

## ANÁLISIS DE INTENSIDAD ENERGÉTICA PARA LOS SECTORES DE USO FINAL DE LA ECONOMÍA ECUATORIANA

*Cristian Vallejo Carpio\**

### **Resumen:**

El presente trabajo conduce un análisis de los cuatro componentes que afectan a la cantidad de consumo de energía en los sectores de uso final de la economía ecuatoriana. Estos componentes se desglosan en cuatro factores, a saber, el nivel de actividad, la composición de la actividad en los sectores, la intensidad energética y el *mix energético*. La suma de los anteriores estima el consumo de energía final en el país.

Los efectos causados por el desplazamiento en el tiempo de estos factores permiten analizar los cambios en la intensidad de la energía agregada. El resultado es un indicador compuesto que evalúa las tendencias de intensidad ensamblados en los diferentes niveles económicos. Este resultado es posible, debido a que la metodología aplicada utiliza un *enfoque ascendente*, que interconecta variables físicas y monetarias en los sectores y subsectores de la economía ecuatoriana. Además, el indicador ofrece una aproximación fiable para la concepción de eficiencia energética y ayuda a determinar conclusiones importantes más allá de los indicadores tradicionales.

Este estudio sugiere que se pueden obtener avances sustanciales a través del incentivo de programas para eficiencia energética. Además, un incremento en la productividad energética podría disminuir el inminente crecimiento en la demanda de energía. En otras palabras, un marco de trabajo con políticas de eficiencia energética adecuadas

---

\* University of Technology, Sydney. Energy Planning and Policy Centre. Master of Energy Planning and Policy. Investigador de Temas Energéticos. Cristian.R.VallejoCarpio@alumni.uts.edu.au; crisvalpen123@hotmail.com

Las opiniones vertidas en este documento son de responsabilidad exclusiva del autor y no representan la posición oficial del Banco Central del Ecuador ni de sus autoridades. Los Anexos de este artículo pueden ser solicitados al correo electrónico del autor.

y la diversificación del *mix energético* podrían obtener mayores reducciones en la intensidad comparadas con la actual.

**Palabras clave:** Intensidad energética; eficiencia energética; productividad energética.

**Clasificación JEL:** Q40, Q43

**Abstract:**

This research conducts an analysis of the four components affecting the amount of energy consumption in the end-use sectors of the Ecuadorian economy. They break down into four factors, namely, the level of activity, the composition of activity in the sector, the energy intensity and the *energy mix*. The sum of the above factors results in final energy use in the country.

The effects caused by the displacement in time of these four components permit to analyze changes in aggregate energy intensity. The result is a composite indicator that evaluates intensity trends assembled at different economic levels. This outcome is possible because the methodology applied uses a *bottom-up approach* that interconnects physical and monetary variables in sectors and sub-sectors of the Ecuadorian economy. In addition, the indicator offers a reliable *proxy* for energy efficiency and helps to determine key findings beyond the traditional energy indicators.

This research suggests that substantial advances can be achieved through the incentive of energy efficiency programs. Moreover, an increase in energy productivity could slow down the imminent growth in energy demand. In other words, a framework for adequate energy efficiency policies and a diverse *energy mix* could achieve further reductions in energy intensity.

**Keywords:** Energy intensity; energy efficiency; energy productivity.

**JEL Classification:** Q40, Q43

## **I. INTRODUCCIÓN**

El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MCSE, por sus siglas en español) presentó *El desafío ecuatoriano al futuro energético* como marco de la Agenda Nacional de Energía (MCSE, 2015), a través de una ronda de diálogos celebrada en abril de 2015. La agenda se centró en cuatro temas relacionados con la energía, a saber: el desarrollo del país, crecimiento económico, el desarrollo social y la calidad de vida. Este diálogo discutió el tema de las tarifas y los subsidios en un debate abierto que tenía por objetivo la consecución de los planes de diversificación energética, la eficiencia energética y el ahorro de energía de acuerdo con las políticas del anterior gobierno. En este contexto, el debate argumentó cómo los entes reguladores deben reorganizar los mercados de la energía teniendo en cuenta las formas de transformación y distribución, los ingresos marginales, el comportamiento del consumidor, precios y tarifas. Por otra parte, el gobierno del Ecuador ha planeado consolidar un programa regional de energía para las necesidades futuras en América Latina.

La agenda también argumentó la generación de electricidad a partir de energías renovables. Esta fuente de energía primaria representó el 45 por ciento del total de la generación eléctrica en 2013 (MCSE, 2015). Por otro lado, las centrales térmicas convencionales participaron con el 55 por ciento de la matriz energética para la generación de electricidad en el mismo año. Con la inclusión de la propuesta de expansión de Electricidad 2013-2022 (CONELEC, 2013), la generación de energía hidroeléctrica será parte de al menos el 70 por ciento del total de fuentes de energía primaria para la generación de electricidad, mientras que las energías renovables no convencionales (ERNC) contribuirán un 1.4 por ciento adicional (MCSE, 2015).

El escenario de este plan no parece ser muy optimista sobre el papel de las ERNC en la generación de electricidad; y, sin duda, puede crear una falacia en la meta del Gobierno Nacional de promover la diversificación del mercado eléctrico. Sin embargo, será crucial analizar los posibles escenarios con mayor participación en ERNC, especialmente si hay una reducción de costes de la tecnología en el futuro. Además, se deben considerar estrategias, planes e incentivos para promover cambios en la estructura de los activos de electricidad, en las que la inversión privada debería participar en el proceso.

En otro contexto, la eficiencia energética sigue siendo insatisfactoria debido a una extensa historia de subsidios para la energía eléctrica y para el consumo de combustibles en el Ecuador. Este hecho produce una falta de compromiso con los

hábitos de ahorro de energía. Además, las políticas en este sector energético han promovido el uso intensivo de la energía en los componentes e infraestructura ya existentes para los segmentos del transporte, residencial, industrial y de servicios en el país. Este hecho hace imperativo el registro de los cambios en el consumo de energía y la evaluación de cómo estas tendencias están relacionadas con la economía.

Bajo este panorama, la presente investigación proporciona una visión general de las tendencias de intensidad energética en los sectores clave de uso final de energía en la economía ecuatoriana. Estos sectores representan los principales segmentos de la producción y comprenden la mayor parte del uso de energía final. La utilización de un análisis cuantitativo ayuda a captar los cambios en el consumo de energía debido a los cambios estructurales y de comportamiento. Los resultados del estudio proporcionan una visión general de los factores que afectan a estos cambios. El método aplicado en este estudio puede ser un instrumento para evaluar la adopción de políticas en el sector energético, ya que cuantifica los efectos en los principales segmentos económicos.

La investigación analiza las tendencias en el consumo de energía, la intensidad energética de la economía ecuatoriana y descompone los principales factores que afectan a estas tendencias para cada uno de los sectores de uso final. Este resultado se obtiene cuando se cuantifica la influencia del nivel de actividad, los cambios estructurales en la economía, la eficiencia energética y la mezcla energética durante el período de análisis entre el año 1979-1980 hasta el 2012-2013. Seguidamente, la investigación examina la intensidad energética compuesta y la orientación del efecto de la combinación energética sectorial en cada uno de los segmentos de uso final de energía en la economía del Ecuador. Para el efecto, se consideran las cuatro principales fuentes de energía primaria: electricidad, productos derivados del petróleo, gas natural y biocombustibles.

El enfoque de este estudio se basa en un método de descomposición que da cuenta de los cambios en el consumo de energía a través del tiempo en componentes de actividad económica, efectos estructurales en los sectores económicos, intensidad energética y los efectos de sustitución energética dado por el *mix energético* en el período de análisis. El cambio global en el consumo de energía puede ser expresado como la suma de estos cuatro componentes. Este método ofrece una aproximación fiable de tendencias de la intensidad energética y de la productividad, debido a que el impacto de otros factores no relacionados con la eficiencia, tales como el nivel de actividad económica, pueden ser bien identificados.

## **II. FUNDAMENTO TEÓRICO**

La energía es fundamental para el desarrollo socio-económico de una nación. La accesibilidad a la energía es particularmente esencial para la reducción de la pobreza y para mejorar el nivel de vida. Sin embargo, la creciente demanda energética ha elevado la preocupación por la sostenibilidad y fiabilidad de la producción energética actual, los patrones de consumo y el impacto del uso de combustibles fósiles en el ambiente.

