

## Relación entre crecimiento económico y consumo de energéticos en América del Norte

### Relationship between economic growth and energy consumption in North America

Francisco Antonio Martínez Hernández\* y Saúl Herrera Aguilar\*\*

\*Profesor Investigador en el Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana.  
Correo electrónico: famh@azc.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1702-2682>

\*\*Profesor Investigador en la Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Correo electrónico: saulh@economia.unam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0936-0085>

#### RESUMEN

Este trabajo analiza la relación teórica y empírica entre el crecimiento económico y el consumo de energéticos para las tres economías de América del Norte: México, Estados Unidos y Canadá. Para este objetivo se estiman inicialmente las elasticidades ingreso y demanda de importaciones de energéticos de largo plazo para cada país. Posteriormente, se contrasta y analiza el valor de estas elasticidades (presión de intensidad energética) con la producción primaria y demanda nacional de energía en el tiempo. Finalmente, se analiza a través de una matriz de flujos de energía la relación entre las fuentes y usos de energía por sectores. Con base en estos resultados, encontramos que existe una creciente asimetría entre disponibilidad y demanda final de energía que afecta al crecimiento del país menos desarrollado, México.

#### ABSTRACT

This paper analyzes the theoretical and empirical relationship between economic growth and energy consumption for the three economies of North America: Mexico, the United States and Canada. To this aim, the long-term income and demand elasticities for energy imports are initially estimated for each country. Subsequently, the values of these elasticities (energy intensity pressure) are evaluated and compared with primary production and national energy demand over time. Finally, the relationship between energy sources and sectoral uses is analyzed through a matrix of energy flows. Based on these results we find that there is a growing asymmetry between availability and final demand of energy that affects the growth of the least developed country, Mexico.

Recibido: 04/junio/2025  
Aceptado: 04/junio/2025  
Publicado: 12/enero/2026

#### Palabras clave:

| Crecimiento económico |  
| Consumo |  
| Energía |  
| Norteamérica |

#### Keywords:

| Economic growth |  
| Consumption |  
| Energy |  
| North America |

#### Clasificación JEL | JEL Classification |

O47, O57, P18,  
Q43, R58, C32

#### INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios como disciplina científica, la economía abordó la relación entre el proceso de crecimiento económico y los recursos naturales, en parte como determinante, o bien como condicionante de dicho proceso. Partiendo desde la escuela fisiócrata, François Quesnay en su *Tableau Economique* de 1758 (Kuczinski, 1980) consideraba que la tierra era la única entidad capaz de generar riqueza ya que para él en la agricultura el producto neto excedente multiplicaba el *input* original. Por lo tanto, para este economista fisiocrático, el resto de las actividades tenían un papel secundario, ya que sólo transformaban la producción



Esta obra está protegida  
bajo una Licencia  
Creative Commons  
Reconocimiento-  
NoComercial-  
SinObraDerivada 4.0  
Internacional

original sin crear más riqueza. La organización social debía entonces priorizar a la clase productiva relacionada con las actividades primarias, y limitar a la clase estéril (Kuczinski, 1980).

Más adelante, la corriente clásica identificó como la fuente original de riqueza al trabajo; por lo tanto, el crecimiento se origina en el excedente de valor generado por el trabajo humano y dicho excedente facilita los procesos de acumulación de capital. En este sentido la teoría del valor-trabajo fue la piedra angular de los estudios de Smith y Ricardo, este último autor, junto con Malthus, consideraron que existía un límite al crecimiento, por la disponibilidad limitada de recursos naturales, en particular la tierra productora de alimentos, en comparación con el crecimiento de la población (Hunt & Lautzenheiser, 2011).

A pesar de incluir los recursos naturales en las primeras funciones de producción, con el aumento de la productividad derivada de la innovación tecnológica, estos pasaron a un papel secundario como condicionantes del crecimiento económico. Sin embargo, la revolución industrial incrementó drásticamente el consumo de energía al mecanizar procesos y concentrar la actividad económica en zonas urbanas densamente pobladas. Karl Marx analiza esto como acumulación originaria, donde la separación entre la propiedad de los medios de producción y la fuerza de trabajo hace que el crecimiento dependa de la generación de plusvalía en la gran industria y su concreción en la producción, circulación y acumulación de capital (Hunt & Lautzenheiser, 2011), sin considerar explícitamente el papel de la energía.

En el último tercio del siglo XIX los marginalistas analizan la relación entre recursos y crecimiento bajo el principio rector de la escasez; William Stanley Jevons en *La Cuestión del Carbón* de 1865 (Jevons, 1981) afirmó que a pesar de que la innovación hacía más eficiente el uso de recursos como la energía, en realidad la generalización de las tecnologías impulsaba una presión sobre el consumo de la fuente energética dominante, por ejemplo el carbón; por ello, los precios del mismo se disparaban en función de la escasez relativa (efecto rebote).

El progreso tecnológico impulsó procesos productivos más eficientes a finales del siglo XIX. Con la invención del motor de combustión interna, el uso de hidrocarburos se intensificó en el siglo XX, consolidando la relación entre producción, consumo de energía y crecimiento económico. No obstante, la teoría neoclásica del crecimiento (Solow, 1956) priorizó la relación capital-trabajo sin considerar que los recursos naturales, especialmente la energía, pueden ser una restricción. La crisis económica, ambiental y energética de los años setenta obligó a replantear esta visión. El estudio *Los límites al crecimiento* (1971) y Georgescu-Roegen (1971) destacaron las restricciones energéticas desde una perspectiva sostenible, y el propio Solow (1976) revisó su modelo al reconocer a la energía como capital no reproducible, proponiendo reducir su consumo por unidad producida para lograr sendas estables de crecimiento.

Los recursos energéticos son hoy un elemento clave en el crecimiento de las economías nacionales. La globalización disparó la movilidad de materias primas, el comercio de productos semi procesados y finales, y el capital que busca áreas de inversión con alto retorno en sectores antes restringidos por regulaciones nacionales, como el energético. Esto genera una disyuntiva entre autosuficiencia y eficiencia en las políticas energéticas nacionales, en un mercado dominado por grandes corporativos que buscan asegurar abastecimiento, acaparar mercados y monopolizar la innovación y generación de fuentes alternativas.

Las condiciones de producción y consumo de energía varían según el tipo y grado de desarrollo de las economías. Grossman y Krueger (1991) plantearon que los cambios en la matriz energética pueden derivar de procesos de transferencia tecnológica impulsados por la integración regional, ampliando la hipótesis de la Cuva de Kuznets al ámbito ambiental: a largo plazo, un mayor ingreso *per cápita* tendería a mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Aunque las economías avanzadas han transitado hacia fuentes renovables gracias a su capacidad de innovación y gasto en I+D, la evidencia muestra que las de mayor ingreso

continúan generando la mayoría de las emisiones (IEA, 2024), cuestionando la validez de la Curva de Kuznets ambiental (Stern, 2004; Dasgupta, 2002; Dinda, 2004; Jorgenson, 2007; Sarkodie & Strezov, 2019).

Dejando de lado la validez de la Curva de Kuznets ambiental y enfocándose en la relación entre consumo de energía y crecimiento, las economías emergentes y rezagadas presentan diferencias importantes respecto a las avanzadas, tanto en la estructura como en el funcionamiento de sus mercados energéticos. Sus modelos dependen fuertemente de fuentes no renovables y tienen limitada capacidad para invertir en investigación y desarrollo, lo que las hace dependientes tecnológica y financieramente del exterior. Estas economías requieren grandes cantidades de energía para sostener un crecimiento acelerado y alcanzar mayores niveles de desarrollo.

En este contexto, México enfrenta un desafío importante: con una disponibilidad cada vez más limitada de fuentes fósil<sup>1</sup>, requiere mayor eficiencia en la transformación de energía primaria a secundaria, así como una mayor inversión para llevar a cabo una transición ordenada hacia fuentes renovables. Estas deben garantizar a mediano y largo plazo una oferta suficiente para satisfacer la creciente demanda derivada del crecimiento económico. De no cumplirse, el país permanecerá dependiente de la importación de energéticos.

Por razones geográficas y económicas, el vínculo con Estados Unidos representa un elemento ambivalente en el crecimiento y desarrollo de México. En las últimas 3 décadas (1994-2024) se profundizó la interdependencia comercial, financiera y energética, impulsada por acuerdos que establecieron un área de libre comercio con participación de Canadá. La asimetría económica entre los tres países se refleja en la capacidad para definir reglas comerciales y de inversión, así como en la distribución de los beneficios derivados del acceso a mercados más abiertos.

En los últimos treinta años, el crecimiento promedio anual del PIB en México fue de apenas 1.8%, cifra cercana a la de Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, este ritmo no basta para cerrar las brechas con sus vecinos del norte, ni para garantizar mayores niveles de empleo, ingresos y bienestar a una población en constante crecimiento. Puede afirmarse que, entre los factores que explican la baja capacidad de crecimiento de la economía mexicana en los últimos treinta años, se encuentran: a) la ruptura de los encadenamientos entre la manufactura de exportación y el resto de los sectores productivos (Ros y Moreno, 2010); b) la escasez relativa de recursos para fortalecer la planta productiva orientada al mercado interno; c) la debilidad de la política económica, derivada de la insuficiencia de recursos fiscales frente a necesidades de gasto social e inversión; y d) la fragilidad financiera.

Frente a estas restricciones, la disponibilidad y el consumo de energía cumplen un papel dual: por un lado, generan divisas al concentrarse en la exportación de hidrocarburos; por otro, provocan alta dependencia de productos procesados, como gasolinas y otros petrolíferos utilizados para el transporte de mercancías y personas, así como del gas natural, que sostiene gran parte de la producción de energía secundaria (eléctrica) necesaria para la industria, el comercio y los hogares.

La relación asimétrica en los acuerdos comerciales regionales –el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y el actual Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC)– implica un reparto desigual de beneficios entre las tres economías. Además, la evolución del sector energético como facilitador del crecimiento económico muestra marcadas diferencias entre los tres países. En México, el sector está limitado por la incapacidad de cubrir el consumo nacional con producción interna; Estados

---

1. De acuerdo al Reporte de Reservas (junio 2024) de la Comisión Nacional de Hidrocarburos, las reservas probadas (1P) alcanzan los 8 mil millones de barriles, mientras que la plataforma de explotación es de 1.8 millones diarios, lo que resulta en un espectro de producción de 12 años, ello sin considerar la tasa de restitución donde las reservas probables (7 mil millones de barriles) puedan compensar la explotación de las probadas (CNH, 2024).

Estados Unidos incrementó su producción primaria y redujo su dependencia energética en la última década, mientras que Canadá mantiene un amplio superávit energético gracias a sus reservas y a un menor consumo, al ser el país menos poblado de la región.

Por lo anterior, esta investigación analiza la relación entre la producción y el consumo de energía, y el crecimiento económico en las tres economías de América del Norte. Se parte de la hipótesis de que tanto Estados Unidos como Canadá se beneficiaron del proceso de integración comercial, al fortalecerse su producción primaria, estabilizarse su demanda energética y mejorar su eficiencia. Como resultado, presentan una menor elasticidad ingreso de la demanda de energéticos, lo que ha mejorado su posición comercial. En contraste, en México la producción primaria se debilitó, la demanda energética muestra una mayor elasticidad ingreso, y esto condiciona el crecimiento y aumenta la dependencia de energía importada.

Para comprobar el planteamiento anterior, esta investigación se organiza de la siguiente manera: la primera sección revisa la literatura sobre la relación entre producción y consumo de energía, y crecimiento económico. La segunda presenta los cálculos de las elasticidades ingreso y de demanda de importaciones energéticas de largo plazo para cada país. La tercera analiza la relación entre el valor de estas elasticidades (presión de intensidad energética) y la producción primaria de energía. La cuarta estudia la relación entre el Consumo Nacional Aparente (en adelante, CNA) y la demanda final mediante una matriz de flujo de energía por país, lo que permite identificar los vínculos entre fuentes primarias, producción secundaria y estructura del consumo en transporte, unidades productivas y hogares, así como el papel de las energías renovables en los últimos años. Finalmente, se presentan las conclusiones.

