

UNIVERSIDAD DEL CEMA
Buenos Aires
Argentina

Serie
DOCUMENTOS DE TRABAJO

Área: Economía

**DESACOPLE Y DESCOMPOSICIÓN DEL
CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN ARGENTINA**

Mariana Conte Grand

Diciembre 2018
Nro. 678

ISBN 978-987-96318-8-1
Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723
Copyright – UNIVERSIDAD DEL CEMA

www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.html
UCEMA: Av. Córdoba 374, C1054AAP Buenos Aires, Argentina
ISSN 1668-4575 (impreso), ISSN 1668-4583 (en línea)
Editor: Jorge M. Streb; asistente editorial: Valeria Dowding <jae@cema.edu.ar>

Conte-Grand, Mariana

Desacople y descomposición del consumo final de energía en Argentina / Mariana Conte-Grand. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Asociación Civil Cema. Instituto Universitario, 2018.

21 p. ; 22 x 15 cm.

ISBN 978-987-96318-8-1

1. Actividad Económica. I. Título.
CDD 333.79

DESACOPLE Y DESCOMPOSICIÓN DEL CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN ARGENTINA

Mariana Conte Grand*

Universidad del CEMA

Un alto porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del planeta provienen de la producción y el uso de la energía. Argentina no escapa a esta situación ya que, al 2014, 53% de los GEI provienen de dicha fuente. Una de las principales formas de reducir los GEI es a través de eficiencia energética (EE). Según fuentes internacionales, estas tienen tanto potencial de reducción de emisiones como la introducción de energías renovables. Hay más de medio centenar de trabajos en el mundo que han medido la contribución de la EE para morigerar el uso de energía por medio de las llamadas *técnicas de descomposición*. No hay ningún estudio publicado para Argentina que lo haga. Este documento llena este vacío. Lo que permiten los métodos de descomposición es diferenciar qué parte de los cambios en la demanda energética se deben a variaciones en: la actividad productiva, la estructura productiva, y la intensidad en el consumo de energía. Los resultados encontrados muestran que entre 2004 y 2017 el consumo de energía para uso final subió en gran medida debido a la variación en el nivel de actividad y la disminución en la intensidad energética tuvo un efecto compensador. Ese mismo desacople débil entre energía y actividad se encontró en la industria y en el agro, aunque fue menor en este último caso. Cuando se consideran ambos sectores en su conjunto, se encuentra un muy reducido efecto estructura ya que la composición de la actividad económica ha cambiado poco. En general, los resultados aquí encontrados son similares a la literatura.

I. Introducción

Un alto porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero del planeta son atribuidas a la energía (IPCC, 2014). Vislumbrando esta situación, la Agencia Internacional de Energía publicó 25 recomendaciones para reducir su uso en edificios, transporte, industria, etc. (IEA, 2011). En Argentina, según el Segundo Informe Bienal de Actualización presentado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (BUR2, 2017), 53% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de 2014 son del sector energético, le siguen las emisiones propias de agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra (39%), de procesos industriales y usos de productos (4%), y de residuos (4%). Por su importancia, las disminuciones en el uso de energía son claves en la mitigación del cambio del clima. A su vez, el 53% de emisiones de GEI atribuibles a la energía se originan en: el sector transporte (15,5%); la generación eléctrica (11,6%); el uso de combustibles residencial, en la industria, y en otros sectores (7,7%, 5,7% y 4,8% respectivamente); la fabricación de combustibles (4,2%); y, el resto, son emisiones fugitivas (3%). Esta información se condice con que, al considerar la información del balance energético del Ministerio de Energía y Minería (MINEM, 2016), correspondiente al año 2014 (el último año para el cual hay datos publicados para el país sobre los GEI), los mayores demandantes de energía para uso final son el sector transporte (31%), el residencial (28%), el industrial (25%) y le siguen los comercios y el sector público (9%) y el sector agropecuario (7%).

Según la IEA, de las medidas del sector energía, las referidas a eficiencia energética tienen tanto potencial de reducción de los gases de efecto invernadero de aquí al 2040 como

* La parte de descomposición es una actualización de un trabajo previo de la autora para el Ministerio de la Producción, el cual fue presentado en *In-depth Energy End Use Data and Metrics Workshop* en Febrero de 2018 en la Universidad Torcuato Di Tella. La autora agradece los comentarios de Gustavo Ramírez y Magdalena Barafani a versiones previas de este documento, la ayuda de Agustín Shehadi como ayudante de investigación y de Orimar Socorro de la Biblioteca de UCEMA por la búsqueda de bibliografía. Los puntos de vista de la autora no necesariamente representan la posición de la Universidad del CEMA.

las políticas destinadas al uso de energías renovables (ver OECD/EIA, 2016). Además de beneficios ambientales, la mejora en el uso de energía tiene otras ventajas relacionadas con: su impulso a la economía en su conjunto; el alivio presupuestario que genera si el país es importador de energía y subsidia su uso (como ha sido el caso de Argentina); las mejoras en la salud y de las condiciones de vida (por las menores emisiones debidas a la menor generación); o, los aumentos en la seguridad energética (por la menor dependencia). Asimismo, mejoras en la eficiencia energética conllevan aumentos de productividad a través de reducción de costos de combustibles, aumentos de ingresos vía mejoras en la imagen empresarial y disminución de riesgos por variación de precios y de oferta energéticos (Woodruff et al 2012, OECD/EIA 2014, ACEEE 2015).

