



## Evolución de la energía contenida del sistema económico mexicano, características y tendencias de 1970 a 2012. Una aplicación del insumo-producto

## Evolution of energy embodied to Mexican economic system, patterns and trends from 1970 to 2012. An input-output approach

---

Livas-García Adrián

Universidad Nacional Autónoma de México

Posgrado en Ingeniería (Energía)

Correo: [adrianlivasgarcia@gmail.com](mailto:adrianlivasgarcia@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-5868-7966>

### Resumen

La investigación tiene dos objetivos principales, el primero es determinar la energía contenida (EE de Energy Embodied) del sistema económico mexicano, y el segundo es analizar su evolución a través de 42 años. Para estimar la EE y su distribución a través del sistema económico se combina el indicador de intensidad de energía, entendido como la cantidad de energía que utiliza un país para producir una unidad de PIB, con el modelo de insumo-producto utilizando un nivel de agregación de 27 ramas económicas, se hizo la distinción entre la EE de origen directo (energía que se suministra en los procesos de producción) e indirecto (energía requerida para colocar los productos producidos en la demanda final más el uso de los mismos), se identifican sus características y tendencias a través del periodo de estudio. Se encontró que la EE total ha crecido 6.6 veces respecto al año 1970, el crecimiento ha sido con un comportamiento exponencial; la EE indirecto ha sido la de mayor peso y guía del comportamiento del sistema. Durante los años analizados, más de la mitad de la EE total circula en cinco ramas, en el año 1970 representaban 55% del total y en el año 2012 aumentaron a 77% de la EE total, y para esas cinco ramas la mayoría de los intercambios de EE suceden entre ellas mismas. Se concluye que la técnica presentada es adecuada para estimar los flujos de EE de un sistema económico, el análisis que se desprende de ahí contribuye al diagnóstico y diseño de políticas públicas para la gestión de los recursos energéticos para lograr un crecimiento económico balanceado, el mayor potencial de acción se localiza con la EE indirecta junto con mecanismos que eviten sus concentraciones.

**Descriptor:** Energía contenida, intensidad de energía, insumo-producto, flujos de energía, sistema económico.

### Abstract

The research has two main objectives, the first one is to determine the energy embodied (EE) of the Mexican economic system, and the second one is determined its evolution through 42 years. The EE calculations and its distribution through the economic system started with the energy intensity indicator, it is understood as the amount of energy used in a country to produce a unit of GDP, and it is combined with input-output model with an aggregation level of 27 economic branches. It was made the distinction between the direct EE (is the energy supplied directly in the production processes) and the indirect (is the among of energy required to place the products in the final demand plus itself use). Its characteristics and trends were identified through the study period. It was found that the total EE grew 6.6 times according with 1970, the growth has been an exponential behavior. The indirect EE has been the main component and it guided the system behavior. During the analyzed years, more than half of the total EE circulates in five branches, in 1970 they accounted for 55% of the total and in 2012 they increased to 77% of the total EE, for those five economic branches most of its EE was exchanged between them. It is concluded that the technique is adequate to estimate the EE fluxes of economic system, from there is taken that it is worthy for develop diagnostics and design for politic policy for the energy resources management which achieve a balanced economic growth, the greatest actions potential is located with the indirect EE and with strategies that avoid its EE concentrations.

**Keywords:** Embodied energy, energy intensity, input-output, energy flow, economic system.

## INTRODUCCIÓN

Las actividades de la economía y su generación de valor descansan, tanto las transformaciones de energía y materiales como en los efectos de estas en el medio ambiente. El balance entre estos, de acuerdo con los criterios de sustentabilidad y desarrollo, plantean uno de los retos más importantes de la humanidad para el siglo XXI, las previsiones de los organismos públicos supranacionales los acentúan.

México no está exento a tales desafíos, que además de las necesidades y consecuencias de sus actividades económicas internas, tienen una carga adicional en sus responsabilidades como país extractor-exportador de petróleo crudo.

Explorar a la economía desde el lente de la energía toma un papel fundamental para el entendimiento del estado de desarrollo de un país y para visibilizar los puntos de atención que tengan mayores posibilidades para actuar en la prevención de sus futuros retos.

La intensidad de energía (cantidad de energía utilizada para generar una unidad de Producto Interno Bruto) es un indicador macroeconómico que contribuye a valorar la *salud* de un país, dado su carácter de vincular la economía con los usos de la energía. Su construcción es fácil, sin embargo, su interpretación no, se requieren de técnicas adicionales para extraer la información que contiene.

El modelo de Input-Output (IO) es una de las técnicas que ayudan a evaluar los aspectos del desarrollo (Leontief, 1966, 1985). Tiene la cualidad de ofrecer información de la estructura económica, de las ramas que la componen, de sus funciones de producción y de utilización, de sus relaciones intersectoriales, entre otras (Schuschny, 2005).

El uso combinado de la intensidad de energía con el modelo del IO, constituye un marco teórico de gran capacidad para estimar el costo energético o la energía contenida de un sistema económico (Herendeen, 1973; Bullard *et al.*, 1976). La relevancia de esta técnica es que permite estimar la energía que se adhiere en los procesos de la demanda intermedia, ya sea vía de usos de energía directamente o por medio de la contenida en los insumos, se conoce como la componente directa; y la indirecta está asociada con el costo energético de colocar la producción en la demanda final.