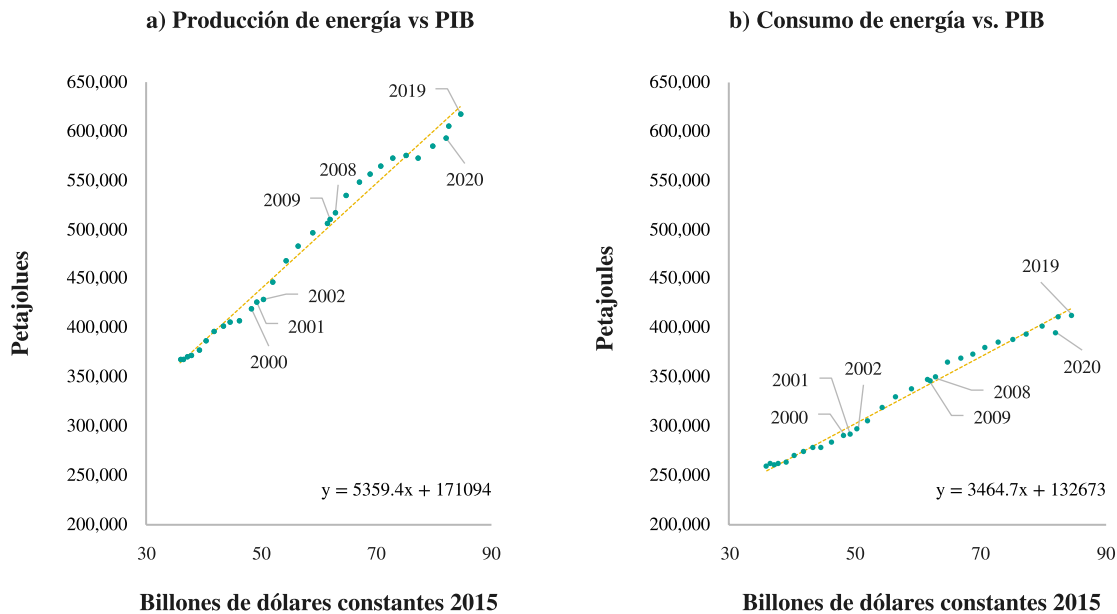
## I. REVISIÓN DE LITERATURA

### *La demanda de bienes energéticos*

La producción de energía es un área estratégica para cualquier economía, ya que se trata de un insumo básico para todas las actividades económicas. En este sentido, la disponibilidad de energía condiciona el nivel general de actividad económica y ésta, a su vez, determina la demanda, que se satisface con la producción primaria de energía más las importaciones y menos las exportaciones energéticas; es decir, el CNA.

Considerando la evidencia empírica a nivel mundial durante las últimas tres décadas, es posible afirmar que existe una fuerte correlación entre la producción y la demanda aparente de energía (medidas en petajoules, pt) con el nivel de actividad económica (medido por el Producto Interno Bruto, PIB, a valores constantes). Así lo demuestran los tres últimos grandes ciclos recesivos de la economía mundial: la crisis de las empresas punto com, la crisis *subprime* y la crisis de la COVID-19, durante los cuales, tanto la producción como la demanda de energéticos se ajustaron al nivel de actividad económica, registrando retrocesos importantes en los períodos 2008-2009 y 2019-2020 (ver Gráfica 1).

**Gráfica 1**  
**Mundo. Correlación entre producción y consumo de energía contra el PIB 1990-2020**



**Fuente:** elaboración propia con datos de International Energy Agency (2022) y Banco Mundial (2024).

Como se planteó en la introducción, la relación entre energía y crecimiento económico fue repositionada en las discusiones e investigaciones económicas desde los años setenta del siglo XX, ante la necesidad de explicar la combinación de crisis económica, energética y ambiental. El Massachusetts Institute of Technology (MIT) y el Club de Roma publicaron *Los Límites al Crecimiento* (1971) (Meadows y Meadows, 1992: 19), donde se destacó que el alto consumo de energía fósil genera un efecto invernadero que eleva la temperatura global, por lo que es necesario desarrollar alternativas. En este mismo sentido, el trabajo seminal de Georgescu-Roegen (1971) reescribe la función de producción neoclásica incorporando los flujos de energía como insumos, y analiza, con base en las leyes de la termodinámica, el desorden sistémico derivado de la producción y el consumo de recursos energéticos (entropía).

Stern y Cleveland (2004) consideran la energía como un insumo primario único y exógeno, y propone modelar su relación con el crecimiento económico mediante un esquema insumo-producto. La corriente neoricardiana (O'Connor, 1993) sostiene, en cambio, que el capital determina proporciones fijas en la producción, sin distinguir entre insumos primarios y secundarios. Por su parte, Solow (1976) plantea que los recursos no renovables pueden sustituirse por capital si la suma de sus elasticidades es igual a uno. Hartwick (1977) amplía este enfoque al mostrar que la reinversión de las rentas de recursos no renovables en tecnología puede garantizar una senda sustentable de crecimiento al sustituir progresivamente dicho recurso por otro.

Considerando que los enfoques clásicos y neoclásicos afirman que existe una relación positiva entre consumo y producción de energía y crecimiento económico, y que la capacidad para mantener sendas crecientes y sustentables de actividad económica está condicionada por la disponibilidad de recursos, al avance tecnológico que determina la eficiencia, y al grado de sustitución entre distintas fuentes de energía, resulta fundamental comprender el sentido de dicha relación.

Zilberfarb y Adams (1981) señalan que no existe un patrón único entre ingreso y consumo de energía, pues a mayor ingreso *per cápita*, el consumo tiende a aumentar al tener elasticidad superior a uno. Medlock y Sogolino (2001), citados por Csereklyei *et al.* (2016), encuentran una relación en forma de “U” invertida entre consumo de energía y nivel de ingreso (ambos *per cápita*), donde a medida que aumenta el ingreso, el comercio y la industria reducen su participación en el consumo energético, mientras el transporte la incrementa. Lescaroux (2011) y Jakob *et al.* (2012) confirman esta tendencia e incorporan a los hogares y al sector servicios como actores clave en dicho consumo.

Ayres y Voudouris (2014) señalan que la producción de energía difiere de la de bienes de consumo, pues responde tanto a la demanda actual, como de la actividad económica futura (anticipada). No existe consenso sobre la dirección ni la intensidad del vínculo entre consumo energético y crecimiento económico. Wolde-Rufael (2009) identifica cuatro hipótesis: (i) el consumo de energía impulsa el crecimiento económico; (ii) el crecimiento económico aumenta el consumo de energía; (iii) la relación es bidireccional; y (iv) ambos son independientes (Acheampong *et al.*, 2021).

Shahbaz *et al.* (2017) destaca que la disponibilidad de recursos, la capacidad de explotación, el avance tecnológico y las políticas gubernamentales influyen en la producción, demanda y consumo de energía. Akinlo (2008) observa que la investigación sobre la relación entre crecimiento y consumo energético se ha concentrado en economías desarrolladas, sin resultados concluyentes. Caraballo y García (2017) señala que estos países han transitado del uso intensivo de combustibles fósiles hacia fuentes renovables más eficientes. Acheampong *et al.* (2021) agregan que el crecimiento económico sostenido induce cambios cualitativos en el consumo, con mayor uso de bienes tecnológicos y procesos energéticos más eficientes.

En síntesis, los bienes energéticos tienen una demanda derivada y su relación con el crecimiento económico e ingreso es bidireccional, generando una retroalimentación entre producción y comercio de energía. Estudios de largo plazo (Acheampong *et al.*, 2021) muestran que el crecimiento sostenido induce cambios cualitativos en los patrones de consumo, orientándolos hacia un uso más intensivo de bienes tecnológicos, incrementando la demanda de energía y promoviendo mayor eficiencia productiva. Es en este punto cuando las economías comienzan a evolucionar hacia procesos más eficientes para la producción energética (Shahbaz *et al.*, 2017).

## II. MODELOS ECONÓMICOS

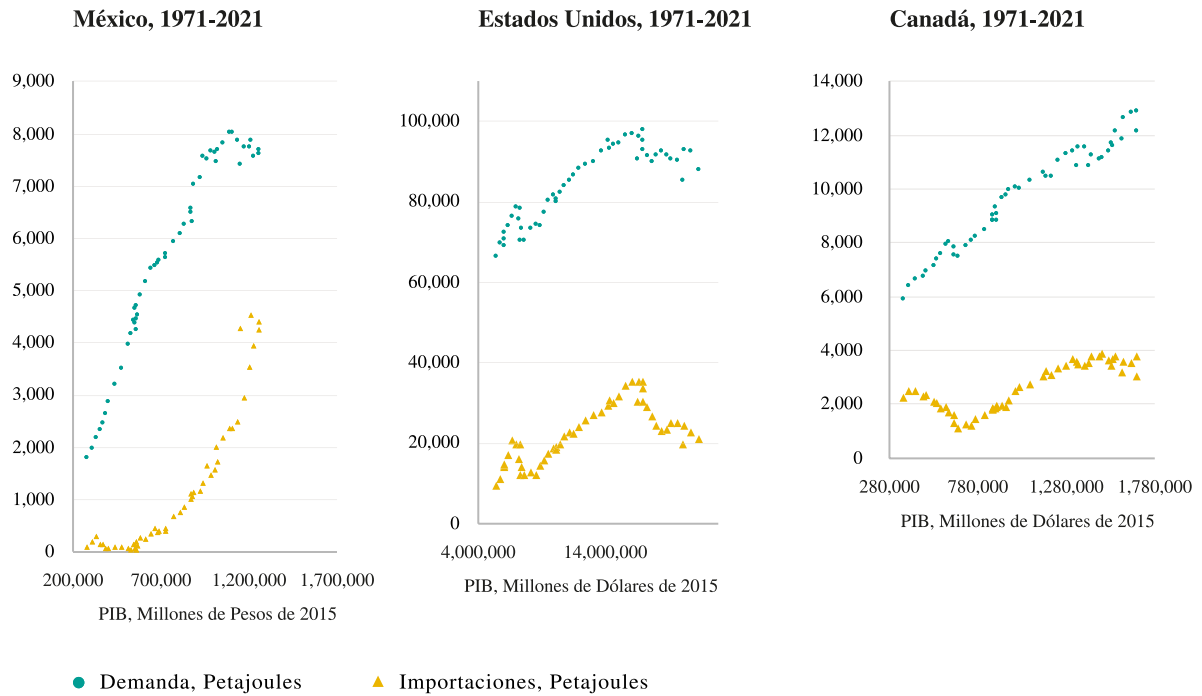
### *Estimación de elasticidades de largo plazo*

El propósito de esta sección es estimar los cambios en la demanda e importaciones de energía ante variaciones del ingreso en las tres economías de América del Norte. Se aplican modelos de cointegración mediante la metodología de Johansen para obtener las elasticidades ingreso de la demanda interna y de las importaciones a largo plazo. Estos resultados servirán como parámetros de referencia para evaluar el grado de dependencia energética de los países del T-MEC. Se parte de la hipótesis de que dichas elasticidades son menores en Estados Unidos y Canadá que en México, reflejando su mayor nivel de desarrollo.