Cómo usar eficientemente la energía es también un tema de relevancia en los foros internacionales. Es clave en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que tiene relación directa con el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) e indirecta con los ODS 13 (Cambio Climático), 11 (Ciudades Sostenibles), 8 (Trabajo decente y Crecimiento), 12 (Producción y Consumo Responsable). Además, este tema está presente en la agenda del G20, ya que los países que lo forman son responsables de alrededor de 80% del uso global de energía y de las emisiones de dióxido de carbono (Bak et al, 2017).

La contribución de la eficiencia energética al cambio del uso de la energía suele estudiarse por medio de las llamadas *técnicas de descomposición*. Las mismas son útiles para desagregar los factores que hay detrás de los cambios en el consumo de energía. Estos métodos se comenzaron a usar para estudiar el consumo de electricidad en el Reino Unido y Estados Unidos a fines de los 70s. Este tipo de estudios se extendió luego (a principios de los 90s) al análisis de otros usos de la energía (en el sector de transporte, residencial o de servicios), y al estudio de las emisiones de carbono.¹

Lo que permiten los métodos de descomposición es diferenciar qué parte de los cambios en la demanda energética se deben a variaciones en: la actividad productiva, la estructura productiva, y la intensidad en el consumo de energía. Estos efectos identifican si las alzas (o bajas) de la demanda energética pueden atribuirse a movimientos en la actividad económica, a modificaciones en la composición de los sectores productivos (esto es, si en realidad la demanda energética fluctúa porque aumenta la participación de sectores más, o menos, energía-intensivos), o al uso de tecnologías más (o menos) eficientes. En consecuencia, la descomposición en el consumo de energía permite hacer hipótesis de lo que hubiese sido el mismo si alguno de los tres factores en los que se descompone hubiese sido diferente.

En paralelo con la literatura sobre descomposición, se ha desarrollado otra línea de investigación sobre medición de desacople entre el consumo de energía y el nivel de actividad económica. Hay distintas definiciones de desacople “en palabras”. Una de las primeras es la de la OECD que se refiere desacople como cortar la relación entre “malos ambientales” y “bienes económicos” (OECD, 2002). De la misma manera, en UNEP (2011) se dice que desacoplar es reducir la cantidad de recursos naturales que se usan para producir crecimiento económico. Junto con la definición en palabras, surgieron indicadores cuantitativos para medirlo. Hay tres indicadores que son los más aceptados (ver Conte Grand 2016 para una comparación entre los mismos). Se han sido utilizando en varios países tanto referidos a cuestiones puramente

¹ Según Ang (2015), desde el año 2000 son más las publicaciones que usan métodos de descomposición en relación a las emisiones de carbono que al consumo de energía.

energéticas o a emisiones. Por ejemplo, Lu et al (2007) para Taiwan, Alemania, Japón y Corea del Sur; Freitas y Kaneko (2011) para Brasil; Conrad and Cassar (2014) para Malta; Ren y Hu (2012) y Wang y Yang (2015) los usaron en una provincia y una región China respectivamente. Wang et al (2013) analizaron desacople en China, Rusia, Japón y Estados Unidos. Últimamente hay varios trabajos que han comenzado a relacionar la literatura de desacople con la de descomposición. Tal es el caso de Diakoulaki y Mandaraka (2007) en un trabajo sobre la Unión Europea, y más recientemente Yang et al (2018) para China y Roman-Collado et al (2018) en un estudio sobre Colombia.

Según Ang (2015), más de 500 artículos que emplean técnicas de descomposición fueron publicados en idioma inglés entre 1999 y 2014. A pesar de la cantidad creciente de publicaciones usando descomposición, no hay estudios de este tipo para Argentina.² Sí hay trabajos sobre medición de desacople entre emisiones de gases de efecto invernadero y PBI en el país (Conte Grand, 2016). Lo que intenta este documento es llenar esa brecha en el análisis de los factores que determinan el consumo de energía a nivel agregado y sectorial, con miras a que su comprensión permita diseñar mejores opciones de política. Para eso, une las literaturas de desacople y descomposición para el consumo de energía en Argentina a nivel agregado y en los sectores puramente productivos (el sector agropecuario y la industria). Lo que también provee este documento es una exposición simple sobre las cuestiones metodológicas, que permite al lector reproducir el análisis de manera directa para analizar otros casos.