Lo novedoso de este enfoque y de su complejidad radica en distinguir que la energía es un elemento vital de cualquier sistema económico, porque este último está compuesto de flujos de energía que definen la dependencia directa e indirecta en las relaciones de inter-

cambio entre cada una de las ramas que los componen (Hannon, 1973).

Esta herramienta de análisis es de gran utilidad para los tomadores de decisiones, los gestores del desarrollo, los encargados de la planeación de los recursos naturales (entre ellos los energéticos), al permitir: la evaluación de políticas públicas (Hawdon & Pearson, 1995; Llop & Pié, 2008; Guerra & Sancho 2010); la realización de simulaciones de diferentes opciones de crecimiento económico logrando disminuir los usos de la energía, por medio de mejoras en las eficiencias de transformación, o de medir los efectos de la eficiencia energética como mecanismo para frenar el agotamiento de los recursos energéticos (Lenzen & Dey, 2002; Lian *et al.*, 2007; Linder *et al.*, 2008); para estimar los efectos de inducir cambios en la composición de los bienes y servicios que generen reducciones en el uso de energía (Park & Heo, 2007).

Incluso para cuantificar el impacto de ramas específicas, por ejemplo, la comparación del uso de energía en la construcción de edificios respecto a la EE con los materiales utilizados (Nässen *et al.*, 2007); o comparar la EE que contiene un sector, respecto al total distinguiendo entre los componentes directos e indirectos (Chang *et al.*, 2010); estimar el EE importado y el exportado de una economía (Giovani *et al.*, 2001); o aislar el EE de un solo combustible, por ejemplo, la cantidad de petróleo crudo de una economía (Yuan *et al.*, 2010).

Las aplicaciones son amplias y diversas, sin embargo, todas parten de calcular el “Inventario de energía contenida” de la economía en cuestión, identificando el perfil del contenido en usos directos e indirectos.

El presente trabajo estima la EE del sistema económico mexicano para los años 1970, 1978, 1980, 2003, 2008 y 2012; identifica e interpreta a los componentes directos e indirectos y los intercambios de EE entre las ramas que componen al sistema.

## DESARROLLO

### TÉCNICA DE ANÁLISIS

El vínculo para estimar la EE de un sistema económico es la intensidad de energía. La información que genera aborda las relaciones inter-energéticas dentro de la economía.

Al estar preparadas las tablas monetarias y energéticas se estima el vector de Intensidad de Energía ( $F$ ), o la matriz de intensidades por tipo de energético.

$$F_{i,k} = \frac{E_{i,k}}{X_{i,k}} \quad (1)$$

donde los subíndices  $i$  y  $k$  denotan el tipo de energético y rama económica (usuario final de energía), respectivamente.

Los valores monetarios que se toman para construir las intensidades de energía, los  $X_{i,k}$ , son los Valores Brutos de las Producciones (VBP) de cada centro que, combinado con los usos de energéticos, contemplan las características cuantitativas y cualitativas de todos los centros de usos finales de energía, los efectos de los mercados internacionales de energía primaria y las dinámicas económicas de cada sector (Proops, 1976).

El modelo básico del insumo producto es:

$$\bar{X} = \bar{A}\bar{X} + \bar{Y} \Rightarrow \bar{X} = (\bar{I} - \bar{A})^{-1} \hat{y} \quad (2)$$

La base del IO es la identidad de contabilidad nacional, la producción total nacional es igual a las ventas totales nacionales,  $X_i = X_j$ . Con un enfoque de demanda, se define la matriz  $A$  como la relación de la demanda intermedia respecto a las ventas nacionales totales,

$A = \sum_{i,j=1}^n x_{i,j} / X_i$ . La relación  $L = (I - A)^{-1} - I$  se conoce como la inversa de Leontief o matriz de requerimientos Totales,  $A$  es la matriz de requerimientos directos asociados con la demanda intermedia y la diferencia  $I' = ((I - A)^{-1} - A)$  son los requerimientos indirectos relacionados con la demanda final.

La EE se estima con el producto del vector de intensidad de energía  $F$ , la matriz  $L$  monetaria y el vector diagonalizado de demanda final  $y$  monetaria.

En términos de aprovechamiento de energía total, se tiene:

$$EE_T = F(I - A)^{-1} \hat{y} = FL\hat{y} \quad (3)$$

Para identificar los efectos directos, indirectos y totales de la economía en el contenido de energía, se utilizan las matrices monetarias  $A$ ,  $I'$  y  $L$ ; donde de la matriz  $A$  se obtiene el  $EE_D$ , asociada al aprovechamiento energético en la producción; la matriz  $I'$  genera la  $EE_V$ , relacionada con el costo energético de colocar las producciones entre las diferentes ramas y en la demanda final; y la matriz  $L$  estima la  $EE_T$  es la suma de los efectos directos e indirectos.

Si bien, el análisis se puede extender a los efectos directos e indirectos de energía descritos en la sección anterior, este trabajo lo acota a los efectos en el sistema económico.

#### PREPARACIÓN DE DATOS

Los datos de la componente energética se obtienen de la información de los balances de energía publicados por la

Secretaría de Energía (SENER) a través del Sistema de Información Energética (SIE), en unidades de Petajoules, para los años 1970, 1975, 1978, 1980, 2003, 2008 y 2012.