Bajo esta circunstancia, indicadores de energía fiables y oportunos se hacen imprescindibles para la toma de decisiones. Dicha información es concebible si las estadísticas obtenidas son sistemáticamente compiladas y se difunden de manera efectiva para el análisis. Esta información requiere la disponibilidad de criterios y otras orientaciones de evaluación para garantizar la comparabilidad de datos cruzados a nivel país y mecanismos adecuados para la difusión de los datos a los responsables políticos, tanto a nivel nacional como internacional.

En este contexto, el análisis de descomposición es un instrumento analítico esencial que se ha aplicado ampliamente al área energética y la investigación del ambiente en los últimos años. De hecho, varios métodos son parte de la descomposición para diferentes análisis a nivel macro en diversos temas para numerosos países.

El procedimiento de descomposición de un indicador energético se propuso en la década de 1970. El método se inició con el análisis de medidas cuantitativas de las contribuciones virtuales de diversos factores. Sin embargo, estudios más recientes desarrollados por Ang y Zhang (2000), ofrecen un enfoque de descomposición llamado el Índice de Divisia Log-Media I (LMDI-I, por su acrónimo en inglés). Este método posee la propiedad de descomposición perfecta y consistencia en la agregación. La primera propiedad garantiza que la descomposición no acarrea un valor residual, mientras que la segunda propiedad permite que las estimaciones para los sectores puedan ser agrupadas de manera regular en un determinado período.

Investigaciones significativas se han propuesto en este campo por Ang *et al.* (2003) y Ang & Liu (2001). Estos científicos propusieron un método que brinda al análisis cuantitativo una descomposición perfecta. Esta técnica es adecuada para cumplir con el requisito de la prueba de reversión de los factores en el problema de los valores base. Por otra parte, los resultados no contienen un término residual (Sandu & Petchey, 2009).

En los estudios de descomposición de energía, como es el caso del presente estudio para el uso final de energía en la economía ecuatoriana, grupos y sub-categorías están conformados por la clasificación de industrias y tipos de energía utilizada. Para este tipo particular de investigación, la descomposición debe llevarse a cabo a nivel de sub-categorías, debido a que este análisis se agrega de una manera consistente. Por ejemplo, el grupo de uso final de energía correspondiente al sector industrial, enlaza estimados de los efectos de desplazamiento en diferentes niveles de desagregación sub-sectorial conformados por las industrias de manufactura, agrícola, servicios, de construcción, entre otras. Bajo este parámetro, se consideran las variables de actividad, estructura e intensidad energética en términos del valor agregado bruto por industria, forma de energía primaria y tipos de combustible utilizados para obtener energía.

LMDI-I es un método que descompone los cambios en la intensidad de la energía a través del tiempo mediante un esquema de factorización para la descomposición de índices. Este método analítico considera las fuerzas cambiantes en el consumo de energía debido al nivel de actividad económica, los cambios en la estructura por las actividades económicas desarrolladas, la eficiencia energética y el *mix* de energía. Los cambios en el consumo de energía para este estudio tienen los cuatro componentes anteriores, a saber, la actividad, la estructura, la eficiencia y los efectos de sustitución energética.

## **2.1 Indicadores de intensidad energética**

### **2.1.1 Eficiencia energética**

Este indicador representa conceptos diferentes en función del campo en el que sea aplicado, tales como la eficiencia en ingeniería, la productividad económica o la conservación de la energía. La eficiencia energética en economía es una medida de la razón entre la producción y las formas de energía primaria. Es comúnmente usado para cuantificar las mejoras en la eficiencia mediante el uso de menos energía para el mismo nivel de producción. Adicionalmente, se aplica de forma común como un indicador de cambios en la productividad y la eficiencia energética en un determinado período.

Este indicador proporciona una relación entre el consumo de energía y la demanda de servicios energéticos. En consecuencia, un aumento en el nivel de actividad utilizando la misma cantidad de energía o una disminución en el consumo de energía para la producción a un mismo nivel de actividad, produce mejoras en la eficiencia energética.

Sin embargo, es fundamental considerar que la eficiencia energética no representa el mismo concepto de eficiencia económica (o productividad económica) en las ciencias económicas. Este último término considera la eficiencia de todos los factores de producción, mientras que el primer término solamente considera al sector energético (Sandu y Petchey, 2009, p.11). A un nivel adecuado de desagregación sectorial, si se toman en cuenta otros elementos estructurales no relacionados con la eficiencia energética, existe una correlación inversa entre la eficiencia y la intensidad energética.

### **2.1.2 Intensidad energética**

Este término indica la proporción de energía utilizada por unidad de producción. La intensidad energética es un indicador de la eficiencia energética. Este puede ser valorado en diferentes niveles agregados de la actividad económica para medir los cambios en la productividad de la energía y hacer comparaciones en el tiempo.

La razón energía respecto a la producción resultante es una medida simple de la intensidad, que relaciona el consumo de energía respecto a las unidades producidas. Este índice explica la energía consumida en un determinado nivel de actividad económica.

Por desgracia, esta idea podría conducir a un error, debido a que la intensidad energética es vista como el inverso de la eficiencia energética. De acuerdo con esta última definición, una disminución en la intensidad de energía correspondería a un aumento en la eficiencia energética. Este concepto no es completamente adecuado, ya que la intensidad energética considera no solamente a la eficiencia energética, sino también componentes estructurales y de comportamiento (Jenne y Cattell, 1983, p.117). Por ejemplo, una disminución de la intensidad energética causada por los aparatos eléctricos de uso doméstico no significa automáticamente que dichos aparatos son más eficientes energéticamente. Otros factores tales como los precios de la electricidad o derivados de petróleo, externalidades tales como los subsidios, la concientización sobre el ambiente y los problemas de contaminación también afectan a la intensidad energética global.

La presente investigación se desarrolla en un nivel de análisis desagregado con indicadores híbridos económico-termodinámicos (unidades de medición de energía). Estos índices de eficiencia energética son el resultado de la relación entre la energía primaria consumida en los sectores de uso final en unidades físicas y el resultado de la producción en unidades monetarias. Estos indicadores pueden ser aplicados al nivel de relación producto respecto de la actividad económica, al nivel

sectorial o al nivel de una nación (Patterson, 1996). Este enfoque procesa datos en los que términos físicos para el cálculo de la salida no están disponibles o la producción total del sector no puede ser medida en unidades físicas o de ingeniería como, por ejemplo, la cantidad total de toneladas métricas de productos cárnicos que el subsector ganadero produce con respecto a su valor agregado bruto en la economía ecuatoriana.

### **2.1.3 Productividad energética**

Este indicador es el recíproco de la relación entre energía respecto a producción. Por ejemplo, el Producto Interno Bruto (PIB) dividido por el consumo de energía de un país. Por lo tanto, se dice que una nación será más productiva en relación a la energía, cuando su economía produce más bienes y servicios por unidad de energía.

La productividad de la energía es un indicador análogo a las razones de productividad del capital y la del trabajo utilizados en la teoría económica; y también, esta hipótesis se puede aplicar a niveles sectoriales (Patterson, 1996). Sin embargo, la relación del PIB respecto de la energía, podría dar lugar a malentendidos ya que la energía puede ser sustituida por otros factores de producción tales como el trabajo o el capital, más que cualquier otro factor técnico que implique eficiencia energética.

Puesto que la productividad de la energía representa el inverso de la eficiencia energética, el indicador a nivel agregado muestra el resultado de las mejoras a consecuencia de la eficiencia en el tiempo. Por ejemplo, cómo los cambios dados por la eficiencia energética en los procesos industriales podrían afectar a la productividad de la energía en la economía ecuatoriana.

### **2.1.4 Indicador compuesto de intensidad energética**

Este indicador es un índice que calcula la intensidad de la energía a través del tiempo mediante la suma de las diferenciaciones estructurales causadas por las variaciones en el consumo de energía y los cambios en la economía. Esta metodología considera al indicador compuesto como una evaluación global de la intensidad energética. Se puede obtener a partir de un esquema de análisis de índices de descomposición LMDI-I, utilizando un *enfoque ascendente*.

Los criterios básicos a considerar en un indicador compuesto de intensidad energética son comparabilidad internacional, la disponibilidad de datos, la facilidad de interpretación y la utilidad de la metodología (Nanduri, Nyboer y Jaccard, 2002, p.152).