Este documento está organizado como sigue: la sección II es un análisis descriptivo del consumo de energía a nivel agregado y sectorial en Argentina, y su comparación con otros países del mundo; la sección III describe la metodología utilizada; la sección IV discute los resultados obtenidos, y la sección V concluye.

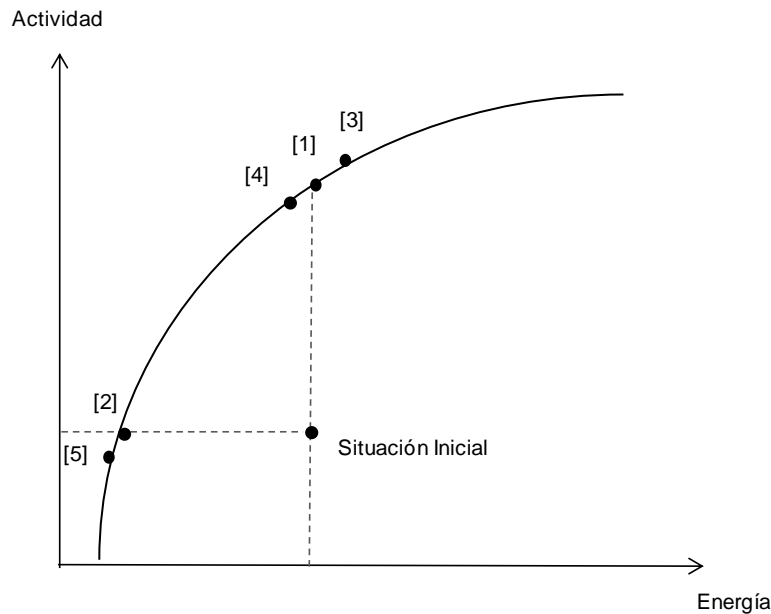
II. Datos: Hechos estilizados

Como se verá más adelante, la eficiencia energética es clave para comprender las fuerzas que determinan que el consumo de energía no crezca exactamente al mismo ritmo que la actividad económica. Exponer la evidencia sobre la evolución de la eficiencia energética (EE) requiere primero definirla. La Agencia Internacional de Energía afirma que una actividad es más eficiente energéticamente si permite generar más producción consumiendo la misma cantidad de energía, o la misma producción consumiendo menos energía (OECD/AIE, 2015). La EE suele aproximarse por medio del indicador de intensidad energética (esto es, consumo de energía/producción). Sin embargo, como la misma agencia lo aclara, ambos no son sinónimos.

La intensidad energética puede disminuir (lo que se interpreta como que la eficiencia energética aumenta) en las dos situaciones arriba descriptas: la producción sube y la energía que se usa es la misma ([1] en la Figura 1) o la producción permanece igual usando menos energía ([2]), pero también puede ser que la intensidad energética baje en otras tres situaciones: [3] sube la producción más que lo que sube el uso de energía; [4] sube la producción y la demanda final de energía baja; y, [5] baja la producción menos que lo que baja el consumo de energía.

² De la búsqueda bibliográfica sobre esta temática, solamente se pudo encontrar la presentación de un poster sobre descomposición de la intensidad energética en el sector agrícola en una conferencia internacional de biocombustibles (ver Ghersa, Ferraro, y Moscovich, 2016).

Figura 1. Distintas circunstancias en las que la Intensidad energética baja



En resumen, hay que tener cuidado al utilizar los cambios en la intensidad energética como indicador porque puede conducir a conclusiones erróneas: la intensidad energética puede bajar pero el consumo de energía subir (Patterson 1996 y Pérez-Lombard et al 2013).

II.1. Construcción de los datos

En los últimos años se han tomado múltiples tipos de medidas en el mundo apuntando a mejoras de la eficiencia energética. Su gran número y diversidad ha llevado a la construcción de bases de datos que recopilan la intensidad energética en distintos países. Dentro de estas resaltan las del World Energy Council (WEC) a nivel mundial y Odyssee para la Unión Europea.³

