructura general del balance de energía en México.

Producción	Energía Primaria	Energía Secundaria
Trasformación		
Consumo final		

fuente: elaboración propia.

incluye también una descripción de los precios medios de exportación del crudo, precios del gas natural, precios al público de los principales productos refinados y precios medios de las tarifas eléctricas. Las siguientes dos y últimas secciones se presentan los balances de energía a nivel nacional y regional, respectivamente. Es de esta parte que se obtuvieron la mayor parte de los datos empleados para el cálculo de la matriz de impactos totales de la definición 4.4. El anexo estadístico del balance presenta información complementaria a los balances presentados. Dicha información es en general comparada con años anteriores y presenta un nivel de detalle mayor. Por ejemplo se muestra el desglose del consumo de energía del sector industrial en los 17 u 16 -según el año en cuestión- sectores industriales. Finalmente en el anexo metodológico del balance se muestran las definiciones de los productos energéticos, parámetros empleados en el balance, y significado de los diversos sectores energéticos y no energéticos involucrados.

Como se muestra en la tabla 4.1, el balance de energía es un cuadro que está dividido verticalmente en dos partes que corresponden a energía primaria y secundaria. La energía primaria está compuesta por carbón, petróleo crudo, gas, nucleoeenergía, hidroenergía, energías renovables, bagazo de caña y leña. La energía secundaria está compuesta por coque de carbón y petróleo, productos petrolíferos como gasolinas y diesel entre otros, gas licuado y seco, y electricidad.

Horizontalmente el balance se divide en tres partes: Producción de energía ya sea primaria o secundaria, transformación de energía primaria a secundaria y consumo final de energía. Dentro de la producción de energía primaria se encuentran la minería del carbón, la extracción de petróleo y gas, las centrales nucleares e hidroeléctricas,

y el aprovechamiento de energías renovables. En los centros de transformación se encuentran las coquizadoras que transforman el carbón en coque, las refinerías que destilan el petróleo y las centrales eléctricas públicas y de Productores Independientes de Electricidad (PIE) que producen electricidad con hidrocarburos primarios y secundarios, fuentes nucleares, hídricas y renovables. La distribución porcentual del uso de los distintas fuentes de energía primaria se le llama el "mix eléctrico". La última división, consumo final, se divide en dos subdivisiones: consumo final no energético y consumo final energético. El primero se refiere al consumo de bienes energéticos tal como gasolinas, naftas y gas seco, para su transformación en bienes no energéticos tal como los plásticos y productos farmacéuticos. El consumo energético se compone del consumo residencial, comercial, público, transporte, agropecuario e industrial. El consumo del sector industrial está desglosado en 17 sectores para el año 2008 y 16 sectores para el año 2012:

- PEMEX Petroquímica (PPQ)
- Siderurgia
- Química
- Azúcar
- Cemento
- Minería
- Celulosa y papel
- Vidrio
- Cerveza y malta
- Fertilizantes
- Automotriz
- Aguas envasadas

- Construcción
- Hule
- Aluminio<sup>1</sup>
- Tabaco
- Otras ramas

Esta selección de las industrias relevantes se basa en el nivel de consumo que representan estas industrias. A partir del BNE 2011 se hace coincidir esta desagregación conforme a las categorías establecidas por el SCIAN como se muestra en la tabla 4.2.

## 4.5. Construcción del modelo IP para México

La construcción del modelo IP, es decir la determinación del número y naturaleza de los sectores se basa primero en la información que se contenida en el BNE y segundo en las matrices IP proporcionadas por el INEGI. Naturalmente los balances energéticos considerados deben coincidir con los años correspondientes a las tablas IP, es decir el BNE 2008 y el BNE 2012.

Como se dijo anteriormente éstos se componen horizontalmente de 3 bloques, producción de energía primaria, centros de transformación, y consumo final del cual se distingue entre los sectores industriales, comercial, gubernamental, y residencial. Para la construcción del modelo IP es necesario tener una demanda final que sea exógena al sistema, que en este caso correspondería a los sectores gubernamental y residencial. Los demás sectores e industrias, centros de transformación, y producción de energía primaria deben ser variables endógenas sistema, por lo que son éstos los que serán los sectores que definen la economía.

---

<sup>1</sup>Esta industria se elimina a partir del BNE 2011

Tabla 4.2: Tabla comparativa de los sectores industriales del BNE 2012 y los del SCIAN

Balance nacional de energía	Sector		Subsector		Rama		Subrama	
	Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre
Siderurgia	33	Industrias manufactureras	331	Industrias metálicas	3311	Industria básica del hierro y acero		
Cemento	32	Industrias manufactureras	327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	3273	Fabricación de cemento y productos de concreto	32731	Fabricación de cemento y productos de cemento en plantas integradas
Azúcar	31	Industrias manufactureras	311	Industria alimentaria	3113	Elaboración de azúcares, dulces, chocolates y similares	31131	Elaboración de azúcares
Química	32	Industrias manufactureras	325	Industria química	3251	Fabricación de productos químicos básicos		
					3252	Fabricación de resinas, hules sintéticos y fibras químicas		
					3254	Fabricación de productos farmacéuticos		
					3255	Fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos		
					3256	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador		
					3259	Fabricación de otros productos químicos		
			326	Fabricación de productos de plástico				
Minería	21	Minería	212	Minería de minerales metálicos y no metálicos	2121	Minería de carbón mineral		
					2122	Minería de minerales metálicos Minería de minerales no metálicos		



Balance nacional de energía	Sector		Subsector		Rama		Subrama	
	Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre
			213	Servicios relacionados con la minería				
Celulosa y papel	32	Industrias manufactureras	322	Industria del papel	3221	Fabricación de pulpa papel y cartón		
Vidrio	32	Industrias manufactureras	327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	3272	Fabricación de vidrio y productos de vidrio.		
Cerveza y malta	31	Industrias manufactureras	312	Industria de las bebidas y el tabaco	3121	Industria de las bebidas	31212	Elaboración de cerveza
Aguas envasadas	31	Industrias manufactureras	312	Industria de las bebidas y el tabaco	3121	Industria de las bebidas	31211	Elaboración de refrescos, hielo y otras bebidas no alcohólicas, y purificación y embotellado de agua.
Construcción	23	Construcción						
Automotriz	33	Industrias manufactureras	336	Fabricación de equipo de transporte	3361	Fabricación de automóviles y camiones		
Hule	32	Industrias manufactureras	326	Industria del plástico y el hule	3262	Fabricación de productos de hule		
Fertilizantes	32	Industrias manufactureras	325	Industria química	3253	Fabricación de fertilizantes pesticidas y otros agroquímicos		
Tabaco	31	Industrias manufactureras	312	Industria de las bebidas y el tabaco	3122	Industria del tabaco		

fuentes: Balance Nacional de Energía , [36, p. 139].

Un gran inconveniente que se tiene al tratar de emparejar los sectores que aparecen en el BNE 2008 y las categorías empleadas en las matrices IP es la construcción misma del BNE. En el anexo metodológico del BNE 2008 [37, p. 135], dice claramente que se analizan únicamente las industrias más representativas del consumo energético (las que más consumen) y se hace énfasis en que no coincide con la desagregación que hace el INEGI en las cuentas nacionales, es decir el SCIAN. No es hasta el 2011 que el BNE presenta una tabla comparativa de las industrias cuyos consumos energéti-

cos son independientemente analizados con categorías del SCIAN. En la tabla 4.2 se presenta dicha información. En esta tabla comparativa sólo se incluyen las unidades productivas que pertenecen a la categoría de industrias en el BNE. Para completar toda la información contenida en el balance, hace falta asignar algún conjunto de categorías del SCIAN a los sectores productores de energía primaria y secundaria, el sector transporte, agropecuario y comercial. Por este motivo es necesario hacer una comparación uno a uno de los sectores que aparecen en el BNE con los que aparecen en el SCIAN. Esta comparación junto con las descripciones detalladas se encuentran en el Anexo B. Ahí se muestra la tabla B.2 que a cada energético primario considerado en el BNE le asigna una categoría del SCIAN. La tabla B.3 presenta la asignación de alguna categoría del SCIAN a los centros de transformación que aparecen en el BNE.

Basándose en la tabla comparativa que se propone en el BNE 2012 (tabla 4.2) y en las tablas del Anexo B (tablas B.2 y B.3) se ha elaborado la tabla 4.3, que es la desagregación final que se empleará para modelar la economía en el contexto del IP. Es a esta tabla que hay que referirse de aquí en adelante. Un problema general que se detecta al observar la tabla 4.3 es que algunos centros productivos tienen su correspondiente asignación a un nivel de subrama. En las matrices IP que el INEGI proporciona el máximo nivel de desagregación es el de rama, es decir un código de 4 dígitos. Así que se va a tener que truncar el nivel de desagregación de las unidades productivas involucradas, hasta máximo el nivel disponible, es decir el de rama (4 dígitos). Otras particularidades surgieron en la generación de la tabla 4.3, las cuales se detallan a continuación:

1. Extracción de carbón. En el SCIAN se encuentra esta categoría en la ramas industriales (2121) que está incluido en el subsector: 212 "Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas". En la tabla del BNE se incluye la minería de carbón mineral en la industria minera. Dados los fines del estudio es necesario separar esta categoría, y estimar el consumo propio de la minería de carbón que no aparece en el balance. Para esto se estimó el consumo con base en PIB que representa cada una de las ramas con respecto al total de minería. Por ejemplo para el caso del año 2012 se encontró que la minería de carbón representa aproximadamente 4% del PIB de la industria minera, por

lo que el consumo de energía para la minería de carbón se estima en la misma proporción con respecto al consumo total de la industria. (Tablas C.1 y C.2)

2. Extracción de petróleo, gas y condensados. La categoría 211 que es el subsector “extracción de petróleo y gas” está en su máximo nivel de desagregación, pues la única rama perteneciente al subsector 211, es la rama 2111 y ambas llevan el mismo nombre según el SCIAN.
3. Bagazo de caña. El bagazo de caña es producido por la industria del azúcar, que es consumido mayormente por esa misma industria que representa un 90% del consumo de este energético ([37], [36]). Hasta el 2008 la unidad productora de pulpa y papel usaba bagazo de caña y desde entonces se usa en “otras ramas industriales”. Los intercambios de bagazo de caña entre las industrias está codificado en los datos obtenido en la matriz IP empleada, por lo que no es necesario crear una categoría dentro del modelo para contabilizarlos.
4. Leña. Es usual que la leña se contabilice como un energético primario y en el BNE se considera que toda la leña se consume en el sector residencial, cuando también se usa en el sector industrial artesanal y en el sector comercial. Como hipótesis adicional se considerará que la leña se produce también en el sector residencial. El consumo de leña es equiparable al consumo de gas en los hogares, es decir representa un consumo importante. Sería pertinente considerar una categoría especial para este producto debido a la importante cantidad de energía que representa. Dado que sólo se consume en el sector residencial, en la matriz IP que se quiere obtener aparecerían únicamente ceros en este renglón, lo cual causará que la matriz de coeficientes técnicos asociada no sea invertible, es decir que no exista una matriz de Leontief. Por esta razón no se incluye ninguna categoría que represente la producción de este bien energético.
5. Coquizadoras, despuntadoras, refinerías, plantas de gas, etc. Es necesario fusionar todos estos centros de transformación pues en el SCIAN la rama correspondiente es “Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón” cuyo código es 3241. Esta rama es la única perteneciente al subsector 324 que lleva el mismo nombre.

6. Centrales eléctricas. En el subsector 221 “Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica” están incluidas todo tipo de generación eléctrica, la única rama perteneciente a este subsector, la 2211 lleva el mismo nombre. No es posible diferenciar entre las distintas formas de generar energía eléctrica por ejemplo entre la energía nuclear, hidroenergía, geoenergía, eólica, derivados de petróleo y gas. No existe clasificación exacta para cada uno de estos tipos de industrias. Más aún, la energía nuclear, la hidroenergía, etc es usual considerarlas como energía primaria, mientras que los derivados del petróleo y gas se consideran como energía secundaria. Es necesario fusionar todas las formas de generación de energía eléctrica pues la matriz IP así está construida. No obstante es posible extraer la información desagregada por tipo de producción mediante el “mix eléctrico” postulado, esto con el fin de poder calcular las emisiones asociadas a la producción/consumo.
7. Agropecuario. Esta industria corresponde exactamente al sector de SCIAN número 11 cuyo nombre es “Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza”.
8. Transporte Aéreo. Esta industria corresponde exactamente con el subsector 481 “Transporte aéreo”, incluyendo todas las ramas.
9. Transporte ferroviario. Esta industria corresponde exactamente con el subsector 482 incluyendo todas sus ramas.
10. Transporte marítimo. Esta industria corresponde exactamente con el subsector 483 “Transporte por agua”, incluyendo todas sus ramas.
11. Autotransporte. En el BNE se estipula que en el autotransporte se incluye el transporte de carga y el transporte de pasajeros. Es por esto que esta industria está compuesta de los dos subsectores 484 y 485 que respectivamente se llaman “autotransporte de carga” y “Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril”. Aunque el nombre del sector 485 precise que se exceptúa el transporte de pasajeros por ferrocarril, éste incluye el transporte por metro y tren ligero. Por esta razón y porque en el anexo metodológico del balance se

especifica que el consumo del transporte eléctrico es el total de energía eléctrica consumida en el servicio público de transporte eléctrico para la movilización de personas (Metro D.F. y Monterrey, trolebuses en DF, tren eléctrico urbano Guadalajara y tren suburbano en el D.F. y Estado de México), dicho consumo se adjudicará a esta categoría.

12. PEMEX Petroquímica (PPQ). En la tabla proporcionada en el BNE se incluye en la industria química, no obstante en el balance existen los datos de consumo energético para PPQ. La rama que le corresponde es la número 3251 cuyo nombre es “Fabricación de productos químicos básicos”.
13. Siderurgia. Esta industria corresponde exactamente con la rama 3311 “Fabricación de productos básicos del hierro y el acero”.
14. Química. El subsector 325 “Industria química” contiene las ramas 3251 y 3253 que corresponden a PPQ y la fabricación de fertilizantes. La industria química contiene las ramas 3252 “Fabricación de resinas, hules sintéticos y fibras químicas”, 3254 “Fabricación de productos farmacéuticos”, 3255 “Fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos”, 3256 “Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador”, 3259 “Fabricación de otros productos químicos”. En adición, en la tabla se incluye la rama 3261 “Fabricación de productos de plástico” que está incluida en el subsector 326 “Industria del plástico y el hule”.
15. Industria azucarera. Sólo incluye la fabricación de azúcares a partir de caña y betabel y corresponde exactamente con la subrama 31131 “Elaboración de azúcares”. El nivel de desagregación máximo disponible es el de rama, así la rama correspondiente a la industria azucarera se fija en 3113 “Elaboración de azúcares, dulces, chocolates y similares”. Esta rama, como su nombre lo indica, incluye la fabricación de dulces y chocolates. Se puede considerar que la industria azucarera es la que más consume energía con respecto a las otras subramas presentes en la rama 3113, por lo que no se inducen errores muy grandes con respecto a lo que se busca.

16. Cemento. Nuevamente según la tabla 4.2 la industria del cemento corresponde exactamente con la subrama 32731 “Fabricación de cemento y productos de cemento en plantas integradas”. Nuevamente se tiene que truncar a la rama 3273 “Fabricación de cemento y productos de concreto”. Esta rama incluye la fabricación del cemento, concreto y productos a base de cemento como tubos y bloques. Se puede considerar que la industria del cemento es la que más consume energía con respecto a las otras subramas presentes en la rama 3273, por lo que no se inducen errores muy grandes con respecto a lo que se busca.
17. Minería. Como se dijo en el punto número 1, en la tabla 4.2 se incluye la extracción de carbón en la industria minera. La industria minera representará las ramas 2122 y 2123 llamadas “Minería de minerales metálicos” y “Minería de minerales no metálicos”. Adicionalmente se incluye el subsector 213 “Servicios relacionados con la minería”.
18. Celulosa y papel. Esta categoría corresponde exactamente con la rama 3221 “Fabricación de pulpa de papel y cartón”.
19. Fabricación de vidrio. Esta industria corresponde exactamente con la rama 3272 “Fabricación de vidrio y productos de vidrio”.
20. Fabricación de aguas envasadas, Industria de la cerveza y malta. Ambas Industrias pertenecen a la misma rama, la 3121 “Industria de las bebidas” que está en el nivel máximo de desagregación disponible. Por lo tanto ambas industrias serán fusionadas en la industria de las bebidas.
21. Fertilizantes. Esta industria corresponde exactamente con la rama 3253 “Fabricación de fertilizantes pesticidas y otros agroquímicos”.
22. Automotriz. Esta industria corresponde exactamente con la rama 3361 “Fabricación de automóviles y camiones”.
23. Construcción. Esta industria corresponde exactamente con el sector 23 “Construcción”.

24. Hule. Esta industria corresponde exactamente con la rama 3262 “Fabricación de productos de hule”.
25. Aluminio. Esta industria ha desaparecido del BNE a partir del 2011. Se puede identificar esta industria con la rama 3313 “Industria básica del aluminio”. Se puede hacer una estimación del consumo con base en balances de años anteriores, en donde sí aparezca este sector. Para esto se tomó el último balance que contiene el consumo de este sector, el BNE 2010 [38], y con base en el consumo energético de los últimos 10 años del sector, se determina una curva polinómica de grado 3 que se ajuste mejor al comportamiento observado. Así, se evalúa la función para el año 2012 para luego determinar el consumo para este año. (Tabla C.3).
26. Elaboración de productos de tabaco. Esta industria corresponde exactamente con la rama 3122 “Industria del tabaco”.
27. Comercio. Según el anexo metodológico del BNE, el consumo del comercio representa el consumo de energía en locales comerciales, restaurantes, hoteles, entre otros. Sus correspondientes categorías del SCIAN son el sector 46 “Comercio al por menor” que representa a los locales comerciales y el sector 72 “Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas” que corresponde con hoteles y restaurantes.
28. Otras ramas. En esta categoría se incluyen todas las demás ramas del SCIAN que no se consideran antes.

Tabla 4.3: Desagregación sectorial de la economía Mexicana empleada para construir el modelo IP.

#	Sector productor	Sector		Subsector		Rama	
		Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre
1	Minería de Carbón mineral	21	Minería	212	Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas.	2121	Minería de Carbón mineral
2	Producción de Petróleo y Gas	21	Minería	211	Extracción de petróleo y gas	2111	Extracción de petróleo y gas
3	Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón.	32	Industrias Manufactureras	324	Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón	3241	Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón
4	Generación de energía eléctrica	22	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final.	221	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica	2211	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica
5	Agropecuario	11	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal pesca y caza.				
6	Transporte Aéreo	48	Transportes, correos y almacenamiento.	481	Transporte Aéreo	4811 4812	Transporte aéreo regular Transporte aéreo no regular
7	Transporte Ferroviario	48	Transportes, correos y almacenamiento.	482	Transporte por ferrocarril	4821	Transporte por ferrocarril
8	Transporte Marítimo	48	Transportes, correos y almacenamiento.	483	Transporte por agua	4831	Transporte marítimo
9	Autotransporte	48	Transportes, correos y almacenamiento.	484 485	Autotransporte de carga Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril		
10	PEMEX PQ	32	Industrias Manufactureras	325	Industria Química	3251	Fabricación de productos químicos básicos
11	Siderurgia	33	Industrias manufactureras	331	Industrias metálicas	3311	Industria básica del hierro y acero



#	Sector productor	Sector		Subsector		Rama	
		Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre
12	Industria Química	32	Industrias manufactureras	325	Industria química	3251	Fabricación de productos químicos básicos.
						3252	Fabricación de resinas, hules sintéticos y fibras químicas.
						3254	Fabricación de productos farmacéuticos.
						3255	Fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos.
						3256	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador.
						3259	Fabricación de otros productos químicos.
						3261	Fabricación de productos de plástico.
13	Industria del azúcar	31	Industrias manufactureras	311	Industria alimentaria	3113	Elaboración de azúcares, dulces, chocolates y similares.
14	Industria del Cemento	32	Industrias manufactureras	327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	3273	Fabricación de cemento y productos de concreto.
15	Minería	21	Minería	212	Minería de minerales metálicos y no metálicos	2122	Minería de minerales metálicos
				213	Servicios relacionados con la minería	2123	Minería de minerales no metálicos
16	Celulosa y papel	32	Industrias manufactureras	322	Industria del papel	3221	Fabricación de pulpa papel y cartón
17	Vidrio	32	Industrias manufactureras	327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	3272	Fabricación de vidrio y productos de vidrio.
18	Bebidas embotelladas	31	Industrias manufactureras	312	Industria de las bebidas y el tabaco	3121	Industria de las bebidas

#	Sector productor	Sector		Subsector		Rama	
		Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre
19	Fertilizantes	32	Industrias manufactureras	325	Industria química	3253	Fabricación de fertilizantes pesticidas y otros agroquímicos.
20	Industria automotriz	33	Industrias manufactureras	336	Fabricación de equipo de transporte	3361	Fabricación de automóviles y camiones
21	Construcción	23	Construcción				
22	Hule	32	Industrias manufactureras	326	Industria del plástico y el hule	3262	Fabricación de productos de hule
23	Aluminio	33	Industrias Manufactureras	331	Industrias metálicas básicas	3313	Industria básica del aluminio
24	Tabaco	31	Industrias manufactureras	312	Industria de las bebidas y el tabaco	3122	Industria del tabaco
25	Comercio	46 72	Comercio al por menor Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas				
26	Otras industrias	NA	NA	NA	NA	NA	NA

fuelle: elaboración propia.

Una vez fijados los 26 sectores que componen la economía (tabla 4.3), es necesario elaborar la matriz IP en donde se describan los intercambios entre ellos. Para esto se utilizaron las matrices producto por producto, domésticas a precios básicos en millones de pesos para los años 2008 y 2012, desagregadas a nivel de rama. Por ejemplo el elemento  $z_{12,18}$ , se tiene en el renglón el sector número 12 (Industria química) que está compuesto por 7 ramas del SCIAN y en la columna el sector número 18 (Bebidas embotelladas) que está compuesto por una sola rama del SCIAN. Entonces se deben buscar todos los renglones correspondientes a la Industria química contra la columna que corresponde a las bebidas embotelladas y sumarlos. Otro ejemplo con el elemento  $z_{5,15}$ , se tiene en el renglón al sector Agropecuario (5) que aparece como un sector del SCIAN y en la columna la Minería (15). El sector agropecuario está compuesto por 19 ramas y la Minería está compuesta por dos ramas y un subsector. Entonces se deben buscar todos los renglones correspondientes a las ramas que componen el sector Agropecuario contra las columnas que corresponden a la dos ramas y al subsector

que componen la Minería y nuevamente sumarlos. Para determinar los elementos del sector número 26 (Otras ramas) el procedimiento es un poco distinto. Por ejemplo para determinar el elemento  $z_{126}$  lo que se hizo fue primero determinar el total de demanda intermedia del sector 1 (que se encuentra en las matrices IP disponibles, y es la suma del valor monetario de los productos vendidos a otros sectores). Luego se determinó la suma del valor de los productos del sector 1 vendidos a los demás sectores considerados, es decir la suma por renglones. La diferencia entre el total de demanda intermedia y la suma del valor de los productos que el sector 1 le vendió a los demás sectores es el elemento  $z_{126}$ . Para el elemento simétrico  $z_{261}$  el proceso es similar, se determina el total de usos nacionales del sector 1 y se resta con la suma por columnas de los datos recabados para el sector 1. Para facilitar esta tarea se emplearon los códigos del SCIAN que aparecen en la tabla 4.3.