El vector energético se construye con la suma de la canasta energética total utilizada por el sistema económico para cada rama. Para la componente económica se utilizan las tablas de iIO publicadas por el INEGI para los mismos años.

La información de las tablas se homologa a pesos mexicanos del 2008 y para la equivalencia entre las ramas económicas y energéticas, que utilizan los clasificadores SCIAN y CIU, respectivamente, se hace de acuerdo con las tablas de equivalencia emitidas también por el INEGI, el nivel de agregación es de 27 ramas (SPP, 1981, 1986; INEGI, 1997, 2002a, 2002b, 2007, 2011; SENER, 2012).

Los nombres de las ramas que se utilizaron fueron: Agropecuario; Ext. de Petróleo y Gas; Ext. Carbón; Minería; Generación, Transmisión y Distribución de Electricidad (GTD Elc.); Público; Construcción; Azúcar; Aguas Envasadas; Tabaco; Celulosa y Papel; Petroquímica básica; Química; Fertilizantes; Hule; Vidrio; Cemento; Siderurgia; Aluminio; Automotriz; Otras actividades industriales (Otras act. Ind.); Transporte Aéreo (A); Autotransporte; Transporte Marítimo (M); Transporte Ferroviario (F); Residencial y Comercio y Servicios.

Para la construcción del vector de intensidad de energía se toma uno a uno, la información del vector energético y del vector de Valores Brutos de las Producciones (VBP) para cada uno, es decir, los  $X_{i,k}$ .

#### ENERGÍA CONTENIDA DEL SISTEMA ECONÓMICO MEXICANO

##### COMPORTAMIENTO GENERAL

La evolución de la EE total es ascendente, prácticamente exponencial; el componente indirecto guía el comportamiento de la curva; el componente directo tuvo un comportamiento ascendente de 1970 a 2003, alcanzando su punto máximo e iniciando su descenso en magnitud, la brecha respecto al componente indirecto se ha incrementado, aunque es totalmente visible de 2003 en adelante, que toman direcciones contrarias.

El comportamiento general de la EE de la economía (Figura 1), muestra que el contenido se ha multiplicado por 6.6 en 42 años respecto a 1970, además la evolución de los componentes directos e indirectos había sido relativamente constante de 1970 a 2003, en una proporción promedio de 30% y 70%, respectivamente (Tabla 1); y de 2008 a 2012 el componente indirecto creció 16% respecto a 2003; las proporciones cambiaron en 2012 a 13% y 87%.

Figura 1. Evolución de las componentes de EE del sistema económico mexicano (PJ)

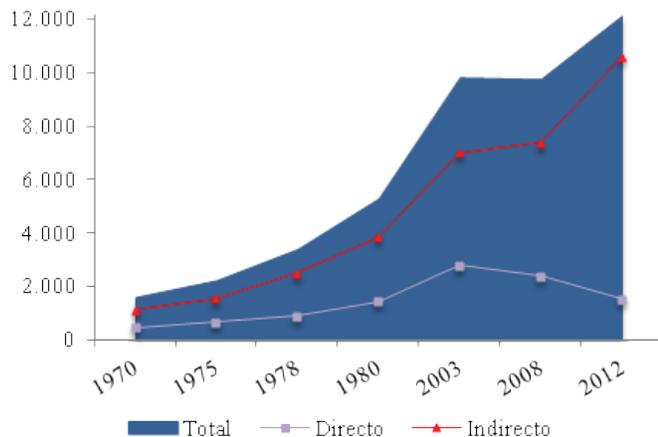


Tabla 1. Tasa de crecimiento y peso porcentual de las componentes de EE sobre el total

Año	Tasa de Crecimiento (base = 1970)	Directo	Indirecto
1970	-	0.29	0.71
1975	39.67	0.30	0.70
1978	113.20	0.27	0.73
1980	232.07	0.27	0.73
2003	516.49	0.28	0.72
2008	512.67	0.24	0.76
2012	661.45	0.13	0.87

### COMPORTAMIENTO DESAGREGADO A CADA RAMA ECONÓMICA

Repitiendo la metodología a cada una de las ramas, se encontraron cuatro comportamientos que las agrupa, estos son:

- 1) El componente indirecto es el de mayor peso en todo el periodo.
- 2) El componente directo es el de mayor peso en algunos puntos del periodo.
- 3) Todos los componentes tienen valores negativos en algún punto del periodo.
- 4) Las ramas que en sus tasas de crecimiento tienen al menos dos picos.

Dentro del primer comportamiento, el componente indirecto es el de mayor peso sobre el total, se detectan tres tendencias, donde el componente:

- En todo momento su valor es mayor o igual a 90%, los presentan las ramas Ext. Petróleo Gas, Transporte (A), Autotransporte y Residencial.

- Gana peso durante el periodo, lo tienen las ramas Agropecuario, Minería, Público, Hule, Automotriz, Transporte (F) y Comercio y Servicios.
- Pierden peso, las ramas Azúcar y Otras act. Ind.

En el segundo comportamiento, aquel en que el componente directo en algún punto del periodo tuvo el mayor peso, es decir, el valor de la producción se enfocó en abastecer la demanda intermedia, se encuentran las ramas:

- GTD de Elec., Construcción, Aguas Envasadas, Petroquímica básica, Química y Fertilizantes.