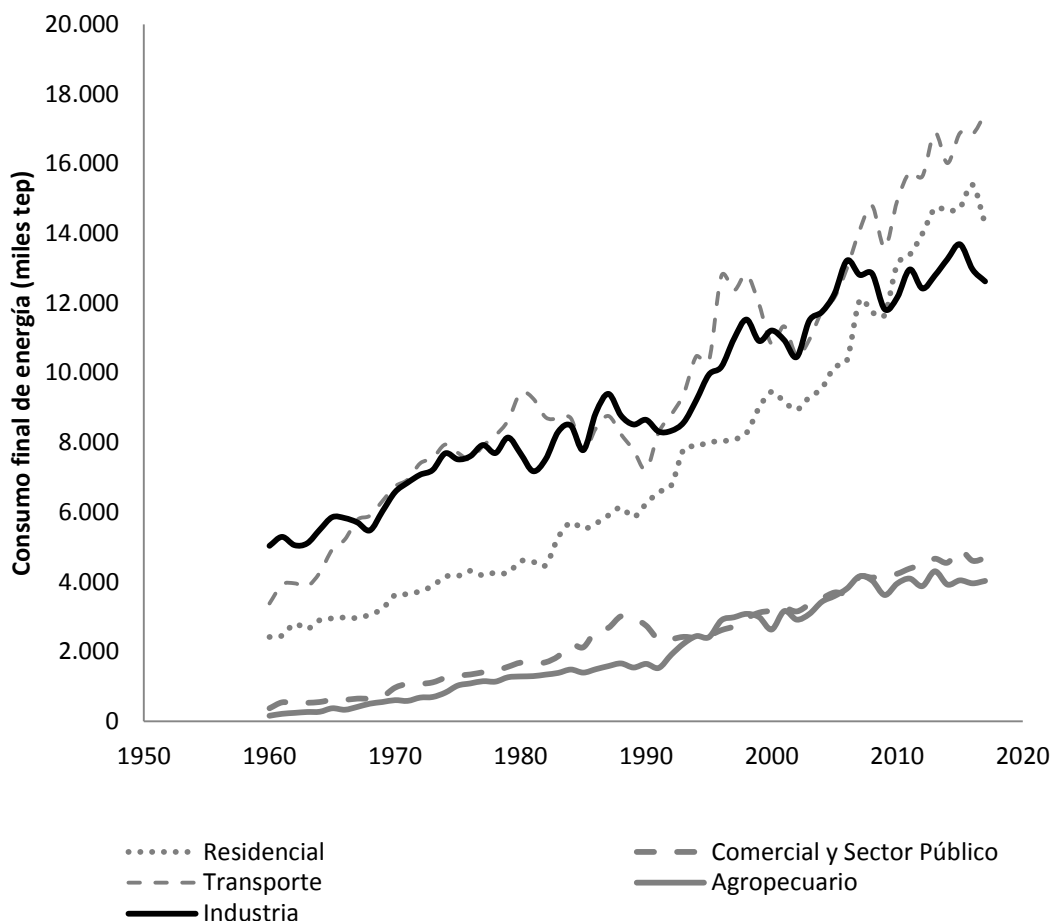
Argentina publica desde 1960 balances energéticos anuales. A través de los mismos se puede seguir la evolución de la demanda y la oferta de energía. Para estudiar la demanda para uso final de energía, que es el objetivo de este trabajo, se excluye la conversión de energía y los usos no energéticos. Se toman tanto las fuentes de energía primarias (que provienen directamente de la naturaleza: leña, carbón mineral o energía eólica), como las secundarias (que son el resultado de un proceso de transformación previo a ser utilizadas: como, por ejemplo, la energía eléctrica, el gas, el carbón de leña, etc.).

La Figura 2 muestra la evolución del consumo final de energía en Argentina por sectores. Para el último año del que hay datos (2017), el sector transporte es el de mayor participación (33%), luego está el sector residencial (27%) y el industrial (24%). Dicha Figura permite vislumbrar también que, desde el 2007, las políticas de subsidios al transporte y al

³ La CEPAL está trabajando en un seguimiento de indicadores de eficiencia energética para América Latina y el Caribe (<http://www.cepal.org/dnri/biee/>) parecido al Odyssee de la UE: el Programa BIEE –Base de Indicadores de Eficiencia Energética-. El mismo funciona con la contribución de la Agencia de Cooperación Alemana GIZ y el apoyo técnico de la Agencia Francesa para la Matriz Energética y el Medio Ambiente (ADEME, la misma que desarrolló la base europea), en el marco de la IPEEC (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation) de la que participan 17 de los 20 países del G20.

consumo doméstico de energía influyeron en un aumento de participación de estos sectores en el consumo total de energía (Navajas, 2015)⁴

Figura 2. Consumo final de energía por sectores: 1960-2017



Fuente: Elaboración propia en base a Balances Energéticos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina: <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>.