Para este fin, se analiza la tendencia de largo plazo en la demanda e importación de energía de las tres economías, como se muestra en la Gráfica 2. En ellas se observa que ambas series, para cada país, presentan una tendencia creciente conforme aumenta el PIB real. Esta relación es particularmente notable en el caso del nivel de importaciones de energía en la economía mexicana. Desde el punto de

vista econométrico, una serie con tendencia creciente se considera un proceso estocástico no estacionario; es decir, integrado de orden uno,  $I(1)$ , mientras que una serie sin tendencia temporal corresponde a un proceso estacionario,  $I(0)$ .

**Gráfica 2**  
**Demanda de energía vs PIB**



**Fuente:** elaboración propia con datos de Secretaría de Energía (México) y US Energy Administration (USA) y de Statcan (Canadá).

Las pruebas de raíces unitarias (ADF, PP y KPSS) indican que todas las series son no estacionarias e integradas de orden uno,  $I(1)$ . Este resultado se cumple incluso para la serie de las importaciones de energía de Estados Unidos, la cual presenta un cambio estructural a partir de 2007, reflejando un proceso creciente de independencia energética (véase la Gráfica 3 y la prueba ADF con quiebre estructural en el Anexo). Dado que todas las series son  $I(1)$ , se especificaron dos modelos –uno para la demanda y otro para las importaciones– para cada país, según las ecuaciones 1 y 2.

En la ecuación 1, la variable dependiente  $\log Demanda$  representa el logaritmo de la demanda de energía, medida en petajoules (pt). En ambas ecuaciones, 1 y 2, la variable independiente  $\log PIB$  corresponde al logaritmo del PIB real. En la ecuación 2, la variable dependiente  $\log Importaciones$  denota el logaritmo de las importaciones de energía, también en petajoules. Tras el análisis de raíces unitarias, se estimaron los parámetros de ambas ecuaciones mediante la metodología de cointegración de Johansen, la cual permite identificar la existencia de relaciones de largo plazo entre las variables.

$$\text{LogDemanda}_t = \beta_1 + \beta_2 \text{LogPIB}_t + u_{1t} \quad (1)$$

$$\text{LogImportaciones}_t = \gamma_1 + \gamma_2 \text{LogPIB}_t + u_{2t} \quad (2)$$

Los resultados estimados para ambas ecuaciones se presentan en los Cuadros 1 y 2. Donde se confirman la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre el logaritmo de la demanda de energía y el logaritmo del PIB, así como entre el logaritmo de las importaciones de energía y el logaritmo del PIB. El grado de asociación, o elasticidad, está representado por los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$ :  $\beta$  indica el porcentaje de variación en la demanda de energía ante un aumento de 1% en el PIB, mientras  $\gamma$  mide el cambio porcentual en las importaciones de energía frente a la misma variación del PIB. En el Anexo se incluyen las pruebas estadísticas que respaldan la validez de las estimaciones y los resultados completos de las pruebas de raíces unitarias. Las variables *dummy* se incorporaron solo para corregir heteroscedasticidad, no para obtener un vector de cointegración.

**Cuadro 1**  
**Elasticidades Ingreso (demanda de energía)**

País	Variable dependiente y periodo	Coefficiente de largo plazo $\beta$ (t-ratio)	# de rezagos	Variable dummy
Estados Unidos de América	Log(Demanda) 1976-2021	0.62 (43)	4	D2009, D2020
México	Log(Demanda) 1975-2021	0.72 (7)	3	N.D.
Canadá	Log(Demanda) 1975-2021	0.49 (19)	3	D2009, D2020

**Fuente:** elaboración propia.

Los resultados econométricos del Cuadro 1 muestran que, en las últimas décadas, México y Estados Unidos presentan una alta elasticidad en su demanda de energía, mientras que Canadá exhibe una mayor eficiencia energética. En este país, un incremento del 1% en el PIB eleva la demanda de energía en solo 0.49%, frente al 0.72% y 0.62% observados en México y Estados Unidos, respectivamente.

Estos resultados se explican, en parte, por las particularidades productivas y energéticas de cada país. Desde la década de 1980, México ha sido un exportador neto de petróleo, lo que ha favorecido una estructura productiva con alta dependencia energética. En cambio, Canadá consolidó desde los años noventa su papel como exportador neto de gas natural y otras materias primas, impulsado una mayor eficiencia energética. Por su parte, Estados Unidos alcanzó la autosuficiencia energética en 2018 gracias al *fracking*, lo que incrementó su intensidad energética y redujo su dependencia de las importaciones, especialmente de petróleo.

**Cuadro 2**  
**Elasticidades Ingreso (demanda de importaciones)**

País	Variable dependiente y periodo	Coefficiente de largo plazo $\gamma$ (t-ratio)	# de rezagos	Variable dummy
Estados Unidos de América	Log(Importaciones) 1976-2021	0.71 (40)	4	D1986, D2009 D2020
México	Log(Importaciones) 1986-2021	0.75 (23)	3	D1995, D2009 D2020
Canadá	Log(Importaciones) 1985-2021	0.37 (7.5)	3	D1991, D2009 D2020

**Fuente:** elaboración propia.

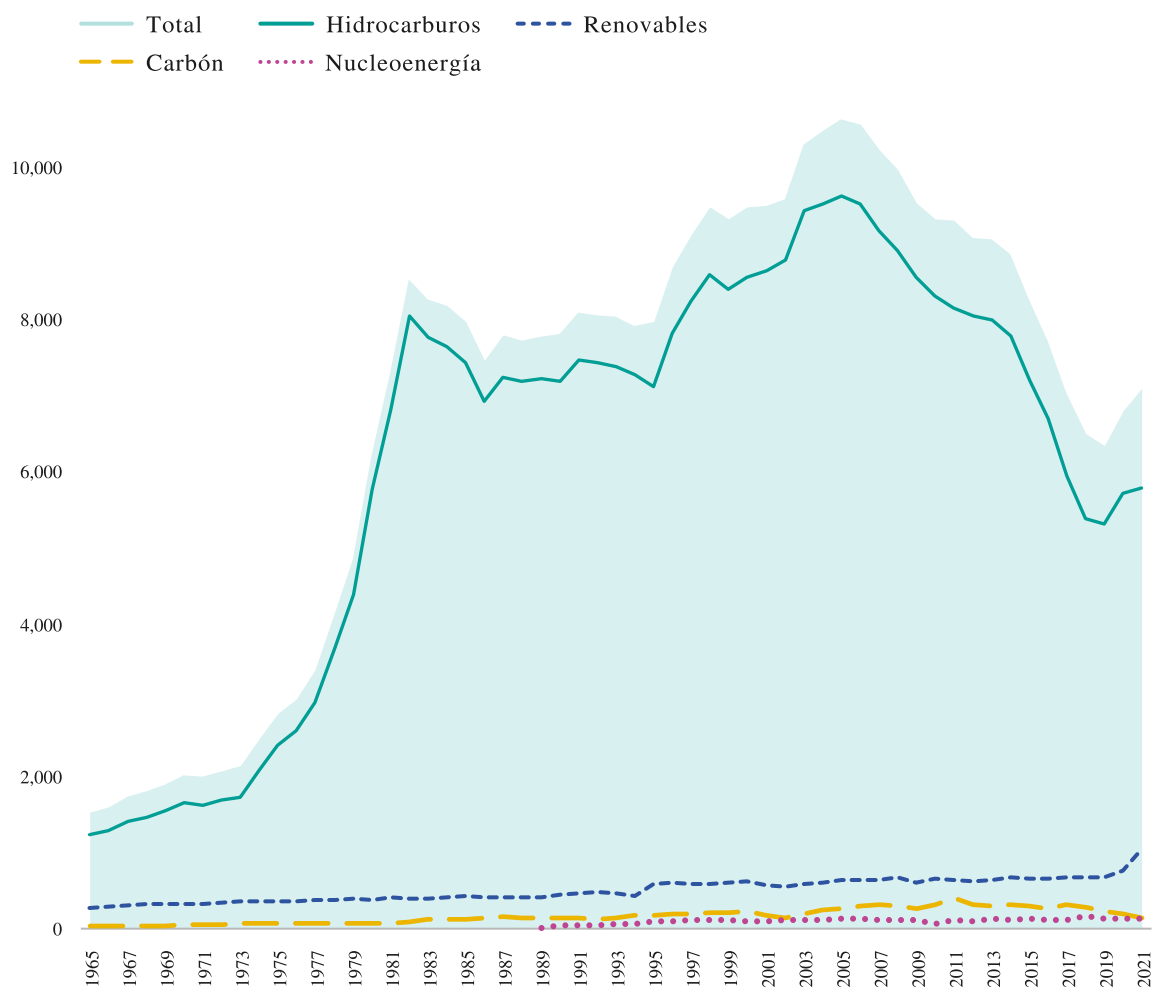
En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la elasticidad ingreso de la demanda de importaciones (EIDM) para las tres economías analizadas. Los resultados indican que, ante un aumento del 1% en el PIB, México aumenta sus importaciones de energía en 0.75%, un valor elevado asociado principalmente al crecimiento en las importaciones de gasolinas. Un comportamiento similar en la elasticidad se observa en Estados Unidos, con una EIDM de 0.71%. En contraste, Canadá muestra la menor elasticidad (0.37%), lo que sugiere una menor dependencia del crecimiento económico respecto a las importaciones energéticas.

### III. LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA EN AMÉRICA DEL NORTE

Una vez identificadas las diferencias en las elasticidades de largo plazo entre el crecimiento económico y la demanda de energía para los países del T-MEC, se procede a analizar las diferencias en las condiciones de producción y demanda energética. Este análisis se sustenta en la estructura de la matriz de energía primaria (sección III), así como en el CNA y en las fuentes y usos de la energía (sección IV), con especial atención a los cambios ocurridos desde la apertura comercial de la década de 1990. El análisis comparativo se presenta en el siguiente orden: primero México, seguido de Canadá y Estados Unidos. Este orden se mantiene en la sección IV.

Históricamente la base de la producción de energía en México han sido los hidrocarburos, mismos que representaron en promedio el 88.3% del total de la oferta energética primaria entre 1965 y 2021, con 64.0% de petróleo crudo y 23.3% de gas natural. La segunda fuente en importancia son las energías renovables, que contribuyeron en promedio con 8.8%, destacando la leña (4.6%) y, en menor medida, la energía geotérmica e hidroeléctrica (3.1%). Aunque la leña se clasifica como renovable, su uso no puede considerarse sustentable debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por su combustión (ver Gráfica 3).