Para finalizar con la construcción del modelo se necesitó determinar el consumo de energía para cada sector considerado para tener la distribución del consumo energético, dada por el vector  $\vec{f}'$  de la definición 4.3. Para esto se emplearon los datos de los consumos de energía para las ramas industriales, el sector agropecuario y transporte de los años 2008 y 2012. En el caso de los sectores energéticos los datos empleados se obtuvieron a través de los renglones del BNE "Energía no aprovechada", "Consumo propio del sector", "Recirculaciones" y "Pérdidas". En particular para el sector 4 (Generación de energía eléctrica) se considera como consumo los insumos energéticos para la transformación tales como carbón, gas y productos refinados, y los insumos de energía primaria tales como la energía nuclear, hidráulica, y renovable en general. Las excepciones a estas reglas generales son los sectores número 1 y 23 (Extracción de carbón y Aluminio), cuyos consumos son estimaciones propias. (Tablas C.1, C.2 y C.3). Para la obtención del vector de distribución de emisiones de  $CO_2$ -equivalente, se determinó mediante el balance la matriz de usos de combustibles  $\Upsilon$  y mediante los factores de emisión publicados por el IPCC [29] (tablas D.1 y ??).

Se obtuvieron dos matrices IP en millones de pesos que reflejan los intercambios entre los sectores seleccionados para los años 2008 y 2012. Estas matrices se muestran en el Anexo C (tablas C.4 y C.5), junto con las demandas finales y producciones

totales asociadas (tablas C.4 C.6). En dicho anexo se encuentran los detalles del modelo IP construido, se pueden ver las matrices IP, las demandas finales, producciones totales y la matriz de Leontief. En el Anexo D hay otras matrices y vectores que se emplean para llevar a cabo el cálculo de las matrices de impactos de energía y emisiones. En el Anexo E las tablas E.1 y E.2 muestran las matrices de impactos  $\mathbf{E}^f$ , y las tablas E.3 y E.4 muestran las matrices de impactos de emisiones  $\mathbf{C}^f$ .



# Capítulo 5

## Análisis de resultados

Hay que verificar que el modelo está bien construido y que tiene coherencia interna, en el sentido de que con los sectores definidos sin considerar otras ramas, (lo que se hizo fue asignarle a este sector todo lo que falta describir que no esté ya descrito) se de al menos la mayor cantidad de intercambios interindustriales entre ellos. Por ejemplo el mejor modelo sería aquel que con los sectores escogidos se den la totalidad de sus intercambios entre ellos, sin tener que recurrir a un sector llamado "otras ramas" que concentra información inconexa. Para evaluar el grado de coherencia interna se han definido dos coeficientes por sector, los cuales representan la proporción de los usos y ventas entre los 25 sectores (todos excepto "Otras ramas") con respecto al total de usos y ventas del sector. Matemáticamente esto se define como sigue:

**Definición 5.1.** El coeficiente de usos del sector  $i$ ,  $\mathfrak{U}_i$ , y el coeficiente de ventas del sector  $j$ ,  $\mathfrak{V}_j$  se definen como:

$$\mathfrak{U}_i := \frac{\sum_{j=1}^{25} z_{ij}}{\sum_{j=1}^{26} z_{ij}}$$
$$\mathfrak{V}_j := \frac{\sum_{i=1}^{25} z_{ij}}{\sum_{i=1}^{26} z_{ij}}.$$

Ambos se anotan en porcentaje.

En otras palabras los coeficientes de usos y ventas son una medida de la información que se conoce. Como se puede ver en las tablas 5.1 y 5.2 el promedio de los

Tabla 5.1: Coeficientes de usos y ventas, modelo del año 2008.

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ⓜ	70 %	70 %	96 %	78 %	67 %	18 %	47 %	29 %	72 %	94 %	89 %	72 %	77 %
Ⓜ	99 %	100 %	71 %	49 %	24 %	15 %	62 %	59 %	57 %	87 %	57 %	48 %	62 %
Sector	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Promedio
Ⓜ	63 %	37 %	88 %	62 %	52 %	88 %	51 %	62 %	78 %	67 %	34 %	26 %	68 %
Ⓜ	95 %	58 %	19 %	78 %	80 %	97 %	100 %	91 %	65 %	50 %	100 %	54 %	61 %

fuente: elaboración propia.

Tabla 5.2: Coeficientes de usos y ventas, modelo del año 2012.

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ⓜ	92 %	66 %	98 %	93 %	73 %	68 %	52 %	26 %	77 %	94 %	93 %	75 %	81 %
Ⓜ	99 %	100 %	77 %	47 %	25 %	14 %	55 %	55 %	51 %	82 %	46 %	63 %	60 %
Sector	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Promedio
Ⓜ	81 %	47 %	77 %	71 %	55 %	87 %	54 %	65 %	80 %	68 %	66 %	34 %	71 %
Ⓜ	98 %	50 %	20 %	78 %	79 %	98 %	99 %	87 %	56 %	35 %	98 %	49 %	65 %

fuente: elaboración propia.

coeficientes de usos y ventas es mayor al 60 %, lo cual indica que alrededor del 40 % de la información de flujos intersectoriales se desconoce. Existe un gran disparidad entre los valores de Ⓜ y Ⓜ, por ejemplo el sector 2 ("Minería de carbón") tiene como insumos el 70 % de productos de las industrias elegidas y el 100 % de su producto es utilizado por las mismas. Por otro lado se tiene el sector 6 ("Transporte aéreo") cuyos coeficientes de uso y ventas son respectivamente 18 % y 15 %, es decir que más del 80 % de la información de los flujos interindustriales de este sector son desconocidos. Salvo alguna excepciones se puede ver que se alcanzan coeficientes mayores al 50 %, lo cual indica que el modelo no carece de coherencia interna.

## 5.1. Uso de la energía

Para el año 2008 se calculó que la mediana de los impactos distributivos es  $8,62 \times 10^{-3}$  y la de los impactos totales es  $4,62 \times 10^{-3}$ . Así mismo, para el año 2012 se encontró que la mediana de los impactos distributivos es  $6,74 \times 10^{-3}$  y la de los impactos totales es  $4,28 \times 10^{-3}$ .

Tabla 5.3: Impactos distributivos y totales, energía, año 2008.

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Impactos totales</b>	$2.65 \times 10^{-4}$	$7.42 \times 10^{-2}$	$4.43 \times 10^{-1}$	$1.91 \times 10^{-1}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$9.43 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-3}$
Impactos distributivos	$8.19 \times 10^{-4}$	$3.74 \times 10^{-2}$	$1.93 \times 10^{-1}$	$8.52 \times 10^{-2}$	$1.19 \times 10^{-2}$	$8.58 \times 10^{-3}$	$3.59 \times 10^{-3}$
	8	9	10	11	12	13	14
<b>Impactos totales</b>	$2.85 \times 10^{-3}$	$1.61 \times 10^{-1}$	$2.00 \times 10^{-3}$	$1.97 \times 10^{-2}$	$7.39 \times 10^{-3}$	$7.49 \times 10^{-3}$	$1.09 \times 10^{-2}$
Impactos distributivos	$2.46 \times 10^{-3}$	$2.44 \times 10^{-1}$	$9.04 \times 10^{-3}$	$8.66 \times 10^{-3}$	$1.26 \times 10^{-2}$	$7.96 \times 10^{-3}$	$1.03 \times 10^{-3}$
	15	16	17	18	19	20	21
<b>Impactos totales</b>	$5.29 \times 10^{-3}$	$3.74 \times 10^{-3}$	$3.95 \times 10^{-3}$	$2.35 \times 10^{-3}$	$2.92 \times 10^{-4}$	$7.43 \times 10^{-4}$	$8.79 \times 10^{-4}$
Impactos distributivos	$8.45 \times 10^{-3}$	$9.79 \times 10^{-2}$	$2.69 \times 10^{-3}$	$9.74 \times 10^{-3}$	$5.49 \times 10^{-4}$	$9.08 \times 10^{-3}$	$6.16 \times 10^{-2}$
	22	23	24	25	26	<b>Mediana</b>	
<b>Impactos totales</b>	$5.86 \times 10^{-4}$	$3.13 \times 10^{-4}$	$3.10 \times 10^{-5}$	$9.04 \times 10^{-3}$	$3.10 \times 10^{-2}$	$4.62 \times 10^{-3}$	
Impactos distributivos	$3.94 \times 10^{-4}$	$2.33 \times 10^{-4}$	$5.10 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-1}$	$1.25 \times 10^{-3}$	$8.62 \times 10^{-3}$	

fuente: elaboración propia.

Tabla 5.4: Impactos distributivos y totales, energía, año 2012.

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Impactos totales</b>	$1.59 \times 10^{-4}$	$4.66 \times 10^{-2}$	$4.37 \times 10^{-1}$	$2.06 \times 10^{-1}$	$1.21 \times 10^{-2}$	$9.15 \times 10^{-3}$	$1.99 \times 10^{-3}$
Impactos distributivos	$7.46 \times 10^{-5}$	$2.59 \times 10^{-2}$	$1.70 \times 10^{-1}$	$8.94 \times 10^{-2}$	$1.22 \times 10^{-2}$	$1.53 \times 10^{-2}$	$5.22 \times 10^{-3}$
	8	9	10	11	12	13	14
<b>Impactos totales</b>	$2.47 \times 10^{-3}$	$1.59 \times 10^{-1}$	$8.03 \times 10^{-3}$	$1.57 \times 10^{-2}$	$6.84 \times 10^{-3}$	$3.12 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$
Impactos distributivos	$2.16 \times 10^{-3}$	$2.44 \times 10^{-1}$	$6.77 \times 10^{-3}$	$6.71 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-2}$	$5.53 \times 10^{-3}$	$1.22 \times 10^{-3}$
	15	16	17	18	19	20	21
<b>Impactos totales</b>	$4.35 \times 10^{-3}$	$3.43 \times 10^{-3}$	$4.21 \times 10^{-3}$	$1.95 \times 10^{-3}$	$9.59 \times 10^{-5}$	$1.08 \times 10^{-3}$	$9.98 \times 10^{-4}$
Impactos distributivos	$4.86 \times 10^{-3}$	$9.20 \times 10^{-4}$	$3.19 \times 10^{-3}$	$1.18 \times 10^{-2}$	$5.56 \times 10^{-4}$	$9.86 \times 10^{-3}$	$5.89 \times 10^{-2}$
	22	23	24	25	26	<b>Mediana</b>	
<b>Impactos totales</b>	$6.92 \times 10^{-4}$	$1.96 \times 10^{-4}$	$3.93 \times 10^{-5}$	$9.62 \times 10^{-3}$	$5.44 \times 10^{-2}$	$4.28 \times 10^{-3}$	
Impactos distributivos	$1.65 \times 10^{-3}$	$3.22 \times 10^{-4}$	$7.17 \times 10^{-5}$	$5.53 \times 10^{-2}$	$2.55 \times 10^{-1}$	$6.74 \times 10^{-3}$	

fuente: elaboración propia.





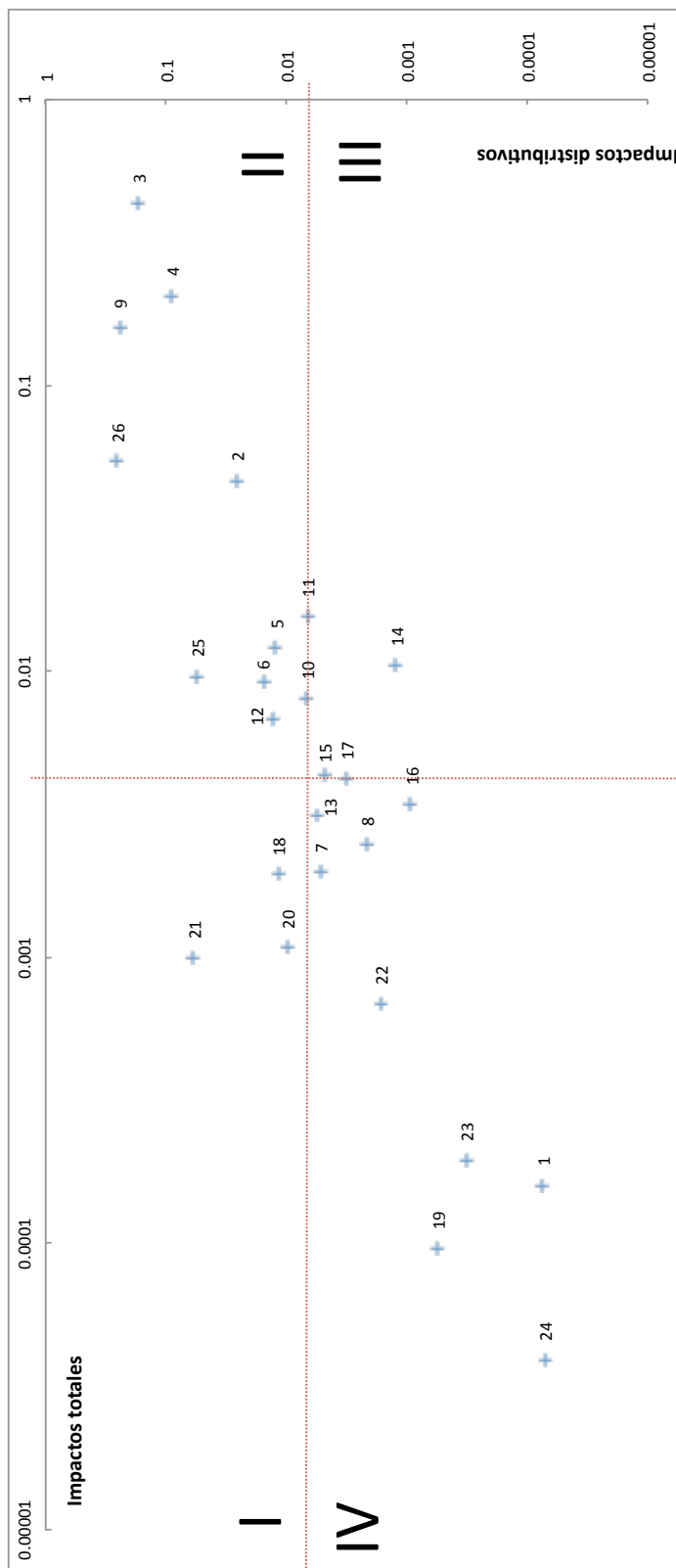


Figura 5.2: Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos de energía, año 2012.

Las gráficas de los sectores se presentan en la figuras 5.1 y 5.2, las cuales contienen el número del sector y las rectas definidas por las respectivas medianas que delimitan las 4 regiones, de tal manera que a partir de ellas es fácil determinar cuales son los sectores que pertenecen a las distintas clasificaciones que se detallan en la tabla 5.5. Antes recordemos que el efecto distributivo es el efecto que existe en el sector debido a un aumento de 1% en toda la economía (en todos los demás sectores). El efecto total es el efecto que la economía (los demás sectores) tiene al aumentar de 1% la demanda final de un sector. En general los impactos distributivos miden el grado en el que los sectores son consumidores de insumos de otros sectores y los impactos totales miden el grado en el que los sectores son productores de bienes para otros sectores [15].

- Región I: Efectos distributivos mayores que la mediana y efectos totales menores que la mediana. Estos sectores son sensibles a los cambios en su propia demanda final. Por el contrario, el cambio en la demanda final de estos sectores tiene poco impacto sobre los demás. En esta región aparecen sectores como el 18 (bebidas embotelladas) y el 20 (automotriz).
- Región II: Impactos totales y distributivos mayores que la mediana. Son los sectores cuyo aumento en la demanda final impacta mucho en la economía y a su vez el aumento en la demanda final de los demás sectores tiene mucho impacto en ellos. Aquí se encuentran tres de cuatro sectores energéticos (producción de crudo, refinados y electricidad), además de otros sectores como PEMEX Petroquímica y la industria química.
- Región III: Impactos totales mayores que la mediana y efectos distributivos menores que la mediana. El aumento en la demanda final de estos sectores impacta mucho en la economía. Pero el aumento en la demanda final de los demás sectores no impacta mucho en estos sectores, es decir que son sectores cuyos productos sirven como insumos a otras industrias y son sensibles a los cambios en las demandas finales de los demás sectores. En esta región se encuentran

sectores como la siderurgia y la fabricación de cemento, que son sectores que proveen a la economía de sus productos básicos.

- Región IV: Impactos totales y distributivos menores que la mediana. Estos sectores están de cierta manera "desconectados" de la economía pues ni el aumento en la demanda final impacta demasiado en la economía, ni el aumento de la demanda final de la economía impacta mucho en ellos. Aquí se encuentran sectores tales como la industria del aluminio, fabricación de fertilizantes y fabricación de productos de hule.

De la tabla 5.5 se puede observar que la mayoría de los sectores pertenecen a la misma región en ambos años. Hay cinco sectores que sufrieron cambios durante el periodo 2008-2012, estos son: Transporte aéreo (6), PEMEX PQ (10), Industria del azúcar (13) y Minería (15). En el 2012 los sectores 6 y 10 se desplazaron la región II. Esto quiere decir que dichos sectores pasaron de ser sectores que no responden mucho a los cambios en la economía a ser sectores totalmente dependientes de lo que ocurre en la economía. Esto se debe a un aumento en la dependencia de productos de otras industrias, pues el consumo energético de estos sectores bajó del 2008 al 2012, lo cual se ve en las tablas D.4 y D.5. La industria azucarera pasó de estar en la región III a estar en la región IV, esto se traduce como una disminución radical del consumo energético de este sector. Finalmente el sector de la minería pasó de la región IV a la región III, esto se puede explicar como consecuencia del aumento de la dependencia que tiene la economía del producto de este sector, pues su consumo energético disminuyó en el 2012 con respecto al 2008.

## 5.2. Emisiones asociadas al uso de la energía

Se calculó que para el año 2008 la mediana de los impactos totales de emisiones es de  $8,02 \times 10^{-3}$  y la de los impactos distributivos es  $1,32 \times 10^{-2}$ . Así mismo, para el año 2012 se calculó que la mediana de los impactos totales es de  $7,18 \times 10^{-3}$  y la de los impactos distributivos es  $1,05 \times 10^{-2}$ . En las figuras 5.3 y 5.4 se muestran las gráficas correspondientes a los impactos de las emisiones por uso de energía.

Tabla 5.5: Categoría a la que pertenece cada sector en el año 2008 y 2012 según la clasificación de Rasmussen (Energía).

Sector	Año 2008	Año 2012	Sector	Año 2008	Año 2012
(1) Minería de carbón mineral	IV	IV	(14) Industria del cemento	III	III
(2) Producción de petróleo y gas	II	II	(15) Minería	IV	III
(3) Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón	II	II	(16) Celulosa y papel	IV	IV
(4) Generación de energía eléctrica	II	II	(17) Vidrio	IV	IV
(5) Agropecuario	II	II	(18) Bebidas embotelladas	I	I
(6) Transporte aéreo	III	II	(19) Fertilizantes	IV	IV
(7) Transporte ferroviario	IV	IV	(20) Industria automotriz	I	I
(8) Transporte marítimo	IV	IV	(21) Construcción	I	I
(9) Autotransporte	II	II	(22) Hule	IV	IV
(10) PEMEX PQ	I	II	(23) Aluminio	IV	IV
(11) Siderurgia	II	III	(24) Tabaco	IV	IV
(12) Industria química	II	II	(25) Comercio	II	II
(13) Industria del azúcar	III	IV	(26) Otras Industrias	II	II

fuentes: elaboración propia.

Tabla 5.6: Impactos distributivos y totales de emisiones asociadas al consumo de energía, año 2008.

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Impactos totales</b>	$4.31 \times 10^{-4}$	$2.93 \times 10^{-2}$	$3.02 \times 10^{-2}$	$3.07 \times 10^{-1}$	$2.15 \times 10^{-2}$	$2.37 \times 10^{-2}$	$4.55 \times 10^{-3}$
Impactos distributivos	$8.76 \times 10^{-4}$	$1.55 \times 10^{-2}$	$1.99 \times 10^{-2}$	$1.16 \times 10^{-1}$	$1.52 \times 10^{-2}$	$1.63 \times 10^{-2}$	$4.01 \times 10^{-3}$
	8	9	10	11	12	13	14
<b>Impactos totales</b>	$7.45 \times 10^{-3}$	$4.03 \times 10^{-1}$	$3.60 \times 10^{-3}$	$4.50 \times 10^{-2}$	$1.34 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$	$3.07 \times 10^{-2}$
Impactos distributivos	$5.89 \times 10^{-3}$	$3.62 \times 10^{-1}$	$7.10 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-2}$	$1.78 \times 10^{-2}$	$2.40 \times 10^{-2}$	$2.49 \times 10^{-3}$
	15	16	17	18	19	20	21
<b>Impactos totales</b>	$8.59 \times 10^{-3}$	$6.28 \times 10^{-3}$	$6.79 \times 10^{-3}$	$4.26 \times 10^{-3}$	$4.58 \times 10^{-4}$	$4.64 \times 10^{-4}$	$1.96 \times 10^{-3}$
Impactos distributivos	$1.15 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-3}$	$4.16 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-2}$	$4.97 \times 10^{-4}$	$1.09 \times 10^{-2}$	$7.53 \times 10^{-2}$
	22	23	24	25	26	<b>Mediana</b>	
<b>Impactos totales</b>	$9.74 \times 10^{-4}$	$1.59 \times 10^{-4}$	$3.02 \times 10^{-5}$	$1.20 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$	$8.02 \times 10^{-3}$	
Impactos distributivos	$1.59 \times 10^{-3}$	$3.38 \times 10^{-4}$	$2.43 \times 10^{-4}$	$5.78 \times 10^{-2}$	$2.11 \times 10^{-1}$	$1.32 \times 10^{-2}$	

fuente: elaboración propia.

Tabla 5.7: Impactos distributivos y totales de emisiones asociadas al consumo de energía, año 2012.

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Impactos totales</b>	$1.62 \times 10^{-4}$	$3.71 \times 10^{-2}$	$2.05 \times 10^{-2}$	$3.48 \times 10^{-1}$	$2.19 \times 10^{-2}$	$2.13 \times 10^{-2}$	$4.76 \times 10^{-3}$
Impactos distributivos	$6.74 \times 10^{-5}$	$1.93 \times 10^{-2}$	$1.56 \times 10^{-2}$	$1.31 \times 10^{-1}$	$1.46 \times 10^{-2}$	$1.43 \times 10^{-2}$	$4.65 \times 10^{-3}$
	8	9	10	11	12	13	14
<b>Impactos totales</b>	$6.00 \times 10^{-3}$	$3.67 \times 10^{-1}$	$1.39 \times 10^{-4}$	$3.24 \times 10^{-2}$	$9.99 \times 10^{-3}$	$9.64 \times 10^{-3}$	$2.43 \times 10^{-2}$
Impactos distributivos	$4.80 \times 10^{-3}$	$3.33 \times 10^{-1}$	$2.92 \times 10^{-3}$	$1.22 \times 10^{-2}$	$1.45 \times 10^{-2}$	$9.86 \times 10^{-3}$	$1.99 \times 10^{-3}$
	15	16	17	18	19	20	21
<b>Impactos totales</b>	$4.41 \times 10^{-3}$	$4.82 \times 10^{-3}$	$6.57 \times 10^{-3}$	$7.79 \times 10^{-3}$	$8.58 \times 10^{-5}$	$7.76 \times 10^{-4}$	$2.07 \times 10^{-3}$
Impactos distributivos	$5.60 \times 10^{-3}$	$1.06 \times 10^{-3}$	$3.94 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-2}$	$4.05 \times 10^{-4}$	$1.12 \times 10^{-2}$	$6.15 \times 10^{-2}$
	22	23	24	25	26	<b>Mediana</b>	
<b>Impactos totales</b>	$1.06 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-4}$	$4.05 \times 10^{-5}$	$1.08 \times 10^{-2}$	$5.79 \times 10^{-2}$	$7.18 \times 10^{-3}$	
Impactos distributivos	$1.94 \times 10^{-3}$	$3.06 \times 10^{-4}$	$7.28 \times 10^{-5}$	$6.35 \times 10^{-2}$	$2.54 \times 10^{-1}$	$1.05 \times 10^{-2}$	

fuente: elaboración propia.