Los periodos en los que el componente directo fue mayor son:

- GTD de Elec. en 1980; Construcción de 1970 a 1980; Aguas Envasadas de 1970 a 1978; Petroquímica básica de 1980 a 2008; y Química y Fertilizantes en 2003.

Para el tercero, los componentes directo e indirecto son negativos en algún punto del periodo:

- Las ramas Ext. Carbón, Celulosa y Papel, Aluminio, caen en esta clasificación, además todas coinciden en 2008.

El cuarto comportamiento tiene al menos dos picos en sus valores de energía contenida, los cuales tienden a disminuir de intensidad y aumentar su periodicidad, las ramas son:

- Vidrio, Cemento y Siderurgia, son actividades del sector transformación e intensivas en energía.

Las ramas que pertenecen al primer comportamiento son las que fortalecen la estructura económica y energética en el sistema, también se observa que son las intensivas en energía.

#### INTERCAMBIOS DE ENERGÍA CONTENIDA

Las cinco ramas con los valores más altos de  $EE_T$  en orden descendente son: Otras act. Ind., Autotransporte, Residencial, Ext. Petróleo y Gas, Comercio y Servicios. Una del sector primario, una del sector secundario y tres del sector terciario (Figura 2).

La energía contenida total de estas ramas ha pasado de representar de 55% en 1970 a 77% en 2012, son las más representativas para el sistema económico y reflejan su estructura, ver la Tabla 2.

Para el componente directo, las cinco ramas de mayor contenido energético en orden descendente son: Otras act. Ind., Construcción, Química, Petroquímica básica y Comercio y Servicios; cuatro de ellas son del sector secundario y una del sector terciario (Figura 3).

Son las ramas más intensivas en energía contenida para los procesos de producción, el orden de magnitud se encuentra entre los 300 PJ y 500 PJ, aunque para Otras act. Ind. en 2003 y 2008 se elevó hasta 1,300 PJ y 1400 PJ, y para 2012 regresó a los 400 PJ.

En conjunto, la energía contenida de origen directo de estas ramas pasó de 75.75% en 1970 a 72.39% en 2012. Respecto al total las mismas ramas representaron 22% en 1970, 21.5% en 2008 y 9% en 2012. La excepción fue la rama Petroquímica que tuvo una magnitud negativa (importó energía contenida), ver Tabla 3.

En el componente indirecto las cinco ramas con mayor contenido energético en orden descendente son: Autotransporte, Ext. Petróleo y Gas, Otras act. Ind., Residencial y, Comercio y Servicios. Una del sector primario, una del sector secundario y tres del sector terciario (Figura 4).

De la energía contenida de origen indirecto se observa el vínculo de la rama Ext. Petróleo y Gas con Au-

totransporte, las aportaciones hacia la demanda final son prácticamente de la misma magnitud de 1980 a 2012.

Estas cinco ramas son la estructura indirecta del sistema económico, responsables de colocar la energía contenida resultante de los procesos de producción de la demanda intermedia en la demanda final. En 1970 representaban 57% de la  $EE_V$ , porcentaje que aumentó en 2012 a 80%, y estos porcentajes para los mismos años respecto a la  $EE_T$  fueron de 41% y 70% (Tabla 4).

Las ramas reportadas en la Tabla 2 son las cinco ramas más representativas, es decir, las de mayor EE del sistema económico; a continuación, se reportan las ramas con las que tienen los mayores intercambios de EE.

La rama Otras act. Ind., en orden descendente aporta energía a las ramas:

- Otra act. Ind
- Comercio y Servicios
- Construcción
- Autotransporte
- y Automotriz

La mayor aportación la tiene para su propia rama en la componente indirecta; y en el componente directo las mayores aportaciones son para: Otras act. Ind., Construcción, Comercio y Servicios, Autotransporte y Automotriz.

Las aportaciones de Autotransporte:

- Autotransporte
- Otras act. Ind.
- Comercio y Servicios
- Construcción
- y Automotriz

La mayor aportación es para su propio sector en el componente indirecto y en el componente directo son para: Comercio y Servicios, Otras act. Ind., Construcción, Automotriz y Autotransporte.

Para la rama Residencial, que solo aparece de 2003 a 2012 (cuando se incluyó en las cuentas nacionales), toda su aportación es autoconsumo en el componente indirecto.

En Comercio y Servicios sus aportaciones de energía se concentran en:

- Comercio y Servicios
- Otras act. Ind.
- Construcción
- Autotransporte
- y Automotriz

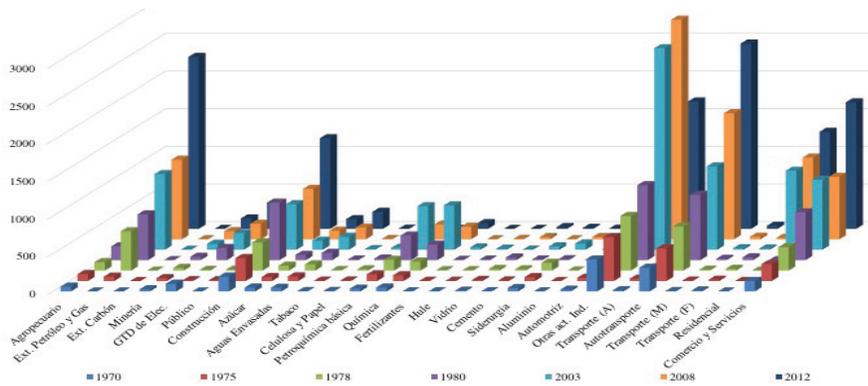


Figura 2. Evolución de  $EE_T$  por ramas económicas (PJ)