**Gráfica 3**  
**México. Producción de energía primaria (petajoules), 1960-2021**

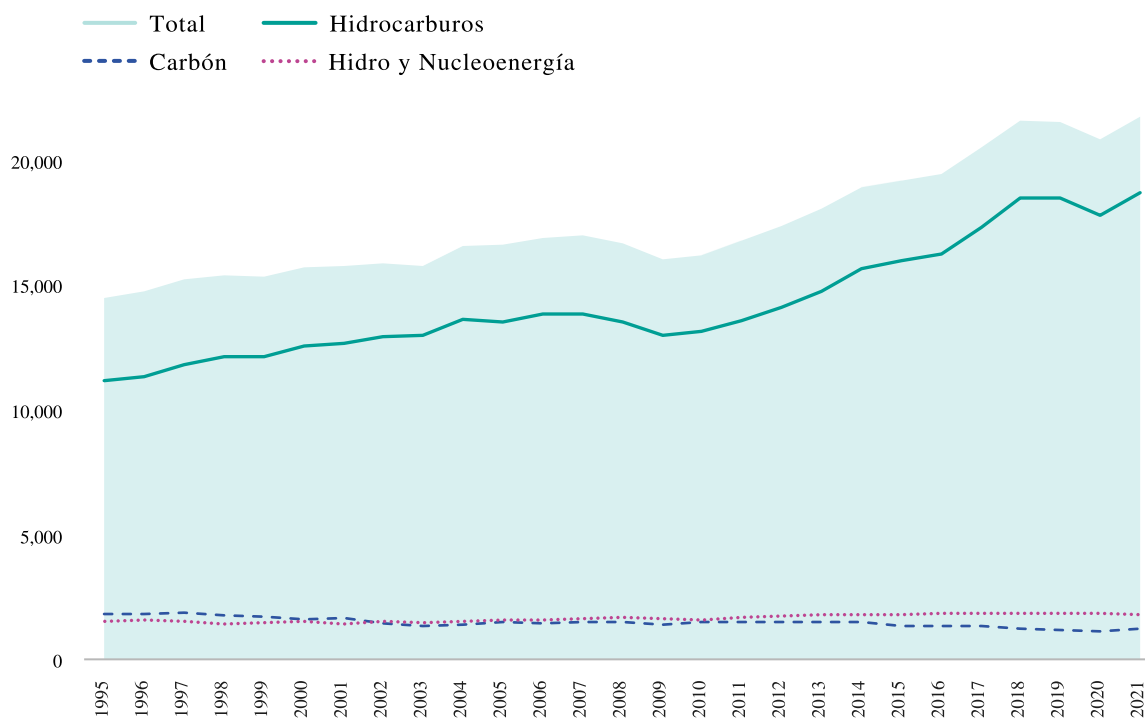


**Fuente:** elaboración propia con datos de Secretaría de Energía (Sener), SIE.

La evolución del sector energético en México evidencia una de sus principales problemáticas estructurales: la alta dependencia del petróleo y la escasa diversificación de fuentes renovables. A partir de 1976 se registra un fuerte incremento en la capacidad de producción, impulsado por la explotación de los campos petroleros de la Sonda de Campeche. Esta expansión elevó la producción de cerca de 2 000 petajoules (pt) a un máximo de 10 600 (pt) en 2005; sin embargo, desde ese año se observa un declive sostenido, que alcanzó los 6 500 pt en 2018, debido al agotamiento de dichos yacimientos.

Esta caída no fue compensada por un aumento significativo en otras fuentes de energía, a pesar de los esfuerzos por “modernizar” el sector a partir de 1991 mediante reformas administrativas en las empresas públicas, procesos de desregulación y apertura comercial (Meyer, 2022; Martínez y Herrera, 2021). Asimismo, desde 1993 se promovió la inversión privada como parte de las negociaciones y puesta en marcha del TLCAN en 1994 (Buzo de la Peña, 1997).

**Gráfica 4**  
**Canadá. Producción de energía primaria (petajoules), 1995-2021**



**Fuente:** elaboración propia con datos de Statcan (2023).

Al igual que México, Canadá presenta una estructura de producción primaria de energía dominada por los hidrocarburos (ver Gráfica 4). De acuerdo con datos de Statistics Canada (2022), entre 1995 y 2021 estos representaron en promedio el 81.7% del total, con una participación casi equilibrada entre el petróleo crudo (38.8%) y el gas natural (38.9%). En contraste, la generación hidroeléctrica y núcleo eléctrica aportaron conjuntamente el 9.5%, mientras que las energías renovables apenas alcanzaron el 0.3%.

Entre 1995 y 2021, la producción de energía primaria en Canadá aumentó de 14 500 a 21 753 petajoules (pt), lo que representa un crecimiento del 50% en 25 años. Este incremento se explica principalmente por el fuerte aumento en la producción de petróleo crudo, que pasó de 11 175 (pt) a 18 677 (pt) en el mismo periodo, equivalente a un crecimiento del 67.1%. En contraste, el resto de las fuentes de energía primaria se mantuvieron relativamente estables, sin variaciones significativas en sus niveles de producción.

Tanto la composición, como el desempeño de la producción de energía primaria en Canadá, responden fundamentalmente a dos factores. El primero es la alta disponibilidad histórica de reservas de hidrocarburos; el segundo, la estrecha vinculación comercial de las provincias productoras de energía con el mercado estadounidense, lo que ha incentivado una orientación exportadora y reforzado la dependencia de un modelo energético basado en hidrocarburos.

Al respecto Rioux y Winter (2020) señala que las industrias energéticas de Canadá y Estados Unidos han estado interconectadas desde mediados del siglo XIX. El primer pozo productor de petróleo comercializable en Canadá se perforó en 1858, en Ontario, seguido por el de Titusville, Pennsylvania, en 1859. Desde entonces, la industria petrolera y gasífera canadiense se ha expandido por todo el país, destacando en las últimas décadas

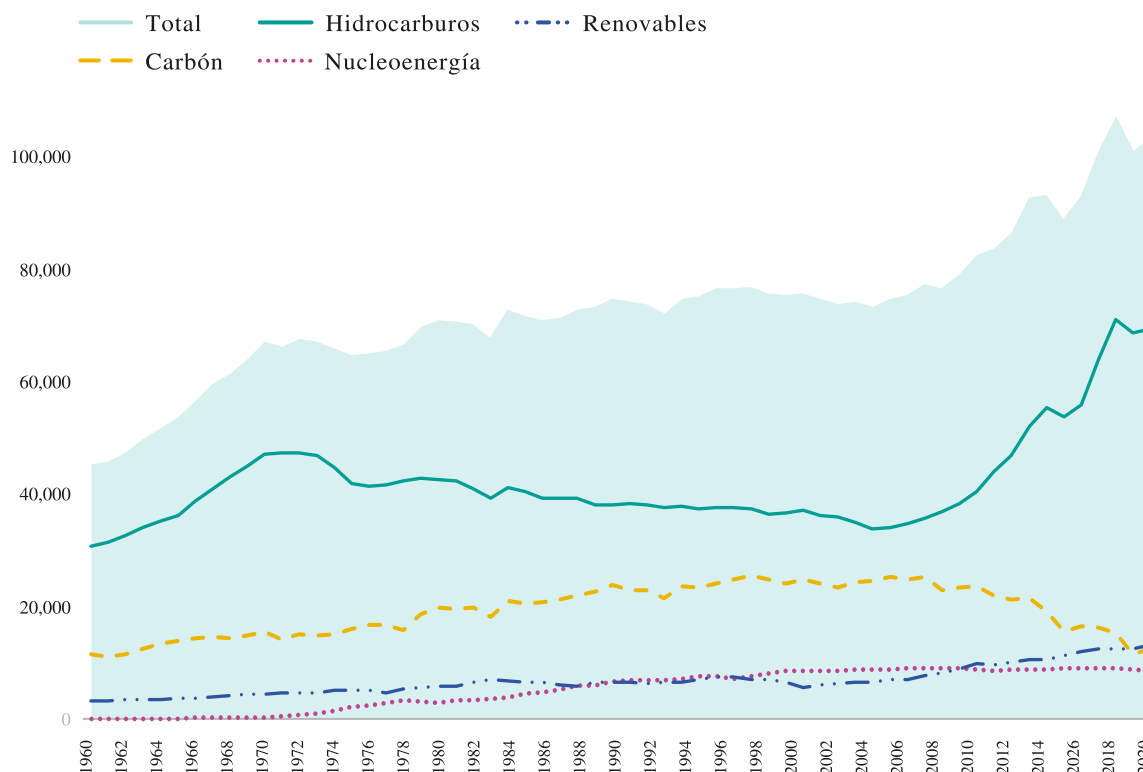
las provincias de Alberta, Columbia Británica, Saskatchewan, Manitoba y Quebec como principales centros de producción. Este desarrollo ha consolidado a Canadá como uno de los principales proveedores de energía del mercado estadounidense, desplazando gradualmente a varios países de la OPEP (Rioux & Winter, 2020).

Según datos de la OPEC (2023), Canadá ocupa el tercer lugar mundial en reservas probadas de hidrocarburos (1P), solo por detrás de Arabia Saudita y Venezuela. Se estima que dispone de un volumen total de reservas (3P) de aproximadamente 167 mil millones de barriles de petróleo, lo que permitiría sostener la explotación durante un siglo a un ritmo de 4.3 millones de barriles diarios (Rioux & Winter, 2020). No obstante, cerca del 97% de estas reservas son arenas bituminosas, una fuente no convencional con mayores costos de extracción y procesamiento. En este contexto, la participación de fuentes no convencionales en la producción total aumentó del 45.0% al 63.0% entre 2008 y 2019 (Rioux & Winter, 2020).

El segundo factor que ha determinado el desarrollo del sector energético en Canadá es su estrecha relación comercial con Estados Unidos, su principal socio comercial y fuente clave de flujos de capital y de desarrollo de infraestructura. En las últimas tres décadas, las exportaciones de crudo canadiense se dirigieron mayoritariamente al mercado estadounidense. Sin embargo, con el auge del *fracking* en Estados Unidos, la dinámica energética regional cambió notablemente. La producción estadounidense se incrementó gracias a la incorporación de tecnologías avanzadas, como la perforación horizontal, y a políticas públicas que fomentaron esta extracción, incluyendo la construcción de más de 80 mil kilómetros de nuevos oleoductos y gasoductos para conectar los centros de producción y procesamiento con los principales mercados de destino (Rioux & Winter, 2020).

En el caso de Estados Unidos, desde finales del siglo XIX se vivió una expansión económica sostenida basada en el desarrollo industrial, facilitada por la abundante disponibilidad de recursos energéticos, especialmente hidrocarburos y carbón (ver Gráfica 5). Esta dotación energética permitió la construcción de una base productiva amplia y diversificada, fortaleciendo el crecimiento económico (Palazuelos, 2000). A diferencia de Europa, donde el carbón dominó más tiempo, en Estados Unidos el petróleo se consolidó tempranamente como la principal fuente de energía, sosteniendo un prolongado ciclo de crecimiento económico interrumpido únicamente por la Gran Depresión (1930 y 1933).

**Gráfica 5**  
**Estados Unidos, Producción de energía primaria (petajoules), 1960-2020**



**Fuente:** elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration.

Durante el período de posguerra comenzaron a aparecer los primeros signos de desequilibrio entre la producción y el consumo de energía en Estados Unidos. Aunque la producción energética mantuvo un crecimiento fuerte pero inestable, con una tasa promedio anual del 4.0% entre 1950 y 1973 (Palazuelos, 2000), resultó insuficiente para satisfacer el aumento sostenido de la demanda, especialmente de hidrocarburos. Estos se usaron no solo como energía, sino también como insumos estratégicos en la expansión de la industria petroquímica, que progresivamente sustituyó otras materias primas en sectores como el alimentario, textil y metalúrgico. Según Palazuelos (2000), la producción de petróleo y gas se duplicó durante esos veinte años, pero el consumo creció más rápido. Hacia 1970, las importaciones de crudo ya representaban más de un tercio del consumo nacional, mientras que la producción de gas mantuvo un alto grado de autosuficiencia relativa frente a la creciente demanda.

Esta condición de dependencia, derivada del elevado consumo energético de Estados Unidos, ha sido un factor determinante de su política exterior. Ejemplo de ello son la crisis del Canal de Suez en 1956, el embargo petrolero impuesto por la OPEP entre 1967 y 1973, la intervención en la guerra Irán-Irak en 1979 y 1980, y la primera Guerra del Golfo tras la invasión de Kuwait en 1990 (Rioux & Winter, 2020).

Entre 1960 y 2021, los hidrocarburos fueron la principal fuente de energía primaria en Estados Unidos, representando el 58.4% de la producción total, con el gas natural aportando 28.8% y el petróleo 25.9%. El carbón representó 27.3%, la energía nuclear 5.7% y las fuentes renovables 8.6%. Durante este período, la producción de hidrocarburos descendió prolongadamente entre 1970 y 2005, pasando de 47 055 a 33 656 pt,

con un aumento en los costos de extracción debido al desplazamiento de la producción desde Texas, Luisiana, Alabama, Oklahoma, Nuevo México y aguas someras hacia Alaska y aguas profundas (Palazuelos, 2000).