La fiabilidad del indicador compuesto se basa, principalmente, en la calidad de los datos físicos. La información sobre el consumo de energía primaria está comúnmente disponible para varios sectores. Sin embargo, datos confiables sobre la producción física por cada sector económico, a menudo, no son registrados y esta consideración podría causar variaciones sustanciales en los resultados finales.

Dos puntos de referencia juzgan la calidad de un indicador de intensidad energética compuesto, a saber, la integridad y la cobertura del bien o servicio (Nanduri, Nyboer y Jaccard, 2002). El primero analiza el número de sectores o grupos incluidos en el montaje del procesamiento de datos e implica que el indicador compuesto capture todos los subsectores que lo componen. El segundo criterio analiza cómo el sector (o subsector) representa las materias primas que forman parte de la industria en estudio. Como resultado, más activos en el sector implican que el indicador es el adecuado para representar los cambios reales en el tiempo.

Para el caso de esta investigación, la selección de los sectores y subsectores se basan en la disponibilidad de datos. La información compilada es parte de publicaciones en organismos públicos y otras entidades internacionales. No obstante, la investigación requirió de mayor cantidad de datos desglosados, los que se obtuvieron a través de entidades gubernamentales.

El Balance Nacional Energético, el consumo de energía primaria y final y otros indicadores energéticos se han obtenido del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MCSE, 2014) y el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER, por sus siglas en español) (MEER, 2015). Esta información ha sido comparada y compilada utilizando datos de la Agencia Internacional de Energía o IEA por sus siglas en inglés (IEA, 2015). Información adicional sobre el sector eléctrico fue obtenida del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC, 2014). El valor agregado bruto por industria (VAB) y otras estadísticas económicas han sido obtenidos del Banco Central del Ecuador (BCE, 2013) y se han comparado con los datos publicados por el Banco Mundial (WB, 2015).

### **III. METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

#### **3.1 Metodología de descomposición y análisis del sistema**

El análisis del sistema comprende todo proceso de elaboración de especificaciones y, posteriormente, el establecimiento de la base de ingeniería para diseños sucesivos (Blanchard y Blyler, 2016). Como resultado, este proceso integra al análisis cuantitativo o numérico como parte del desarrollo del diseño.

El análisis cuantitativo se puede clasificar en dos grupos principales: a saber, los enfoques ascendentes y los descendentes. Un enfoque ascendente inicia a partir de los componentes macros y busca las características desagregadas de cada efecto en la estructura. Desde el punto de vista analítico, los parámetros desagregados en unidades físicas representan las características del sistema. El objetivo de este procedimiento es cuantificar las fuerzas principales que influyen directamente en la estructura del modelamiento analítico. El resultado de este enfoque brinda los posibles escenarios de mejora de los elementos del análisis y el impacto potencial en todo el sistema.

Esta investigación se basa en un método de descomposición con enfoque ascendente. El método busca agregar la descomposición en el consumo de energía en los distintos sectores de uso final de la economía. El resultado es una estimación de los efectos de cada componente que ayuda a comprender el panorama de la energía en la economía del país.

### **3.2 El método de descomposición**

Un análisis de descomposición identifica las relaciones cuantitativas entre las variables que describen el comportamiento económico. Por lo tanto, la técnica separa los efectos que producen cambios en el indicador agregado en diversos niveles desagregados. El resultado son diferentes elementos o efectos que proporcionan información para el análisis y evaluación.

Investigaciones en este campo han desarrollado varias metodologías para el análisis de descomposición. En general, es posible clasificar los métodos dependiendo del indicador o el tipo de modelo. De acuerdo al indicador, los enfoques se clasifican en formas multiplicativas y aditivas. Las formas multiplicativas y aditivas de descomposición pueden acarrear un término residuo dependiendo de la técnica aplicada. Para la forma aditiva, el procedimiento descompone la varianza de un indicador en algunos efectos causales para un determinado período. Para el caso de la forma multiplicativa, el procedimiento descompone al cambio de la razón de un indicador.

Un análisis de descomposición de índices resuelve el error causado por el acarreo del término residual. Esta metodología es una herramienta analítica que se originó a partir de estudios en el campo de la energía (Ang, 2004). Sin embargo, la aplicación de este enfoque se ha extendido a otras áreas. Diferentes enfoques de descomposición se han establecido sobre la base del procedimiento anteriormente nombrado y LMDI I es uno de ellos. Los resultados de esta metodología cumplen

con las propiedades para una descomposición perfecta y consistencia en la agregación. Existe una cantidad considerable de estudios en este campo bajo el modelo de LMDI I, desarrollados por Ang y Zhang (2000); Ang y Liu (2001); Ang, *et al.* (2003); Sandu y Petchey (2009); Stanwix, Pham y Ball (2015), entre otros.

### 3.3 El Índice de Divisia Log-Media I (LMDI I)

El método propuesto en este estudio se deriva del planteamiento para el Índice de Divisia aplicado a un caso de energía para las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria (Ang y Liu, 2001). Es posible definir al indicador agregado de las emisiones de CO<sub>2</sub> ( $C$ ) en términos de los siguientes efectos explicativos: la producción de la actividad industrial en su conjunto ( $Q$ ), la estructura formada por la mezcla de actividades ( $S$ ), la intensidad sectorial de energía ( $I$ ), la mezcla energética sectorial ( $M$ ) y el efecto por el factor de emisión ( $T$ ). Suponiendo  $n$  sectores industriales y  $m$  tipos de combustible, la siguiente ecuación representa el caso de los cinco factores anteriores:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q \frac{Q_i E_i E_{ij} C_{ij}}{Q Q_i E_i E_{ij}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q S_i I_i M_{ij} U_{ij} \quad (1)$$

De acuerdo con la ecuación (1), un cambio de  $C$  a través del tiempo desde el año  $\theta$  al año  $T$  es caracterizado por los cinco efectos mencionados anteriormente. En consecuencia, es posible cuantificar los efectos sobre el indicador compuesto con cinco componentes diferentes, en función de las formas aditivas o multiplicativas del análisis de descomposición de índices y teniendo en cuenta la fórmula de descomposición LMDI I.

En esta investigación, los cambios en el consumo de energía se calculan a través de un análisis de descomposición o de factorización. Este trabajo sigue un enfoque similar al aplicado en la investigación para el Departamento Australiano de Economía Agrícola y de Recursos (ABARE, por sus siglas en Inglés), desarrollado por Sandu y Petchey (2009). Sobre la base de los estudios de emisiones relacionadas con la energía desarrollados por Ang y Liu (2001), el marco de este estudio considera que la combinación de energía sectorial agregada ( $E_{mix}$ ) para un sector que contiene  $n$  subsectores, se puede expresar como:

$$E_{mix} = \sum_i^n Q \frac{Q_i E_i E_{mix_i}}{Q Q_i E_i} \quad (2)$$

Donde  $Q$  representa la actividad económica total del sector,  $Q_i$  es la actividad del subsector  $i$ ,  $E_i$  es el consumo de energía del subsector  $i$ , y  $Emix_i$  representa el *mix energético* del subsector  $i$ . El término  $Q_i/Q$  responde por la participación de la actividad económica del subsector  $i$  respecto de la actividad total del sector. El término  $E_i/Q_i$  representa la intensidad energética del subsector  $i$ , es decir la relación de energía consumida en el subsector respecto de su valor agregado bruto. Por último, el término  $Emix_i/E_i$  explica el efecto de sustitución dado por el *mix* de energía en el subsector  $i$ , es decir la relación de la fuente de energía primaria utilizada en el subsector (electricidad, productos derivados del petróleo, gas natural o biocombustible) respecto del total de la energía consumida en dicho subsector.

El *mix energético* sectorial agregado de la ecuación (2) se puede resumir de la siguiente manera:

$$E_{mix} = \sum_i^n QS_i I_i M_i \quad (3)$$

Donde  $Q$  representa la actividad total del sector,  $S_i$  es la estructura de la mezcla de la actividad en el sector,  $I_i$  es la intensidad energética sectorial y  $M_i$  representa el *mix energético* sectorial.