Tabla 2. Ramas con mayor contenido de  $EE_T$  (PJ) y proporción sobre el total

Año	Otras act. Ind.	Autotransporte	Residencial	Ext. Petróleo y Gas	Comercio y Servicios	Suma	% (Total)
1970	424.08	313.96	-	0.35	139.45	877.84	55.10
1975	583.31	432.41	-	58.10	223.36	1,297.18	58.29
1978	724.23	584.98	-	521.31	309.99	2,140.51	63.02
1980	994.87	866.22	-	607.65	634.02	3,102.76	58.65
2003	2,673.31	1,106.29	1,047.66	1,003.35	927.12	6,757.73	68.80
2008	2,912.48	1,671.96	1,084.23	1,055.94	829.37	7,553.98	77.39
2012	1,690.90	2,459.48	1,287.97	2,281.06	1,679.15	9,398.56	77.47

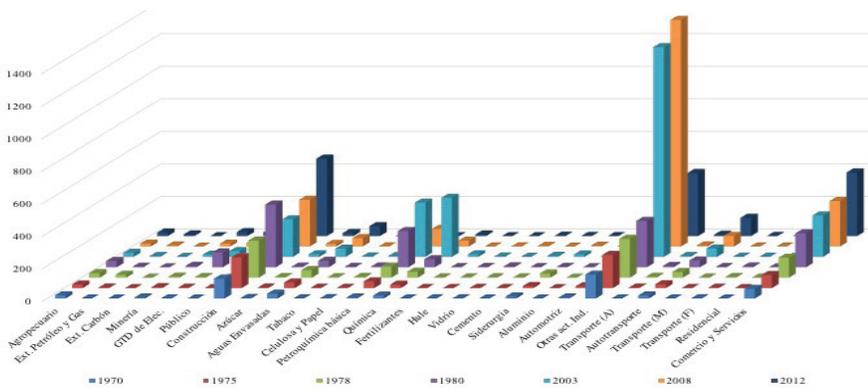


Figura 3. Evolución de  $EE_D$  para cada rama

Tabla 3. Ramas con mayor contenido de  $EE_D$  (PJ) y proporción sobre el total

Año	Otras act. Ind.	Construcción	Química	Petroquímica básica	Comercio y Servicios	Suma	% (Directo)	% (Total)
1970	146.96	122.53	18.19	6.79	59.19	353.66	75.75	22.20
1975	203.75	188.81	21.75	41.08	80.83	536.22	79.51	24.10
1978	239.00	227.90	36.76	68.55	122.32	694.53	76.58	20.45
1980	285.10	385.55	49.37	222.85	208.85	1,151.72	79.59	21.77
2003	1,288.71	230.75	363.17	333.31	254.37	2,470.31	88.41	25.15
2008	1,391.90	287.38	35.80	108.20	279.35	2,102.63	88.13	21.54
2012	387.64	475.64	10.27	-166.37	390.94	1,098.12	72.39	9.05

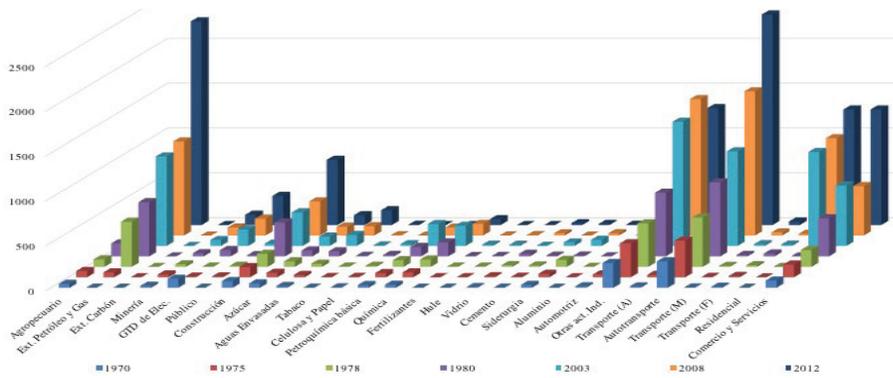


Figura 4. Evolución de  $EE_i$  para cada rama

Tabla 4. Ramas con mayor contenido de  $EE_i$  (PJ) y proporción sobre el total

Año	Autotransporte	Otras act. Ind.	Residencial	Ext. Petróleo y Gas	Comercio y Servicios	Suma	% (Indirecto)	% (Total)
1970	295.09	277.12	-	0.11	80.27	652.59	57.94	40.96
1975	408.55	379.57	-	54.47	142.53	985.12	63.52	44.27
1978	549.43	485.23	-	503.17	187.67	1,725.50	69.30	50.80
1980	824.24	709.77	-	603.84	425.18	2,563.03	66.68	48.44
2003	1,054.25	1,384.60	1,047.66	997.68	672.75	5,156.94	73.38	52.50
2008	1,606.42	1,520.58	1,084.23	1,048.93	550.02	5,810.18	78.78	59.52
2012	2,346.75	1,303.26	1,287.97	2,270.33	1,288.21	8,496.52	80.05	70.04

La mayor aportación es para su propio sector en el componente indirecto, y en el componente directo son para: Comercio y Servicios, Otras act. Ind., Construcción, Autotransporte y Automotriz.