La disminución en la disponibilidad de energía incrementó la dependencia de importaciones, principalmente provenientes de Canadá, México, Venezuela y el Medio Oriente. Sin embargo, a partir de 2006, la producción de hidrocarburos se recuperó, pasando de 33 686 pt a 69 317 pt en 2021, prácticamente el doble en quince años. Gran parte de esta recuperación se atribuye a la explotación no convencional de gas y petróleo *shale*, mediante técnicas de fracturación hidráulica (*fracking*), que consisten en inyectar fluidos a alta presión para fracturar formaciones rocosas y liberar los hidrocarburos. Esta metodología genera yacimientos con menor vida útil en comparación con los convencionales y un impacto ambiental que puede ser igual o incluso mayor, debido al uso intensivo de agua y la posible contaminación de mantos freáticos durante la perforación y operación de los pozos.

En cuanto a la producción de carbón, durante los últimos doce años (2011-2021) se observó una fase de declive, pasando de 25 216 pt a 12 239 pt, es decir, del 32.7% al 11.9% de la participación total. Esta tendencia sería favorable si la descarbonización de la economía se compensara con un aumento en la producción de fuentes renovables; sin embargo, estas apenas alcanzan los 8 500 pt, poco más del 8.0% de la participación total.

Por lo tanto, la fortaleza actual del sector energético en Estados Unidos se explica principalmente por el aumento en la producción de hidrocarburos de fuentes no convencionales. Según la U.S. Energy Administration Information (EIA), en 2022 el *shale gas* aportó el 80% de la producción de gas natural seco, alcanzando un total de 28 billones de pies cúbicos, mientras que el petróleo *shale* representó el 66.0% de la producción de petróleo crudo, con un volumen de 7.79 millones de barriles diarios (U.S. Energy Information Administration, 2022).

#### IV. DE LA DEMANDA NACIONAL APARENTE A LA DEMANDA FINAL

En el mercado energético de cualquier economía, a la producción primaria deben sumarse los flujos comerciales netos, los energéticos ubicados en *bunkers* o depósitos marinos o de aviación internacionales, así como las posibles pérdidas o ajuste en los stocks, para obtener la cuantificación de la oferta total interna (IEA, 2023), que, para fines de este trabajo, se equipara al CNA (ver ecuación 3). Este indicador permite dimensionar la condición de autosuficiencia o dependencia a partir de la cuantificación de las importaciones netas (importaciones menos exportaciones), así como estimar la disponibilidad total de energía para su asignación a los distintos sectores económicos.

$$CNA = Producción\ primaria + importaciones - exportaciones \quad (3)$$

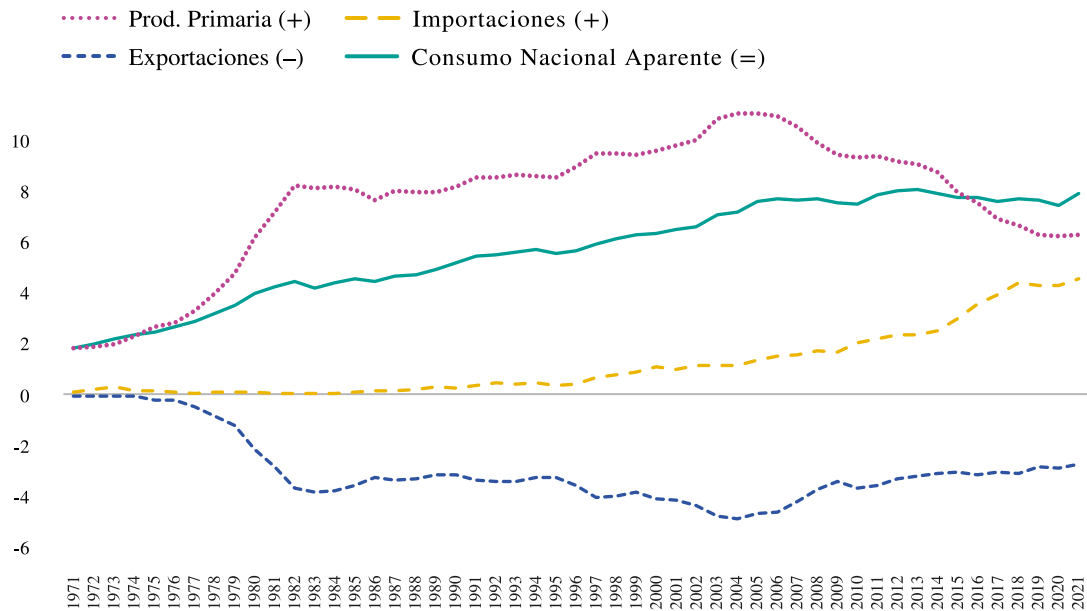
En este sentido, las condiciones del CNA en los países de Norteamérica son altamente heterogéneas, debido, en primer lugar, a la diferente capacidad de producción de energía primaria, ya analizada en el apartado anterior, y, en segundo lugar, a los cambios en los patrones de comercio energético, determinados principalmente por el proceso de integración económica iniciado a finales de la década de 1980 con el Acuerdo de Libre Comercio entre Canadá y Estados Unidos (ALC-CEU), seguido por el TLCAN y, finalmente, por el T-MEC.

Al analizar la estructura del CNA para México, se identifican diversos factores que influyen en la elasticidad de la demanda energética frente al crecimiento económico (ver Gráfica 8). En particular, la relación entre producción, importaciones y exportaciones evidencia un cambio de tendencia importante a partir del agotamiento de los campos petroleros de Campeche. Antes de 1975, el país prácticamente no exportaba energía; sin embargo, entre 1976 y 2004, las ventas al exterior aumentaron de 221 pt a 4 863 pt, para luego entrar en declive hasta los 2 757 pt en 2021. En este contexto, Pemex se utilizó principalmente como fuente generadora

de ingresos fiscales mediante la venta de petróleo al exterior, más que como empresa orientada al abastecimiento del mercado interno. Esta orientación fiscal limitó los recursos disponibles para inversión, reduciendo su capacidad de procesamiento de crudo a medida que las exportaciones aumentaban (Martínez y Herrera, 2006).

La contracción en la producción de energía disparó el nivel de importaciones, que pasó de casi cero a inicios de la década de 1990 a 4 526 pt en 2021 (ver Gráfica 6). Este incremento se explica, por un lado, por el aumento de las compras de gasolinas importadas debido al deterioro del Sistema Nacional de Refinación y, por otro, por el cambio en la generación de energía eléctrica. A partir de las reformas de 1992-1993 en la CFE, se limitó la hidro generación para favorecer el uso de gas natural mediante la incorporación de plantas privadas y la construcción de plantas de ciclo combinado, principalmente en el norte del país, aprovechando la cercanía con proveedores en Estados Unidos. Este cambio en la matriz energética condiciona actualmente la capacidad de crecimiento de la economía mexicana, al depender en mayor medida del volumen de importaciones, lo que representa una restricción externa significativa considerando que la elasticidad ingreso de la demanda y de las importaciones energéticas calculadas en los modelos econométricos son de 0.72% y 0.75%, respectivamente.

**Gráfica 6**  
**México. Componentes del consumo nacional aparente (miles de petajoules), 1970-2021**



**Fuente:** elaboración propia con datos de la IEA (2023).

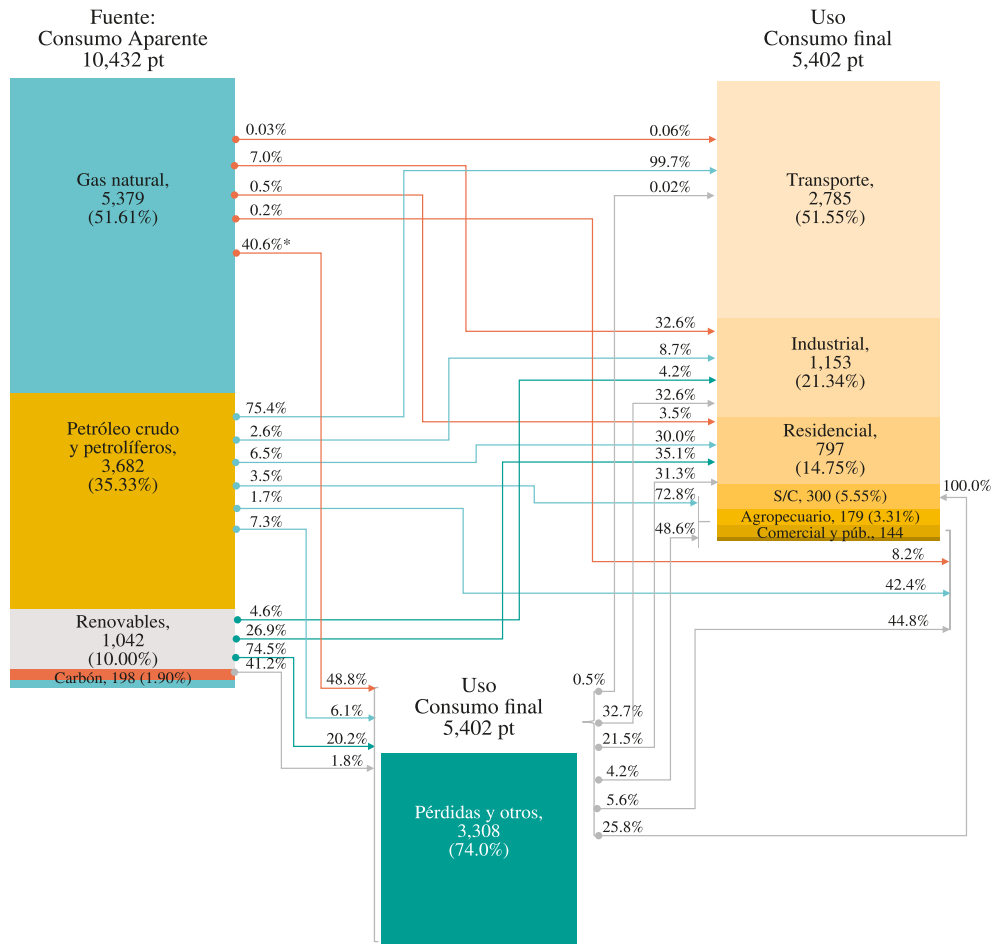
Por lo anterior, para lograr un crecimiento sostenido, México debe resolver la insuficiencia de su producción interna de energía y reducir la elevada dependencia de importaciones. Dado que se trata de un sector estratégico y de alta prioridad, no resulta conveniente que esté expuesto a las fluctuaciones de los precios internacionales ni a factores exógenos que puedan limitar su disponibilidad. Al analizar los flujos de origen y destino de la energía en México durante 2021 (ver Esquema 1), se observa que la demanda aparente está dominada por tres fuentes principales: gas natural (51.6 %), petróleo y petrolíferos (35.3%) y fuentes renovables (10.0%).

Por su parte, el gas natural constituye el principal combustible utilizado en la generación de electricidad, con una participación del 40.6%. Esta producción eléctrica se destina principalmente al consumo industrial (32.7% del total), seguido por el sector residencial (31.3%), el comercio (44.8%) y el agropecuario (48.6%). En cuanto al petróleo y petrolíferos, estos se orientan principalmente al sector transporte –gasolinas, diésel, turbinas–, que concentra el 99.7% de su consumo. Asimismo, abastecen al sector residencial (30.0%, principalmente mediante gas LP), al agropecuario (72.8%, a través de diésel y gas) y al comercial (42.4%, igualmente con gas LP) (ver Esquema 1).

Así, aproximadamente el 90% de la energía primaria en México proviene de fuentes fósiles, mientras que las fuentes renovables representan apenas el 10% del total. De este conjunto, las energías renovables generan alrededor del 20% de la electricidad nacional, aportan el 35.1% del consumo en los hogares y sólo el 4.2% de la energía utilizada por el sector industrial.