Nuevamente, la mayoría de sectores no cambian de región durante el periodo 2008-2012, no obstante hay tres sectores que lo hacen. La industria del azúcar (13) paso de la región II a la región III, es decir la sensibilidad de este sector con respecto a lo que sucede en la economía ha perdido importancia. El sector Minería (15) pasó de estar en la región II a la región IV. Esto se debe a que durante el periodo se dejó de usar el coque de carbón (agente muy contaminante) en este sector. Luego, se tiene el sector de las bebidas embotelladas (18) que pasó de estar en la región I a la región II. Esto quiere decir que este sector pasó de promover las emisiones de otros sectores a que los demás sectores induzcan las emisiones de este sector. Finalmente se tiene la Industria automotriz (20) que pasó de ser un sector poco relevante (región IV) a ser un sector que es muy dependiente en los productos de los demás sectores (región I).

Se puede ver que en general los resultados de emisiones son muy parecidos a los del uso de la energía. Esto es lógico pues lo que se hizo fue tomar coeficientes de emisiones los cuales se multiplican con las energía empleada, es decir los resultados son de cierta manera proporcionales a los anteriores. Se pueden extraer tres sectores cuya situación cambia cuando se hace el análisis de las emisiones. Dichos sectores son: PPQ (10), Siderurgia (11) y la Industria azucarera (13). El sector 10 pasó de estar en la región II, que es la región más sensible a los cambios a la región IV, que es la región que contiene sectores poco relevantes. La Siderurgia (11), y la Industria azucarera pasaron de estar en la región III a estar en la región II, es decir se volvieron sectores muy sensibles a los cambios por la demanda final y por la economía.

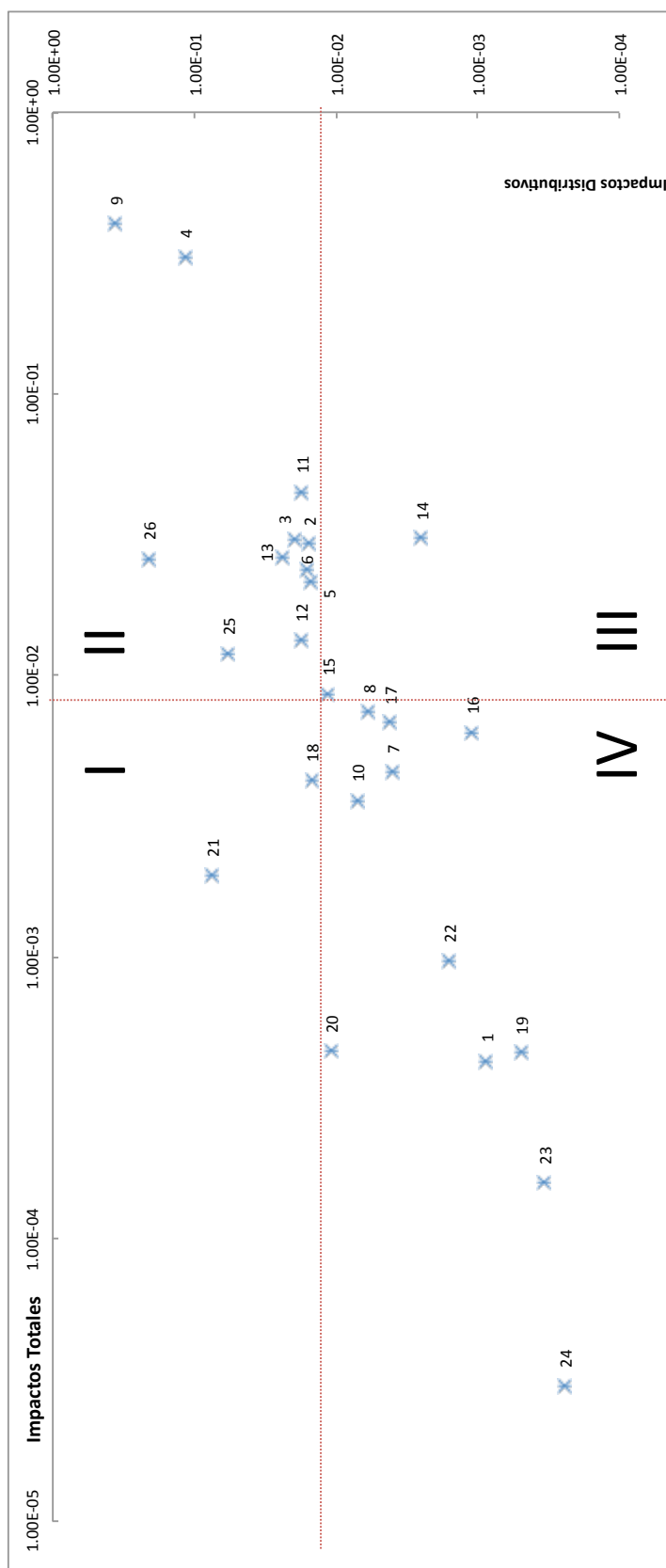


Figura 5.3: Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos, emisiones, año 2008.



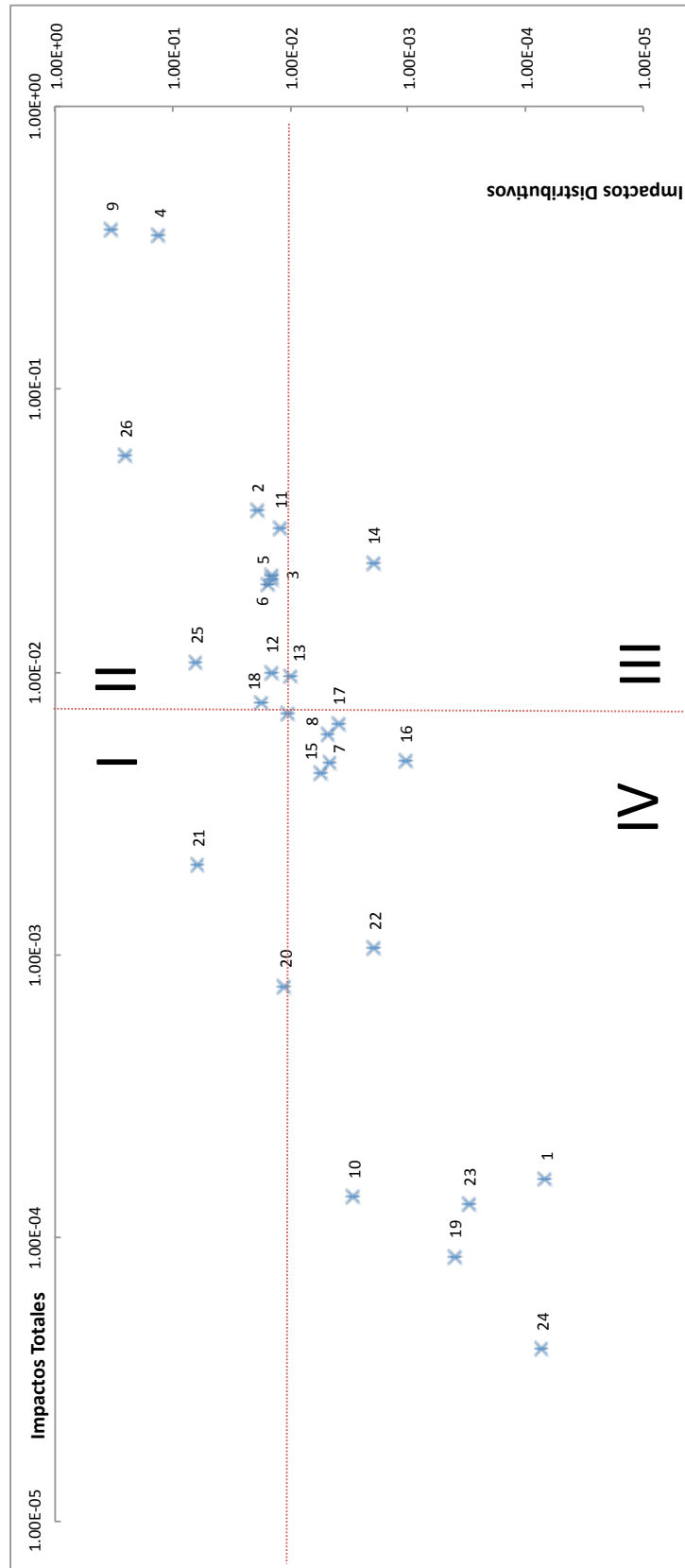


Figura 5.4: Gráfica de impactos totales vs. impactos distributivos, emisiones, año 2012.

Tabla 5.8: Categoría a la que pertenece cada sector en el año 2008 y 2012 según la clasificación de Rasmussen (Emisiones).

Sector	Año 2008	Año 2012	Sector	Año 2008	Año 2012
(1) Minería de carbón mineral	IV	IV	(14) Industria del cemento	III	III
(2) Producción de petróleo y gas	II	II	(15) Minería	III	IV
(3) Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón	II	II	(16) Celulosa y papel	IV	IV
(4) Generación de energía eléctrica	II	II	(17) Vidrio	IV	IV
(5) Agropecuario	II	II	(18) Bebidas embotelladas	I	II
(6) Transporte aéreo	II	II	(19) Fertilizantes	IV	IV
(7) Transporte ferroviario	IV	IV	(20) Industria automotriz	IV	I
(8) Transporte marítimo	IV	IV	(21) Construcción	I	I
(9) Autotransporte	II	II	(22) Hule	IV	IV
(10) PEMEX PQ	IV	IV	(23) Aluminio	IV	IV
(11) Siderurgia	II	II	(24) Tabaco	IV	IV
(12) Industria química	II	II	(25) Comercio	II	II
(13) Industria del azúcar	II	III	(26) Otras industrias	II	II

fuente: elaboración propia.

### 5.3. Ejemplo de prospectiva de escenarios

Es posible emplear las matrices de impactos obtenidas anteriormente para calcular consumos de energía y emisiones asociadas para años futuros. Para esto se debe recordar la definición que llevó a la construcción de la matriz de impactos, es decir la definición de elasticidad. El elemento de la matriz de impactos  $E_{ij}^f$  indica el porcentaje de incremento de uso de la energía del sector  $i$  en respuesta al aumento de 1% de la demanda final del sector  $j$ . Entonces, mediante la estimación de la demanda final futura de cada uno de los 26 sectores considerados en el presente análisis es posible obtener consumos energéticos asociados a dichos cambios. Si la demanda final inicial es  $\bar{f}^0$  y la demanda final futura es  $\bar{f}^1$ , entonces el cambio porcentual es el vector columna:

$$\frac{\Delta \bar{f}}{\bar{f}} := \begin{pmatrix} \frac{f_1^0 - f_1^1}{f_1^1} \\ \vdots \\ \frac{f_n^0 - f_n^1}{f_n^1} \end{pmatrix}.$$

Al multiplicar la matriz de impactos con este vector se obtiene un vector columna que indica el aumento porcentual del consumo de energía en cada sector. Comparando este aumento con el consumo energético del año 0, se encuentra el valor del consumo energético para el año 1. Se realizó un ejercicio tomando como objetivo dos años futuros. Primero un horizonte de tiempo cercano, el 2013, pues el BNE 2013 presenta los valores de energía reales con los cuales se podrán comparar los resultados obtenido mediante el cálculo. Segundo un horizonte de tiempo a largo plazo, el año 2028. Se pueden extraer datos de los consumo de energía esperados en la prospectivas energéticas publicadas por SENER para dicho año, con el fin de comparar las diferencias cuantitativas entre ambos resultados.

Los resultados que se obtienen mediante este método dependen fundamentalmente en dos cosas:

1. La estructura económica no cambia a lo largo del tiempo, es decir, los coeficientes de Leontief son los mismos para todos los años.
2. La precisión con la cual la demanda final es estimada.

Adicionalmente, para el caso del cálculo de futuras emisiones los resultados reposan en la invariabilidad del mix energético empleado por cada sector y de las tecnologías empleadas por ellas. En otras palabras la matriz de usos de combustibles  $\Upsilon$  y el vector de los factores de conversión son los mismos en los dos años.

En el Banco de Información Económica del INEGI, es posible encontrar las series de datos históricas del 2003 hasta el 2013 correspondientes a la demanda final, a las exportaciones y al Producto Interno Bruto (PIB) con el mismo nivel de desagregación que se presentan las matrices Insumo-Producto empleadas, es decir respetan la clasificación del SCIAN. Con base en estos datos se realizó el ejercicio de estimación de futuras demandas de energía.

Se hicieron dos ensayos, el primero para el año 2013 con los datos reales de demanda final y exportaciones sectoriales obtenidos de BIE y el segundo para el año 2028 mediante la estimación de una demanda final y exportaciones con base en las series históricas existentes. Se eligieron estos años, pues para el primer caso se pueden comparar los resultados obtenidos con los datos reales de consumos energéticos que se muestran en el BNE 2013. Para el segundo caso se pueden comparar los resultados obtenidos con los documentos de prospectivas energéticas publicados por la SENER. Con esto es posible poner a prueba la capacidad del modelo en horizontes de tiempo distintos: corto plazo (1 año) y largo plazo (15 años).

Cabe notar que es el mismo procedimiento que se debe llevar a cabo si se quieren calcular las emisiones de  $CO_2$ -eq simplemente utilizando las matrices de impactos de emisiones. Aquí se optó por hacerlo con las matrices de impactos de energía, pues se cuenta con más información en este aspecto, con la cual se pueden contrastar los resultados obtenidos.

### 5.3.1. Año 2013

Como ya se mencionó anteriormente, los datos de la demanda final y las exportaciones de cada sector se extrajeron del BIE de INEGI. Lo único que hay que hacer es

Tabla 5.9: Estimación del consumo de energía para el año 2013.

Sector	Variación Porcentual Demanda final	Variación porcentual consumo energético	Consumo energético calculado (PJ)	Consumo energético real (PJ)	Diferencia porcentual
Minería de carbón mineral	-5.93 %	0.01 %	2.11	2.17	-2.90 %
Producción de petróleo y gas	67.32 %	1.97 %	628.68	657.05	-4.32 %
Fabricación de productos derivados del petróleo y gas	7.11 %	5.34 %	6097.41	5875.26	3.78 %
Generación de energía eléctrica	-2.64 %	2.89 %	2811.59	2810.75	0.03 %
Agropecuario	60.55 %	0.64 %	161.07	157.6	2.20 %
Transporte aéreo	77.65 %	0.59 %	122.07	127.19	-4.03 %
Transporte ferroviario	-61.94 %	-0.09 %	26.20	26.61	-1.55 %
Transporte marítimo	9.16 %	0.04 %	32.68	28.79	13.52 %
Autotransporte	-14.87 %	-1.12 %	2078.49	2079.74	-0.06 %
PEMEX PQ	149.31 %	0.69 %	107.01	116.43	-8.09 %
Siderurgia	180.62 %	1.15 %	209.72	208.08	0.79 %
Industria química	93.31 %	0.48 %	91.01	93.73	-2.90 %
Industria del azúcar	27.00 %	0.11 %	41.40	65.43	-36.72 %
Cemento	488.32 %	0.24 %	139.83	136.23	2.64 %
Minería	200.99 %	0.45 %	57.84	59.31	-2.48 %
Celulosa y papel	34.44 %	0.14 %	45.51	49.82	-8.66 %
Vidrio	119.03 %	0.34 %	55.97	55.37	1.08 %
Bebidas embotelladas	78.13 %	0.15 %	26.87	31.5	-14.70 %
Fertilizantes	88.84 %	0.01 %	1.27	1.15	10.44 %
Industria automotriz	127.17 %	0.14 %	14.37	13.98	2.79 %
Construcción	-19.12 %	-0.02 %	13.21	12.72	3.83 %
Hule	80.98 %	0.04 %	9.15	9.59	-4.55 %
Aluminio	44.11 %	0.01 %	2.59	1.55	67.11 %
Tabaco	352.71 %	0.01 %	0.52	0.52	0.01 %
Comercio	-83.59 %	-0.49 %	126.79	133.05	-4.71 %
Otras industrias	52.39 %	2.57 %	738.87	756.28	-2.30 %

fuente: elaboración propia

calcular la variación porcentual que existe entre el año 2012 y 2013 y multiplicar este vector con la matriz de impactos de energía y comparar con la información contenida en el BNE 2013.

En la tabla 5.9 se pueden ver los valores de la variación porcentual de la demanda final por sector, variación porcentual del consumo energético, el consumo energético estimado, el consumo energético real extraído del BNE 2013 [39], así como la diferencial porcentual entre el consumo energético estimado y el real. Se puede notar que en general la diferencia porcentual anotada en la última columna es bastante aceptable (debajo de 5%), promediando 7,9%. Algunos sectores (7 en total) muestran niveles de consumo energético calculados muy alejados de la realidad. Debido a que la gran mayoría de los sectores (aproximadamente 74% de ellos) muestran valores aceptables de consumo energético, se puede considerar que las discrepancias con los 7 sectores restantes se deben a inconsistencias con respecto a la demanda final. Los valores extraídos del BIE [40] de la demanda final y exportaciones no corresponden con los que se tienen en las matrices IP. Es decir, que al comparar uno a uno los valores de demanda final y exportaciones de las matrices IP 2012 y los mismos valores del BIE no son los mismos. Esto se ve reflejado en la gran diferencia de un año a otro en la demanda final del cemento, la minería y el tabaco (488%, 200% y 352%) respectivamente, lo cual no es creíble. Más aún, tampoco es creíble que la demanda final del sector autotransporte sufra de un decremento de 14%. Cabe notar aquí que es necesario calcular la variación de la demanda final con respecto a los datos empleados para construir el modelo, es decir que no se puede calcular en base a los datos del BIE (comparando la serie del 2012 con la del 2013), pues se tendría que recalcular la matriz de impactos en base a estos valores.

Particularmente en el orden creciente de error se tienen los siguientes sectores: aluminio (67.11% de diferencia; región IV), este sector en particular sufre un muy gran error pues el valor "real" de consumo energético es una estimación (hay que recordar que se ha eliminado este sector del BNE desde el 2010). Azúcar (36.72% de diferencia; región IV), la causa de la diferencia tan grande de este sector es desconocida. Industria de las bebidas (14.70% de diferencia; región I), dado que este sector

se encuentra en la región I de la figura 5.2 se puede decir que el error es consecuencia de las inconsistencias de los valores de demanda final, pues la variación de su consumo energético es sensible a la variación en los demás sectores. Transporte marítimo (13.52 % de diferencia; región IV) la razón del error asociado a este sector es desconocida. Fertilizantes (10.44 % de diferencia; región IV), aunque la diferencia porcentual sea relativamente grande, en valor absoluto el error no le es tanto (0.12 PJ) por lo que se puede considerar como una correcta estimación para este sector. Celulosa y papel (8.66 % de diferencia; región IV) la razón del error en este sector es desconocida. PEMEX PQ (8.09 % de diferencia; región II), este sector es el único que pertenece a la región II de la figura 5.2 lo cual indica que es muy relevante en el sistema, la causa del error puede estar asociada a la discrepancia de los valores de demanda final.

Dados los resultados y las hipótesis empleadas, es decir la hipótesis de invariabilidad de la estructura económica y sobre los niveles de demanda final, se puede concluir que el modelo tiene una buena capacidad para predecir futuros consumos energéticos a corto plazo, claro está, a condición de que los valores de demanda final estimados sean los correctos.

### 5.3.2. Año 2028

Para obtener una demanda final sectorial para el año 2028 es necesario hacer algunas hipótesis sobre el comportamiento de la misma a lo largo de los 15 años. Lo que aquí se hizo fue comparar el crecimiento de la demanda final con el del PIB y suponer que esto no variará, es decir que el cociente entre el crecimiento de la demanda final y el crecimiento del PIB quedará constante durante 15 años. Junto con esto, se supuso un crecimiento del PIB del 3.5 % anual, que es la cifra utilizada en los documentos de prospectivas energéticas. El crecimiento del PIB sectorial se asigna en base al promedio de participación que cada sector tiene en él, entre el 2003 y el 2013. Así por ejemplo, si suponemos que el sector  $i$  tiene una participación promedio (durante el periodo 2003-2013) del 5 % y que el PIB global aumenta de 1 %, entonces el sector  $i$  tendrá un aumento del PIB de 0.05 %. Lo cual tendrá por consecuencia un aumento en la demanda final del sector  $i$  de 0.05 multiplicado por el cociente entre

Tabla 5.10: Estimación del consumo de energía para el año 2028.

Sector	Variación porcentual Demanda Final	Variación porcentual consumo energético	Consumo energético calculado (PJ)	Consumo energético Prospectivas (PJ)	Diferencia porcentual
Minería de carbón mineral	0.07 %	0.003 %	2.11	2.11*	0.00 %
Producción de petróleo y gas	9.09 %	0.444 %	619.29	866.46	-28.53 %
Fabricación de productos derivados del petróleo y gas	-0.49 %	4.234 %	6033.36	5788.27*	4.23 %
Generación de energía eléctrica	0.66 %	3.426 %	2772.16	2204.34	25.76 %
Agropecuario	3.82 %	0.259 %	160.46	195.36	-17.86 %
Transporte aéreo	0.16 %	0.129 %	121.51	43.81	177.36 %
Transporte ferroviario	1.43 %	0.010 %	26.22	29.93	-12.39 %
Transporte marítimo	-0.16 %	0.012 %	32.67	38.42	-14.95 %
Autotransporte	1.27 %	0.710 %	2117.04	2775.22	-23.72 %
PEMEX PQ	1.10 %	0.087 %	106.37	203.13	-47.63 %
Siderurgia	3.18 %	0.295 %	207.95	316.36	-34.27 %
Industria química	3.03 %	0.075 %	90.65	153.04	-40.77 %
Industria del azúcar	0.46 %	0.015 %	41.38	87.31	-52.61 %
Cemento	0.45 %	0.065 %	139.59	168.75	-17.28 %
Minería	0.97 %	0.077 %	57.63	91.48	-37.00 %
Celulosa y papel	0.19 %	0.110 %	45.49	76.26	-40.35 %
Vidrio	0.22 %	0.029 %	55.80	92.29	-39.54 %
Bebidas embotelladas	0.56 %	0.002 %	55.78	46.82	19.13 %
Fertilizantes	0.26 %	0.001 %	1.27	1.90	-33.17 %
Industria automotriz	0.60 %	0.001 %	14.35	22.85	-37.21 %
Construcción	4.72 %	0.005 %	13.21	18.22	-27.51 %
Hule	0.07 %	0.005 %	9.15	15.02	-39.07 %
Aluminio	0.05 %	0.002 %	2.59	6.32	-58.99 %
Tabaco	-0.01 %	0.000 %	0.52	0.86	-39.80 %
Comercio	3.23 %	0.086 %	127.52	209.12	-39.02 %
Otras industrias	43.52 %	2.148 %	735.84	1017.17	-27.66 %

fuente: elaboración propia



el crecimiento de la demanda final y el crecimiento del PIB.