Para poder hacer el análisis de descomposición y de desacople, además del consumo de energía a nivel agregado y sectorial, se necesitan valores de producción.⁵ Como es usual en la literatura, aquí se toman como referencia los datos del PBI para la demanda total de la economía y Valor Agregado Bruto (VAB) para las demandas de cada sector. Dado que se trata de estudiar cambios en el tiempo, es requisito que los mismos estén expresados en moneda

⁴ Cuando se analiza por tipo de consumo energético, tomando el año 2017, como puede verse en la Tabla A.1. del Anexo A, 2% corresponde a fuentes de energía primaria (carbón mineral, leña, bagazo, energía eólica), 21% a electricidad, 40% a combustibles gaseosos (gas distribuido por redes, gas licuado), 36% a combustibles líquidos (motonafta, kerosene y aerokerosene, diesel oil y gas oil, fuel oil), y una fracción muy pequeña (menos de 1%) a combustibles sólidos (carbón de leña). Esa distribución obviamente cambia a nivel sectorial. Como lo muestra la Tabla A.1 en Anexo A para el consumo no residencial de energía en el año 2017, el transporte deriva su consumo de energía en un 88% de los combustibles líquidos y esa fracción llega al 93% en el sector agropecuario. Distinto es el caso de los comercios y el sector público (que se abastecen en un 59% con electricidad y 35% con gas) y de la industria. Esta última tiene una demanda energética que proviene 34% de la electricidad y 57% del gas, constituyendo los líquidos solamente 1% del consumo final de energía de ese sector.

⁵ La producción se mide a través del PBI, el valor agregado (VA) o alguna medida de cantidades en vez de valor (por ejemplo, toneladas de cierto producto específico: en este último caso, OECD/AIE 2015 considera que se trata de un indicador de nivel 3).

constante. Debido el cambio de base de las cuentas nacionales, el análisis de aquí en adelante se restringe al período 2004-2017, ya que no se cuenta con una serie empalmada desde 1960 que permita descomponer los factores detrás de la demanda final de energía a partir de dicho año. En este contexto se estudian los cambios entre 2004 y 2017, y las variaciones año a año.

Para relacionar los sectores de los Balances Energéticos tal como están descriptos en la metodología (MINEM, 2016), con la apertura sectorial del valor agregado bruto de la producción a precios básicos de 2004 para los sectores productivos, se hacen una serie de acomodamientos. La demanda final de energía del sector agropecuario se relaciona con el VAB de Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura, y, de Pesca. La energía del sector industrial corresponde al total del valor agregado de la Industria Manufacturera, Extractiva (más precisamente: Extracción de minerales metalíferos. Explotación de minas y canteras ncp -no clasificado en otra parte), y Construcción. Se excluyen del VAB a considerar los sectores relacionados con el consumo propio (consumo que se produce durante la extracción y distribución de los recursos energéticos de petróleo, carbón, electricidad o gas).⁶

II.2. Hechos estilizados

De la comparación entre el consumo final de energía y el PBI, surge que la intensidad energética en Argentina ha ido variando a lo largo del tiempo, tal como lo muestra la Figura 3. En particular, puede verse que la misma fue bajando desde 2004 hasta 2011 (salvo en el trascurso de la crisis financiera mundial 2008-2009), para luego subir y recién tender a la baja luego de que asuma la nueva administración en Argentina, y comience el desarmado de la política de subsidios energéticos del anterior gobierno.

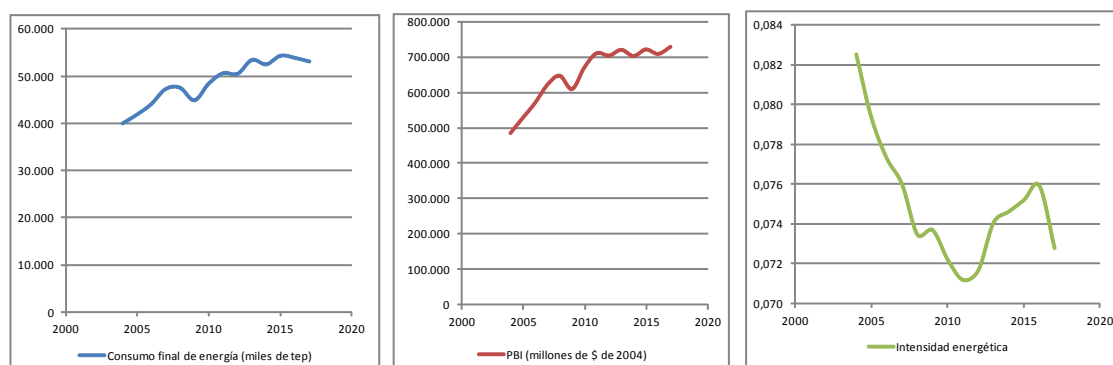
En comparación con otros países del mundo, la intensidad energética de Argentina es relativamente baja. Según los datos del WEC, la IE es menor en Latinoamérica (para 2014, alrededor de 0,08 kilogramos equivalentes a petróleo/PBI \$US 2005 en paridad de poder adquisitivo) en relación al resto de las regiones. Solamente es mayor en la región que en la Unión Europea, que es el conjunto de países que usa menos cantidad de energía para lo que produce. Si se ordenan los países del mundo por intensidad energética de menor a mayor, Argentina está en el puesto 22, Estados Unidos en el 65 y China en el 85. La intensidad energética por uso final es relativamente pequeña en Argentina también en relación a otros países de América Latina. Las únicas dos naciones de la región que han logrado en 2014 una menor intensidad energética son Colombia y Perú (que tienen los lugares 3 y 9 respectivamente en el ranking mundial de menos intensidad energética).