Otro elemento relevante en la matriz de origen y destino de la energía es el impacto aún marginal de la electromovilidad en el sector transporte. En la actualidad, el 99.8% de la energía consumida en este sector proviene de fuentes fósiles –petrolíferos y gas natural–, mientras que sólo el 0.02% corresponde a la electricidad. Si se considera, además, que más de la mitad de la generación eléctrica nacional depende de combustibles fósiles, esta situación desmitifica la posibilidad de una transición rápida hacia modelos energéticos sustentables. En las próximas dos o tres décadas, la demanda de gas y petróleo continuará dominando el mercado energético mexicano. En este contexto, la entrada en operación de la refinería Olmeca en Dos Bocas, Tabasco, así como la modernización de las cinco refinerías existentes, resultan medidas necesarias para atenuar la presión que ejercerá el crecimiento económico sobre la demanda de petróleo y refinados en los próximos decenios.

**Esquema 1**  
**Fuente y uso de energía en México (petajoules), 2021**

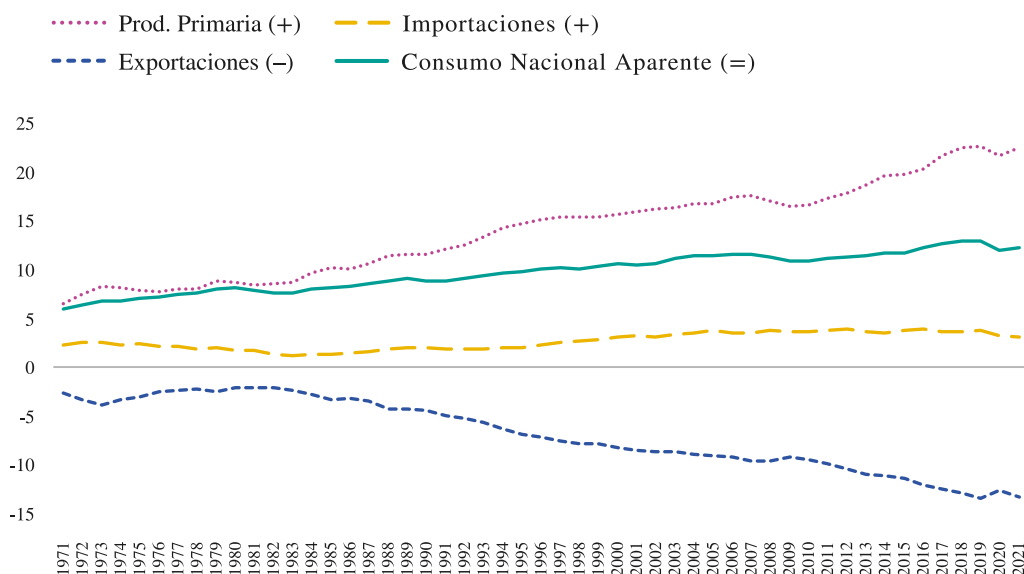


**Fuente:** elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía (SENER, 2023).

Además, resulta urgente reposicionar a la CFE como garante de la provisión de energía eléctrica tanto para la industria como para los hogares. En este sector, es indispensable ampliar la capacidad de generación, reducir las pérdidas energéticas –equivalentes al 74.0% de la energía consumida en el proceso de producción eléctrica– y extender la cobertura dentro del territorio nacional. Asimismo, se requiere identificar y recuperar cerca de 300 petajoules de electricidad cuyo destino no se encuentra claramente registrado, lo que sugiere la existencia de prácticas de autoconsumo no reportado o de fugas derivadas de tomas clandestinas en la red de la CFE.

En el caso de Canadá, el CNA presenta una mayor estabilidad, principalmente por dos razones. En primer lugar, la población canadiense es sustancialmente menor que la de México y Estados Unidos, con aproximadamente 40 millones de habitantes (Statcan, 2023). En segundo lugar, la producción primaria de energía supera de manera constante a la demanda interna, lo que permite al país mantener una balanza energética positiva y consolidarse como exportador neto de energía (ver Gráfica 7).

**Gráfica 7**  
**Canadá. Componentes del consumo nacional aparente (miles de petajoules), 1970-2021**



**Fuente:** elaboración propia con datos de la IEA (2022).

Entre 1971 y 1988, las exportaciones energéticas de Canadá no superaron los 10 mil petajoules. Esta limitada dinámica se explica, en parte, por el cambio de orientación que adoptó la política energética canadiense durante la década de 1970 y la primera mitad de los años ochenta, especialmente a partir del Programa Nacional de Energía impulsado por el primer ministro Pierre Trudeau en 1974 (Rioux & Winter, 2020). Dicho programa tenía como objetivo garantizar el autoabastecimiento ante la crisis energética mundial, mediante el establecimiento de impuestos a las exportaciones de crudo y gas natural. Cabe destacar que esta política del gobierno federal entró en conflicto con los intereses de las provincias petroleras, las cuales, al tener jurisdicción sobre sus recursos naturales, solo podían ser limitadas mediante la imposición de restricciones al comercio exterior, facultad exclusiva del gobierno de Ottawa.

Con la elección del conservador Brian Mulroney en 1984, la política nacionalista de Trudeau sufrió un revés y se replanteó la relación comercial con Estados Unidos, proceso que culminó con la firma del ALC-CEU en 1988. A partir de 1989 y hasta 2021, las exportaciones energéticas prácticamente se triplicaron, al pasar de 4 310 a 13 435 petajoules (ver Gráfica 7). Este incremento se explica por la profundización de la relación comercial, ya que el ALC-CEU incorporó un capítulo energético que permitió el flujo de inversión estadounidense hacia Canadá sin restricciones, a la vez que las barreras comerciales entre ambos países se eliminaron por completo, ampliando el mercado para el petróleo y el gas canadiense. Como resultado, se consolidó un alto grado de integración sectorial, reflejado en el desarrollo de una extensa red de oleoductos y gasoductos que actualmente superan los 144 mil Km, sin contar aún con la finalización del oleoducto *Keystone XL*, diseñado para conectar la provincia petrolera de Alberta con el estado de Nebraska en Estados Unidos.

Ya con el TLCAN, se consolidó el mercado energético de América del Norte, estableciendo el patrón comercial que aún prevalece: Canadá exporta crudo y otros productos primarios a Estados Unidos, mientras que este último suministra principalmente gas y productos procesados. No obstante, las importaciones

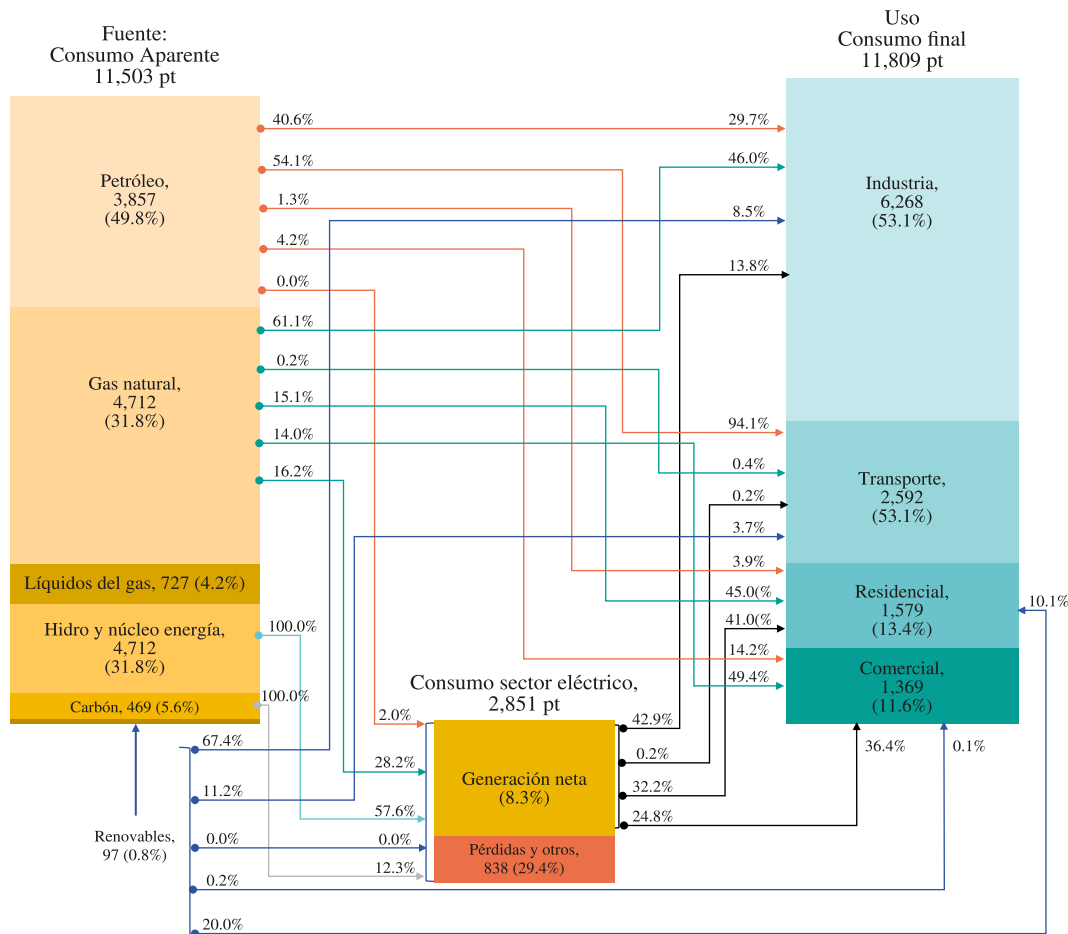
canadienses se han mantenido estables por debajo de los 5 mil petajuoles durante las últimas cuatro décadas. Esta estabilidad responde, en gran medida, a la moderada demanda interna, resultado de un bajo crecimiento poblacional, ya que el consumo nacional apenas aumentó de 10 mil a 12 mil petajuoles en los últimos 30 años. En consecuencia, tanto la elasticidad ingreso de la demanda energética como la elasticidad ingreso de las importaciones son relativamente bajas (0.49% y 0.37%, respectivamente), lo que otorga a Canadá una posición favorable en términos de su capacidad de crecimiento respecto a sus requerimientos energéticos. Sin embargo, la alta concentración de sus exportaciones en petróleo crudo genera una vulnerabilidad significativa frente a las fluctuaciones de los precios internacionales.

Al analizar la matriz de flujo energético de Canadá en 2021 –desde la disponibilidad de energía primaria hasta su uso final– se observan las siguientes condiciones (ver Esquema 2): del CNA, el 49.8% de los recursos energéticos provienen del petróleo y derivados, 31.8% del gas natural, el 4.2% de los líquidos del gas, el 8.3% de fuentes hidroeléctricas y nucleares, el 5.6% del carbón y apenas el 0.8% de fuentes renovables. A partir de esta disponibilidad inicial, la generación de energía eléctrica se origina en un 57.6% en fuentes hidroeléctricas y nucleares, mientras que el gas natural aporta el 28.2%; el resto proviene de fuentes menores, como los petrolíferos (gas LP y combustóleo), el carbón y las energías renovables.

La energía eléctrica cubre el 41.0% de la demanda de los hogares, el 36.4% de los establecimientos comerciales, el 13.8% de la industria y apenas el 0.2% del transporte. La energía derivada del petróleo y sus productos se destina principalmente al sector transporte, donde representa el 94.1% de su consumo; en la industria equivale al 29.7% y en los hogares al 14.2%. Por su parte, el gas natural tiene un uso intensivo en los establecimientos comerciales (49.4%), en la industria (46.0%) y en los hogares (45.0%), mientras que su participación en el transporte es marginal (0.4%) (ver Esquema 2).