Una vez obtenida una demanda final futura para cada sector se procede con el cálculo de la variación porcentual con la demanda final del año 2012, posteriormente con la estimación del consumo energético y finalmente con la comparación con los datos extraídos de las prospectivas energéticas del sector eléctrico [41], del sector de petrolero [42] y del sector del gas natural y gas L.P. [43].

En la tabla 5.10 se puede apreciar que en dos sectores, en la columna de consumo energético de prospectivas hay un asterisco, esto corresponde a aquellos sectores en los cuales fue imposible hallar información acerca de su consumo energético para el año 2028, por lo que el consumo anotado corresponde al del año 2012.

En la tabla 5.10 se puede observar que el general los cálculos realizados a través del modelo presentan una subestimación de los niveles de consumo energético para el 2028, con respecto a los de las prospectivas. También se puede notar que los cambios porcentuales en la demanda final son pequeños incluso en comparación con los anotados en la tabla 5.9. Esto es debido a la metodología empleada para su cálculo. En cuanto a las estimaciones de los consumos energéticos, se puede notar una uniformidad en los resultados, es decir que los errores se encuentran, casi todos, dentro del rango de 25 % a 40 % por debajo del nivel de las prospectivas, promediando aproximadamente 40 % de diferencia entre lo calculado y lo que indican las prospectivas. Esto es debido a la observación anterior que las variaciones porcentuales de la demanda final son muy bajas (lo cual se sabe al comparar con respecto lo registrado en la tabla 5.9).

En conclusión, se puede decir que debido a la uniformidad de las diferencias entre los consumos calculados y los consumos estimados por las distintas prospectivas, esta herramienta no representa una mala manera de estimar consumos energéticos futuros a un largo plazo (15 años). En ambos casos (corto y largo plazo) es imperativo contar con fuentes de información coherentes entre sí, y metodologías que reflejen correctamente los posibles escenarios futuros de demanda final sectorial. Con esto, el

modelo arrojará resultados relativamente coherentes en cuanto al consumo energético y/o emisiones de  $CO_2$ -eq, según sea el caso.



# Capítulo 6

## Conclusiones

A través de la clasificación mostrada se puede prever la respuesta que los distintos sectores pueden tener. En la región I se encuentran los sectores cuyos productos principalmente sirven como insumos de otras industrias, por lo cual hay que tener cuidado con restringir la producción de estos sectores, ya sea para ahorrar energía o mitigar emisiones, pues lo demás sectores tendría que disminuir su producción también. En la Región II están los sectores que fomentan el consumo energético y las emisiones de los demás en la economía, y al mismo tiempo los demás sectores incentivan su consumo energético y el aumento en las emisiones. Estos son los sectores en los que se tiene que enfocar la atención para lograr una máxima reducción del consumo energético y mitigación de emisiones en vista de la alta sensibilidad. En la región III están los sectores cuya producción se destina principalmente a satisfacer la demanda final. Restringir la producción de estos sectores hace que el consumo energético y las emisiones disminuyan. Finalmente en la región IV, se encuentran los sectores que no son muy relevantes, no sólo porque su consumo energético es bajo, sino porque en gran medida no interactúan con los demás sectores.

El modelo desarrollado en este texto presenta dos inconvenientes mayores. El primero es que el nivel de desagregación que se obtuvo no es el mejor, ni el deseado. Esto se refleja en que el sector "otras ramas" representa demasiado (entre el 30 % y el 40 %). En otros estudios se ha logrado mayor desagregación (48 sectores [5], [12]),

y los mismo autores afirman que el nivel de desagregación no es el óptimo. Se podría considerar que el nivel de desagregación es óptimo cuando el sector que represente a todas las demás ramas se encuentre en la región IV, y no en la región II como se obtuvo. El segundo inconveniente, es que se encontraron aproximadamente de 10 sectores (para ambos impactos medidos) que se encuentran en la región IV. Esto nos dice que aproximadamente el 40 % de los sectores considerados están "desconectados" de los demás sectores. Dada la forma de la gráfica que es en diagonal, y por las propiedades intrínsecas de la construcción de las regiones a través del centro geométrico de la distribución de puntos, se tiene naturalmente que cumplir que la mayoría de los sectores estarán distribuidos entre las regiones II y IV en partes más o menos iguales y sólo algunos cuantos sectores se encontrarán en las otras dos regiones. Entonces, invariablemente con esta categorización siempre se tendrá una cantidad relativamente importante de sectores que se consideran por ella como irrelevantes. Esto no excluye la posibilidad de que si se acciona algún cambio simultáneo en todos o varios de estos sectores, el impacto sea mayor (las suma de los impactos).

A través de la categorización que surge de las matrices de impactos, se obtuvieron resultados indican que la disminución del consumo energético global no se logra interviniendo en los sectores de la región II (sectores energéticos por ejemplo), si no que se logra con la disminución del consumo energético a través de la intervención en los demás sectores y a través de la disminución de la demanda final. El uso del modelo como un medio para estimar demandas energética futuras revela información implícita que puede ser útil. Se destaca también la buena capacidad del modelo para predecir demandas futuras en el corto plazo, lo cual es válido durante unos 3 o 4 años. Lo cual corresponde más o menos con la periodicidad con la cual INEGI publica las matrices IP. Por el contrario para el largo plazo quedan dudas con respecto a si esta herramienta permite o no permite predecir con exactitud demandas energéticas futuras, principalmente por la hipótesis de la invarianza temporal de los coeficientes técnicos. Pero también queda duda porque no se sabe la exactitud de los datos que se encuentran en las prospectivas energéticas.

La primer ventaja del modelo construido es que permite una primera aproxima-

ción de lo que representan los sectores dentro de la economía en términos de consumo energético y de emisiones de gases de efecto invernadero. Permite el cálculo fácil y rápido de nuevos impactos por ajustes en las demandas finales, o incluso en la intensidad energética o sustitución de combustibles mediante la modificación de los vectores  $\bar{s}$ ,  $\bar{f}'$  y  $\bar{c}'$  respectivamente. La segunda ventaja es que permite la estimación de nuevos niveles de consumo energético y de emisiones sectoriales mediante la aplicación de un cambio en la demanda final a las matrices de impactos, constituyendo una buena herramienta para el cálculo de estos nuevos valores en el corto plazo y una herramienta no trivial para el largo plazo. Cabe destacar que los resultados que se obtengan dependen de la exactitud con la cual se estime la demanda final, y de la hipótesis que la estructura económica no cambia durante el lapso de estudio. Por estas cualidades ofrece un instrumento útil para la planeación energética y la lucha contra el calentamiento global, mediante la construcción de escenarios, ilustrando varias políticas energéticas tales como el ahorro de energía enfocadas al consumo final y/o a la producción, y la sustitución de fuentes de energía. También se podría responder a preguntas como ¿Que pasaría si todo el autotransporte fuera eléctrico? ¿Que pasaría si se dejara de usar cemento en la construcción? En fin, la posibilidades son muchas.

Para mejorar el modelo hace falta tener más datos acerca del consumo energético de más industrias, es decir que en el BNE se amplíe la cobertura. El desglose que se presenta en los balances nacionales de energía le extrae validez al modelo pues debido la falta de compatibilidad con la desagregación del SCIAN es necesario tomar algunas medidas que inducen a errores. La clasificación del SCIAN también tiene problemas en los sectores energéticos. Particularmente se tienen problemas en en nivel de agregación que se presenta con la producción de petróleo y gas (2) y la generación de energía eléctrica (4). No es posible distinguir entre las diversas tecnologías de generación eléctrica, ni entre los productos derivados del carbón, petróleo y gas natural. Un punto a mejorar en cuanto a las matrices IP elaboradas por INEGI, es ampliar el nivel de desagregación existente de los sectores energéticos. Pero en general se puede considerar que son una fuente fidedigna de información, ya que si se tuvieran los datos energéticos para las 262 ramas disponibles, el modelo sería idóneo.

A lo largo de este texto se describieron en general tres maneras de abordar temas energéticos mediante el uso del análisis IP. Sería interesante poder generar los datos necesarios para conducir un análisis IP cuyos flujos interindustriales sean unidades físicas de energía, o bien construir un modelo IP energético en unidades híbridas. Así se podrían contrastar los resultados obtenidos y destacar ventajas y desventajas de cada uno. Para seguir desarrollando esta herramienta, se podría emplear algún método tipo RAS para modificar los coeficientes técnicos a lo largo del tiempo, y junto con una buena estimación de la demanda final futura, se podrían mejorar las predicciones del modelo en el medio y largo plazo.

# Anexo A

## Álgebra lineal

### A.1. Sistemas de ecuaciones lineales

Uno de los resultados del álgebra lineal es la teoría relacionada con la solución de sistemas de ecuaciones lineales. En este apéndice se muestran las definiciones básicas y resultados fundamentales en este tema. El modelo IP no es más que el planteamiento de un sistema de ecuaciones lineales de  $n$  incógnitas (sistema de ecuaciones 2.2), y darle solución al modelo IP es encontrar la solución al sistema.

Consideremos un sistema de dos ecuaciones lineales con dos incógnitas:

$$\begin{aligned}3x_1 - x_2 &= 2 \\ x_1 + x_2 &= -6\end{aligned}$$

Donde  $x_1$  y  $x_2$  son las incógnitas del sistema. Antes de proceder con la solución de este sistema exploremos cual es el significado de este sistema y de que tenga solución. Consideremos el espacio bidimensional  $\mathbb{R}^2$ , en donde en el eje de las abscisas representa los valores de  $x_1$  y el eje de las ordenadas representa los valores de  $x_2$ . La primera ecuación se puede modificar de tal manera que aparezca la ecuación de una recta en el plano, es decir:  $x_2 = 3x_1 + 2$ . La segunda ecuación también define una recta en el plano cuya ecuación es:  $x_2 = -x_1 - 6$ . ¿Qué quiere decir que el sistema de ecuaciones tenga una solución? Se le llama solución al sistema de dos ecuaciones



lineales si existen dos números reales  $x_1^s$  y  $x_2^s$  tales que al sustituir los valores, las ecuaciones del sistema se cumplen. Geométricamente lo que significa una solución del sistema de ecuaciones, es el punto de intersección de las dos rectas. Naturalmente surgen las siguientes dos preguntas: ¿Siempre tienen solución los sistemas de ecuaciones? ¿Existen más de una solución a un sistema de ecuaciones?

Dadas dos rectas en un plano, existen tres posibilidades:

1. Las rectas se intersecan una sola vez.
2. Las rectas son paralelas y nunca se intersecan.
3. Las rectas son las mismas y se intersecan en un número infinito de puntos.

En el punto número 1, el sistema de ecuaciones tiene una única solución, en el punto número 2 el sistema no tiene solución, y en el punto número 3 el sistema tiene un número infinito de soluciones. En realidad, si el caso es 1 del punto número 3, no se tiene propiamente un sistema de ecuaciones, pues sólo se tiene una recta (una ecuación). De estos hechos geométricos se puede ver que el sistema puede o no tener solución y ésta puede o no ser única.

El método más sencillo para determinar la solución de un sistema de ecuaciones se le conoce como el método de la sustitución. En el caso del sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas, consiste en escribir una de las incógnitas en función de las demás con el fin de la otra, con el fin de obtener una ecuación en donde sólo aparezca una variable que puede ser "despejada". Es decir de la primera ecuación se obtiene que  $x_2 = 3x_1 - 2$ , sustituyendo esto en la segunda ecuación se obtiene que  $x_1 + (3x_1 - 2) = -6$ , entonces se llega a que  $4x_1 = -4$  o bien  $x_1 = -1$ . Sustituyendo este resultado en cualquiera de las dos ecuaciones, digamos la segunda obtenemos el valor de  $x_2 = -5$ . Es decir la solución al sistema es el punto  $(-1; -5)$ , o bien dónde las rectas se intersecan (ver figura A.1).

Cuando el sistema de ecuaciones tiene 3 incógnitas y 3 ecuaciones, la situación es muy similar. Es decir que cada ecuación define un plano en  $\mathbb{R}^3$  y la solución al

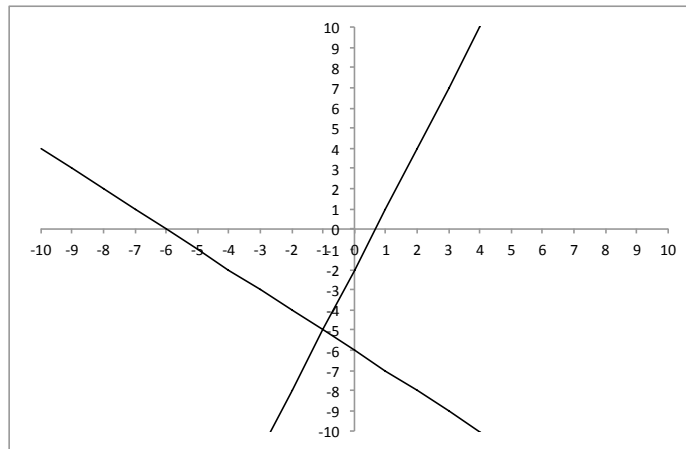


Figura A.1: Representación geométrica de sistema de ecuaciones lineales.

sistema de ecuaciones es la intersección de los tres planos. Nuevamente puede que los planos nunca se intersequen o sean paralelos, y las combinaciones posibles de las distintas situaciones geométricas crecen. Para encontrar una solución a este sistema se puede proceder con el método de la sustitución como anteriormente. Generalizando esto a un sistema de  $n$  ecuaciones y  $n$  incógnitas, se puede pensar que cada ecuación define un "plano" en  $\mathbb{R}^n$  y la solución a dicho problema sería la intersección de todos estos planos. Cuando el número de incógnitas y ecuaciones aumenta es cada vez más difícil y engorroso encontrar una solución (si es que existe) mediante el método de la sustitución. Más aún, es imposible graficar el problema para obtener una solución mediante la información geométrica. Más adelante se detallará la manera en la que se puede saber si un sistema tiene solución única y cómo ésta se calcula de manera rápida y eficaz.

En el modelo IP cada incógnita representa la producción total de un sector. Los planos definidos por las ecuaciones representan "el espacio de producción de los sectores". Cualquier punto en uno de esos planos representa una posible combinación de cantidades de insumos que el sector requiere para alcanzar dicha producción. En otras palabras si un punto está en unos de esos planos, es posible llegar a tal

producción con la estructura de producción actual (sin modificar las cantidades de insumos necesarios por unidad de producción). Cualquier punto que esté fuera de un plano, es tal que no se puede alcanzar dicha producción con los insumos dados. En cualquier caso, si existe solución al modelo IP, ésta es un equilibrio que en la economía hay, equilibrando los insumos necesarios con las producciones alcanzadas para todos los sectores al mismo tiempo. A continuación se describen brevemente los principios matemáticos que derivan del álgebra lineal que se han empleado en este trabajo.

## A.2. Vectores

**Definición A.1.** Un vector es un arreglo ordenado de  $n$  elementos, cuyas entradas son números reales, también llamados escalares. Se dice que la dimensión de un vector es  $n$  si tiene  $n$  elementos. Se denota un vector de dimensión  $n$  como  $\bar{v} := (v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n)$ .

Por ejemplo el vector  $\bar{v} = (3, 2, 4, 1)$  es un vector que tiene dimensión 4. También se puede representar un vector en forma de columna, lo cuales se llamarán vectores columna. La dimensión de dichos vectores corresponde también al número de entradas que tienen.

Existen varias operaciones que se pueden efectuar con vectores, tales como la suma y la multiplicación por un escalar (un número real). La operación de suma se puede efectuar a condición de que los vectores tengan la misma dimensión.

**Definición A.2.** Sean dos vectores  $\bar{u}$  y  $\bar{v}$  de dimensión  $n$ , se define la suma de  $\bar{u}$  con  $\bar{v}$  como

$$\bar{u} + \bar{v} := (u_1 + v_1, u_2 + v_2, \dots, u_n + v_n)$$

Es decir que la suma de dos vectores es la suma entrada a entrada (de números reales). En el caso de dos vectores columna la suma se define de la misma manera, es decir entrada a entrada. La suma de un vector con un vector columna no está permitida, básicamente porque no queda claro si el resultado debería ser un vector renglón

o un vector columna. Esta operación satisface la conmutatividad y la asociatividad es decir se cumple:

$$\bar{u} + \bar{v} = \bar{v} + \bar{u} \quad (\bar{u} + \bar{v}) + \bar{w} = \bar{u} + (\bar{v} + \bar{w})$$

El vector cero y el negativo de un vector está definidos por las ecuaciones

$$\bar{0} := (0, 0, \dots, 0) \quad -\bar{u} := (-u_1, -u_2, \dots, u_n)$$

De tal forma que definen un neutro aditivo y un inverso aditivo, con los siguientes propiedades:

$$\bar{u} + \bar{0} = \bar{u} \quad y \quad \bar{u} + (-\bar{u}) = \bar{0}$$

También se puede multiplicar un vector por un escalar, es decir la multiplicación de un vector por un número real.

**Definición A.3.** Sea un vector  $\bar{v}$  de dimensión  $n$ , y un escalar  $\lambda$  real. Se define la multiplicación de  $\bar{v}$  con el escalar  $\lambda$  como

$$\lambda\bar{v} := \lambda(v_1, v_2, \dots, v_n) = (\lambda v_1, \lambda v_2, \dots, \lambda v_n)$$

Es decir, la multiplicación de un vector por un escalar es la multiplicación de cada entrada por el escalar  $\lambda$ . Similarmente esta operación cumple con las propiedades de asociatividad y distributividad:

$$\kappa(\lambda\bar{u}) = (\kappa\lambda)\bar{u} = \lambda(\kappa\bar{u}) \quad (\kappa + \lambda)\bar{u} = \kappa\bar{u} + \lambda\bar{u}$$

En conjunto, la multiplicación por un escalar y la adición de vectores cumplen la distributividad:

$$(\bar{u} + \bar{v})\lambda = \lambda\bar{u} + \lambda\bar{v}$$

Finalmente se pueden multiplicar dos vectores mediante una operación llamada producto escalar o producto punto y se define de la siguiente manera:

**Definición A.4.** Sean  $\bar{u}$  y  $\bar{v}$  dos vectores de dimensión  $n$ , se define el producto escalar de  $\bar{u}$  con  $\bar{v}$  como

$$\bar{u} \cdot \bar{v} := \sum_{i=1}^n u_i v_i = u_1 v_1 + u_2 v_2 + \dots + u_n v_n$$

Nuevamente esta operación cumple con las propiedades de asociatividad y distributividad con respecto a la suma:

$$\bar{u}.\bar{v} = \bar{v}.\bar{u} \quad (\bar{u} + \bar{v}).\bar{w} = \bar{u}.\bar{w} + \bar{v}.\bar{w}$$

Es posible extender esta operación y multiplicar vectores con vectores columna de misma dimensión, es decir lo que se hace es sumar la multiplicación de sus respectivas entradas. Esto también es una forma de ver la multiplicación entre dos matrices lo cual se verá a continuación.

### A.3. Matrices

**Definición A.5.** Una matriz es un arreglo rectangular de números reales, ordenados por renglones y columnas. Se denota una matriz por:

$$\mathbf{M} := \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1m} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2m} \\ \vdots & & \vdots & \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & m_{nm} \end{pmatrix}$$

En este caso la matriz presenta  $n$  renglones y  $m$  columnas. La dimensión de una matriz se define por el número de renglones por el número de columnas que tiene y se denota por  $n \times m$ . Se dice que una matriz es cuadrada cuando  $n = m$ .

Una matriz se puede ver como una generalización de un vector en el sentido de que un vector es también una matriz. En el caso particular de un vector columna de dimensión  $m$ , visto como una matriz tendrá dimensión  $1 \times m$ .

Es posible sumar y restar matrices, a condición de que tengan la misma dimensión. Tal como con los vectores estas operaciones se realizan sumando o restando las columnas y renglones. Adicionalmente se puede definir un neutro aditivo con la matriz  $\mathbf{0}$  que consiste de ceros en todas sus entradas. Así mismo se puede definir el negativo de una matriz y el producto  $\lambda\mathbf{A}$  de un escalar  $\lambda$  con una matriz  $\mathbf{A}$ . Las reglas de asociatividad y distributividad antes mencionadas con los vectores también

son válidas para estas operaciones con las matrices.

Se puede multiplicar una matriz  $\mathbf{A}$  de dimensión  $l \times m$  con una matriz  $\mathbf{B}$  de dimensión  $m \times n$ . En general la regla para realizar esto es que la dimensión que queda "en medio" (en este caso  $m$ ) debe ser la misma. El resultado de esta operación será una matriz  $\mathbf{C}$  de dimensión  $l \times n$ . El primer elemento,  $c_{11}$  de esta nueva matriz será el resultado de multiplicar el primer renglón de  $\mathbf{A}$  con la primera columna de  $\mathbf{B}$ . El elemento  $c_{12}$  es el resultado de multiplicar la segunda columna de  $\mathbf{A}$  con el segundo renglón de  $\mathbf{B}$ ; el elemento  $c_{21}$  es el producto del segundo renglón de  $\mathbf{A}$  con la primera columna de  $\mathbf{B}$ . Así sucesivamente con todos los elementos faltantes de  $\mathbf{C}$ , en general el término  $ik$  se escribe:  $c_{ik} = a_{i1}b_{1k} + a_{i2}b_{2k} + \cdots + a_{im}b_{mk}$ .

En el caso de las matrices cuadradas es posible definir un neutro multiplicativo, esta matriz denotada por  $\mathbf{I}$  está formada por unos en la diagonal y ceros en otros lados. Al hacer la multiplicación de esta matriz con cualquier otra matriz  $\mathbf{A}$  de misma dimensión, el resultado es la misma matriz  $\mathbf{A}$ .

Pensando un vector como una matriz de  $1 \times n$  y un vector columna como una matriz de  $n \times 1$ , encontramos de nuevo que es posible multiplicarlos y reencontramos que su producto es una matriz de  $1 \times 1$  (es decir un escalar) y es precisamente la suma de los productos de sus respectivas entradas. A partir de lo anterior también se puede notar que es posible multiplicar "por la derecha" una matriz de dimensión  $n \times m$  con un vector de columna de dimensión  $m \times 1$  y por la izquierda con un vector de dimensión  $1 \times n$ . El resultado de estas operaciones será respectivamente un vector columna de dimensión  $m$  y un vector de dimensión  $n$ .

## A.4. Matrices y sistemas de ecuaciones lineales

Un sistema de  $n$  ecuaciones lineales con  $n$  incógnitas puede ser representado mediante matrices y vectores. Sea el sistema:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned}$$

Notemos que la parte izquierda del sistema de ecuaciones es precisamente la multiplicación de la matriz formada por los elementos  $a_{ij}$  con el vector columna formado por los elementos  $x_i$ , esto igualado al vector columna formado por los elementos  $b_i$ . En símbolos:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ & & \vdots & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

Para resolver esta ecuación, es decir para encontrar los valores de  $x_i$  sería idóneo poder apelar a las propiedades de los números reales, es decir que existiera un inverso multiplicativo de la matriz  $\mathbf{A}$  de tal forma que se pudieran "despejar" las incógnitas  $x_i$ , es decir que se pueda escribir:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ & & \vdots & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

**Definición A.6.** Una matriz  $\mathbf{A}$  se dice que es invertible si existe una matriz  $\mathbf{B}$  tal que  $\mathbf{AB} = \mathbf{I} = \mathbf{BA}$ . A la matriz  $\mathbf{B}$  se le llamará la matriz inversa de  $\mathbf{A}$ .