El propósito del análisis de descomposición es el desarrollo de un mecanismo en el que el indicador agregado se pueda descomponer en los cuatro efectos mencionados anteriormente. Este análisis se realiza a través de un enfoque de operación aditivo o multiplicativo. El método aditivo expresa el cambio en el *mix energético* global de los sub-sectores  $i$  como la suma de los cuatro efectos; a saber, la actividad, la estructura, la intensidad y la sustitución.

$$\begin{aligned} \Delta Emix_i &= Emix_{i,T} - Emix_{i,0} \\ &= \Delta Emix_{ACT} + Emix_{STR} + \Delta Emix_{INT} + \Delta Emix_{EM} \\ &= \omega_i \cdot \ln \left( \frac{Q_{i,T}}{Q_{i,0}} \right) + \omega_i \cdot \ln \left( \frac{S_{i,T}}{S_{i,0}} \right) + \omega_i \cdot \ln \left( \frac{I_{i,T}}{I_{i,0}} \right) + \omega_i \cdot \ln \left( \frac{M_{i,T}}{M_{i,0}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Donde los subíndices  $0$  y  $T$  representan los valores de las variables al inicio y al final del intervalo de interés. El término  $\omega_i$  es la media logarítmica del indicador de *mix energético* a través de los períodos de inicio y fin del intervalo de análisis,

que para el caso de esta investigación se incrementan de forma anual en el período comprendido entre los años 1979-1980 hasta 2012-2013; y, se define como sigue:

$$\omega_i = \frac{E_{i,T} - E_{i,0}}{\ln E_{i,T} - \ln E_{i,0}} \quad (5)$$

Del mismo modo, el método multiplicativo de LDMI I permite expresar el cambio en el *mix* energético global del subsector *i*, como el producto de los cuatro efectos. La ecuación (6) ilustra su forma matemática.

$$\begin{aligned} \Delta Emix_i &= \frac{Emix_{i,T}}{Emix_{i,0}} = \Delta Emix_{ACT} \cdot \Delta Emix_{STR} \cdot \Delta Emix_{INT} \cdot \Delta Emix_{EM} \\ &= \exp \left[ \gamma_i \cdot \ln \left( \frac{Q_{i,T}}{Q_{i,0}} \right) \right] \cdot \exp \left[ \gamma_i \cdot \ln \left( \frac{S_{i,T}}{S_{i,0}} \right) \right] \cdot \exp \left[ \gamma_i \cdot \ln \left( \frac{I_{i,T}}{I_{i,0}} \right) \right] \cdot \exp \left[ \gamma_i \cdot \ln \left( \frac{M_{i,T}}{M_{i,0}} \right) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

El término  $\gamma_i$  es la media logarítmica del indicador de *mix* energético y está comprendido para los períodos de inicio y de fin del intervalo de análisis. Se define de la siguiente manera:

$$\omega_i = \frac{(E_{i,T} - E_{i,0}) / (\ln E_{i,T} - \ln E_{i,0})}{(E_T - E_0) / (\ln E_T - \ln E_0)} \quad (7)$$

El primer término de las ecuaciones (4) y (6) representan el efecto de la actividad, el segundo refleja el efecto estructural, el tercero el efecto de la intensidad y el último el efecto de sustitución. Los efectos de intensidad en los sub-sectores se suman para obtener el indicador de intensidad energética compuesta sectorial. El indicador sectorial se agrega aún más, a nivel de toda la economía (considerando todos los sectores de uso final de energía), para obtener el índice de intensidad energética compuesta.

Para el caso de la descomposición en forma aditiva, el indicador compuesto de la intensidad de energía (CEII por sus siglas en inglés) se obtiene del tercer término de la ecuación 4, considerando la suma de todos los sub-sectores *i*.

$$CEII = \sum_i^n \omega_i \cdot \ln \left( \frac{I_{i,T}}{I_{i,0}} \right) \quad (8)$$

Para el caso de la descomposición en forma multiplicativa, el indicador compuesto de la intensidad de energía (CEII), se obtiene mediante el uso de la función exponencial.

$$CEII = \exp \left[ \sum_i^n \gamma_i \cdot \ln \left( \frac{I_{i,T}}{I_{i,0}} \right) \right] \quad (9)$$

El efecto de la actividad explica los cambios en la escala de la actividad económica. Por lo general, este componente da cuenta de los principales cambios detectados en el consumo de energía dentro de un sector. El valor agregado bruto (VAB) es el indicador económico aplicado para reflejar el nivel de actividad económica en esta investigación. El VAB está en términos reales del año base 2007, estos datos han sido obtenidos y compilados a partir de las publicaciones de las Cuentas Nacionales en las Estadísticas Económicas del Banco Central del Ecuador (BCE, 2013). Los términos reales eliminan el efecto de los incrementos de precios y solo captan el efecto de los cambios en la producción.

El efecto estructura es una medida de cómo las participaciones efectivas y la composición de la actividad económica se reflejan en los cambios del consumo de energía. En general, este componente cuantifica los cambios en la mezcla de las actividades de los sectores industriales de la economía. Además, este efecto detecta los cambios en el consumo de energía cuando las industrias con diferentes intensidades aumentan o disminuyen a diferente razón, después de ajustar el crecimiento en toda la actividad económica.

El efecto de la intensidad mide los cambios de la productividad en el uso de la energía. En él se explica cómo la participación relativa del uso de la energía en los distintos sectores contribuye a los cambios en el consumo. Este componente es un indicador satisfactorio de la eficiencia energética. No obstante, todavía no se lo considera como un indicador perfecto de la eficiencia energética, en el estricto sentido termodinámico-físico (o de ingeniería), a menos que el análisis se desglose en un nivel más desagregado de la economía.

Por último, el efecto sustitución considera los cambios en el *mix* energético sectorial. Este componente mide las proporciones relativas de los efectos de la mezcla energía/combustible y su contribución a los cambios en el consumo de energía.

Este estudio abarca las industrias de consumo final de energía como la agricultura, los servicios, la construcción, la manufactura, el transporte, residencial y

la minería. El sector de conversión de energía está representado por productos del petróleo, generación de electricidad, gas natural y biocombustibles. El sector de conversión de la energía no está incluido como un sector de uso final de energía, para evitar la inconsistencia en el cálculo de datos y hacer una comparación exacta del consumo de energía final en la economía. Para el propósito de este estudio, el sector de manufactura no incluye la industria del refinamiento de petróleo como un sub-sector.

El procedimiento de esta investigación contempla un análisis a largo plazo de los cambios en el uso de energía final total en el período comprendido entre 1979-1980 hasta 2012-2013. La actividad, estructura, intensidad y efectos de sustitución se representan como cambios basados en el año base 1979-1980.

Las variaciones se calculan vinculadas a los cambios en el consumo de energía, debido a los efectos mencionados de año a año. Los datos disponibles para este estudio permiten desarrollar un análisis de encadenamiento, utilizando la información por cada par de años consecutivos ( $T-1$ ,  $T$ ). Un total de  $T$  resultados de la descomposición se encadena para obtener el efecto para todo el período analizado, considerando a 1979-1980 como el año de referencia.

#### **IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

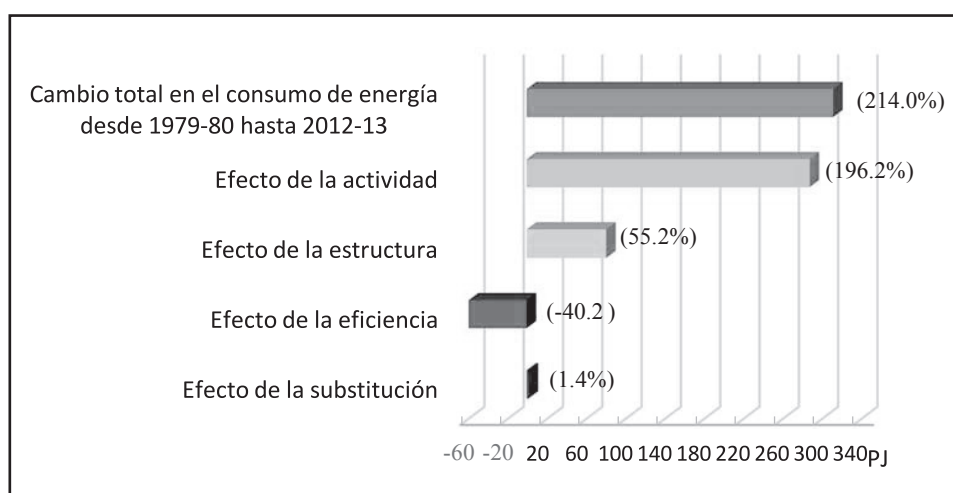
El consumo de energía final en Ecuador aumentó alrededor del 214 por ciento, pasando de 146 petajulios en el año 1979-1980 a 458 petajulios en 2012-2013. Aparte de los períodos en los años 1982-1983 y 1998-1999, la economía ecuatoriana ha desarrollado un crecimiento constante desde el año base de este estudio, llegando a casi tres veces su tamaño desde 1979-1980 hasta 2012-2013. Este resultado es equivalente a un crecimiento económico con una tasa promedio de 3.05 por ciento por año.