Las fuentes renovables de energía son muy limitadas, tanto por fuente (0.8%) como por uso final. Sólo el sector residencial destaca, con 10% de su demanda cubierta por estas fuentes, seguido de la industria (8.5%) y el transporte (3.7%). Aun con ello, Canadá es la economía norteamericana donde las energías renovables tienen mayor peso relativo en la demanda final.

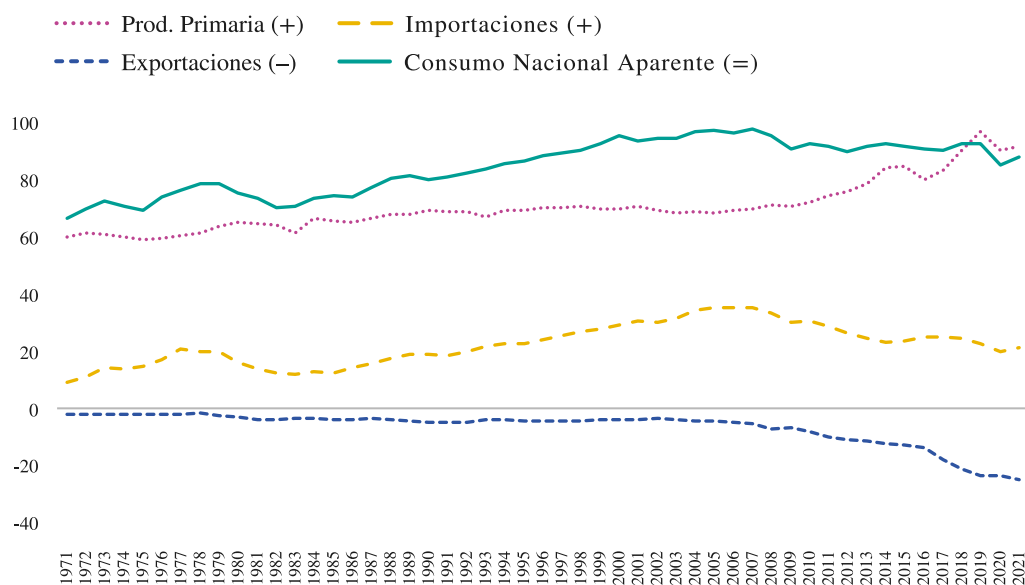
**Esquema 2**  
**Fuente y uso de energía en Canadá (petajoules), 2021**



Fuente: elaboración propia con datos de Canada Energy Regulator 2023.

En Estados Unidos, las condiciones energéticas han pasado de un panorama desfavorable –por el agotamiento de la producción primaria– a un fortalecimiento del sector gracias al auge del petróleo y gas. Las importaciones han caído marcadamente desde 2008. La producción primaria aumentó de 61 325 pt en 1971 a 71 207 pt en 2008, mientras que el CNA creció de 69 791 pt a 95 225 pt, generando un déficit cubierto con importaciones. Desde 2008, la producción interna se disparó hasta 88 066 pt en 2021, superando al CNA (88,006 pt) y generando un superávit histórico no visto en seis décadas (ver Gráfica 8).

**Gráfica 8**  
**Estados Unidos. Componentes del consumo nacional aparente (miles de petajoules), 1970-2021**



**Fuente:** elaboración propia con datos de la IEA (2022).

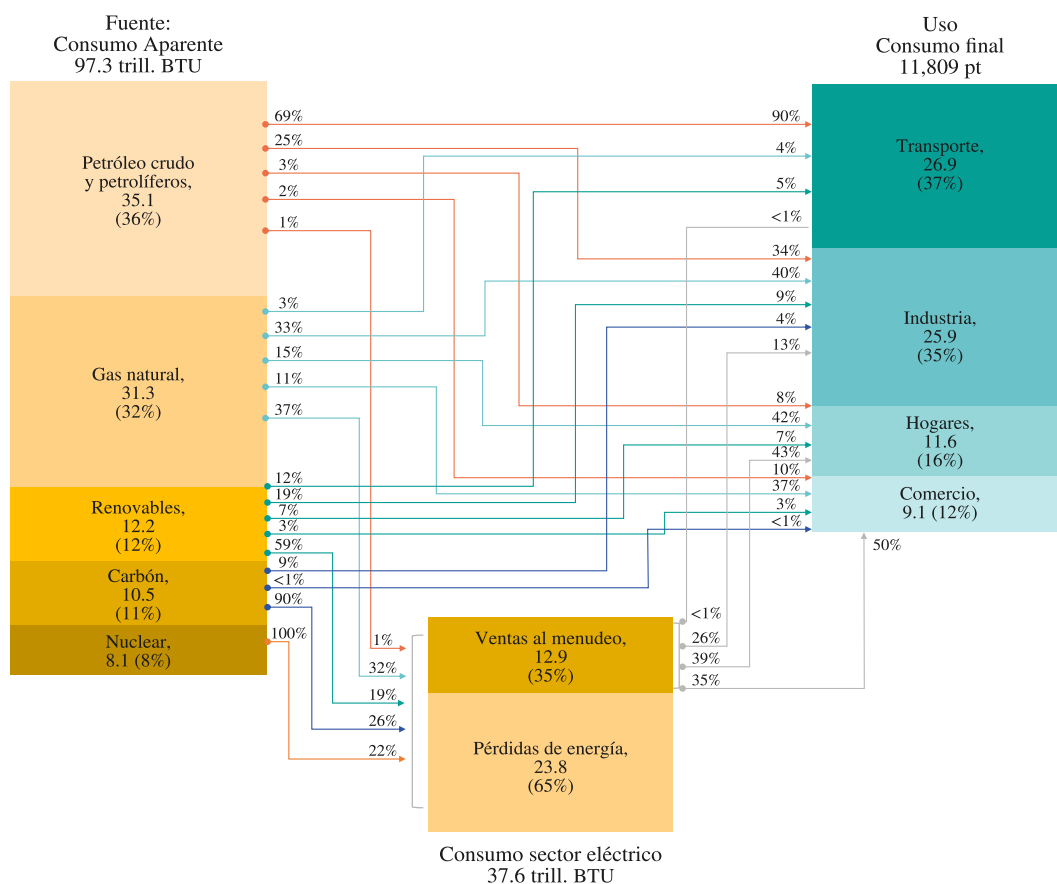
Otro factor que favorece el crecimiento económico de Estados Unidos es la diversificación de su matriz energética primaria, lo que incrementa la eficiencia energética al no depender de una sola fuente. Esta diversificación fortalece las interconexiones entre tipos de energía y permite una asignación más flexible y eficiente de los recursos energéticos.

Al analizar la matriz de origen y destino final de la energía en Estados Unidos (ver Esquema 3), se observa que el petróleo y sus derivados son la principal fuente, con el 36.0% del CNA, seguido del gas natural con 32.0%. En menor medida participan las fuentes renovables (12.0%), el carbón (11.0%) y la energía nuclear (8.0%). En conjunto, las fuentes fósiles aportan el 89.0% del total.

Por destino de cada fuente, el petróleo y sus derivados siguen siendo la base energética del transporte, con el 90% del consumo del sector y el 34% del consumo industrial; además, representan el 1.0% de los combustibles usados en la generación eléctrica. En cuanto al gas natural, su uso se concentra en la generación de electricidad (32% de los insumos del sector) y tiene una alta presencia en el consumo de hogares (42%), industria (40%) y comercio (37%) (ver Esquema 3).

La energía proveniente de fuentes renovables tiene una participación limitada en todos los sectores: 5% en transporte, 9% en industria, 7% en hogares y 3% en el sector comercial. El carbón se destina casi por completo a la generación eléctrica (90%), con un uso marginal en la industria (9%), mientras que la energía nuclear se dirige totalmente a la producción de electricidad.

**Esquema 3**  
**Fuente y uso de energía en Estados Unidos (2021) (British Thermal Units, BTU)**



**Fuente:** U.S. Energy Information Administration (2022).

En el sector eléctrico, la principal fuente es el gas natural (32.0%), seguido por el carbón (26.0%) y la energía nuclear (22.0%). Aunque la electricidad se considera de uso final no contaminante, su generación depende en un 59% de combustibles fósiles: 1% petróleo, 32% gas natural y 26% carbón. En cuanto a su uso, representa el 39% del consumo de los hogares, 35.0% en comercio, 13% en la industria y apenas 1% en transporte. Por ello, es cuestionable afirmar que Estados Unidos transita hacia energías sustentables o que la electromovilidad sea una prioridad real, dado el bajo peso de la electricidad en el transporte de personas y mercancías.

## CONCLUSIONES

El crecimiento económico está condicionado y, a la vez, impulsado por la estructura y dinámica del sector energético. La evidencia empírica confirma una relación circular entre producción y consumo de energía con el crecimiento económico. Los países desarrollados muestran estabilidad y diversificación en sus matrices energéticas, con mayor participación de energías renovables gracias a inversión en eficiencia e innovación. En contraste, economías en desarrollo, como México, dependen de fuentes fósiles, lo que las hace vulnerables y dependientes de los mercados internacionales.

México enfrenta una asimetría frente a Estados Unidos y Canadá, lo que limita los beneficios del comercio regional (TLCAN y T-MEC). Su capacidad de generación energética interna ha disminuido debido al agotamiento de fuentes primarias, mientras la demanda de energía secundaria crece por consumo doméstico, producción y transporte, incrementando la dependencia de importaciones. Estados Unidos y Canadá han fortalecido sus sectores energéticos mediante diversificación y eficiencia, estabilizando el consumo.

Las elasticidades de largo plazo muestran menor presión del crecimiento sobre la demanda energética en Canadá, mientras México y Estados Unidos requieren mayores incrementos de energía e importaciones por cada punto de crecimiento del PIB. Canadá y Estados Unidos han logrado estabilidad en sus fuentes primarias y CNAs, con superávits sostenidos o recientes, facilitados por la integración comercial, menor población canadiense y políticas de *fracking* en Estados Unidos, asegurando disponibilidad y mercados de exportación.

México, en cambio, ha mostrado una relación errática entre producción primaria y CNA. Esto debido principalmente a que Pemex priorizó ingresos fiscales por exportaciones sobre inversión en producción y procesamiento interno, provocando así una caída en la producción primaria desde 2005 y un déficit energético estructural desde 2016, condicionando el crecimiento del sector al mercado internacional.

Las matrices de flujos energéticos indican que los tres países dependen en promedio de 90% de fuentes fósiles y solo 10% de fuentes renovables, concentradas en consumo residencial y comercial. Esta estructura cambiará poco en las próximas décadas, afectando más a México por su alta intensidad energética.

En México, los hallazgos resaltan la urgencia de frenar el deterioro del sector energético para que no limite el crecimiento económico. Las políticas públicas deben enfocarse en fortalecer a las empresas estatales de energía como entidades estratégicas, un proceso que ya se inició con la contra reforma de febrero de 2024. Más allá de la eficiencia económica, es crucial garantizar el abastecimiento interno y avanzar en un plan de transición a mediano y largo plazo hacia una matriz sostenible sin comprometer la capacidad de crecimiento económico.