A nivel sectorial, en Argentina, el sector agropecuario es menos energía-intensivo que el industrial. En el mundo, para el año 2014, la intensidad energética de la industria es 0,12 en el mundo mientras que es 0,10 en América Latina y esos porcentajes son 0,04 y 0,06 respectivamente en el sector agropecuario (Tabla 1). Este indicador para Argentina, tal como muestra la Tabla 1, es bajo en industria en relación al promedio de la región (es menor al de Brasil, Paraguay y Uruguay, nuestros socios del Mercosur) y está por encima del promedio

⁶ Tampoco se tiene en cuenta el VAB de Comercio mayorista, minorista y reparaciones; Hoteles y restaurantes; Intermediación financiera; Administración Pública y Defensa, Planes de seguridad social de afiliación obligatoria; Enseñanza; Servicios sociales y de salud; Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales; Comunicaciones, y Captación, depuración y distribución del agua; así como el VAB de Hogares privados con servicio doméstico y Transporte. Todos estos corresponden al consumo de energía de sectores que no se consideran en este análisis, el cual se limita a los sectores productivos.

regional en el sector agropecuario (es mayor al de Colombia, Uruguay y Perú). Los datos locales corroboran lo reportado por el WEC para Argentina (ver última línea de la Tabla 1).

Figura 3. Consumo final de energía, el PBI y la intensidad energética: Argentina, 2004-2017



Fuente: Elaboración propia en base a datos de MINEM y del INDEC.

Tabla 1. Intensidad energética agregada y sectorial para distintos países

	Intensidad energética Año 2014		
	Toda la economía kep/GDP \$USPPP2005	Industria kep/VA \$PPP2005	Sect. Agropecuario kep/VA \$PPP2005
Regiones			
Africa	0,101	0,057	0,012
Asia	0,1	0,134	0,027
CIS (Comun Estados Indep: Kaz, Rus, Ucr)	0,156	0,199	0,051
Latinamérica	0,076	0,095	0,055
Medio Oriente	0,088	0,108	0,031
Mundo	0,097	0,115	0,036
Norteamérica (Canadá, EEUU)	0,096	0,097	0,146
Pacífico (Aust, NZ)	0,092	0,131	0,093
Unión Europea	0,068	0,08	0,085
Países de A.L.			
Argentina	0,067	0,072	0,070
Brazil	0,085	0,159	0,083
Chile	0,089	n.d.	n.d.
Colombia	0,046	0,041	0,063
Ecuador	0,081	n.d.	n.d.
Mexico	0,068	0,063	0,079
Paraguay	0,094	0,106	n.d.
Peru	0,053	0,043	0,016
Uruguay	0,069	0,135	0,049
Argentina*	0,075	0,088	0,077

Fuente: Elaboración propia en base a World Energy Council: <https://www.worldenergy.org/data/efficiency-indicators/>.

Nota: Energía final de toda la economía es la demanda de energía de los sectores, que excluye la conversión de energía y los usos no energéticos.

* Corresponde a la intensidad energética calculada con datos de MINEM (consumo final de energía en miles de tep) e INDEC (VAB en millones de \$ de 2004).

III. Metodología y datos

Los indicadores energéticos son una herramienta para analizar las interacciones entre la actividad económica y el consumo de energía. En particular, pueden servir para comprender la demanda de energía pasada y hacer algunas predicciones sobre la futura. El IDA (“Index Decomposition Analysis”) es una técnica que comenzó a ser utilizada en estudios de consumo de electricidad en el sector industrial a fines de los 70s, aunque el término fue recién acuñado en Ang and Zhang (2000).⁷ Este tipo de métodos es empleado por oficinas de energía a nivel nacional (Australia, Canadá, Estados Unidos o Nueva Zelanda) así como por agencias internacionales (la Agencia Internacional de Energía –IEA-, la Comunidad Europea, el Banco Mundial o el Programa Energía Sostenible para Todos –SE4ALL-). Un ejemplo de estas aplicaciones puede verse en OCDE/AIE (2015).⁸

Hay metodologías IDA basados en distintos tipos de Índices. Según Ang (2015), 2/3 de los trabajos publicados en los últimos años usan el llamado *Logarithmic Mean Divisia Index* (LDMI). El LDMI puede hacerse de forma aditiva o multiplicativa. En el primer caso (Ang, Zhang y Choi, 1998), se descompone una diferencia absoluta entre dos momentos del tiempo, mientras que en el segundo (Ang y Liu, 2001), la descomposición se hace como un cambio relativo respecto a un año base. A su vez, el LDMI puede aplicarse sobre el consumo de energía o sobre la intensidad energética. Además, se diferencia entre LDMI-I y LDMI-II, según los ponderadores que se usan en las fórmulas de cálculo. Esto da lugar a que, dependiendo del procedimiento de descomposición (aditivo o multiplicativo), según el indicador (de cantidad o de intensidad) y de acuerdo al método de descomposición (LDMI-I y II), existan 8 modelos para el LDMI ($2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$).