El consumo final de energía en los sectores de uso final considerados para este análisis se triplicó en comparación con el año base. Este resultado es equivalente a una tasa de crecimiento anual de 3.28 por ciento o 312 petajulios adicionales desde 1979-1980 hasta 2012-2013.

El crecimiento en la actividad económica es el factor principal del aumento en el consumo de energía. Si el nivel de actividad sectorial fuese considerado como el único factor para el análisis, el consumo de energía final en el Ecuador habría ascendido a 434 petajulios en 2012-2013. Sin embargo, el efecto estructura también contribuyó al incremento del consumo de energía final en la economía durante el

período de estudio. Este efecto llevó a 81 petajulios adicionales de consumo de energía. El efecto de la eficiencia contribuyó a la reducción de la intensidad energética agregada. Como resultado, 59 petajulios representaron el ahorro total de energía durante el período. Por último, el efecto del *mix energético* aumentó el consumo total de energía en aproximadamente dos petajulios durante el período. El Gráfico 1 muestra los resultados del análisis de descomposición.

**Gráfico 1: Descomposición del consumo final de energía en Ecuador, 1979-1980 a 2012-2013**



**Fuente:** Resultados de esta investigación.

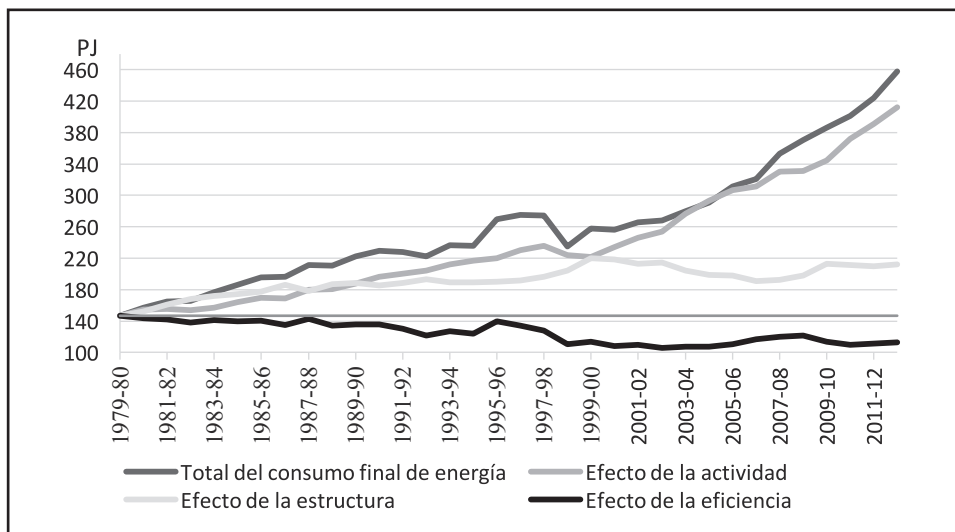
Ecuador, en general, se convirtió a una economía energéticamente menos intensiva en el período de estudio. El nivel de actividad causó la mayor parte del incremento en el uso de energía, como se muestra en el Gráfico 2.

La intensidad de la energía, medida por el efecto de la eficiencia, ocasionó la disminución en el consumo de energía en los últimos 33 años. El efecto de la intensidad causó grandes reducciones en dos períodos, uno desde 1999-2000 hasta 2004-2005 y el otro desde 2009-2010 hasta 2011-2012.

El efecto de la estructura aumentó el consumo de energía en 81 petajulios adicionales durante el período. Esta cifra es el resultado de una actividad sustancial en los sectores y un cambio a los sectores económicos más intensivos en energía, como son el transporte y la manufactura.



**Gráfico 2: Consumo de energía final en Ecuador representado por los cuatro efectos**



**Fuente:** Resultados de esta investigación.

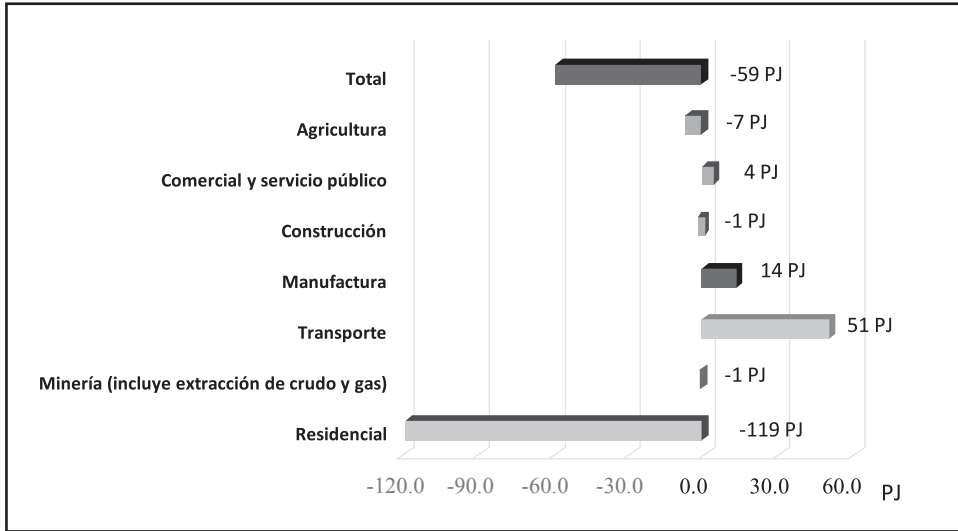
La reducción total en el consumo de energía se debe al efecto de intensidad. Este componente de eficiencia redujo 59 petajulios en el consumo total. El componente de mezcla de energía/combustible representó dos petajulios de consumo adicional durante el período de estudio desde 1979-1980 hasta 2012-2013. El *mix* energético de Ecuador depende en gran medida de los productos del petróleo, lo que representó el 79 por ciento del consumo total de energía en 2013. La energía hidroeléctrica pasó a ser parte de la segunda mayor fuente de energía primaria con el 17 por ciento, seguido de gas natural y las energías renovables no hidro-energéticas con el tres por ciento y uno por ciento, respectivamente (British Petrol, 2014).

Se estima que el efecto de la intensidad disminuyó el consumo energético en el período de estudio (Gráfico 3). La intensidad energética de la economía ecuatoriana, medida por el indicador agregado de intensidad, se redujo a una tasa promedio de 0.90 por ciento anual sobre el escenario de treinta y tres años.

El sector del transporte mostró el mayor incremento en la intensidad de la energía durante el período. Este sector aumentó el consumo de energía en 51 petajulios. Los sectores de manufactura y de servicios también añaden algún incremento en el consumo de energía con 14 petajulios y cuatro petajulios, respectivamente. Por el contrario, el sector residencial ha contribuido en gran medida a la disminución del

consumo de energía con 119 petajulios desde el año 1979-1980 hasta 2012-2013. Los sectores de la agricultura, la construcción y la minería también redujeron el consumo de energía en 7.1 y un petajulio, respectivamente.

**Gráfico 3: Cambios en el consumo de energía por el efecto de eficiencia en el período de estudio**



**Fuente:** Resultados de esta investigación.

No existe un trabajo publicado en este campo en particular para la economía ecuatoriana. Una investigación realizada por Jiménez y Mercado (2014) reportó una tendencia de disminución de la intensidad energética para un conjunto de países de América Latina durante el período de 1971 a 2010. El estudio, basado en un análisis empírico, explica que los cambios en la intensidad energética se relacionan, principalmente, con mejoras en la eficiencia. Por otra parte, la investigación postula que la intensidad energética en América Latina ha disminuido independientemente del nivel de ingresos de los países seleccionados.

Del mismo modo, el análisis del consumo de energía final de esta investigación confirma las tendencias de la intensidad energética en América Latina desarrollados por Jiménez y Mercado (2014). Sin embargo, este estudio se centra en el caso particular de Ecuador desde 1979-1980 a 2012-2013.