## REFERENCIAS

- Acheampong, A., Boateng, E. y Amponsah, M. (2021). Revisiting the economic growth–energy consumption nexus: Does globalization matter? *Energy Economics*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105472>
- Akinlo, A. (2008). Energy consumption and economic growth: Evidence from 11 Sub-Sahara African countries. *Energy Economics*, 30(5), 2391–2400. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.01.008>
- Ayres, R. y Voudouris, V. (2014). The economic growth enigma: Capital, labour and useful energy? *Energy Policy*, 64, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.001>
- Buzo de la Peña, R. M. (1997). *La integración de México al mercado de América del Norte*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco.
- Caraballo Pou, M. Á. y García Simón, M. J. (2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas. *El Trimestre Económico*, 84(335), 571–609. <https://doi.org/10.20430/ete.v84i335.508>
- CNH. (2023). *Rondas México*. Comisión Nacional de Hidrocarburos. <https://rondasmexico.energia.gob.mx/esp/contratos/>
- CNH. (2024). *Reporte de la consolidación de reservas de la Nación al 1 de enero de 2024*. Comisión Nacional de Hidrocarburos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921219/ConsolidaciondeReservas2024.pdf>
- Csereklyei, Z., Rubio-Varas, M. y Stern, D. (2016). Energy and economic growth: The stylized facts. *The Energy Journal*, 37(2), 223–255. <https://www.jstor.org/stable/24696755>

- Dasgupta, S. B. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147-168. <https://doi.org/10.1257/0895330027157>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Grossman, G. y Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper*, 3914. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Hartwick, J. (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review*, 67(5), 972-974.
- Hunt, E. K. y Lautzenheiser, M. (2011). *History of economic thought: A critical perspective* (3er ed.). M. E. Sharpe.
- IEA. (2023). *United States, Key energy statistics 2020*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/countries/united-states>
- IEA. (2024). *Total increase in energy-related CO<sub>2</sub> emissions 1900-2023*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-increase-in-energy-related-co2>
- Jakob, M., Haller, M. y Marschinski, R. (2012). Will history repeat itself? Economic convergence and convergence in energy use patterns. *Energy Policy*, 34(1), 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.008>
- Jevons, W. (1981). On the probable exhaustion of our coal mines, In R. Black (Ed.), *Papers and correspondence of William Stanley Jevons* (vol.7, pp. 28–35). London: MacMillan.
- Jorgenson, A. K. (2007). Does foreign investment harm the air we breathe and the water we drink? A cross-national study of carbon dioxide emissions and organic water pollution in less-developed countries, 1975 to 2000. *Organization & Environment*, 20(2), 137-156. <https://doi.org/10.1177/1086026607302153>
- Kuczinski, M. (1980). *El Tableau économique de Quesnay*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lescaroux, F. (2011). Dynamics of final sectoral energy demand and aggregate energy intensity. *Energy Policy*, 39(1), 66-82. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.010>
- Martínez, F. A. y Herrera, S. (2021). Pemex, su reestructuración corporativa, financiera y productiva, y los efectos de ésta sobre la balanza comercial petrolera. *El Trimestre Económico*, 88(349), 143–180. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i349.1005>
- Martínez, F. A. y Herrera, S. (2006). Debilidades y fortalezas de la industria petrolera en México, 1985-2005. *Economía Informa*, (340), 95-107.
- Meadows, D. y Meadows, D. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento*. Madrid: El País-Aguilar.
- Meyer, L. (2022). *Las raíces del nacionalismo petrolero en México*. Fondo de Cultura Económica.
- O'Connor, M. (1993). Entropic irreversibility and uncontrolled technological change in the economy and environment. *Journal of Evolutionary Economics*, 3(4), 285-315. <https://doi.org/10.1007/BF01194944>
- OPEC. (2023). *Annual Statistical Bulletin 2022*. Vienna, Austria: Organization of the Petroleum Exporting Countries. [https://asb.opec.org/ASB\\_PDFDownload.php](https://asb.opec.org/ASB_PDFDownload.php)
- Palazuelos, E. (2000). *Estructura económica de los Estados Unidos*. Madrid: Síntesis.
- Pemex. (2023). *Petróleos Mexicanos (Pemex). Reporte de Resultados 1er trimestre de 2023*: <https://www.pemex.com/ri/finanzas/Reporte%20de%20Resultados%20no%20Dictaminados/Webcast%201T23.pdf>
- Rioux, J.-S. y Winter, J. (2020). Forks in the road: Energy policies in Canada and the US since 1850. *American Review of Canadian Studies*, 50(1), 66-85. <https://doi.org/10.1080/02722011.2020.1743015>

- Ros, J. y Moreno, J. C. (2010). *Desarrollo y crecimiento en la economía mexicana: Una perspectiva histórica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021-4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
- Sarkodie S. A. y Strezov, V. (2019). A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 649, 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.276>
- Secretaría de Energía, Gobierno Federal. (2023). *Sistema de información energética*. <https://sie.energia.gob.mx/>
- SENER. (2017). *Balance nacional de energía 2016*. Ciudad de México: Secretaría de Energía. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance\\_Nacional\\_de\\_Energ\\_a\\_2016\\_\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf)
- Servicio Geológico Mexicano. (2021). *Programa institucional del Servicio Geológico Mexicano 2020-2024, avance de resultados*. México: Servicio Geológico Mexicano. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/735903/10\\_PI\\_SGM\\_AyR21.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/735903/10_PI_SGM_AyR21.pdf)
- Shahbaz, M., Shahzad, S. J., Mahalik, M. K. y Sadorsky, P. (2017). How strong is the causal relationship between globalization and energy consumption in developed economies? A country-specific time-series and panel analysis. *Applied Economics*, 50(13), 1350-1367. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1366640>
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. M. (1976). Extraction costs in the theory of exhaustible resources. *The Bell Journal of Economics*, 7(2), 359-370. <https://doi.org/10.2307/3003261>
- Statistics Canada. (2022). *Table: 36-10-0009-01: International investment position, Canadian direct investment abroad and foreign direct investment in Canada, by North American Industry Classification System (NAICS) and region, annual*. <https://doi.org/10.25318/3610000901-eng>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stern, D. I. y Cleveland, C. J. (2004). Energy and economic growth. *Rensselaer Working Papers in Economics*, No. 0410 Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
- U.S. Energy Information Administration. (2022). *U.S. energy facts explained*. <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- United Nations. (2022). *Comtrade*. <https://comtradeplus.un.org/>
- Wolde-Rufael, Y. (2009). Energy consumption and economic growth: The experience of African countries. *Energy Economics*, 31(2), 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.11.005>
- World Bank. (2024, enero 22). *World Development Indicators*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Zilberfarb, B.-Z. y Adams, F. G. (1981). The energy-GDP relationship in developing countries: Empirical evidence and stability tests. *Energy Economics*, 3(4), 244-248. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(81\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0140-9883(81)90025-6)

## ANEXO

## Raíces unitarias

Variables/Países	ADF			PP			KPSS		ADF with brek test		Año de rompimientos
	A	B	C	A	B	C	$\eta_{\mu}$	$\eta_{\tau}$	A	B	
<b>México</b>											
LDemanda	-2.91	-6.22	4.82	-2.82	-5.91	2.84	0.21	0.874	-3.52	-6.38	2013/2020
$\Delta$ LDemanda	-5.32	-4.27	-3.4	-5.96	-5.51	-4.2	0.112	0.647	-7.21	-6.83	
Limportaciones	-2.03	-0.251	1.95	-2.19	-0.36	1.74	0.09	0.87	-7.51	-2.37	1997
$\Delta$ Limportaciones	-5.93	-5.85	-5.69	-5.93	-5.85	-5.7	0.069	0.091	-8.09	-7.15	
LPIB	-2.7	-3.34	5.33	-2.72	-3.25	4.59	0.17	0.94	-3.56	-3.94	2019/1996
$\Delta$ LPIB	-6.7	-5.57	-4.1	-6.03	-5.56	-3.96	0.073	0.519	-7	-7.12	
<b>Canadá</b>											
LDemanda	-2.77	-2.72	3.64	-2.9	-2.78	3.18	0.216	0.942	-4.91	-3.36	2007
$\Delta$ LDemanda	-5.5	-5.48	-4.77	-6.22	-5.7	-4.71	0.057	0.336	-5.88	-5.8	
Limportaciones	-1.56	-0.72	0.48	-1.85	-1.02	0.346	0.133	0.663	-2.95	-3.11	1997
$\Delta$ Limportaciones	-5.6	-5.62	-5.68	-5.72	-5.74	-5.79	0.141	0.151	-8.75	-7.23	
LPIB	-3.08	-4.41	6.95	-3.08	-4.39	5.11	0.208	0.945	-3.84	-4.87	
$\Delta$ LPIB	-6.3	-5.28	-3.37	-6.29	-5.25	-3.11	0.101	0.625	-6.85	-6.43	
<b>Estados Unidos</b>											
LDemanda	-1.29	-2.15	1.41	-1.44	-2.13	1.32	0.178	0.804	-2.59	-3.6	2007
$\Delta$ LDemanda	-3.76	-6.09	-6	-6.13	-6.09	-6	0.071	0.287	-6.91	-6.59	
Limportaciones	-1.83	-1.96	0.492	-1.73	-2.46	0.854	0.149	0.66	-3.71	-2.97	1997
$\Delta$ Limportaciones	-4.53	-4.48	-4.48	-4.47	-4.41	-4.41	0.068	0.297	-5.1	-5.17	
LPIB	-1.13	-1.82	8.95	-1.09	-2.21	8.5	0.208	0.951	-5.9	-7.07	
$\Delta$ LPIB	-5.88	-5.78	-2.37	-5.75	-5.68	-2.77	0.087	0.354	-6.52	-5.96	

Dado lo torbulento de las series y los posibles rompimientos estructurales, se tomó la decisión de que las 3 pruebas (ADF, PP y KPSS) indicaran estacionariedad en los niveles de las series para así aceptar la  $H_0$ . La prueba ADF con rompimiento estructural muestra que para la demanda y el PIB en México se encontró evidencia de dos cortes estructurales, lo cual podría explicar que se rechacen las  $H_0$  en los niveles de estas variables en los modelos B.

En los casos de las pruebas ADF, PP y ADF (con rompimiento) el modelo A incluye una constante y tendencia; modelo B incluye solo una constante; y el modelo C no incluye nada.

En el caso de la prueba KPSS el modelo A incluye una constante y tendencia; modelo B incluye solo una constante.

En los casos de las pruebas ADF y PP la  $H_0$  es que la serie no es estacionaria, es decir, tiene una raíz unitaria. Entonces la  $H_1$  indica que la serie es estacionaria.

En el caso de la prueba KPSS la  $H_0$  indica que la serie es estacionaria, es decir, NO tiene una raíz unitaria. Entonces la  $H_1$  indica que la serie No es estacionaria.

En el caso de la prueba ADF con rompimiento la  $H_0$  indica que la serie tiene una raíz unitaria con un quiebre estructural, mientras que la  $H_1$  indica que la series es estacionaria con un quiebre estructural.

**Nota:**  $\Delta$  indica diferencia de la serie.

Los recuadros en verde indican el rechazo de la hipótesis nula al 5% de nivel de significancia estadística.

**Conclusión:** Para los 3 países las 3 variables son procesos no estacionarios I(1).

### Pruebas: Vectores de Cointegración

#### Estados Unidos

**Modelo Ecuación (1):**

Normalidad JB  $p(0.89)$ , White Heterocedasticidad  $p(0.07)$ , LM  $p(0.31)$ .  
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

**Modelo Ecuación (2):**

Normalidad JB  $p(0.80)$ , White Heterocedasticidad  $p(0.15)$ , LM  $p(0.75)$ .  
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

#### México

**Modelo Ecuación (1):**

Normalidad JB  $p(0.06)$ , White Heterocedasticidad  $p(0.13)$ , LM  $p(0.07)$ .  
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba del máximo eigenvalue.

**Modelo Ecuación (2):**

Normalidad JB  $p(0.25)$ , White Heterocedasticidad  $p(0.12)$ , LM  $p(0.82)$ .  
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

#### Canadá

**Modelo Ecuación (1):**

Normalidad JB  $p(0.27)$ , White Heterocedasticidad  $p(0.92)$ , LM  $p(0.42)$ .  
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

**Modelo Ecuación (2):**

Modelo Ecuación (2): Normalidad JB  $p(0.9)$ , White Heterocedasticidad  $p(0.33)$ , LM  $p(0.56)$ .  
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.