Por ejemplo una matriz nula de  $2 \times 2$  no es invertible pues, cualquier otra matriz  $\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}$  al multiplicarla con la matriz nula se obtiene:

$$\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \neq \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Esto también muestra el hecho de que al multiplicar la matriz nula con cualquier otra el resultado siempre es la matriz nula.

**Observación A.7.** Si una matriz  $\mathbf{A}$  es invertible, entonces su inversa es única.

*Demostración.* Supóngase que la inversa de la matriz  $\mathbf{A}$  no es única. Entonces existen dos matrices  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{C}$  tales que  $\mathbf{AB} = \mathbf{I} = \mathbf{BA}$  y  $\mathbf{AC} = \mathbf{I} = \mathbf{CA}$ . Entonces se puede escribir  $\mathbf{BA} = \mathbf{CA}$ , por lo tanto

$$\mathbf{BA} - \mathbf{CA} = \mathbf{0} \implies (\mathbf{B} - \mathbf{C})\mathbf{A} = \mathbf{0}$$

Hay dos opciones, la matriz  $\mathbf{B} - \mathbf{C}$  es nula o la matriz  $\mathbf{A}$  es nula. Se sabe que  $\mathbf{A}$  no puede ser nula pues por hipótesis es invertible, entonces tiene que ser el caso que  $\mathbf{B} - \mathbf{C}$  es la matriz nula. Así

$$\mathbf{B} - \mathbf{C} = \mathbf{0} \implies \mathbf{B} = \mathbf{C}$$

Al ser única la inversa de una matriz  $\mathbf{A}$  se denotará por  $\mathbf{A}^{-1}$  □

Así pues, un sistema lineal de  $n$  ecuaciones y  $n$  incógnitas tendrá solución en cuanto exista la inversa de la matriz asociada. Con respecto al problema inicial, que es el de saber dar una solución al sistema de  $n$  ecuaciones lineales y  $n$  incógnitas, éste se vuelve ahora de saber si la inversa de la matriz asociada existe. La existencia de la inversa de una matriz involucra una operación llamada determinante, cuya definición no ilustra demasiado su significado, o interpretación geométrica.

**Definición A.8.** Sea  $\mathbf{A}$  una matriz cuadrada de dimensión  $n \times n$ , entonces su determinante es:

$$\det(\mathbf{A}) = \sum_{\sigma \in P_n} \operatorname{sgn}(\sigma) \prod_{i=1}^n a_{i,\sigma_i}$$



donde la suma se calcula sobre todas las permutaciones  $\sigma$  del conjunto  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Para cada  $\sigma$ ,  $sgn(\sigma)$  es el signo de  $\sigma$  es decir es 1 si la permutación es par y  $-1$  si la permutación es impar.

Por ejemplo en una matriz de  $2 \times 2$ ,  $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$ , entonces  $det(\mathbf{A}) = a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}$ .

El determinante de una matriz de  $n \times n$  da el volúmen confinado dentro del prisma formado por los  $n$  vectores columna que forman la matriz. Así para una matriz  $2 \times 2$  el determinante es el área del paralelepípedo formado por los vectores  $\begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{pmatrix}$  y  $\begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \end{pmatrix}$ . En otras palabras, si el determinante resultara ser 0, los vectores en cuestión no forman ningún prisma, es decir que al menos una par de ellos son linealmente dependientes. Esto traducido en un sistema de ecuaciones lineales, quiere decir que las rectas no se intersecan en un sólo punto, y por lo tanto no hay solución única. Entonces cuando el determinante de una matriz es 0 la matriz no es invertible. Por lo tanto un sistema de ecuaciones lineales tiene solución única si y sólo si el determinante de la matriz asociada tiene determinantes distinto de 0.

Una matriz cuadrada es diagonal si tiene elementos distintos de cero únicamente en la diagonal, es decir que los elementos  $a_{ii}$  son los únicos elementos permitidos distintos de cero, lo demás deben ser cero. El determinantes de una matriz diagonal es el producto de los elementos en su diagonal. De esta manera una matriz diagonal es invertible sí y sólo sí todos sus elementos en la diagonal son distintos de cero.

Finalmente si se tiene un vector  $\bar{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  se puede diagonalizarlo en una matriz. Este proceso es únicamente colocar los elementos  $u_i$  en un arreglo

matricial diagonal, y se denotará por  $\hat{\mathbf{u}}$ . Es decir:

$$\hat{\mathbf{u}} = \begin{pmatrix} u_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & u_2 & \cdots & 0 \\ & \vdots & \ddots & \\ 0 & 0 & \cdots & u_n \end{pmatrix}$$

## A.5. La matriz de Leontief como serie de potencias

En esta sección se demostrará que la matriz de Leontief se comporta como una serie de potencias que recoge la información de los impactos por rondas, es decir el efecto multiplicador.

**Teorema A.9.** *Sea  $\mathbf{A}$  la matriz de coeficientes técnicos de un modelo IP. Entonces,*

$$\mathbf{L} = \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \cdots \quad (\text{A.1})$$

*Demostración.* Lo primero que se tiene que notar es que la matriz de coeficientes técnicos es una matriz no negativa, es decir que todos sus elementos son mayores o iguales a 0. Para demostrar lo que se afirma en el teorema lo que se hará es mostrar que

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})(\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \cdots) = \mathbf{I}.$$

Para esto consideremos la serie  $\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \cdots + \mathbf{A}^k$  y la multiplicación con  $\mathbf{I} - \mathbf{A}$ , es decir:

$$\begin{aligned} (\mathbf{I} - \mathbf{A})(\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \cdots + \mathbf{A}^k) &= \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \cdots + \mathbf{A}^k \\ &\quad - \mathbf{A} - \mathbf{A}^2 - \mathbf{A}^3 - \cdots - \mathbf{A}^k - \mathbf{A}^{k+1} \\ &= \mathbf{I} - \mathbf{A}^{k+1} \end{aligned}$$

Se define la norma de una matriz, denotada por  $\|\mathbf{A}\|$ , como el máximo de las sumas por renglones, es decir:

$$\|\mathbf{A}\| := \max_{1 \leq i \leq n} \left( \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \right)$$

Como la matriz  $\mathbf{A}$  es una matriz no negativa, entonces en la definición anterior es posible omitir el valor absoluto. Las normas cumplen una desigualdad llamada la desigualdad de Cauchy, que establece que la norma del producto es menor o igual al producto de las normas [?, p. 61], en símbolos

$$\|\mathbf{AB}\| \leq \|\mathbf{A}\| \|\mathbf{B}\|$$

Obviamente las matrices  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{B}$  deben ser de dimensión adecuada de tal manera que se puedan multiplicar entre ellas. Si se reemplaza la matriz  $\mathbf{B}$  por  $\mathbf{A}$  se obtiene lo siguiente:

$$\|\mathbf{A}^2\| \leq \|\mathbf{A}\|^2.$$

Ahora hay que mostrar que la desigualdad se cumple para toda  $k \in \mathbb{N}$ . Para esto se emplea el método de inducción, que la demostración del paso base es la ecuación anterior. Supongamos que la desigualdad se cumple para  $k$ , y se demostrará que se cumple para  $k + 1$ , esto es:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{A}\|^{k+1} &= \|\mathbf{A}\|^k \|\mathbf{A}\| \\ &\geq \|\mathbf{A}^k\| \|\mathbf{A}\| \\ &\geq \|\mathbf{A}^k\| \|\mathbf{A}\| \\ &\geq \|\mathbf{A}^k \mathbf{A}\| \quad \text{Por desigualdad de Cauchy} \\ &= \|\mathbf{A}^{k+1}\| \end{aligned}$$

Por definición tenemos que  $a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}$  y sabemos que  $\sum_{j=1}^n z_{ij} < x_j$  pues en general (y en particular el modelo construido) siempre habrá demanda final, por lo tanto las sumas por renglones de la matriz de coeficientes técnicos son no negativas y estrictamente menores que 1. Por lo que la serie  $\|\mathbf{A}\|^k$  es una serie convergente que converge a 0. La conclusión de las últimas dos afirmaciones es que la serie  $\|\mathbf{A}^k\|$  es convergente pues está acotada por la serie convergente  $\|\mathbf{A}\|^k$ , y además  $\lim_{k \rightarrow \infty} \|\mathbf{A}^k\| = \lim_{k \rightarrow \infty} \|\mathbf{A}\|^k = 0$ . Como la norma de la matriz  $\|\mathbf{A}^k\|$  es cero si  $k$  tiende a infinito, por lo que la matriz  $\mathbf{A}^k$  tiende a la matriz  $\mathbf{0}$  si  $k$  tiende a infinito.

Volviendo al inicio de la prueba se tiene que

$$\begin{aligned}\lim_{k \rightarrow \infty} (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \cdots + \mathbf{A}^k) &= \lim_{k \rightarrow \infty} (\mathbf{I} - \mathbf{A}^{k+1}) \\ &= \mathbf{I} - \lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{A}^{k+1} \\ &= \mathbf{I} - \mathbf{0} = \mathbf{I}\end{aligned}$$

Por lo tanto

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \cdots + \mathbf{A}^k) = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$$

□



# Anexo B

## Tablas comparativas

Tabla B.1: Asignación entre sectores productores del BNE y sectores pertenecientes al SCIAN.

Sector productor	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción
Agropecuario	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal pesca y caza.	Sector	11	Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la siembra, cultivo y cosecha de especies vegetales; a la cría y explotación de animales en ambientes controlados; al cuidado, aprovechamiento y recolección de recursos forestales; a la pesca, caza y captura de animales, así como a la realización de actividades de apoyo relacionadas con el sector, entre ellas cabe señalar el beneficio de algodón.
Transporte Aéreo	Transporte Aéreo	Subsector	481	Unidades económicas dedicadas principalmente al transporte de pasajeros y de carga por vía aérea. Incluye también el alquiler de aeronaves para realizar servicios aéreos diferentes al de transporte, como fumigación, fotografía aérea, entre otros vuelos especiales.
Transporte Ferroviario	Transporte por ferrocarril	Subsector	482	Unidades económicas dedicadas principalmente al transporte de pasajeros y de carga por ferrocarril.
Transporte Marítimo	Transporte marítimo	Rama	4831	Unidades económicas dedicadas principalmente al transporte de pasajeros y de carga en embarcaciones destinadas a la navegación marítima de altura, de cabotaje, y al transporte de petróleo crudo y gas natural.
Autotransporte	Autotransporte de carga	Subsector	484	Unidades económicas dedicadas principalmente al autotransporte, tanto de productos empacados o sueltos, que no requieren de equipo especializado, se transportan en camiones de redilas, cajas secas cerradas, remolques, semirremolques, contenedores, plataformas y otros vehículos para carga general, como de aquellos productos que por características como el tamaño, peso o peligrosidad requieren de equipo de autotransporte especializado, como plataformas y otros equipos, para transportar materiales para la construcción, materiales y residuos peligrosos, madera y sus derivados, productos que requieren refrigeración o congelación, maquinaria pesada o sobredimensionada, animales en pie, mudanzas.

Sector productor	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción
	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	Subsector	485	Unidades económicas dedicadas principalmente al transporte terrestre como autobuses, automóviles, combis, vans, trolebuses, trenes ligeros, metro, taxis, limusinas, camiones de redilas.
Transporte eléctrico	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	Subsector	485	Unidades económicas dedicadas principalmente al transporte terrestre como autobuses, automóviles, combis, vans, trolebuses, trenes ligeros, metro, taxis, limusinas, camiones de redilas.
PEMEX PQ	Fabricación de productos químicos básicos	Rama	3251	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de productos químicos básicos, como productos petroquímicos, gases industriales, pigmentos y colorantes sintéticos no comestibles, y otros productos químicos básicos inorgánicos y orgánicos. Incluye también: u.e.d.p. al enriquecimiento de minerales radiactivos; a la fabricación de materiales sintéticos para perfumes y cosméticos, y de edulcorantes sintéticos.
Siderurgia	Industria básica de hierro y el acero	Rama	3311	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fundición primaria de hierro bruto y a la fabricación de acero, ferroaleaciones, productos terminados como tubos, postes, perfiles, alambrón, cables, varillas y ángulos, y de coque, realizadas en complejos siderúrgicos, y a la fabricación de desbastes primarios a partir de arrabio comprado y de ferroaleaciones a partir de material comprado.
Química	Fabricación de resinas y hules sintéticos, y fibras químicas	Rama	3252	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de resinas, hules sintéticos y fibras químicas. Incluye también la fabricación de materiales plastificantes y de papel celofán.
	Fabricación de productos farmacéuticos	Rama	3254	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de materias primas para la industria farmacéutica, y de preparaciones farmacéuticas.
	Fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos	Rama	3255	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos. Incluye también la fabricación de thinner y removedores de pintura y barniz.
	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador	Rama	3256	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de jabones, limpiadores, dentífricos, cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador.
	Fabricación de otros productos químicos	Rama	3259	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de tintas para impresión, explosivos, y de otros productos químicos. Incluye también la remanufactura de cartuchos de tóner.
	Fabricación de productos de plástico	Rama	3261	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de bolsas y películas de plástico flexible para embalaje; tubería, conexiones y tubos para embalaje; laminados de plástico rígido; espumas y productos de poliestireno; espumas y productos de uretano; botellas, y otros productos de plástico.
Cemento	Fabricación de cemento y productos de concreto	Rama	3273	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de cemento, concreto, tubos y bloques de cemento y concreto, y otros productos de cemento y concreto. Incluye también la fabricación de productos preesforzados de concreto integrada con la instalación en el lugar de la construcción.

Sector productor	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción
Minería	Minería de minerales metálicos	Rama	2122	Unidades económicas dedicadas principalmente a la explotación de minerales metálicos, como hierro, oro, plata, cobre, plomo, zinc y otros minerales metálicos, y a actividades de beneficio, como la trituración, el cribado, la molienda, la concentración magnética, la flotación y la lixiviación, encaminadas a la obtención de concentrados y precipitados. Incluye también la explotación de cobre por medio de la extracción por solventes y depositación electrolítica.
	Minería de minerales no metálicos	Rama	2123	Unidades económicas dedicadas principalmente a la explotación de minerales no metálicos, como piedras calizas, piedras dimensionadas como el mármol y la piedra de cantera; arena, grava, arcillas refractarias y no refractarias, y sal, y a actividades de beneficio, como el cribado, la trituración y otros tratamientos a tierras y rocas. La explotación de granito, ónix, serpentina, mica, de confitillo y cacahuatillo, y a la recolección de sal mediante la evaporación al sol de agua de mar, salmuera de lago y otras salmueras naturales.
	Servicios relacionados con la minería	213	Subsector	Unidades económicas dedicadas principalmente al suministro de servicios para la minería, como la perforación de pozos petroleros y de gas, la exploración o prospección minera exclusiva para campos petroleros y mineros en alguna de las fases necesarias para la explotación de yacimientos mineros, petroleros y de gas. Supervisión de la perforación de pozos petroleros y de gas; a la instalación, mantenimiento y desmantelamiento de torres de perforación; al alquiler de maquinaria y equipo para la minería con operador; a la remoción de minerales no metálicos y metálicos en escombreras, y a la recuperación por contrato de carbón en escombreras y de otros combustibles sólidos compuestos principalmente de carbón de piedra.
Azúcar	Elaboración de azúcares, chocolates, dulces y similares	Rama	3113	Unidades económicas dedicadas principalmente a la elaboración de azúcares, chocolate, productos de chocolate, dulces, chicles y productos de confitería. Beneficio de cacao y a la elaboración de chocolates artificiales.
Celulosa y papel	Fabricación de pulpa, papel y cartón	Rama	3221	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de pulpa (de madera y de materiales reciclados), papel y cartón. Fabricación de láminas de cartón asfaltadas hechas en fábricas de cartón, y de cuero artificial o cartón cuero.
Vidrio	Fabricación de vidrio y productos de vidrio.	Rama	3272	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de vidrio, espejos, envases y ampollitas de vidrio, fibra de vidrio, artículos de vidrio de uso doméstico, industrial y comercial, y de otros productos de vidrio. Fabricación de vidrio de uso automotriz, y a la fabricación de vidrio integrada con la fabricación de productos de vidrio.
Cerveza y malta	Industria de las bebidas	Rama	3121	Unidades económicas dedicadas principalmente a la elaboración de bebidas carbonatadas y no carbonatadas; de hielo; a la purificación y embotellado de agua natural y con sabor (por filtración, pasteurización, ósmosis inversa); de otras bebidas no alcohólicas; de cerveza y bebidas alcohólicas fermentadas y destiladas. La purificación de agua en donde se llena directamente el garrafón de los clientes.



Sector productor	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción
Fertilizantes	Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos	Rama	3253	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos.
Automotriz	Fabricación de automóviles y camiones	Rama	3361	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de automóviles, camionetas, autobuses, camiones y tractocamiones
Aguas envasadas	Industria de las bebidas	Rama	3121	Unidades económicas dedicadas principalmente a la elaboración de bebidas carbonatadas y no carbonatadas; de hielo; a la purificación y embotellado de agua natural y con sabor (por filtración, pasteurización, ósmosis inversa); de otras bebidas no alcohólicas; de cerveza y bebidas alcohólicas fermentadas y destiladas. La purificación de agua en donde se llena directamente el garrafón de los clientes.
Construcción	Construcción	Sector	23	Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a la edificación; a la construcción de obras de ingeniería civil; a la realización de trabajos especializados de construcción como preparaciones a los suelos, y a la supervisión de la construcción de las obras con la finalidad de que se respeten los tiempos programados, así como la calidad conforme a lo estipulado y la reglamentación vigente (las unidades que supervisan no construyen ni son responsables del proyecto de construcción).
Hule	Fabricación de productos de hule	Rama	3262	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación y revitalización de llantas; a la fabricación de bandas y mangueras de hule y de plástico, y de otros productos de hule.
Aluminio	Industria básica del aluminio	Rama	3313	Unidades económicas dedicadas principalmente a la refinación de alúmina, a la producción de aleaciones y formas primarias de aluminio, como lingotes, placas, barros, y a la fabricación de productos derivados de la laminación secundaria, como laminados, tubos, perfiles, ángulos y alambrones. Incluye también: u.e.d.p. a la recuperación de aluminio y sus aleaciones para su laminación secundaria, y a la fabricación de papel de aluminio.
Tabaco	Fabricación de productos de tabaco	Rama	3122	Unidades económicas dedicadas principalmente al beneficio del tabaco, mediante actividades como el secado, el desvenado y la clasificación de hojas de tabaco, y a la elaboración de productos de tabaco.
Comercio	Comercio al por menor	Sector	46	Unidades económicas dedicadas principalmente a la compra venta (sin transformación) de bienes para el uso personal o para el hogar para ser vendidos a personas y hogares, aunque en algunas ocasiones esos productos también se comercializan a negocios, como el comercio de gasolina o de automóviles. Comprende también unidades económicas dedicadas solamente a la compra o la venta, por ejemplo, unidades que compran las mercancías, aunque no las vendan ellas directamente sino que las distribuyen para su reventa a otras unidades económicas con las cuales comparten la misma razón social, así como a las que reciben esas mercancías y las venden sin haberlas comprado.

Sector productor	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción
	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	Sector	72	Este sector comprende unidades económicas dedicadas principalmente a proporcionar servicios de alojamiento temporal en hoteles, moteles, hoteles con casino, cabañas, villas y similares, campamentos y albergues recreativos; casas de huéspedes, pensiones y departamentos amueblados con servicios de hotelería; a la preparación de alimentos y bebidas para consumo inmediato con servicio completo o limitado de atención al cliente; a la preparación de alimentos por encargo, y a la preparación y servicio de bebidas alcohólicas para consumo inmediato.
Otras ramas	NA	NA	NA	Todas las demás ramas que no se consideran en el balance de energía.

fuelle: elaboración propia con información del SCIAN 2007, [44]

Tabla B.2: Asignación de bienes energéticos primarios a sectores productores

Tipo de energético primario	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción	Bien que se produce
Carbón	Minería de carbón mineral	Rama	2121	Unidades económicas dedicadas principalmente a la explotación de diversos tipos de carbón mineral, como la antracita, la hulla, el lignito y el carbón térmico, y a actividades de beneficio, como la limpieza y el cribado.	Carbón
Crudo	Producción de petróleo, gas y condensados	Subsector	211	Unidades económicas dedicadas principalmente a la extracción de petróleo crudo y de hidrocarburos crudos en estado gaseoso (gas natural). Obtención de líquidos del gas natural en campos petroleros y de gas.	Petróleo Crudo y Condensados
Gas natural	Producción de petróleo, gas y condensados	Subsector	211	Unidades económicas dedicadas principalmente a la extracción de petróleo crudo y de hidrocarburos crudos en estado gaseoso (gas natural). Obtención de líquidos del gas natural en campos petroleros y de gas.	Gas Natural y Condensados
Nuclear	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica	Subsector	221	Unidades económicas dedicadas principalmente a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de manera integrada, no importa el tipo de planta en que haya sido generada, y a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Generación de energía eléctrica sin realizar la transmisión y distribución.	Electricidad
Hydroenergía	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica	Subsector	221	Unidades económicas dedicadas principalmente a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de manera integrada, no importa el tipo de planta en que haya sido generada, y a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Generación de energía eléctrica sin realizar la transmisión y distribución.	Electricidad
Geoenergía	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica	Subsector	221	Unidades económicas dedicadas principalmente a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de manera integrada, no importa el tipo de planta en que haya sido generada, y a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Generación de energía eléctrica sin realizar la transmisión y distribución.	Electricidad
Eólica	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica	Subsector	221	Unidades económicas dedicadas principalmente a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de manera integrada, no importa el tipo de planta en que haya sido generada, y a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Generación de energía eléctrica sin realizar la transmisión y distribución.	Electricidad
Bagazo de caña	Elaboración de azúcares	SubRama	31131	Unidades económicas dedicadas principalmente a la elaboración de azúcar de caña, de remolacha, y de otros azúcares como piloncillo o panela.	Bagazo de Caña
Leña	Sector Residencial	Demanda Final			Leña

fuente: elaboración propia con información del SCIAN 2007, [44]

Tabla B.3: Asociación de sectores energéticos secundarios a los bienes que producen.