La siguiente es Ext. Petróleo y Gas, sus principales aportaciones son para:

- Otras act. Ind.
- Ext. Petróleo y Gas
- Química
- Petroquímica básica
- Comercio y Servicios

La mayor aportación total es para Otras act. Ind., por componentes, la cantidad más grande de EE es para su propia rama en el componente indirecto y para Otras act. Ind. en el componente directo.

Para Construcción se considera por la cantidad de energía que recibe de las demás actividades. Sin embargo, sus aportaciones de energía hacia las demás es prácticamente cero. La mayor aportación es para su propia rama en el componente indirecto, es una rama absorbente de energía.

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### COMPORTAMIENTO GENERAL

La  $EE_T$  del sistema económico mexicano de 1970 a 2012 ha tenido un comportamiento exponencial, la magnitud se multiplicó por un factor de 6.6. Esto se debe principalmente a que la evolución del componente indirecto ha sido el de mayor peso y en menor medida por el directo que, aunque de 1970 a 2003 tuvo una dirección de ascenso, alcanzó su máximo en ese último año, para después iniciar el descenso en los siguientes años, comportamiento contrario al componente indirecto. Recordando que el componente directo cuantifica la magnitud de EE que fue suministrada a los procesos de producción del ecosistema económico, por vía de los aprovechamientos de energía y de la EE en los insumos utilizados; el descenso se explica por la combinación de tres factores:

- Disminución en los volúmenes de producción.
- Mejoras en los aprovechamientos de energía.
- Aumentos en las ventas directas de productos en la demanda final, que no fueron sometidos a los proce-

tos de producción de la demanda intermedia, resultado de procesos extractivos, principalmente de la rama Ext. Petróleo y Gas.

El componente indirecto cuantifica la energía requerida para colocar los productos producidos en la demanda final más el uso de estos, su aumento en la curva se explica por dos causas:

- Los costos energéticos de colocar los productos en los componentes de la demanda final han aumentado, es decir cuesta más energía a la economía, hacer economía es un doble efecto asociado con el costo energético de colocar la energía necesaria en los centros de aprovechamiento final, más la energía para colocar la producción económica en los consumidores finales.
- Debido al aumento del peso de los componentes en la demanda final, que no necesariamente pasaron por la demanda intermedia.

El componente indirecto siempre ha sido el de mayor peso proporcional respecto al total, sin embargo, es notorio que entre 1975 y 1978, el peso específico de su magnitud se acerca más al total, marcando el comportamiento de la curva, lo que se hace totalmente evidente del 2003 en adelante. En esos mismos años los usos de energía hacen un cambio de inflexión en el sistema energético, antes de 1975 la mayor proporción en los usos de energía estaban orientados a los procesos de transformación de energía; hacia 1978 el perfil de usos de mayor peso cambió a los procesos de transmisión, distribución y almacenamiento de energéticos (Livas, 2015, pp. 247-248).

Si bien, una de las principales consecuencias de la estructura económica y energética es que el costo energético de hacer economía ha estado aumentado. Esto se debe principalmente a los efectos de la componente indirecta, es decir, el uso de energía en los procesos de comercialización de productos producidos es mayor que los procesos de producción, llegando a tener una EE equivalente a 87% del total en 2012, en comparación con 70% que se había mantenido constante de 1970 a 2003.

#### COMPORTAMIENTO DESAGREGADO A CADA RAMA ECONÓMICA

Las proporciones de los componentes directo e indirecto respecto al total del comportamiento general se deben principalmente al impacto de las ramas más intensivas en EE del sistema.

Para cada rama, se tiene que algunas de las más intensivas en EE, lo son también en EE<sub>i</sub>, donde el peso de

este componente es mayor a 90% respecto al total, para cada una de las ramas. Estas fueron Ext. Petróleo y Gas, Transporte (A), Autotransporte y Residencial.

Y la contraparte, las ramas más intensivas en EE<sub>D</sub>, pero han disminuido la cantidad de energía de sus productos, ramas como GTD de Elec., Construcción, Aguas Envasadas, Petroquímica básica, Química y Fertilizantes.

La relevancia en la detección entre las proporciones de los componentes directos e indirectos de la EE para el sistema económico y las ramas que lo conforman radica en la relación de la generación de valor monetario respecto a la gestión de los recursos energéticos, es decir, un aumento en el valor de la producción requiere también de un incremento en los energéticos utilizados en alguna parte de la cadena de valor.

Las estimaciones muestran que tales incrementos, se deben principalmente a la energía incorporada en los procesos para colocar los productos y servicios en la demanda final, así como la intensidad y uso que se les da.

#### INTERCAMBIOS DE ENERGÍA CONTENIDA

Las principales causas que alimentan el comportamiento general se deben a la estructura de relaciones interenergéticas del sistema económico nacional.