Los sectores de uso final de energía en la economía ecuatoriana se han clasificado para obtener los efectos precisos que provocan cambios en el consumo de energía. Los datos han sido categorizados en segmentos económicos para obtener una descomposición apropiada. Se integran los segmentos de uso final que consumen energía en Ecuador: a saber, la agricultura, los servicios, la construcción, la manufacturación, el transporte, la minería y sectores residenciales. Por otra parte, estos segmentos se descomponen en las fuentes de energía que representan la mayor parte de la demanda final de energía en los sectores de la economía; es decir, productos de petróleo, gas natural, electricidad y biocombustibles.

El sector de la conversión de energía no es parte de los sectores de uso final y no se considera como parte de la descomposición para evitar incoherencias en el cálculo de datos.

Cada segmento económico tiene variables que responden a los efectos de la actividad, la estructura, la intensidad y la sustitución. El componente de actividad considera el valor agregado bruto para la industria en términos reales a razón de millones de dólares a precios del 2007. Por otra parte, el sector residencial es una medida del gasto final de los hogares en materia de energía, en términos reales a los precios del 2007.

El valor agregado bruto (VAB) mide el nivel de actividad económica en los sectores de uso final de energía. Este indicador representa la diferencia entre el valor total de la producción menos el importe de los consumos intermedios a precios de adquisición. Por lo tanto, el VAB en un sector es el resultado de la diferencia entre sus ingresos y sus costos. La intensidad energética calculada en términos del VAB tiene la ventaja de integrar la valoración de la sociedad en los bienes y servicios que se producen en un determinado sector (Stanwix, Pham y Ball, 2015, p.10).

El efecto de la estructura mide la proporción de la producción total en cada segmento de la economía del país. El efecto de la intensidad es una medida de la relación entre el consumo de energía al valor agregado bruto. Por último, el efecto sustitución es una medida de la proporción del consumo total de energía en cada sector.

La Tabla 1 resume la información de las variables utilizadas para la descomposición.

**Tabla 1: Variables usadas para la descomposición del consumo energético en Ecuador**

Segmento Económico	Variables de la actividad	Variables de la estructura	Variables de la intensidad	Variables del mix energético
<b>Agricultura</b>	Valor agregado	participación en producción total	energía/valor agregado	Participación del total de consumo energético
<b>Servicios</b>	Valor agregado	participación en producción total	energía/valor agregado	Participación del total de consumo energético
<b>Construcción</b>	Valor agregado	participación en producción total	energía/valor agregado	Participación del total de consumo energético
<b>Manufactura<sup>1</sup></b>	Valor agregado	participación en producción total	energía/valor agregado	Participación del total de consumo energético
<b>Transporte</b>	Valor agregado	participación en producción total	energía/valor agregado	Participación del total de consumo energético
<b>Minería<sup>2</sup></b>	Valor agregado	participación en producción total	energía/valor agregado	Participación del total de consumo energético
<b>Residencial<sup>3</sup></b>	Gasto final de los hogares	participación en producción total	energía/gasto final de los hogares	Participación del total de consumo energético

**Notas:**

<sup>1</sup> Este sector no incluye la industria de refinería de petróleo.

<sup>2</sup> Este sector incluye extracción de petróleo y gas.

<sup>3</sup> El efecto de la actividad en el sector residencial es una medida del gasto final de los hogares en energía (gas y electricidad).

Elaboración: El Autor.

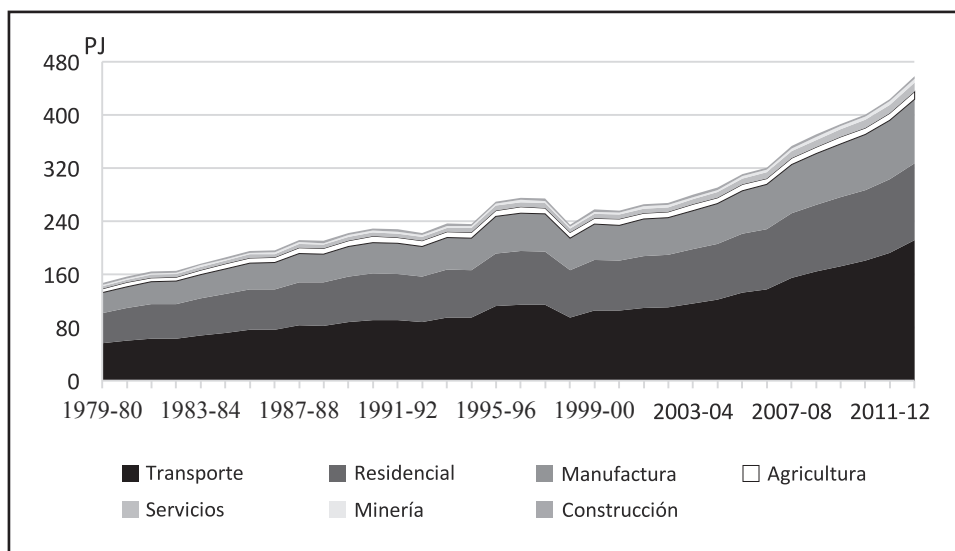
#### 4.1 Tendencias en el consumo energético y en la intensidad energética

El consumo de energía en los sectores de uso final de la economía ecuatoriana creció a una tasa promedio de 3.28 por ciento por año desde 1979-1980 hasta el 2012-2013. El Gráfico 4 ilustra este crecimiento. Los sectores del transporte, servicios y manufactura reportaron los tres indicadores más elevados de crecimiento del consumo de energía, con tasas anuales promedio de 3.78 por ciento; 3.48 por ciento y 3.30 por ciento, respectivamente durante el período de análisis. Los segmentos de minería, residencial, agricultura y la construcción siguieron los resultados anteriores

con tasas anuales promedio de 3.24 por ciento; 2.68 por ciento; 1.98 por ciento y 0.80 por ciento, respectivamente.

El consumo de energía para los sectores de transporte, residencial y de manufactura comprende la mayor parte de la participación en el consumo total de energía. Las industrias de la agricultura, servicios, minería y construcción representan la parte minoritaria del uso final de la energía. Aunque el consumo de energía en el sector de los servicios es parte del grupo de consumo de energía minoritario, su tasa de crecimiento presentó un aumento acelerado en el período de análisis. Por el contrario, el segmento residencial, que constituye la segunda mayor proporción del consumo total de energía, mostró un aumento moderado de la tasa de crecimiento de consumo durante el período de estudio.

**Gráfico 4: Consumo de energía por los sectores de uso final, período 1979-1980 hasta 2012-2013**

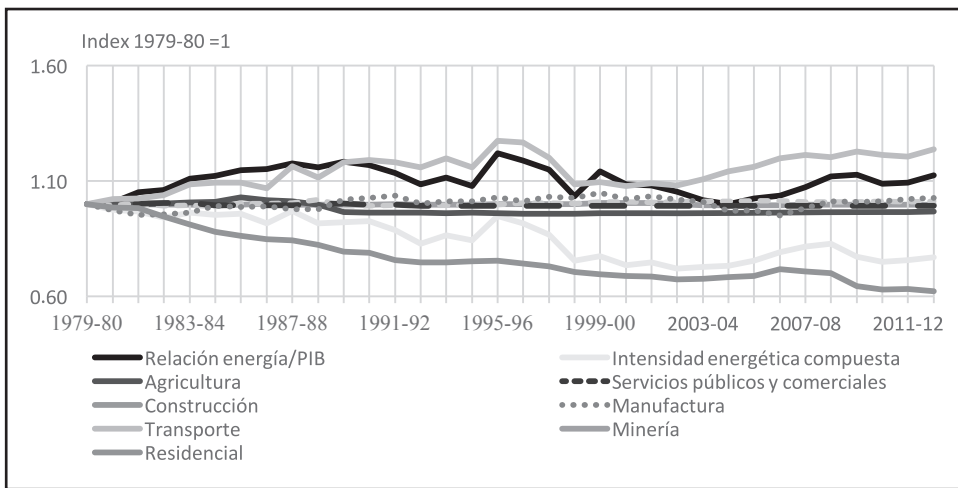


**Fuente:** Resultados de esta investigación.

El consumo de energía para los sectores de uso final más grandes de la economía ha aumentado considerablemente durante el período cubierto en este análisis. El segmento de transporte aumentó su requerimiento de energía en 276 por ciento en 2012-2013, en comparación con el año base 1979 a 1980, o un incremento de casi tres veces en el consumo de energía durante el período. Este resultado es equivalente a 155 petajulios adicionales o casi la mitad del consumo total de energía final en el período de análisis.