Sector energético secundario	Nombre del sector en el SCIAN	Nivel de desagregación SCIAN	Código SCIAN	Descripción	Bien que se produce
Coquizadoras	Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón	Rama	3241	Unidades económicas dedicadas principalmente a la refinación de petróleo crudo, a la fabricación de productos de asfalto; aceites y grasas lubricantes, y de otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral. Incluye también la refinación de petróleo integrada con la fabricación de productos petroquímicos, y a la regeneración de aceite usado.	Coque de Carbón
Refinerías y Despuntadoras	Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón	Rama	3241	Unidades económicas dedicadas principalmente a la refinación de petróleo crudo, a la fabricación de productos de asfalto; aceites y grasas lubricantes, y de otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral. Incluye también la refinación de petróleo integrada con la fabricación de productos petroquímicos, y a la regeneración de aceite usado.	Coque de petróleo, Gas LP, Diesel, Combustóleo, Gas seco, Gasolinas y naftas, Querosenos y productos no-energéticos.
Plantas de gas y Fraccionadoras	Fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón	Rama	3241	Unidades económicas dedicadas principalmente a la refinación de petróleo crudo, a la fabricación de productos de asfalto; aceites y grasas lubricantes, y de otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral. Incluye también la refinación de petróleo integrada con la fabricación de productos petroquímicos, y a la regeneración de aceite usado.	Gas LP, Gas seco, gasolinas y naftas, Productos no-energéticos, Querosenos y Combustóleo.
Centrales eléctricas públicas	Generación, distribución, transmisión de energía eléctrica	Subsector	221	Unidades económicas dedicadas principalmente a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de manera integrada, no importa el tipo de planta en que haya sido generada, y a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Generación de energía eléctrica sin realizar la transmisión y distribución.	Energía eléctrica

fuente: elaboración propia con información del SCIAN 2007, [44]



# Anexo C

## Tablas de Insumo-Producto México

---

<sup>1</sup>Datos extraídos de la MIP 2008

<sup>2</sup>Datos en base al BNE 2008 [37]

<sup>3</sup>Datos extraídos de la MIP 2012

<sup>4</sup>Datos en base al BNE 2008 [36]

<sup>5</sup>El año 0 corresponde con el año 2000.

Tabla C.1: Estimación del consumo energético de las ramas 2121, 2122, 2123 y del subsector 213 en base a la producción total de la industria minera, año 2008.

	Producción total <sup>1</sup> (MM\$)	Estructura porcentual	Consumo petrolíferos <sup>2</sup> (PJ)	Consumo electricidad <sup>2</sup> (PJ)	Consumo total (PJ)
Total	274162.342	100 %	55.95	20.93	76.88
2121	13085.635	5 %	2.67	1.00	3.67
2122	71869.938	26 %	14.67	5.49	20.15
2123	49736.901	18 %	10.15	3.80	13.95
213	139469.868	51 %	28.46	10.65	39.11

fuentes: elaboración propia

Tabla C.2: Estimación del consumo energético de las ramas 2121, 2122, 2123 y del subsector 213 en base a la producción total de la industria minera, año 2012.

	Producción total <sup>3</sup> (MM\$)	Estructura porcentual	Consumo petrolíferos <sup>4</sup> (PJ)	Consumo electricidad <sup>4</sup> (PJ)	Consumo total (PJ)
Total	483308.85	100 %	28.81	30.88	59.69
2121	17076.754	4 %	1.02	1.09	2.11
2122	223013.56	46 %	13.29	14.25	27.54
2123	57038.534	12 %	3.40	3.64	7.04
213	186180	39 %	11.10	11.90	22.99

fuentes: elaboración propia

Tabla C.3: Estimación del consumo energético del año 2012 del sector del aluminio mediante funciones polinómicas.

Año	0 <sup>5</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Productos refinados y gas	1.79	1.60	1.50	1.48	1.39	1.27	1.21	1.24	1.32	1.12	1.26	1.24	1.27
Electricidad	4.16	3.50	3.39	3.15	2.94	2.96	3.06	3.16	3.11	2.96	2.55	2.10	1.32
Total	5.95	5.10	4.89	4.63	4.33	4.23	4.27	4.40	4.43	4.08	3.81	3.35	2.60

fuentes: elaboración propia

Tabla C.4: Arriba: matriz de Insumo Producto para México, año 2008 en millones de pesos corrientes. Abajo: demanda final y producción total, año 2008 en millones de pesos corrientes.

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
1	745.574	0	25,349	3530.314	0	0	0	0	0	0.299	7741.945	1.913	0	0	0	0	0	0	0.492	0	0	0	0	0	0	0.22	106.473	
2	0	406888.14	0	0.002	0	0	0	0	0	115025.52	0	255.716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	417.495	
3	519.273	9240.182	9300.078	55386.142	10754.945	3590.97	4054.838	305.443	184471.68	4117.266	4.437	654.579	16.264	13.825	1011.174	4117.366	107.866	49.964	837.598	178.597	31010.566	399.563	74.563	30.098	13965.568	136103.523	0	
4	736.309	1810.902	609.67	3311.013	5730.016	112.566	67.92	55.939	3884.108	3207.415	607.93	4830.805	6946.294	3321.333	2076.066	3959.298	421.460	1242.29	1027.956	849.812	270.877	50.659	65834.008	132406.882	0	0	65834.008	
5	0	0	0.006	9.063	10544.296	0	0	0	49.845	0.39	1799.093	29232.052	0	0.004	0	23.873	0.358	6347.252	0.228	0.086	361.925	2196.782	0.437	177.709	7.617	232884.933	0	
6	27.704	17.136	80.374	504.333	243.326	94.258	21.053	0.406	239.019	124.808	103.717	388.142	5.029	51.435	95.138	12.751	45.312	117.268	11.13	608.861	186.835	108.24	35.625	83.488	791.187	23742.229	0	
7	4.751	77.008	315.643	253.002	179.326	41.626	6.368	1.832	321.661	391.926	38.073	61.546	28.692	21.454	85.97	20.769	409.496	711.986	18.466	10.051	2.58	192.61	2.58	192.61	2216.509	0	0	
8	2.602	42.112	171.329	138.187	22.842	3.467	1.052	175.175	197.149	51.72	184.765	14.488	20.791	33.354	15.473	11.612	46.846	11.224	220.549	386.034	5.818	5.692	132.59	1299.458	0	0	0	
9	92.205	1558.73	6284.07	5777.9	3010.97	931.882	133.42	40.19	3258.907	7304.852	1030.106	901.944	784.783	1277.193	501.61	548.2	1764.405	434.774	7900.841	15703.076	212.045	205.4	51.411	5592.609	55854.088	0	0	
10	2.72	24007.892	3603.205	60076.608	173.003	2.808	0	0	2748.724	104198.47	1458.703	34007.892	660.927	566.322	137.687	1136.549	2748.438	1373.888	3178.202	146.947	0	648.337	84.14	10.055	5536.853	38072.099	0	
11	90.922	0	4.836	1.353	287.425	0	0	0	0.002	6.03	23468.7	352.323	0	814.305	387.89	0.189	5.117	0	0	206.964	42400.216	373.008	8.793	0.205	543.906	52015.002	0	0
12	88.384	0.018	127.747	854.74	1590.64	0.029	0.004	0	382.792	390.649	69.996	42607.055	732.332	131.791	3467.662	867.666	792.819	9472.598	125.987	13357.191	32121.128	2665.257	47.896	21.44	5808.73	123226.266	0	0
13	0	0	0.004	0.517	190.441	0	0	0	0	20.294	0.169	0.018	4595.865	0.008	0.007	110.113	33.175	5573.922	0.003	0.004	0.004	0.576	0.003	0.001	0.004	6518.462	0	0
14	0.001	269.523	110.103	28.366	0	0	0	0	0	0	0	8866.63	46.802	0	2.425	0	0	0	0	0	72320.936	0	0	0	210.672	4524.204	0	0
15	133.304	74.858	297.463	119.683	617.464	0	0	0	71.296	4290.867	12646.338	503.213	0.002	5292.484	3664.492	207.736	985.296	0.005	1627.03	0	20226.369	8.504	20.002	0	13.712	37469.487	0	0
16	1.885	0	5.324	215.883	45.61	11.453	1.566	0	212.418	13.195	4.467	1084.43	16.264	13.825	31.798	4117.266	107.866	49.964	5.789	9.496	684.059	208.978	2.235	74.937	818.542	33271.779	0	0
17	0	0	4.166	0.177	47.792	0	0	0	43.323	38.555	0.395	636.988	63.327	0.507	0.773	1.1	3017.229	10784.401	3.913	2478.189	2518.461	9.295	0.246	0.086	2145.098	6256.897	0	0
18	0	0	0	0	494.043	0	0	0	0.227	12.777	0.104	113.191	0.087	3.123	1.155	0.027	3.115	414.547	0.008	0	97.24	0.796	0.016	0	4667.174	1429.751	0	0
19	0	0	0	0	14781.017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.37	0	0	1475.826	0	0	0	166.826	491.591	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	581.051	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0.005	0	0.151	2108.576	0.87	3.048	137.348	0	1025.329	7.552	19.564	164.694	65.146	4.568	3471.973	23.397	5.09	9.012	0.833	17.665	120455.35	203.853	0.225	0.165	2173.893	12998.683	0	0
22	1.919	0	0.001	2.205	163.229	0	0	0	390.6	0.003	0.194	27.897	0.001	0.124	16.189	0.002	0.075	0.87	0.001	1363.811	3457.886	276.653	0.028	0	1326.909	3794.55	0	0
23	0	0	0.013	2.599	0.151	0	0	0	0	0.453	0.646	14.643	0	3.115	0	0.184	0.1645	0	0.025	16.426	2574.033	2.085	598.346	0	4.745	3154.885	0	0
24	0	0	0	0	0.018	0	0	0	0	0.015	0	0	0	0	0	0.558	0	0	0	0	0	0	0	0.003	354.027	0.432	1.864	0
25	806.712	8202.555	1073.285	1409.766	28920.302	5597.292	8593.819	512.141	42686.916	33126.836	15789.994	42243.941	4475.259	5047.039	10926.581	4729.206	3936.037	12891.483	2922.42	50104.136	112150.7	2458.503	1385.457	418.104	44362.559	385651.626	0	0
26	1375.982	18853.25	20027.916	36547.533	37721.866	8311.212	5902.976	2238.469	94308.12	16672.045	9334.36	55908.791	9589.423	14526.02	51394.778	2622.263	8928.842	49543.946	1370.248	76530.201	273937.2	2957.363	1275.432	2480.17	431226.25	1201606.221	0	0

Número del sector	Demanda Final		Producción total	
	Total demanda doméstica	Exportaciones	Total	$x_i$
1	1328.685	27713.981	29042.666	41286.845
2	0.000	444503.625	439809.324	968890.497
3	242114.964	63512.830	305627.794	772411.999
4	141685.228	6918.150	148603.378	410192.967
5	181318.282	70366.378	251684.660	586318.512
6	30549.668	15773.094	46322.762	74152.827
7	17039.850	3315.451	20355.301	26204.370
8	9078.641	1765.606	10844.247	14016.616
9	702094.887	61237.507	763332.394	892742.014
10	115312.623	30183.633	145496.256	431267.401
11	1533.013	44227.589	45760.602	167333.818
12	204684.884	98597.873	303282.757	541374.163
13	52566.863	11662.900	64229.763	81273.408
14	3404.883	2322.168	5727.051	92106.720
15	140916.287	31864.404	172780.691	261076.707
16	1981.372	2585.902	4567.274	46576.133
17	6655.693	13432.203	20087.896	48130.014
18	171722.658	26046.467	197769.125	205006.506
19	1790.344	6726.690	8517.034	25483.775
20	153656.567	270970.934	424627.501	425209.152
21	1783594.780	0.000	1783594.780	1925713.490
22	9396.614	9130.389	18527.003	29229.866
23	823.518	7234.214	8057.732	14339.686
24	15808.506	3395.537	19204.043	19560.660
25	1673483.796	221103.002	1894586.798	2731706.365
26	5500434.961	1796021.469	7296456.430	9856596.109

fuelle: elaboración propia con información de la matriz IP 2008, [34]



ANEXO C. TABLAS DE INSUMO-PRODUCTO MÉXICO

Tabla C.5: Arriba: matriz de Insumo-Producto para México, año 2012 en millones de pesos corrientes. Abajo: demanda final y producción total, año 2012 en millones de pesos corrientes.

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	1028.475	0	136.36	5863.875	0	0	0	0	0	0.893	8286.348	3.523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.509	134.419	
2	0	0	5238.40.921	0	0.008	0	0	0	0	811.977	7336.544	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1328.499	
3	863.095	12952.87	9876.648	7070.298	15493.034	34443.776	8642.97	389.189	262712.105	2747.765	1550.301	5761.967	3561.397	9384.630	1842.254	3220.528	2574.81	5094.198	1466.436	244.030	40165.61	833.189	83.988	11.530	22742.923	1539.0771	
4	702.226	2074.828	301.72	2352.451	5043.573	75483	82.317	95.785	3842.075	1753.952	3395.213	7638.01	7.538	4095.687	6367.128	3460.609	1776.423	3699.214	492.796	1092.588	5422.258	948.785	177.51	7.538	61173.904	128926.082	
5	0	0	0.003	21.597	6794.947	0	0	0	0	0.287	1747.045	3368.611	0	0.002	0.045	7964.899	0.567	0.151	507.739	3482.514	0.421	152.79	6.034	34211.4.06	0	28469.239	
6	39.765	26.661	45.328	643.5	318.247	89.934	39.386	0.442	280.155	91.911	66.446	405.729	63.637	54.031	116.599	16.994	54.826	146.558	41.319	793.695	228.526	56.215	28.534	10.322	1129.31	39469.239	
7	7.261	141.845	174.795	291.917	221.504	42.868	12.339	2.566	422.462	178.538	67.692	488.957	54.566	44.617	83.126	44.84	28.773	125.682	114.069	579.615	779.723	32.957	11.177	0.556	383.285	3582.039	
8	3.424	67.508	83.027	139.054	109.199	20.588	5.887	1.108	201.286	84.793	31.877	250.431	25.394	21.312	39.278	21.164	13.638	50.937	54.215	272.785	369.407	15.597	5.22	2.252	180.025	164.364	
9	141.357	2871.223	3502.539	6567.907	4468.211	950.601	285.971	65.165	8952.972	3386.752	1389.59	98501.47	1141.674	920.032	1984.773	881.144	704.372	2879.458	704.246	11208.808	17001.679	667.723	214.81	10.635	8500.365	85402.792	
10	2.533	2775.894	2043.035	42390.359	229.350	2.867	0	0	2109.716	30133.437	709.98	34208.341	754.109	464.144	143.176	1099.378	2405.543	1038.79	3823.53	116.895	1996.424	938.182	53.877	1.679	5387.947	34375.12	
11	104.573	0	4.541	1.174	389.767	0	0	0.002	11094.539	328.165	0	891.46	399.006	0.212	6.226	0.212	6.226	0.078	0	342.242	35403.395	358.518	6.943	0.117	669.943	59600.244	
12	11.679	0.003	478.229	78.71	23956.172	0.043	0.011	0	656.483	548.148	42.792	54600.702	1221.698	112.444	3575.963	1181.374	866.035	10678.01	180.516	24578.33	32297.939	4142.515	52.611	2.388	31129.344	112131.933	
13	0	0	0.004	0.817	339.095	0	0	0	0	0.817	0.174	64.196	8474.107	0.012	0.001	0.001	72.917	10765.378	0.006	0.014	0.006	1.274	0.004	0.001	0.142	13175.032	
14	0.092	492.201	158.83	301.25	0	0	0	0	0	0.027	0.027	9071.64	3890.126	0	4.051	0	0	0	0	79391.417	4.051	0	0	0	398.491	1777.188	
15	190.916	134.309	357.474	0	801.681	0	0	0	109.842	5552.233	20535.977	1339.299	0.001	5520.358	28916.197	314.108	1418.697	0.017	3852.23	0	20987.667	20.612	1.59	6.637	0	35.6	91957.615
16	1.964	0	6.128	189.342	24.119	11.072	2.319	0	295.877	13.767	2.407	1251.845	32.159	11.949	32.748	4889.299	130.521	60.135	6.945	10.199	582.851	265.927	1.795	8.698	1706.201	39005.206	
17	0	0	6.634	0.166	90.115	0	0	0	52.088	46.445	0.347	621.517	67.499	1.69	0.672	0.001	4028.622	12996.091	4.851	3329.207	2931.978	1.022	0.582	0.042	3095.462	7612.141	
18	0	0	0	17.183	532.605	0.072	0	0.25	28.129	0.072	151.87	0.77	2.492	0.899	0.034	0.214	557.643	0	0	0	72.182	0	0	0	0	511.119	428.008
19	0	0	0	0	2195.379	0	0	0	218.275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2287.244	0	0	0	0	0	0	18.772
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0.01	0	0.171	1540.984	1.984	4.888	338.095	0	1743.872	3.108	18.576	258.813	113.314	5.87	6035.603	46.75	9.813	16.163	1.619	55.593	164822.246	56.202	8.285	0.126	4095.123	27619.475	
22	1.408	0	0	209.66	0	0	213.268	0.008	0.085	84.922	0.002	0.028	0.002	15.87	0.004	0.185	0.387	0	1.886.263	4049.089	515.445	0.036	0	0	2151.796	6992.335	
23	0	0	0.011	1.908	0	0	0	0	0.312	11.232	0.132	0	2.228	0	0.177	1.404	0	0.024	13.167	1807.997	1.852	343.859	0	0	4.967	4026.387	
24	0	0	0	2.227	0	0	0	0	0.044	0	0	0.637	0	0	0.684	0	0	0	0	0	0	0	0.022	337.624	26.725	8.695	
25	2303.465	13522.199	8642.058	26433.366	28539.994	4601.345	136.6.108	634.818	45576.054	1406.608	9199.495	46196.921	721.8782	4775.702	4888.656	6000.739	3052.038	15189.978	3307.074	57235.79	99023.92	3590.527	1130.478	61.144	55562.913	491145.708	
26	517.74	39154.541	13832.424	11698.298	63987.265	18193.848	9792.766	3238.473	8396.523	4664.759	56900.72	12829.678	4411.029	6513.461	6470.173	7571.104	97954.441	2179.524	89270.286	273857.251	3992.57	1068.506	310.181	405398.888	1905542.55		

Número del sector	Demanda Final		Total	Producción total	
	Demanda f- ca	Exportaciones		x1	x2
1	648.139	373.16	1021.299	17076.754	
2	0	584246	499811.46	1099119.1	
3	3183507.342	620055	380562.38	1052997.89	
4	136646.189	4461.32	141107.51	386396.26	
5	191030.435	115239	306269.1	762888.122	
6	41684.231	8920.85	50605.081	84041.171	
7	33460.478	5658.66	39119.135	47036.844	
8	10197.343	2678.4	12875.739	16628.355	
9	938889.733	111807	1050697	1225235.41	
10	78900.467	41775.6	120676.11	313412.411	
11	6331.863	39304.4	45636.273	156087.394	
12	228138.54	125285	353423.98	656514.95	
13	73116.718	22028.2	95144.868	128086.75	
14	3367.1	2863.06	6230.155	101936.829	
15	0	96705.5	96565.923	281073.393	
16	3162.03	2770.28	5932.308	54481.841	
17	6060.039	17501.7	23561.729	58410.561	
18	222640.593	39259.9	261909.49	271476.73	
19	2254.961	8855.56	11110.519	35686.025	
20	213548.63	511357	724906.03	727430.316	
21	2078011.474	0	2078011.5	2285164.55	
22	12410.092	18502.5	30912.628	46705.095	
23	3921.613	8561.19	12482.807	18698.951	
24	10831.008	3222.33	14053.34	14440.818	
25	2190016.157	422858	2613474.5	3567547.85	
26	7062597.497	2676774	9739371.686	12901091	

fuentes: elaboración propia con información de la matriz IP 2012. [35]





# Anexo D

## Vectores y matrices auxiliares

---

<sup>1</sup> Este factor de emisión aplica a sectores energéticos, industrias manufactureras y construcción.

<sup>2</sup> Este factor de emisión aplica para el sector agropecuario y comercial.

<sup>3</sup> Este factor aplica a sectores energéticos, industrias manufactureras y construcción. Se obtuvo a partir de la fórmula de equivalencia  $CO_2 + 21 \times CH_4 + 298 \times N_2O$ .

<sup>4</sup> Este factor aplica al sector agropecuario y comercial. Se obtuvo a partir de la fórmula de equivalencia  $CO_2 + 21 \times CH_4 + 298 \times N_2O$ .

<sup>5</sup> Sectores energéticos, industrias manufactureras y construcción.

<sup>6</sup> Agropecuario y comercial.

Tabla D.1: Factores de emisión por combustión de combustibles en kg/TJ.

Nombre en BNE	Nombre del energético (IPCC)	Factor de emisión de $CO_2$	Factor de emisión $CH_4^1$	Factor de emisión $CH_4^2$	Factor de emisión de $N_2O$	Factor de emisión $CO_2$ -eq <sup>3</sup>	Factor de emisión $CO_2$ -eq <sup>4</sup>	Factor de emisión promedio $CO_2$ -eq <sup>5</sup>	Factor de emisión Promedio $CO_2 - eq^6$
Crudo	Petróleo crudo	73300	3	10	0.6	73542	73689	73542	73689
Carbón	Antracita	98300	1	10	1.5	98768	98957	97968	98157
	Carbón de coque	94600	1	10	1.5	95068	95257		
	Carbón bituminoso	96100	1	10	1.5	96568	96757		
	Lignito	101000	1	10	1.5	101468	101657		
	Briquetas de carbón de lignito	97500	1	10	1.5	97968	98157		
Condensados	Gas natural licuado	64200	3	3	0.6	64442	64442	64442	64442
Gas natural	Gas natural	56100	1	5	0.1	56151	56235	56151	56235
Bagazo de caña	Otra biomasa sólida primaria	100000	30	300	4	101822	107492	101822	107492
Leña	Madera	112000	30	300	4	113822	119492	113822	119492
Coque de carbón	Coque de horno de coque y coque de lignito	107000	1	10	1.5	107468	107657	107468	107657
Coque de petróleo	Coque de petróleo	97500	3	10	0.6	97742	97889	97742	97889
Gas LP	Gases licuados de petróleo	63100	1	5	0.1	63151	63235	63151	63235
Gasolinas y naftas	Gasolina para motores	69300	3	10	0.6	69542	69689	70892	71039
	Gasolina para la aviación	70000	3	10	0.6	70242	70389		
	Gasolina para motor a reacción	70000	3	10	0.6	70242	70389		
	Nafta	73300	3	10	0.6	73542	73689		
Querosenos	Querosenos para motor a reacción	71500	3	10	0.6	71742	71889	71942	72089
	Otro queroseno	71900	3	10	0.6	72142	72289		
Diesel	Gas/Diesel oil	74100	3	10	0.6	74342	74489	74342	74489
Combustóleo	Fuelóleo residual	77400	3	10	0.6	77642	77789	77642	77789
Gas seco	Gas de fábricas de gas	44400	1	5	0.1	44451	44535	51051	51135
	gas de refinería	57600	1	5	0.1	57651	57735		

fuente: Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, [29].

Tabla D.2: Vector  $\bar{s}$ , año 2008.

Sector	$s_i$	Sector	$s_i$
1	0.70343631	14	0.06217843
2	0.45393089	15	0.66180048
3	0.39567976	16	0.10021197
4	0.36227676	17	0.41736734
5	0.42926269	18	0.96469682
6	0.62469314	19	0.33421399
7	0.77679032	20	0.99863208
8	0.77367083	21	0.92619945
9	0.85504253	22	0.63383811
10	0.33736901	23	0.5619183
11	0.27346894	24	0.98176866
12	0.56020915	25	0.6935391
13	0.79029248	26	0.74026128

fuente: elaboración propia

Tabla D.3: Vector  $\bar{s}$ , año 2012.