De acuerdo con Ang (2004), el LDMI-I es la mejor técnica para usar en análisis aplicados. El mismo autor (Ang, 2005) provee guías prácticas para implementarlo y afirma que el LDMI-I con la descomposición aditiva es el modelo ideal para el análisis de los factores detrás de las cantidades de consumo.⁹ Es por ese motivo que aquí se sigue ese camino para analizar el consumo de energía en Argentina.

III.1. Método de descomposición

El consumo de energía (E) puede escribirse como:

$$E = \sum_i Q \cdot \frac{Q_i}{Q} \cdot \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i Q \cdot S_i \cdot I_i \quad (1)$$

Dónde Q es el producto total, i son los sectores productivos que consumen energía, por lo que Q_i es la producción de cada subsector, E_i es la energía usada por cada sector, S_i es la estructura del sector (esto es, la participación de cada sector en la producción total) e I_i es la intensidad energética de cada sector.

⁷ Además de la técnica de índices (IDA), existe otra línea de trabajos basada en SDA (“Structural decomposition analysis”), que es datos intensivos ya que se hace con la matriz de insumo-producto. Para más detalle sobre las diferencias entre IDA y SDA, puede verse Hoekstra y van den Bergh (2003).

⁸ Ang, Mu y Zhou (2010) explicitan los métodos de descomposición utilizados por cada uno de estos organismos para descomponer el consumo de energía.

⁹ Las buenas propiedades del LDMI-I son analizadas en profundidad en Ang, Huang and Mu (2009).

El cambio en el uso de energía entre dos momentos de tiempo (t y $t-1$) se descompone en tres efectos:

1. **Efecto Actividad:** Se refiere a los cambios en la escala de la economía, en el valor de la producción.
2. **Efecto Estructura:** A través de este efecto se puede ver los cambios en la participación de cada uno de los sectores de la economía en el total. Esto es importante ya que el consumo de energía puede crecer, por ejemplo, porque un sector que es muy consumidor de energía aumenta su participación en el total de la producción. La situación típica es que la demanda final de energía baja a medida que la economía pasa de ser menos industrial a ser más basada en el sector de servicios.
3. **Efecto Intensidad:** Se pueden observar cambios en la intensidad energética de los sectores, que explican la variación en la demanda final de energía.

Puesto en fórmulas, los tres efectos son:

$$\Delta E = \Delta E_{act} + \Delta E_{estr} + \Delta E_{int} \quad (2)$$

Usar el método LDMI-I descomposición aditiva sobre el consumo absoluto de energía implica el siguiente cálculo:

$$E_{t+1} - E_t = \sum_i \frac{E_{i,t+1} - E_{i,t}}{\ln E_{i,t+1} - \ln E_{i,t}} \cdot \ln \left(\frac{Q_{t+1}}{Q_t} \right) + \sum_i \frac{E_{i,t+1} - E_{i,t}}{\ln E_{i,t+1} - \ln E_{i,t}} \cdot \ln \left(\frac{S_{i,t+1}}{S_{i,t}} \right) + \sum_i \frac{E_{i,t+1} - E_{i,t}}{\ln E_{i,t+1} - \ln E_{i,t}} \cdot \ln \left(\frac{I_{i,t+1}}{I_{i,t}} \right) \quad (3)$$

Esencialmente, lo que es la Ecuación (3) es una suma ponderada de cambios relativos entre períodos para tres variables (producción total, participación de cada sector en la producción, e intensidad en el consumo de energía de cada uno de dichos sectores). Puede mostrarse, aplicando las propiedades de los logaritmos, que la Ecuación (3) es una manera de escribir el cambio en la demanda final de energía entre dos momentos (t y $t-1$) en base a la Ecuación (1). En el Anexo B se hacen dichos cálculos y se provee un ejemplo que explica los motivos del nombre de la descomposición por LDMI.¹⁰

Nótese que si se quiere estudiar la demanda final agregada de energía o la de cada sector por separado, el efecto estructura es redundante. Por ende, las ecuaciones (1) a (3) solamente contendrían dos términos.