Todas las proporciones de consumo de energía en los otros sectores de uso final aumentaron durante el período. Por ejemplo, el segmento residencial requiere 1.5 veces más energía en 2012-2013 que en el año base, y el sector de servicios aumentó su consumo de energía en 239 por ciento durante el período. Los cambios en el consumo de energía para las industrias de minería y construcción son mínimos. El indicador compuesto de intensidad energética disminuyó durante el período, como ilustra el Gráfico 5. Esta disminución se produjo a una tasa promedio de 0.90 por ciento al año. El sector del transporte causó un efecto creciente en la intensidad. Por otra parte, los sectores residencial y agrícola ayudaron a reducir la intensidad energética global de la economía.

**Gráfico 5: Tendencia de la intensidad energética compuesta para sectores económicos**



**Fuente:** Resultados de esta investigación.

Una comparación entre el indicador compuesto de intensidad energética y la relación de energía/PIB muestra que el primero se redujo a una velocidad mayor que el segundo. Este resultado explica que la relación energía/salida no aprovecha adecuadamente las interacciones de los sectores de la economía. Por lo tanto, este índice disminuyó sin considerar adecuadamente los cambios en la intensidad de energía de los sectores. En contraposición, el indicador compuesto de intensidad energética da cuenta de los cambios en las intensidades de energía de cada segmento de la economía. Por lo tanto, las variaciones en la composición de la actividad dentro de los sectores son capturadas por los efectos estructurales.

Ciertamente el componente de intensidad energética del sector residencial ha contribuido, en gran medida, a la reducción de la intensidad energética compuesta. Este comportamiento refleja la eficiencia dentro de este sector. Este efecto es un posible resultado del *mix* energético cada vez mayor en este segmento económico. El sector del transporte, sin embargo, experimentó un creciente consumo de energía durante el período de análisis, a excepción del período entre 1998-1999 y 2002-2003, en el que la intensidad energética en el sector transporte era estacionaria. Este período se caracteriza por un complejo panorama de la economía del país.

El PIB disminuyó 7.3 por ciento en 1999 con respecto a 1998. Por otra parte, el mercado petrolero presentó inestabilidad en todo el mundo a finales de 1999, lo que afectó a las exportaciones de petróleo en Ecuador. Además, el gobierno de turno había anunciado la política de adoptar el dólar como la moneda oficial para resolver la crisis económica en el año 2001.

Jiménez y Mercado (2014) indican que el ingreso *per cápita*, los precios del petróleo, mezcla de combustibles/energía y el crecimiento del PIB son los principales factores de cambio en la intensidad energética y la eficiencia en los países de ingresos bajos y medios de América Latina. La presente investigación, basada en la economía ecuatoriana, confirma la disminución de la intensidad energética obtenida por estos investigadores para el período comprendido entre 1979-1980 a 2012-2013.

El efecto sustitución representa los cambios en el *mix* energético sectorial. Este componente mide cómo las proporciones relativas del efecto de la combinación energética contribuyeron a los cambios en el consumo de los sectores de uso final de energía.

La composición del *mix* energético de un país depende de factores tales como la accesibilidad a los recursos disponibles en su territorio y la posibilidad de importarlos. Este factor está fuertemente relacionado con la adopción de políticas resultado de las influencias económicas, sociales, ambientales, geopolíticas e históricas.

El efecto de sustitución representó 2 petajulios de consumo adicional de energía desde 1979-1980 a 2012-2013 en Ecuador. A pesar de que este valor podría ser irrelevante para el consumo de energía final total agregada, ofrece una perspectiva crítica para comprender la necesidad de diversificar el suministro de energía primaria en la economía del país. Como se mencionó anteriormente, el 79 por ciento del consumo total de energía en el Ecuador en 2013 tenía una dependencia parcializada de los productos del petróleo.

## V. CONCLUSIONES

Si la energía necesaria para obtener una unidad de producción (nivel de actividad económica) fue la misma en 2012-2013 que en 1979-1980, entonces se estima que el consumo de energía en los sectores de uso final de la economía ecuatoriana tendría un aumento de 288 petajulios durante el período. Sin embargo, este incremento fue parcialmente compensado por una disminución de la intensidad energética (eficiencia). Este efecto concedió 59 petajulios de ahorro de energía. Por otra parte, el efecto de la estructura o la mezcla de actividad dentro de los sectores de uso final, causó un incremento de 81 petajulios en el consumo de energía durante el período de estudio. Por último, un efecto de sustitución o el componente del *mix* energético contribuyeron a aumentar el consumo en dos petajulios adicionales durante el período.

El consumo de energía en los sectores de uso final de la economía ecuatoriana creció a una tasa promedio de 3.3 por ciento por año durante el período. Tres segmentos de la economía ecuatoriana abarcaron el 94 por ciento del total del consumo de energía; estos corresponden al sector del transporte, la industria manufacturera y el sector residencial.

El consumo de productos derivados del petróleo en 2012-2013 representó un incremento de, aproximadamente, cuatro veces su valor en comparación con el año base 1979-1980. Este aumento se produjo a una tasa anual promedio de 3,8 por ciento durante el período analizado. En 2012-2013, el sector de transporte representó 251 petajulios de uso de energía en productos derivados del petróleo. Este resultado representa más de la mitad del consumo total de energía en el último año del estudio.

El nivel de actividad económica en los sectores de uso final aumentó a una tasa promedio anual del 3.1 por ciento en el período analizado. Los cambios en la actividad económica de los sectores llevaron a aumentar el consumo total de energía. Si el efecto de la actividad en la economía se hubiera considerado como el único factor que afecta el consumo, el uso final de la energía se habría elevado a 443 petajulios en 2012-2013.

El estudio muestra que la intensidad energética en el sector industrial no ha cambiado significativamente durante el período analizado, mientras que el sector residencial disminuyó su intensidad de una forma considerable y el sector transporte aumentó. Algunos factores que pueden afectar los cambios en la intensidad energética en estos sectores incluyen los precios de la energía, el ingreso *per cápita*, la composición de la estructura económica del sector, la utilización de la capacidad



total de producción, la inversión de capital, la innovación tecnológica y las políticas energéticas.

El incremento en los precios de la energía alienta al sector industrial a buscar soluciones para reducir los costos de producción e invertir en nuevas tecnologías para disminuir la intensidad energética. Por lo tanto, el segmento mejora la competitividad y la productividad. En Ecuador, la intensidad energética en el sector industrial no ha producido cambios colosales durante el período entre 1999-2000 hasta 2012-2013. Sin embargo, los precios de la energía no han cambiado grandemente, a excepción de los primeros años de la década del 2000.

El hecho de que la intensidad energética no haya aumentado considerablemente, no implica que la eficiencia energética de este segmento económico haya mejorado de forma substancial. Algunos sectores industriales de la economía redujeron la producción o abandonaron el mercado durante este período. En otros casos, el incremento de los precios de la energía durante la década del 2000 llevó a que los fabricantes implementaran nuevas tecnologías en la producción. Una asignación económica eficiente requiere utilizar los factores de producción de manera óptima; por lo tanto, los fabricantes reemplazaron la energía con otros factores primarios como tierra, trabajo, capital o tecnología. Como resultado, esto causó la obtención de similares y superiores niveles de producción en los sectores, pero disminuyó la intensidad energética.

El incremento de los precios en la energía también influye en el sector residencial. Este factor puede representar cambios en los hábitos de los hogares para el consumo energético. Por otra parte, los hogares pueden migrar a una tecnología más eficiente que conseguiría reducir el gasto energético en el corto plazo. Sin embargo, atención especial debe considerarse en este factor, ya que las mejoras en la eficiencia energética pueden reducir el precio implícito de la energía y hacerlo más asequible; como consecuencia, este resultado conduce a un aumento en el uso de energía (Herring, 2006). Este problema representa un efecto de rebote indirecto que puede perturbar al resto de los sectores económicos.