Sector	$s_i$	Sector	$s_i$
1	0.05980639	14	0.0611178
2	0.45473821	15	0.34356124
3	0.3614085	16	0.10888597
4	0.36518859	17	0.40338132
5	0.40146005	18	0.96475852
6	0.60214631	19	0.3113409
7	0.83167006	20	0.99652985
8	0.77432428	21	0.90934873
9	0.85754703	22	0.66186843
10	0.38503933	23	0.66756723
11	0.29237642	24	0.97316786
12	0.53833348	25	0.73256888
13	0.74281585	26	0.75492621

fuente: elaboración propia

Tabla D.4: Vectores auxiliares de energía, año 2008.

Sector	Uso de energía (PJ)	$f'_i$	Sector	Uso de energía (PJ)	$f'_i$
1	3.67	0.0003	14	150.48	0.0109
2	1032.26	0.0745	15	73.21	0.0053
3	6130.75	0.4426	16	51.81	0.0037
4	2649.12	0.1913	17	54.65	0.0039
5	144.75	0.0105	18	32.53	0.0023
6	130.61	0.0094	19	4.04	0.0003
7	24.44	0.0018	20	10.29	0.0007
8	39.51	0.0029	21	12.17	0.0009
9	2232.99	0.1612	22	8.12	0.0006
10	27.66	0.0020	23	4.34	0.0003
11	273.30	0.0197	24	0.43	0.00003
12	102.41	0.0074	25	125.23	0.0090
13	103.68	0.0075	26	428.88	0.0310

fuentes: elaboración propia con información del BNE 2008, [37].

Tabla D.5: Vectores auxiliares de energía, año 2012.

Sector	Uso de energía (PJ)	$f'$	Sector	Uso de energía (PJ)	$f'$
1	2.11	0.0002	14	139.51	0.0105
2	616.55	0.0466	15	57.57	0.0043
3	5788.27	0.4372	16	45.44	0.0034
4	2731.88	0.2063	17	55.78	0.0042
5	160.05	0.0121	18	25.82	0.0020
6	121.19	0.0092	19	1.27	0.0001
7	26.38	0.0020	20	14.35	0.0011
8	32.67	0.0025	21	13.21	0.0010
9	2102.12	0.1588	22	9.16	0.0007
10	106.28	0.0080	23	2.59	0.0002
11	207.34	0.0157	24	0.52	0.00004
12	90.57	0.0068	25	127.41	0.0096
13	41.37	0.0031	26	720.36	0.0544

fuentes: elaboración propia con información del BNE 2012, [36].



Tabla D.6: Matriz de usos de combustibles  $\Upsilon$ , PJ, año 2008.

	Crudo	Carbón	Condensados	Gas natural	Bagazo de Caña	Leña	Coque de carbón	Coque de Petróleo	Gas LP	Gasolinas y Naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas Seco
1	0	0	0	0	0	0	0.34	0.00	0.18	0.00	0.00	0.26	0.28	1.62
2	0	0	0	208.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1.12	0	7.65	23.34	0.01	37.85	88.94	0
4	0	216.6	0	530.54	5.35	0	0	38.39	0	0	0	11.36	479.23	560.77
5	0	0	0	0	0	0	0	0	5.47	0	0.04	110.05	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.04	129.57	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.3	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.74	5.77	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	40.82	1606.47	0	581.27	0	0.58
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.47	0.22	26.97
11	0	0	0	0	0	0	86.08	6.87	0.01	0	0	1.28	8.63	139.99
12	0	0	0	0	0	0	0	13.97	0.82	0	0	5.37	9.39	54.08
13	0	0	0	0	97.26	0	0	0	0	0	0	0.04	6.03	0
14	0	7.59	0	0	0	0	0	90.41	0	0	0	0.28	28.21	7.66
15	0	0	0	0	0	0	6.68	0	3.51	0	0	5.13	5.68	32.27
16	0	0	0	0	0.24	0	0	0	0.46	0	0	1.42	11.28	28.5
17	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.14	0	0	0.16	4.2	45.98
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1.88	0	0	4.1	8.66	11.62
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	3.34
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0.6	0	2.24
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.47	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	1.7	0.58	4.2
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0.01	0	1.17
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0.22
25	0	0	0	0	0	0	0	0	62.91	0	0	4.37	0	8.9
26	0	0	0	0	0	0	0	33.14	35.21	0	0	16.66	0.4	71.21

fuente: elaboración propia con información del BNE 2008, [37].

Tabla D.7: Matriz de usos de combustibles  $\Upsilon$ , PJ, año 2012.

	Crudo	Carbón	Condensados	Gas natural	Bagazo de Caña	Leña	Coque de carbón	Coque de Petróleo	Gas LP	Gasolinas y Naftas	Querosenos	Diesel	Combustóleo	Gas Seco
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.00	0.00	0.43	0.08	0.33
2	0	0	0	270.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	3.45	0	6.39	3.6	0.01	40.91	55.59	0
4	0	364.12	0	0	0	0	0	149.82	0	0	0	26.53	465.25	1063.58
5	0	0	0	0	0	0	0	0	6.63	0	0.02	114.73	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.88	120.31	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.22	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.7	0.37	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	35.2	1505.7	0	556.63	0	0.68
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0.23	0.2
11	0	0	0	0	0	0	64.34	2.47	0.01	0	0	0.76	4.51	111.9
12	0	0	0	0	0	0	0	1.76	0.83	0	0	4.69	5.15	61.12
13	0	0	0	0	37.08	0	0	0	0	0	0	0	2.26	0
14	0	5.42	0	0	0	0	0	90.64	0	0	0	0.22	1.48	8.09
15	0	0	0	0	0	0	0	0	4.87	0	0	11.66	2.22	9.03
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	1.26	5.02	28.73
17	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.16	0	0	0.16	2.87	47.93
18	0	0	0	0	0	0	0	0	2.07	0	0	3.41	3.89	49.06
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.47
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.78	0	0	0.78	0	4.13
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.42	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	1.96	0.44	4.91
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0.01	0	0.99
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.31
25	0	0	0	0	0	0	0	0	60.06	0	0	4.26	0	6.09
26	0	103.89	0	0	3.92	0	0	5.15	31.4	0.21	0	27.7	4.69	161.18

fuente: elaboración propia con información del BNE 2012, [36].

Tabla D.8: Matriz auxiliar D, año 2008.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	1.0187373	0.0098368	0.0016027	0.085090	0.030528	0.0067067	0.001125	0.0004162	0.0028725	0.0031808	0.0240533	0.0040437	0.0004388	0.0027181	0.0020864	0.0000526	0.0009764	0.0019139	0.0001834	0.0021376	0.0068963	0.0007942	0.0001040	0.0000516	0.0214063	0.1381143	
2	0.0004134	1.0137641	0.1439145	0.0560887	0.1106554	0.0029770	0.0024200	0.0002204	0.1061030	0.1641810	0.0293934	0.0186694	0.0010727	0.0019002	0.0028699	0.0037715	0.0017385	0.0031555	0.0024269	0.0036450	0.0037540	0.0008558	0.0001805	0.0001013	0.0272335	0.1552406	
3	0.0009381	0.0105338	1.0181768	0.0766399	0.0210979	0.0066386	0.0056684	0.0005200	0.2482908	0.0139350	0.0039254	0.0009507	0.0015121	0.0020261	0.0049790	0.0015578	0.0012294	0.0008356	0.0002877	0.0063245	0.0007922	0.0010881	0.0002877	0.0001854	0.0462200	0.2872201	
4	0.0020148	0.0068922	0.0071013	1.0131992	0.00221163	0.0029512	0.0005458	0.0009289	0.0189201	0.0163251	0.0293269	0.0033241	0.0033241	0.0150622	0.0209436	0.0016016	0.004480	0.0155668	0.0008664	0.0003046	0.0094755	0.0028223	0.0008664	0.0003046	0.1876192	0.4564789	
5	0.0000983	0.0013197	0.0019683	0.0026735	1.00986469	0.0028333	0.00033574	0.0001334	0.0063701	0.00211993	0.0033291	0.0040391	0.0033291	0.0033291	0.0001969	0.0003897	0.0006390	0.0179976	0.0000958	0.0000958	0.0053129	0.0216899	0.0040490	0.0000958	0.0000958	0.5501141	
6	0.0004700	0.0013838	0.0028063	0.0029270	0.0002303	1.0002524	0.0005536	0.0001019	0.0082778	0.0040880	0.0028538	0.0003080	0.0002809	0.0017397	0.0037445	0.0005043	0.0011724	0.0043623	0.0003140	0.0003140	0.0134864	0.0106219	0.0017342	0.0005778	0.00012507	0.3871810	
7	0.0002250	0.0046140	0.0184662	0.0143336	0.0098128	0.0023305	1.0004112	0.0001106	0.0176919	0.0200968	0.0052362	0.0176935	0.0016831	0.0021125	0.0038174	0.0016099	0.0012480	0.0009846	0.0004701	0.0004701	0.0172747	0.0396000	0.0009846	0.0004701	0.0016692	0.1366093	
8	0.0002117	0.0046632	0.0139754	0.0105630	0.0101096	0.0024106	0.0004194	1.0001103	0.0050876	0.0176779	0.0021126	0.0035372	0.0010377	0.0012601	0.0050861	0.0010377	0.0050861	0.0007930	0.0004652	0.0004652	0.0012822	0.0006793	0.0004652	0.0001503	0.0176692	0.1329483	
9	0.0001510	0.0027694	0.0087499	0.0009250	0.0050542	0.0010525	0.0002808	0.0000831	1.0073853	0.0119282	0.0031693	0.0010673	0.0010569	0.0009225	0.0004470	0.0009449	0.001719	0.0002706	0.0002706	0.0002706	0.0265755	0.0004123	0.0002706	0.0000919	0.0126786	0.1060229	
10	0.0007250	0.0010689	0.0016189	0.0025161	0.0051465	0.0018392	0.0003081	0.0001048	0.0251284	1.0018157	0.0063074	0.0005374	0.0006408	0.0049099	0.0106869	0.00128792	0.0028792	0.0004909	0.0004909	0.0004909	0.0084150	0.0032287	0.0004909	0.0001930	0.0649204	0.2821144	
11	0.0007250	0.0010689	0.0016189	0.0025161	0.0051465	0.0018392	0.0003081	0.0001048	0.0251284	1.0018157	0.0063074	0.0005374	0.0006408	0.0049099	0.0106869	0.00128792	0.0028792	0.0004909	0.0004909	0.0004909	0.0084150	0.0032287	0.0004909	0.0001930	0.0649204	0.2821144	
12	0.0002130	0.0008542	0.0014706	0.0011930	0.0001917	0.0015317	0.0002081	0.0000741	0.0043765	0.0025402	0.0013058	0.0021589	0.0011093	0.0008535	0.0021063	0.0018097	0.0213971	0.0003338	0.0003338	0.0003338	0.0301025	0.0022167	0.0005579	0.0001584	0.0265936	0.2990508	
13	0.0000190	0.0002709	0.0008383	0.0005601	0.0037609	0.0005234	0.0004669	0.0000231	0.0041249	0.0007700	0.0020205	0.000476	1.0001972	0.0002196	0.0005907	0.0016351	0.0005493	0.000386	0.000386	0.000386	0.0009351	0.0005757	0.000386	0.000386	0.000328	0.1005100	0.1935800
14	0.0000296	0.0034850	0.0003597	0.0002559	0.0006901	0.0003928	0.0011290	0.0000197	0.0020222	0.0009694	0.0003624	0.0000296	0.0001530	1.0067511	0.0027355	0.0006936	0.0001449	0.0005025	0.000196	0.000196	0.0007707	0.0003240	0.0005025	0.000196	0.000215	0.0075668	0.0734489
15	0.0006057	0.0021621	0.0059298	0.0004937	0.0088484	0.0010447	0.0001515	0.0000507	0.0033887	0.0231440	0.0579007	0.0063599	0.0006126	0.0234533	1.0188871	0.0011607	0.0044969	0.0024761	0.0006589	0.0006589	0.0023281	0.0003569	0.0006589	0.0001278	0.0111789	0.2053106	
16	0.0002342	0.0024071	0.0057442	0.0100058	0.0088525	0.0051307	0.0006620	0.0002337	0.0105425	0.0045427	0.0023807	0.0030393	0.0019370	0.0024018	0.0166397	0.0099329	0.0039435	0.0082496	0.0004539	0.0004539	0.0104075	0.0005706	0.0004539	0.0002120	0.0657129	0.9377068	
17	0.0000529	0.0007206	0.00012273	0.00013148	0.0039476	0.0001201	0.0001409	0.0000538	0.0040738	0.0027827	0.0007852	0.0011487	0.0005283	0.0014877	0.0020237	0.0006261	0.000548	0.0002637	0.0000667	0.0000667	0.0580771	0.0002377	0.0000667	0.0000623	0.0247550	0.1815653	
18	0.0000102	0.0001340	0.0002448	0.0001666	0.0039047	0.0000176	0.0000078	0.0000078	0.0001581	0.0001714	0.0000995	0.0001869	0.0000574	0.0002964	0.0000343	0.0000589	0.0022487	0.0000496	0.0000146	0.0000146	0.0000807	0.0022487	0.0000146	0.0000807	0.0238012	0.141375	
19	0.0000644	0.0008528	0.0012815	0.0017836	0.0038887	0.0017664	0.0002393	0.0000847	0.0041336	0.0014872	0.0007432	0.0007371	0.0021462	0.0004103	0.0106459	1.00219948	0.0034385	0.0075717	0.000636	0.000636	0.0757171	0.0025819	0.000636	0.0002936	0.0231266	0.3490677	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0.0000055	0.0000892	0.0000591	0.0012440	0.0001251	0.0000526	0.0000830	0.0000027	0.0007183	0.0001291	0.0001859	0.0002421	0.0000589	0.0000664	0.0020326	0.0000639	0.0000312	0.0000017	0.0000194	0.0000194	0.0074243	0.0000217	0.0000032	0.0001800	0.0009253	0.0000000	
22	0.000145	0.0000436	0.0000136	0.00012813	0.0008098	0.0009175	0.0013533	0.0000495	0.0132400	0.0001554	0.0007651	0.0033248	0.0005660	0.0000487	0.0010693	0.0001960	0.0002770	0.0001429	0.0001717	0.0001717	0.0490460	0.0005162	0.0000568	0.0000564	0.0546077	0.1695151	
23	0.0000488	0.0000404	0.0000625	0.00016874	0.0020270	0.0013333	0.0001868	0.0000645	0.0250555	0.001704	0.0010586	0.0006191	0.0032319	0.0003845	0.0019139	0.0001568	0.0004301	0.0016200	0.0000797	0.0000797	0.0366684	0.0002824	0.0000742	0.0030350	0.2095961	0.0000000	
24	0.0000000	0.0000007	0.0000000	0.0000010	0.0000023	0.0000007	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000020	0.0000019	0.0000003	0.0000003	0.0000000	0.0000321	0.0000631	0.0000010	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000016	0.0000065	0.0000002	0.00184326	0.0000295	0.0000000	
25	0.0000365	0.0046551	0.0091028	0.0144405	0.0031220	0.0004968	0.0002430	0.0002430	0.0304050	0.0180728	0.0047466	0.0204756	0.0025990	0.0001271	0.0052435	0.0022237	0.0018025	0.0001608	0.0013420	0.00013420	0.0582659	0.0012291	0.0005602	0.0002235	1.0271408	0.1939188	
26	0.0002057	0.0027435	0.0040883	0.0055132	0.0088477	0.0058742	0.0007383	0.0002794	0.0122779	0.0042280	0.0022795	0.0088327	0.0016066	0.0024004	0.0066598	0.0005711	0.0012849	0.0069151	0.0003186	0.0003186	0.0422913	0.0005216	0.0001974	0.0000324	0.0537111	1.1719541	

fuente: elaboración propia

Tabla D.9: Matriz auxiliar D, año 2012.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	1.1067286	0.0038890	0.0011916	0.3848976	0.0118433	0.0012581	0.0005904	0.0001943	0.0117189	0.0033839	0.5871801	0.0116040	0.0013451	0.0008924	0.0125578	0.0042493	0.0024868	0.0007429	0.0000919	0.0077975	0.1730210	0.0027447	0.0002836	0.0000246	0.0813528	0.4624503	
2	0.0005198	0.0137116	0.4889011	0.0446055	0.0121794	0.0016768	0.0041903	0.0002390	0.2551888	0.0077228	0.0234774	0.0104292	0.0029479	0.0005790	0.0034384	0.0026504	0.0005422	0.0001728	0.0001728	0.0031020	0.0345803	0.0010738	0.0001283	0.0000172	0.0265417	0.1512878	
3	0.0001748	0.0146972	1.0178316	0.0715390	0.0224801	0.0084826	0.0004831	0.0004826	0.2605955	0.0065831	0.0041352	0.0131339	0.0054035	0.0113826	0.0092729	0.0046412	0.0008576	0.0004329	0.0019459	0.0064887	0.0672585	0.0015381	0.0002212	0.0000325	0.0466131	0.2743900	
4	0.0022119	0.0087078	0.0052883	1.0103384	0.0213332	0.0013317	0.0007928	0.0003078	0.0179777	0.0074046	0.0148296	0.0225239	0.0026737	0.0128536	0.0225240	0.0106536	0.0057851	0.0145795	0.0018660	0.0108855	0.0510346	0.0032470	0.0005934	0.0000417	0.1807115	0.4729393	
5	0.0005908	0.0010938	0.0019510	0.0008918	0.0077305	0.0009796	0.0008209	0.0001185	0.0053262	0.0008770	0.0006248	0.0004477	0.0052717	0.0005725	0.0006931	0.0004293	0.0004823	0.00181025	0.0006030	0.0001910	0.0049722	0.0170402	0.00035423	0.0000623	0.000202411	0.0203276	0.0535690
6	0.0002151	0.0039019	0.0008730	0.0007693	0.0043436	0.0001296	0.0004077	0.0000840	0.0117921	0.0048057	0.0021000	0.0130453	0.0018593	0.0018857													



# Anexo E

## Matrices de Impactos



Tabla E.3: Matriz de Impactos de emisiones, año 2008 (10<sup>-6</sup> %).

1	308.7008	0.1636	0.2732	13.9602	0.5645	0.1902	0.0377	0.0154	1.0581	0.2640	26.5013	0.9739	0.1194	0.0728	0.8514	0.0411	0.1216	0.7954	0.0264	0.9196	27.5164	0.2218	0.0232	0.0218	25	26
2	3.4622	1.5968	0.9716	5082.3727	598.2961	54.8352	55.4299	5.1651	2724.4006	1685.5913	24.1375	308.3417	24.9676	2.7594	56.0035	11.1448	22.0232	80.7596	19.9743	107.3520	890.5507	15.9947	2.9903	2.9320	6.3955	40.9189
3	19.8151	1.44.3561	12180.5015	860.2401	273.4416	123.3131	131.4068	11.7257	6425.5117	141.9286	31.8461	153.0698	36.9775	3.8503	99.3582	21.5867	15.4904	111.7067	15.6979	188.3930	1781.2221	10.8215	4.8806	5.4949	997.7417	6418.8715
4	4.35.7523	9.75.8625	863.9142	11285.5393	2918.9291	566.8289	130.3198	66.8281	4973.9008	1693.3576	2.482.6377	5.461.4398	807.6911	287.9478	4291.5294	315.4651	827.4303	4617.1840	164.5790	3540.0307	14508.219	50.0165	149.6909	91.9565	40006.933	103894.55
5	1.5047	12.9034	16.7079	20.8624	10158.480	37.7216	5.9805	2.2233	117.9231	15.9821	6.6162	95.3311	695.1000	1.5390	45.7469	0.8412	7.4747	373.9844	1.1194	114.2830	432.9217	60.1959	10.3965	301.7923	8913.6445	6784.9880
6	7.8482	4.8379	26.2409	70.9268	70.4453	14840.721	10.1830	1.8677	167.6010	32.6587	18.4803	123.9839	15.8015	2.5914	58.6810	1.1967	11.5867	90.0516	2.8848	318.9196	430.9525	26.0287	7.6887	29.2856	495.2203	6784.9880
7	0.8166	0.5362	26.7809	23.6431	19.1780	6.6457	3538.2830	0.3897	68.8768	30.7783	6.5198	45.1383	6.0924	0.6261	10.9002	0.7314	2.4476	22.2777	1.6184	80.5927	167.2039	2.8455	1.2926	0.6659	52.5114	426.7375
8	1.2466	15.7722	44.4468	15.1538	32.3553	11.2156	2.4277	5765.3273	114.4116	51.0846	10.1337	7.9700	17.4422	1.1482	3.9219	36.1590	2.6570	132.8067	276.9034	3.2083	1.9479	1.0993	91.0849	733.3048	1.0849	733.3048
9	4.2750	506.0290	1393.6021	1339.8347	1026.9096	392.9005	87.8002	25.8637	34693.612	1619.8400	348.8698	7400.7052	336.2022	4.1610	12.5337	60.9123	38.0794	154.9826	4115.0801	87.8695	1072.2434	10.5181	61.2122	36.3205	3111.5266	20824.3564
10	1.2299	1.28.3271	66.0407	250.8790	22.7970	6.0426	1.3209	0.3407	78.2156	1622.4784	11.3235	247.3927	10.3943	1.1952	15.3983	2.3133	16.0782	44.7446	13.8933	30.2636	107.4331	7.5974	1.0056	0.6823	162.1486	742.9000
11	22.9240	21.8104	28.7943	40.9746	106.4431	61.0950	10.5841	3.6447	200.5683	27.5359	14313.057	153.6172	25.7952	20.2632	176.8933	1.0838	10.2209	11.8460	22.8189	252.9365	1401.1829	81.0435	5.4101	763.0141	14490.057	763.0141
12	2.2860	6.0645	7.7822	9.3752	35.5467	12.2968	2.1095	0.7670	52.3348	11.4614	4.7759	8.152.9474	22.8183	0.9235	79.2475	2.8229	10.6939	276.0644	1.8225	409.0442	1018.4274	47.9420	1.1904	1.7425	246.6883	2964.5127
13	0.3490	3.2148	4.0178	5.3950	41.5738	8.5362	1.3597	0.5668	27.1530	6.7928	1.7505	13.8804	21908.292	0.3570	10.3783	4.2846	6.9379	3858.3861	0.3955	25.9169	95.3092	1.2543	0.2737	0.8288	118.0548	2004.9193
14	0.4457	48.7125	37.1732	22.5559	9.0983	7.5540	3.0902	0.4674	54.6056	9.9485	3.0431	2113.0684	55.5864	0.2881	1.8597	14.8846	0.3754	23.6528	24451.758	1.0431	0.3387	0.6480	156.0640	156.0640	66.6359	1306.2706
15	3.6622	8.4352	9.1576	15.3371	31.5390	6.0692	1.0115	0.3369	24.6831	67.1090	136.0908	30.6222	4.1610	12.5337	5778.4234	0.9618	16.1420	20.5305	18.9258	19.9824	1013.4866	1.9391	0.6173	0.5267	66.6359	1306.2706
16	1.0295	6.8568	9.2968	22.7472	23.8466	20.1133	3.2272	1.1345	88.7613	9.6174	4.0856	127.6448	6.6063	0.7323	27.5745	691.7051	10.3285	49.9412	0.9519	65.2207	329.2094	22.6862	0.8345	12.9501	265.9940	4448.9014
17	0.2528	2.2220	3.2988	3.2955	11.5317	4.3169	0.7433	0.2825	23.4612	6.3771	1.4586	68.4256	10.5572	0.2231	6.6882	0.1818	3025.6345	0.5161	398.9674	440.6422	1.0233	0.2544	0.4154	294.8955	910.4337	910.4337
18	0.0305	0.2590	0.4123	0.2570	5.5605	0.3103	0.0683	0.0258	2.1078	0.7650	0.2302	0.5768	0.0263	0.5242	0.0245	0.1262	0.1391	0.0487	0.1388	0.0349	8.8667	0.0362	0.0362	70.5406	44.6172	70.5406
19	0.0207	0.1773	0.2322	0.2925	125.5528	0.5662	0.0819	0.0300	1.6182	0.2297	0.0931	1.2597	8.6664	0.0210	0.6503	0.0117	0.0784	4.7922	153.3487	1.7722	32.1240	0.7493	0.0164	0.1320	7.3437	118.4132
20	0.0076	0.0090	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	0.0076	0.0090	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	0.0785	0.2713	0.4089	0.4021	3.3741	0.5765	0.1023	0.0373	11.0268	0.5108	0.2038	1.8142	0.4511	0.0295	0.1389	0.0191	0.1126	1.3380	0.0381	4.83374	122.8737	0.0311	0.0540	36.8891	120.3522	36.8891
23	0.0054	0.0462	0.0588	0.0271	1.1382	0.0230	0.0079	0.4394	0.0957	0.2875	0.0081	0.2011	0.0025	0.0285	0.2330	0.0042	0.5817	30.6833	0.2884	92.4931	0.0116	1.4354	31.6886	0.0029	31.6886	31.6886
24	0.00001	0.00006	0.00008	0.00000	0.00003	0.00001	0.00002	0.00001	0.00005	0.00002	0.00004	0.00007	0.00004	0.00007	0.00001	0.00003	0.00001	0.00003	0.00001	0.00005	0.00002	0.00005	0.00003	0.00001	0.0006	0.0029
25	3.0888	25.3440	43.1990	20.5454	74.3939	23.9314	4.6290	209.2400	73.1293	25.4085	14.2884	129.2866	34.2926	4.6297	9.3234	82.1600	5.9796	254.7630	1023.5417	6.8389	3.7756	2.6558	8544.0832	1721.7922	8544.0832	1721.7922
26	37.8909	52.5420	42.2893	52.1907	97.0001	95.8881	15.1938	5.6491	295.5486	37.8018	115.1705	14.0131	174.3156	2.7824	274.3033	1023.5417	6.8389	3.7756	2.6558	8544.0832	1721.7922	8544.0832	1721.7922	8544.0832	1721.7922	8544.0832

fuente: elaboración propia.