Las ramas más intensivas en EE<sub>T</sub> para el ecosistema económico fueron: Otras act. Ind., Autotransporte, Residencial, Ext. Petróleo y Gas, y Comercio y Servicios. Estas acapararon 55% de la EE<sub>T</sub> del sistema en 1970, y en 2012 alcanzaron 77.47%.

Es relevante la rama Otras act. Ind., por la magnitud de EE<sub>T</sub> que acapara, esto se explica porque diversas actividades que no están desagregadas en la contabilidad energética de los balances de energía, se aglomeran en esta para realizar el estudio, también porque absorbe cantidades importantes de energía tanto directa como indirecta de todas las fuentes de energía primaria, excepto de Leña.

Los valores más altos de EE<sub>D</sub> fueron para las ramas: Otras act. Ind., Construcción, Química, Petroquímica básica, Comercio y Servicios. Utilizaron del total de energía destinada a la producción del ecosistema económico nacional 77.75% en 1970 y 72.39% en 2012, pero fue equivalente a 22.2% y 9% de la energía contenida total en los mismo años.

Las ramas con los valores de mayor magnitud para la EE<sub>i</sub> fueron: Autotransporte, Otras act. Ind., Residencial, Ext. Petróleo y Gas, Comercio y Servicios. Absorbieron 57.94% en 1970 y 80.05% en 2012, equivalente a 40.96% y 70.04% de la EE<sub>T</sub>, respectivamente.

Se tiene que la mitad de la energía extraída de la rama Ext. Petróleo y Gas alimenta la demanda final, sin

pasar por la demanda intermedia, en el supuesto de que se inyectara en los procesos de producción al menos en la rama Autotransporte tendría el doble de magnitud, del mismo modo las siguientes tres ramas, que tienen valores entre 1,000 PJ y 1,500 PJ.

Toma un interés especial observar que las ramas más intensivas en EE, que también lo son en  $EE_T$ , tienen sus intercambios de energía contenida entre ellas mismas, y si el costo energético de hacer economía está aumentando se debe a este comportamiento, dado que favorece a las concentraciones de EE, sin embargo, con ello limita las posibilidades de incremento en los valores de las producciones de las demás ramas que conforman al sistema económico; adicionalmente, es relevante el incremento de la rama Autotransporte sobre sistema, porque ha contribuido a que se consoliden los comportamientos mencionados.

### CONCLUSIONES

El concepto de EE con la metodología de IO son una herramienta que contribuye a la elaboración y evaluación de políticas públicas porque tienen la ventaja de conciliar el funcionamiento de un sistema económico visibilizando el uso de sus recursos, entre ellos los energéticos.

La metodología consiste en estimar la trayectoria de los flujos de energía en forma de EE, de tal modo que se distinguen las principales contribuciones de los energéticos en los procesos de generación de valor de las producciones; y se visibilizan los intercambios de EE entre las ramas que componen al sistema.

La estimación de la EE para el sistema económico mexicano de 1970 a 2012 mostró que el costo energético de hacer economía ha aumentado, el contenido energético se multiplicó por 6.6 respecto al año base. El principal uso de los energéticos ha sido el destinado para colocar los productos producidos en la demanda final, además del incremento en la intensidad de uso de aquellos productos que utilizan energía con los usuarios finales.

También mostró que los energéticos destinados para los procesos de producción, es decir, la demanda intermedia, siempre ha sido la de menor peso respecto al total. De 1970 a 2003 fue equivalente 30% y disminuyó hasta 13% de 2003 a 2012, esto último se puede interpretar como mejora en los aprovechamientos energéticos asociados con los procesos de producción, sin embargo, en su conexión con los usuarios finales no.

Las ramas que alimentan los comportamientos anteriores fueron: Otras act. Ind., Autotransporte, Residencial, Ext. Petróleo y Gas, y Comercio y Servicios.

Principalmente por las dinámicas de los usos indirectos, haciendo énfasis en la rama Ext. Petróleo y Gas que coloca la mitad de su EE en la demanda final sin cruzar la demanda intermedia, lo cual limita las posibilidades de intensificar los procesos de producción de las demás ramas. Aunado se tiene que la rama Autotransporte plantea uno de los principales retos para la gestión de los recursos energéticos porque tiene intercambios de EE con todas las ramas del sistema económico, además presentó un crecimiento con comportamiento exponencial.

Los principales intercambios de  $EE_T$  ocurren entre las mismas cinco ramas, equivalentes a 55% en 1970 y 77% en 2012, esto es evidencia de concentraciones de energía contenida, mismas que se han acentuado, las implicaciones de este comportamiento son relevantes porque perjudican las posibilidades de lograr un crecimiento económico balanceado, sin embargo, precisamente ahí radican las oportunidades de actuar, en cuanto a la racionalización de las concentraciones de EE con el diseño de políticas públicas.