El efecto rebote es un instrumento importante para el análisis de los programas de conservación energética y se ha convertido en una guía fundamental para la toma de decisiones políticas en materia de energía. Para el caso de Ecuador, este instrumento proporcionaría posibles escenarios para confirmar si las ganancias en eficiencia energética no conducirían a mayores tasas de consumo de energía a corto y mediano plazos. Sin embargo, también es importante señalar que las acciones de eficiencia energética pueden multiplicar las consecuencias produciendo una varie-

dad de cambios en la economía. Esta investigación sugiere un análisis más profundo de este tema para el caso ecuatoriano, en el que se puede proporcionar indicadores más precisos de eficiencia energética y productividad, basados en unidades de medición físicas para el factor de nivel de actividad e intensidad en el sector, tales como el consumo de combustible por kilómetro para los vehículos privados en el sector del transporte, el consumo de gas licuado de petróleo por cada vivienda en el sector residencial, entre otros. Consecuentemente, la obtención y acceso de información a niveles más desagregados podrían ayudar a incluir un nuevo factor en la investigación como la emisión de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero para posteriormente analizar cómo estos factores afectan a la intensidad energética agregada.

Un factor importante que afecta el cambio de la intensidad energética en el sector transporte es el ingreso *per cápita*. Existe una fuerte relación entre la propiedad de un vehículo de uso personal y el ingreso *per cápita*. Un análisis empírico desarrollado por Dargay, Gately & Sommer (2007) mostró que la propiedad del vehículo aumenta gradualmente en los niveles de ingresos más bajos, luego presenta una tasa de incremento más rápida a medida que aumenta el ingreso y, finalmente, se ralentiza a medida que se acerca la saturación. Esta relación no es lineal. Además, en un escenario con un cierto número de vehículos en el parque automotor, el precio del combustible y los ingresos pueden afectar el uso del vehículo en un año específico. Asimismo, las mejoras de eficiencia pueden reducir el consumo de combustible por vehículo y, de esa forma, persuadir al conductor a utilizar más seguido su automóvil. Si a esto se suma las alzas en combustible por las que ha pasado el Ecuador en el período de análisis, el resultado es un aumento inminente de la intensidad energética del sector transporte.

La composición de la estructura económica del sector es un factor importante que influye en los cambios de intensidad energética. Este factor incluye la combinación o el tipo de actividades industriales, comerciales y de servicios. Al mismo tiempo, estas actividades generan la demanda real de energía. Por ejemplo, los subsectores de la economía con actividades manufactureras pesadas tendrían una mayor intensidad energética que aquellos subsectores con actividades manufactureras contraídas. La información desagregada en series temporales es necesaria para determinar el efecto de la combinación de estas actividades. Esta información captura la participación de cada proceso industrial en los sectores de la economía. Este nivel de información no se considera para este estudio pero es importante mencionarlo para futuras investigaciones en este campo.

La utilización de la capacidad se refiere a la producción máxima que una actividad puede obtener. Por lo tanto, si la capacidad se utiliza por completo, puede contribuir a aumentar la intensidad energética. Las instalaciones industriales que operan al 50 por ciento de la capacidad podrían tener intensidades energéticas más bajas que las instalaciones que operan al 100 por ciento de la capacidad, debido a que se obtienen menos unidades de producto por cada unidad de energía utilizada para mantener esas instalaciones en funcionamiento.

La inversión de capital también causa cambios en la intensidad energética. Los sectores de la economía con un crecimiento más rápido en inversiones de capital renovadas podrían experimentar cambios en la intensidad energética porque las nuevas estructuras, tecnología y maquinaria para las instalaciones tienden a ser más eficientes en términos de energía que la infraestructura existente. Sin embargo, parte de la nueva infraestructura puede causar incrementos en el consumo de energía debido a los nuevos requerimientos para el funcionamiento de las instalaciones ajustadas.

Finalmente, las políticas energéticas son una parte importante en las acciones de los sectores económicos con respecto a las medidas de intensidad energética. La selección de tecnologías energéticamente eficientes y las políticas posteriores a estas, afectan los cambios en la intensidad. Ecuador ha implementado algunas políticas para el sector industrial que incluyen la adopción de la norma NTE INEN ISO 50001 y el apoyo técnico de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, por sus siglas en Inglés). La orientación y las políticas provienen de organismos gubernamentales como la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética.

La propuesta de la Agenda Energética del Ecuador muestra un escenario fiable para este sector en los próximos años. Ecuador ha mantenido una fuerte dependencia de los productos derivados del petróleo. Sin embargo, las inversiones en energía renovable y las nuevas tecnologías de producción de energía limpia mejorarán el potencial de la matriz energética ecuatoriana. Este plan, sin duda, va a cambiar la productividad de la energía para la economía de la nación. Se hace imprescindible el llevar a cabo medidas *a priori* para los posibles escenarios en el programa energético del país, con el objeto de lograr el mejor resultado a corto y mediano plazos. Esta investigación sugiere que las políticas y programas de eficiencia energética de hecho son necesarias; no obstante, el país también tiene que concentrar sus esfuerzos en el crecimiento económico de los sectores que se ven beneficiados por el mejoramiento del sector energético.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ang, B. W. (2004). "Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?". *Energy Policy*. 32: 1131-1139.
- Ang, B. W., & Liu, F. L. (2001). "A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation". *Energy*. 26: 537-548.
- Ang, B. W., Liu, F. L., & Chew, E. P. (2003). "Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis". *Energy Policy*. 31: 1561-1566.
- Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies". *Energy*. 25: 1149-1176.
- Banco Central del Ecuador. (2013). "*Cuentas Nacionales: Reporte Número 27- Valor Agregado Bruto en valores reales del año base 2007*". Banco Central de Ecuador. Quito.
- Blanchard, B. S., & Blyler, J. E. (2016). "The System Engineering Process". *System Engineering Management*. John Wiley & Sons, Inc.: 53-124
- British Petrol. (2014). "*Statistical Review of World Energy 2014*". London. British Petrol.
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2013). "*Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*". doi:<http://www.regulacioneolica.gov.ec/plan-maestro-de-electricacion-2013-2022/>
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2014). "*Anuario de los precios promedio de la electricidad*". Ecuador. Revisión 12 de Agosto de 2015. doi:[http://www.conelec.gov.ec/enlaces\\_externos.php?l=1&cd\\_menu=4233](http://www.conelec.gov.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4233)
- Dargay, J., Gately, D. & Sommer, M. (2007). "Vehicle Ownership and Income Growth-Worldwide: 1960-2030". *The Energy Journal*. 28(4): 143-70.
- Herring, H. (2006). "Energy efficiency—a critical view". *Energy*. 31(1): 10-20.
- International Energy Agency (IEA). (2015). "*Extended world energy balances*". Publicaciones de la Base de Datos de OECD. Revisión 8 de Agosto de 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.1787/data-00513-en/>

- Jenne, C. A., & Cattell, R. K. (1983). "Structural change and energy efficiency in industry". *Energy Economics*. 5: 114-123.
- Jimenez, R., & Mercado, J. (2014). "Energy intensity: A decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries". *Energy Economics*. 42: 161-171. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.12.015>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MCSE). (2014). "*Reporte del Balance Energético 2014*". MCSE. Quito. Revisión 5 de Mayo de 2015. doi:<http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/11/Resumen-Balance-Energético-Nacional-20141.pdf>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MCSE). (2015). "Agenda Nacional Energética". Metodología de Modelamiento y Planificación Energética. Ecuador.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). (2015). "*Programa de Eficiencia Energética*". Revisión 14 de Agosto de 2015. doi:<http://www.energia.gob.ec/direccion-de-eficiencia-energetica/>
- Nanduri, M., Nyboer, J., & Jaccard, M. (2002). "Aggregating physical intensity indicators: results of applying the composite indicator approach to the Canadian industrial sector". *Energy Policy*. 30(2): 151-163.
- Patterson, M. G. (1996). "What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues". *Energy Policy*. 24: 377-390.
- Sandu, S., & Petchey, R. (2009). *End use energy intensity in the Australian economy*. Canberra: ABARE.
- Stanwix, G., Pham, P., & Ball, A. (2015). *End-use energy intensity in Australia*. Canberra: Office of the Chief Economist. Department of Industry and Science.
- World Bank (WB). (2015). "*Ecuador Overview: Context*". The World Bank Group. Revisión 18 de Septiembre del 2015. doi:<http://www.worldbank.org/en/country/ecuador/overview#1>.