Tabla E.4: Matriz de Impactos de emisiones, año 2012 (10<sup>-6</sup> %).

1	10.6991	0.2932	0.6988	22.7206	0.7686	0.1225	0.0794	0.0243	1.6244	0.2106	27.7506	1.2275	0.1615	0.0884	0.6974	0.0756	0.1621	1.1139	0.0463	1.2512	25.4924	0.2936	0.0308	0.0039	6.6334	56.4334
2	1.3116	1.7082	0.6219	6547.6103	603.6409	181.1801	365.4226	129.1411	6.8587	3988.6881	1101.8286	35.4327	43.7744	10.7141	38.2710	194.9200	21.6055	144.3940	1165.2592	26.9376	3.1743	0.6203	720.5937	632.2558	632.2558	632.2558
3	1.4385	1.35.6513	7531.7554	7531.7554	536.3839	184.7881	419.3917	147.8760	7.6512	4538.0277	46.1436	241.7547	144.8257	83.9515	14.2438	10.3473	32.0011	186.3304	12.4043	136.4752	1251.8363	20.8444	3.0239	0.6485	699.1360	421.2583
4	46.2923	1275.5097	788.9480	279.3319	205.6013	83.0207	538.0277	279.3319	1510.3228	529.6912	532.3576	273.7837	2095.7354	404.1832	812.8326	4899.9129	202.3589	3709.4917	16166.768	748.6591	137.9981	14.1307	40124.798	124376.38	124376.38	124376.38
5	0.0056	15.0546	11.8730	8.1427	9976.1742	12.4844	8.6507	2.6119	99.9763	7.3909	3.9986	72.4410	857.0503	0.7959	27.0956	1.0232	4.2587	382.2750	1.3018	108.4658	339.1798	77.9964	0.9106	5.1366	325.9508	9838.0447
6	0.7519	16.9309	15.0051	69.8000	66.0443	12836.998	14.5284	1.9521	139.3028	11.9642	11.6694	94.9124	27.3238	1.0785	31.8251	4.551	9.3398	92.2177	4.2523	284.1271	317.6498	13.6493	5.6981	2.8756	457.6553	674.1272
7	0.0012	8.4248	10.1003	13.3206	16.1122	3.7065	3958.9043	0.3906	67.8234	8.8046	2.9215	33.4158	6.5719	0.4028	4.9285	0.6671	1.6996	105.3977	2.9514	66.7291	105.3977	0.9146	0.8466	0.0793	391.9027	391.9027
8	0.1021	14.3482	17.1993	22.6447	27.8957	6.3316	4619.8311	81.2463	14.1965	4.9329	56.2625	11.2240	0.6854	8.3862	1.1250	2.8760	91.6323	6.5128	112.2065	178.4572	4.9907	1.4132	0.1337	83.8825	662.6080	
9	3.4220	512.6942	606.6403	574.7935	148.0929	241.7412	108.8605	22.6036	317805.35	528.5296	130.3938	2015.3091	308.1448	25.0721	341.7410	39.6673	119.8830	11513.297	81.2554	3893.5052	6793.3962	177.9437	48.9223	4.7558	3280.5507	26986.559
10	0.0039	6.4222	2.8651	7.9402	1.1924	0.2082	0.0871	0.0339	3.1856	59.8357	0.2284	10.4804	0.5026	0.0698	0.3111	1.0002	0.5990	1.8842	0.6139	1.4112	4.6441	0.4625	0.0315	0.0033	6.4792	29.7526
11	1.6529	20.9589	16.0511	16.1635	83.0499	15.8426	11.9875	3.2658	133.4845	10.3206	10.0271.95	95.8559	22.2922	14.6225	80.6982	1.3135	6.0396	85.4289	2.2771	214.2955	8392.6390	59.6592	2.3081	0.4801	5.9847	15.123.066
12	0.1073	4.8349	6.4942	5.0569	181.5119	1.3108	2.0826	0.0679	39.0443	6.8304	3.5118	8.8249	29.2966	2.6835	7.5629	198.3859	1.7160</									



## **Anexo F**

### **Cálculo de la demanda final para el 2028**



Tabla F.1: Datos de la demanda final por sector en millones de pesos constantes del 2012.

Sector/Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	604	545	736	776	724	869	764	973	1 039	1 009	946
2	511 239	526 526	522 510	510 156	493 769	463 481	429 392	436 299	430 447	428 428	441 095
3	350 247	369 426	384 160	303 067	311 171	326 352	290 528	290 914	296 361	328 437	346 974
4	98 209	108 858	114 107	118 466	126 143	126 908	126 427	129 724	143 011	137 520	134 653
5	327 446	333 905	329 337	341 607	349 389	356 385	340 295	351 916	348 225	376 003	388 793
6	48 176	53 276	57 014	57 766	61 683	64 862	61 387	64 094	62 126	68 661	74 051
7	122	129	128	137	142	137	127	141	189	2 530	12 736
8	142	141	122	132	134	137	121	112	107	115	111
9	379 832	384 772	376 808	391 820	403 263	395 887	393 858	402 516	409 137	410 058	418 147
10	243 582	263 906	262 793	269 513	270 610	267 618	238 652	255 738	272 482	278 629	264 156
11	49 295	58 077	60 098	57 682	57 129	59 390	40 479	51 526	54 700	56 867	74 697
12	481425	498633	500706	522747	550941	556430	511506	549873	548421	581397	581337
13	76 160	81 047	91 767	94 251	94 687	98 658	94 156	97 471	95 995	97 927	98 086
14	27 597	40 875	31 490	32 238	33 418	32 141	28 207	32 917	32 836	33 755	33 132
15	122624	132889	136939	138539	153958	180850	183501	195490	200118	210121	224688
16	3 849	5 198	5 683	4 662	4 618	4 576	2 877	4 523	4 699	4 979	5 057
17	27 597	40 875	31 490	32 238	33 418	32 141	28 207	32 917	32 836	33 755	33 132
18	284 259	303 888	331 218	366 268	384 327	389 705	392 437	391 270	416 011	431 242	428 428
19	7 792	8 776	9 614	8 915	9 722	10 556	7 812	9 306	9 636	10 362	9 828
20	616 175	640 813	724 775	882 162	899 278	915 030	617 457	884 708	1 030 886	1 115 580	1 145 505
21	1 384 857	1 468 641	1 516 609	1 634 951	1 712 876	1 795 844	1 678 252	1 675 021	1 732 991	1 768 973	1 680 796
22	24 132	25 902	27 786	28 915	29 713	29 136	24 039	30 697	34 542	38 504	38 538
23	7 630	8 833	9 412	9 454	9 556	9 597	6 926	9 366	11 969	13 461	11 898
24	58 779	58 658	58 260	66 237	66 046	72 004	65 866	64 816	57 721	61 299	60 672
25	331444	341429	345682	363926	371392	366496	334235	336508	339632	360043	359568
26	7 407 682	7 794 490	8 166 288	8 720 311	9 103 468	9 301 856	8 744 330	9 574 905	10 081 990	10 524 650	10 798 044

Tabla F.2: Datos de las exportaciones por sector en millones de pesos constantes del 2012.

Sector/Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	1	4	11	14	33	152	75	198	433	384	15
2	617831	626656	608607	601793	563202	468175	409439	458989	450715	423272	395209
3	26522	28122	39798	47210	49025	68848	57518	65611	69534	51473	60638
4	4000	5637	5906	5615	6307	6918	5772	6119	5733	3929	2728
5	65362	70635	73795	83234	83098	84847	89027	91638	94196	105602	102909
6	10310	11402	12201	12362	13201	13881	13137	13717	13296	14694	15848
7	21	22	22	23	24	23	21	24	32	428	2154
8	37	37	32	35	35	36	32	29	28	30	29
9	45232	45820	44872	46660	48022	47144	46902	47933	48722	48832	49795
10	26772	29491	32112	34805	40079	37882	31747	37452	38179	39108	36701
11	25074	38442	43180	47322	50140	54418	26720	46238	52875	45226	53369
12	86593	97462	99872	109830	121414	114229	112422	126755	140417	152787	155851
13	4602	5915	8585	11024	8667	13357	18174	17457	22373	18802	22752
14	1510	2020	3187	3024	2727	2731	2242	2589	2622	3208	3522
15	30614	38771	37975	36900	41080	39305	33902	45259	56664	65941	65965
16	1870	2348	2430	2482	2631	3131	2189	2506	3210	2927	2918
17	11150	13332	14441	15493	15245	15671	14465	17293	16724	17757	18477
18	24361	26263	27435	33118	33126	32154	34463	33576	34509	40949	38119
19	916	900	1296	2085	3037	8279	5654	6431	4992	11198	11153
20	307446	296578	322717	328952	334384	340341	264534	383537	455082	495784	501276
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	7182	8112	9530	9795	11080	10331	9265	12425	14631	15863	17409
23	3964	3928	4433	5575	7203	8173	7811	7922	9286	9727	6091
24	562	487	249	2176	3772	3510	3443	3242	3170	3323	2949
25	63979	65907	66728	70249	71690	70745	64518	64957	65560	69500	69408
26	1158792	1334913	1447119	1642263	1754688	1772114	1566991	1958368	2151439	2333593	2408811

Tabla F.3: Datos del PIB por sector en millones de pesos constantes del 2012.

Sector/Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	5 840	5 178	6 544	6 465	6 567	6 406	5 471	6 955	7 927	7 780	7 379
2	980 154	990 920	982 928	976 049	945 288	892 297	848 201	842 720	828 271	824 386	814 649
3	87 579	90 464	89 171	88 514	86 968	86 728	87 153	80 852	77 923	78 765	81 292
4	135 871	157 170	172 403	196 402	209 832	216 101	216 899	227 974	246 384	251 798	253 282
5	360 290	364 847	351 456	373 045	390 308	392 984	377 848	390 856	366 831	397 118	407 528
6	16 500	19 945	20 615	19 680	21 993	21 901	19 892	19 231	19 165	20 566	22 224
7	15 174	15 920	15 613	15 717	16 162	15 567	14 418	16 432	16 616	16 559	16 211
8	7 869	7 729	8 488	8 373	7 751	9 673	7 389	7 947	8 530	8 547	8 579
9	488 916	510 062	520 345	548 815	567 686	566 307	523 598	568 542	593 225	619 700	637 004
10	90 554	94 499	93 596	98 312	98 036	94 733	92 949	95 917	96 971	93 701	95 403
11	58 008	61 093	60 489	59 405	60 221	60 531	48 171	56 258	56 959	54 852	60 708
12	194591	198488	203779	210677	214592	210988	200549	201168	202654	209544	213955
13	27 300	28 599	29 837	29 698	30 027	31 844	28 715	29 621	29 162	30 436	31 177
14	39 774	41 627	44 542	48 698	49 874	47 962	44 710	44 342	46 351	47 452	45 241
15	115356	122438	129957	128900	143631	155988	158400	171317	181006	194265	203392
16	13 195	14 042	14 583	14 781	15 044	14 944	14 810	15 009	14 657	15 058	15 124
17	16 511	17 980	18 022	18 735	19 497	18 988	17 183	18 052	18 304	19 078	18 786
18	71 108	76 455	82 108	87 233	90 746	92 200	92 931	94 095	100 852	103 682	103 916
19	7 871	8 261	9 213	8 960	9 678	8 534	8 611	9 411	9 424	9 497	8 930
20	88 662	89 238	95 506	117 393	118 948	126 832	93 347	142 063	163 589	184 931	192 022
21	787 139	842 252	872 476	948 296	992 914	1 030 710	968 200	975 507	1 015 099	1 039 974	990 336
22	7 436	8 791	9 370	9 652	9 885	9 496	8 004	9 290	10 346	11 334	11 056
23	3 499	3 555	3 490	3 508	3 417	3 256	3 005	3 335	3 139	3 975	4 055
24	11 416	11 549	10 941	11 279	10 467	11 425	11 019	10 446	8 524	8 501	8 943
25	1681963	1779876	1866229	1982570	2060861	2063763	1814588	2004943	2178883	2284519	2336393
26	4807322	4984930	5158405	5399788	5598484	5751043	5668572	5923695	6134265	6399699	6534012

Tabla F.4: Cálculo del crecimiento de la Demanda Final durante el periodo 2003-2013.

Sector	Participación sectorial promedio en el PIB	Crecimiento PIB en el periodo 2003-2013	Crecimiento Demanda Final en el periodo 2003-2013	Cociente entre PIB y Demanda final	Proyección de crecimiento para el 2028 de PIB sectorial	Proyección de crecimiento para el 2028 sectorial de Demanda Final
1	0.06 %	20.86 %	37.03 %	0.563	0.04 %	0.07 %
2	7.81 %	-20.32 %	-35.01 %	0.580	5.27 %	9.09 %
3	0.73 %	-7.73 %	7.57 %	-1.022	0.50 %	-0.49 %
4	1.76 %	46.36 %	25.60 %	1.811	1.19 %	0.66 %
5	3.26 %	11.59 %	20.11 %	0.576	2.20 %	3.82 %
6	0.17 %	25.76 %	34.94 %	0.737	0.12 %	0.16 %
7	0.14 %	6.40 %	99.04 %	0.065	0.09 %	1.43 %
8	0.07 %	8.27 %	-27.15 %	-0.304	0.05 %	-0.16 %
9	4.78 %	23.25 %	9.16 %	2.537	3.23 %	1.27 %
10	0.82 %	5.08 %	10.14 %	0.501	0.55 %	1.10 %
11	0.50 %	4.45 %	41.93 %	0.106	0.34 %	3.18 %
12	1.77 %	9.05 %	22.95 %	0.394	1.19 %	3.03 %
13	0.25 %	12.44 %	33.16 %	0.375	0.17 %	0.46 %
14	0.39 %	12.09 %	20.59 %	0.587	0.26 %	0.45 %
15	1.32 %	43.28 %	47.28 %	0.916	0.89 %	0.97 %
16	0.13 %	12.76 %	28.28 %	0.451	0.09 %	0.19 %
17	0.16 %	12.11 %	24.92 %	0.486	0.11 %	0.22 %
18	0.77 %	31.57 %	33.85 %	0.933	0.52 %	0.56 %
19	0.08 %	11.86 %	58.50 %	0.203	0.05 %	0.26 %
20	1.08 %	53.83 %	43.91 %	1.226	0.73 %	0.60 %
21	8.14 %	20.52 %	17.61 %	1.165	5.50 %	4.72 %
22	0.08 %	32.74 %	44.03 %	0.744	0.05 %	0.07 %
23	0.03 %	13.71 %	35.55 %	0.386	0.02 %	0.05 %
24	0.09 %	-27.65 %	6.73 %	-4.111	0.06 %	-0.01 %
25	17.14 %	28.01 %	7.82 %	3.581	11.57 %	3.23 %
26	48.47 %	26.43 %	35.14 %	0.752	32.73 %	43.52 %



# Bibliografía

- [1] Wassily Leontief. Environmental repercussions and the economic structure — an input–output approach. *The Review of Economics and Statistics*, 52(3):262–271, 1970.
- [2] Wassily Leontief. Air pollution and the economic structure : empirical results of input-output computations. *Input-output techniques : proceedings of the Fifth International Conference on Input-Output Techniques.*, 1972.
- [3] Se-Hark Park. An input-output framework for analysing energy consumption. *Energy Economics*, 4(2):105 – 110, 1982.
- [4] Rong-Hwa Wu; Chia-Yon Chen. On the application of input-output analysis to energy issues. *Energy Economics*, 12(1):71–76, 1990.
- [5] George J.Y. Hsu. Energy multipliers for economic analysis: An input-output approach. *Energy Economics*, 11(1):33–38, 1989.
- [6] Brian W. Gould; Surendra N. Kulshreshtha. An interindustry analysis of structural change and energy use linkages in the saskatchewan economy. *Energy Economics*, 8(3):186–196, 1986.
- [7] Xiaoli Han; T. K. Lakshmanan. Structural changes and energy consumption in the japanese economy 1975-1985: an input output analysis. *The Energy Journal*, 15(3):165–188, 1994.
- [8] Hashim M. Al-Ali. Input-output analysis of energy requirements: An application to the scottish economy in 1973. *Energy Economics*, 1(4):211–218, 1979.

- [9] Vicent Alcántara; Jordi Roca. Energy and co2 of analysis and some results for 1980-90. *Energy Economics*, 17(3):221–230, 1995.
- [10] Vicent Alcántara; Emilio Padilla. ”key” sectors in final energy consumption: an input-output application to the spanish case. *Energy Policy*, 31(15):1673–1678, 2003.
- [11] Manfred Lenzen. A generalized input output multiplier calculus for australia. *Economic Systems Research*, 13(1), 2001.
- [12] Manfred Lenzen. Primary energy and greenhouse gases embodied in australian final consumption: an input-output analysis. *Energy Policy*, 26(6):495–506, 2006.
- [13] Hi-Chun Park; Eunnyeong Heo. The direct and indirect household energy requirements in the republic of korea from 1980 to 2000—an input-output analysis. *Energy Policy*, 35(5):2839–2851, 2007.
- [14] Ronald E. Miller; Peter D. Blair. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University Press, second edition, 2009.
- [15] Antonio Pulido; Emilio Fontela. *Análisis Input-Output (Modelos, Datos y Aplicaciones)*. Pirámide, 1993.
- [16] Ronald E. Miller; Peter D. Blair. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Prentice-Hall, first edition, 1985.
- [17] Charles Gide; Charles Rist. *Histoire des doctrines économiques depuis les Physiocrates jusqu’à nos jours*. 1922.
- [18] Wassily Leontief. Quantitative input-output relations in the economic system of the united states. *Review of Economics and Statistics*, 18(3), 1936.
- [19] Wassily Leontief. *The Structure of the American Economy*. New York, Oxford University Press, 1941.

- [20] R. F. Kahn. The relation of home investment to unemployment. *The Economic Journal*, 41(162):173–198, 1931.
- [21] Robert A. Herendeen; Clark W. Bullard III. Energy cost of goods and services, 1963 1967. volume Document No. 140. Center for Advanced Computation, University o Illinois at Urbana Campain, 1974.
- [22] Robert A. Herendeen; Clark W. Bullard III. An energy input-output matrix for the united states, 1963 user’s guide. volume Document No. 69. Center for Advanced Computation, University o Illinois at Urbana Campain, 1973.
- [23] Clark W. Bullard III; Robert A. Herendeen. Energy impact of consumption decisions, 1963 user’s guide. volume Document No. 135. Center for Advanced Computation, University o Illinois at Urbana Campain, 1974.
- [24] Clark W. Bullard; Peter S. Penner; David A. Pilati. Net energy analysis: Handbook for combining process and input-output analysis. volume Document No. 214. Center for Advanced Computation, University o Illinois at Urbana Campain, 1976.
- [25] Stephen D. Casler. *Encyclopedia of Energy*, volume 3, chapter Input-Output Analysis, pages 459–474. Elsevier, 2004.
- [26] Annika Carlsson-Kanyama. Energy use in the food sector: A data survey. Technical report, Department of Systems Ecology, Stockholm University, 2000.
- [27] Jean-Pierre Hansen; Jacques Percebois. *Énergie, Économie et Politiques*. De Boek, 2010.
- [28] Robert S. Pindyck; Daniel L. Rubenfield. *Microeconomics*. Prentice Hall, seventh edition, 2009.
- [29] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, volume 2, Energía, chapter 2. IGES, Japón, 2006.



- [30] Matías Piaggio; Vicent Alcántara; Emilio Padilla. Greenhouse gas emissions and economic structure in uruguay. *Economic System Research*, 2013.
- [31] INEGI; PNUD. *Matriz de Insumo-Producto Año, 1980*, 1986.
- [32] INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuadros de Oferta y Utilización: Fuentes y Metodologías*, Agosto 2013.
- [33] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Desarrollo de la matriz Insumo-Producto 2012, Fuentes y Metodologías*. INEGI, 2014.
- [34] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Matriz insumo-producto 2008. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/mip/>.
- [35] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Matriz insumo-producto 2012, actualización. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/mip12/>.
- [36] Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Balance nacional de energía 2012. Technical report, Secretaría de Energía, 2013.
- [37] Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Balance nacional de energía 2008. Technical report, Secretaría de Energía, 2009.
- [38] Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Balance nacional de energía 2010. Technical report, Secretaría de Energía, 2011.
- [39] Secretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Balance nacional de energía 2013. Technical report, Secretaría de Energía, 2014.
- [40] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Actividad de los bienes y servicios, anual, tabulados de descarga. En línea <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/bs/tabulados.aspx>, Febrero 2015.
- [41] Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Prospectiva del sector eléctrico 2014-2028. Technical report, Secretaría de Energía, 2014.

- [42] Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Prospectiva de petróleo y petrolíferos 2014-2028. Technical report, Secretaría de Energía, 2014.
- [43] Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Prospectiva de gas natural y gas l.p. 2014-2028. Technical report, Secretaría de Energía, 2014.
- [44] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Av. Heróe de Nacozari 2301 Sur Fracc. Jardines del Parque. C.P. 20270. *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México 2007*, tercera edición edition, 2007.