### REFERENCIAS

- Banco Mundial. Recuperado en febrero de 2014 de Data Bank: <http://databank.bancomundial.org/>
- BIE. Recuperado en febrero de 2014 de Banco de Información Económica: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- Bullard, C., Penner, P., Pilati, D. (1976). Net energy analysis: handbook for combining process and input-output analysis. University of Illinois, CAC. Urbana-Champaign: Energy Research Group. Recuperada de: [https://doi.org/10.1016/0165-0572\(78\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0165-0572(78)90008-7)
- Chang, Y., Ries, R., Wang, Y. (2010). The embodied energy and environmental emissions of constructions projects in China: An economic input-output LCA model. *Energy Policy*, 38 6597-6603. [https://www.researchgate.net/journal/0301-4215\\_Energy\\_Policy](https://www.researchgate.net/journal/0301-4215_Energy_Policy)
- Giovani, M., Scheaffer, R., Worrell, E. (2001). Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: An input-output approach. *Ecological Economics*, 39, 409-424. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00230-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00230-0)
- Guerra, A. & Sancho, F. (2010). Measuring energy linkages with the hypothetical extraction method: an application of Spain. *Energy Economics*, 32, 831-837. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneeco.2009.10.017>
- Hannon, B. (1973). The structure of ecosystems. *Journal of Theory of Biology*, 41, 535-546.
- Hannon, B. (1974). *Energy, Employment and transportation*. University of Illinois, Center of Advanced Computation. Urbana-Champaign: Energy Research Group.

- Hawdon, D. & Pearson, P. (1995). Input-Output simulations of energy, environment, economy in the UK. *Energy Economics*, (17), 73-86. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(95\)98908-M](https://doi.org/10.1016/0140-9883(95)98908-M)
- Herendeen, R. (1973). *An energy input-output matrix for de United States, 1963: User's Guide*. University of Illinois, CAC. Urbana-Champaign: Energy Research Group.
- IEA. (2014). Key World energy statistics 2014. France.
- INEGI. (1973). Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. 1970-1971. Anuario, México.
- INEGI. (1997). Tablas comparativas. CIIU Rev. 3. México.
- INEGI. (2000). Estadísticas históricas de México. Tomo I (1a reimpresión). México.
- INEGI. (2002). Tablas comparativas entre el SCIAN y otros clasificadores. México.
- INEGI. (2002). Tablas comparativas. CIIU Rev, 3.1. México.
- INEGI. (2006). Sistema de cuentas nacionales de México. Matriz de insumo-producto de México 2003. Clasificación SCIAN 2002. México.
- INEGI. (2007). Tablas comparativas. CIIU Rev. 4. México.
- INEGI. (2011). Sistema de cuentas nacionales de México. Metodología. México.
- INEGI. (2014). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2013. Anuario, México.
- INEGI. (2014). Sistemas de cuentas nacionales. Desarrollo de la Matriz de Insumo-Producto 2012. Fuentes y Metodologías. México.
- Lenzen, M. & Dey, C. (2002). Economic, energy and greenhouse emissions impacts of some consumer choice, technology and goverment outlay options. *Energy Economics*, 24, 377-403.
- Leontief, W. (1985). Análisis Económico input - Output (IV). (V. F. Fábrega, Trad.) España: Ediciones Orbis.
- Liang, Q., Fan, Y., Wei, Y. (2007). Multi-regional input-output model for regional requeriments and CO2 emissions in China. *Energy Policy*, 35, 1685-1700.
- Lindner, S., Li, X., Guan, D., Hubacek, K. (2008). Embodied energy of chinese provinces. *Conference Paper*, Univerty of Cambridge; University of Leeds; University of Maryland.
- Livas, A. (Junio de 2015). Análisis de insumo-producto de energía y observaciones sobre el desarrollo sustentable, caso mexicano 1970-2010. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 16(2), 239-251. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.03.008>
- Llop, M., & Pié, L. (2008). Input-Output analysis of alternative policies implemented on the energy activities: An application for Catalonia. *Energy policy*, 36, 1642-1648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.01.019>
- Nässen, J., Holmberg, J., Wadeskog, A., Nyman, M. (2007). Direct and indirect energy use and carbon emissions in the production phase of buildings: An input-output analysis. *Energy*, 32, 1593-1602. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.01.002>
- Park, H., & Heo, E. (2007). The Direct and indirect household energy requiremens in the Republic of Korea from 190 to 2000. An input-output analysis. *Energy Policy*, 35, 2839-2851. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.002>
- PEMEX. (1977). Anuario estadístico 1977. Anuario, coordinación y estudios técnicos. Sistemas de información. México.
- PEMEX. (2013). Anuario estadístico 2013. Anuario, Dirección Corporativa de Finanzas.
- PNUD. (2014). Informe sobre desarrollo humano 2014. ONU.
- Proops, J. (1976). Input-output analysis and energy intensities: a comparision of some methodologies. *Appl. Math. Modelling*, 1, 181-186. [https://doi.org/10.1016/0307-904X\(77\)90003-8](https://doi.org/10.1016/0307-904X(77)90003-8)
- Schuschny, A. (2005). *Tópicos sobre el modelo de insumo-producto: teoría y aplicaciones*. Chile: CEPAL.
- SENER. (2012). Balance Nacional de Energía 2011.
- SIE. (SENER). Recuperado en febrero de 2014 de Sistema de información energética. <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- SPP. (1981). Las matrices de insumo-producto de México de 1950, 1960 y 1970. Su utilización para el análisis de los cambios estructurales de la economía. México.
- SPP.(1986). Matriz de insumo-producto año 1980. México.
- Yuan, C., Liu, S., Xie, N. (2010). The impact on chinese economic growth and energy consumption of the global financial crisis: An input-output analysis. *Energy*, 35, 1805-1812. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.035>