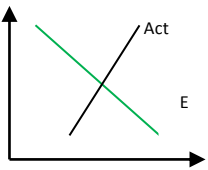
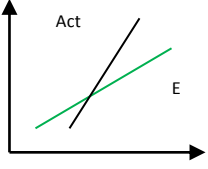
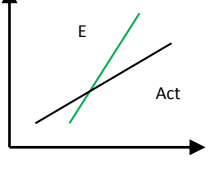
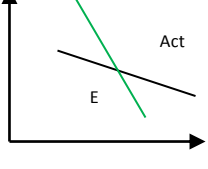
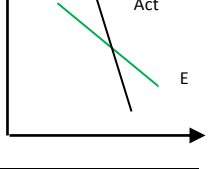
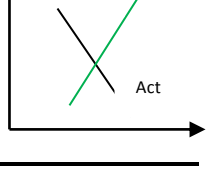
III.2. Desacople y descomposición

Como se menciona más arriba, junto con la definición en palabras de lo que se entiende por desacople, comenzaron a surgir indicadores cuantitativos para medirlo. El que se usa en este

¹⁰ El Índice Divisia viene de Divisia (1925). Este fue introducido en IDA por Boyd et al. (1987). La ponderación por media logarítmica comenzó con el trabajo de Ang and Choi (1997), a quiénes se les atribuye el término LDMI.

documento es el introducido por Tapio (2005), y mide el cociente entre el cambio en emisiones y el del producto (esto es, $D_\varepsilon = \frac{e}{g}$ la tasa de cambio de las emisiones/la tasa de cambio del PBI = e/g). Este autor utilizó el indicador D_ε para estudiar desacople entre PBI y volúmenes de tráfico de medios de transporte de pasajeros y de carga pero también de emisiones. Su principal resultado es que el desacople no es solo uno, sino que los hay de varias formas. Más precisamente, dice que hay varias “posibilidades lógicas” dependiendo del valor adoptado por D_ε (y por consecuente de e y g).

Tabla 2. Las situaciones de desacople

e	g	t	$D_\varepsilon = \frac{e}{g}$	Gráfico evolución Energía y Actividad en el tiempo
< 0	> 0	< 0	$D_\varepsilon < 0$ Desacople Fuerte	
> 0	> 0	< 0	$0 < D_\varepsilon < 1$ Desacople Débil	
> 0	> 0	> 0	$D_\varepsilon > 1$ Desacople Expansivo Negativo	
< 0	< 0	< 0	$D_\varepsilon > 1$ Desacople Recesivo	
< 0	< 0	> 0	$0 < D_\varepsilon < 1$ Desacople Negativo Débil	
> 0	< 0	> 0	$D_\varepsilon < 0$ Desacople Negativo Fuerte	

Fuente: Elaboración propia en base a Conte Grand (2016).

Nótese que el orden de la Tabla 2 no es casual sino que expone los casos de desacople, primero para cuando el nivel de actividad crece y luego para cuando decrece, desde el más al

menos deseable. Cuando hay crecimiento económico, lo mejor desde el punto de vista de la naturaleza es el desacople fuerte, le sigue el débil y la peor situación es el desacople expansivo negativo ya que allí las emisiones crecen aún más que el producto. Cuando hay una tendencia del producto a la baja, la situación ideal es la del desacople recesivo ya que las emisiones bajan más que el producto, le sigue el caso débil negativo y el peor marco es cuando el desacople es negativo fuerte.

Ahora bien, hay cierta relación entre descomposición y desacople. En efecto, partiendo de los efectos actividad e intensidad (dejando de lado el efecto estructura como para simplificar el análisis, y reduciendo la notación al agregado, obviando los distintos sectores i), puede verse que:

$$\Delta E_{act} = \frac{E_{t+1}-E_t}{\ln E_{t+1}-\ln E_t} \cdot \ln\left(\frac{Q_{t+1}}{Q_t}\right) \text{ y } \Delta E_{int} = \frac{E_{t+1}-E_t}{\ln E_{t+1}-\ln E_t} \cdot \ln\left(\frac{\frac{E}{Q}_{t+1}}{\frac{E}{Q}_t}\right) \quad (4)$$

Entonces,

$$\begin{aligned} \Delta E_{act} \cdot (\ln E_{t+1} - \ln E_t) &= (E_{t+1} - E_t) \cdot (\ln Q_{t+1} - \ln Q_t) \text{ y} \\ \Delta E_{int} \cdot (\ln E_{t+1} - \ln E_t) &= (E_{t+1} - E_t) \cdot (\ln E_{t+1} - \ln Q_{t+1} - \ln E_t + \ln Q_t) \end{aligned} \quad (5)$$

Por lo tanto, simplificando, puede escribirse:

$$\frac{\Delta E_{int}}{\Delta E_{act}} = \frac{\ln E_{t+1} - \ln E_t - (\ln Q_{t+1} - \ln Q_t)}{\ln Q_{t+1} - \ln Q_t} = \frac{\ln E_{t+1} - \ln E_t}{\ln Q_{t+1} - \ln Q_t} - 1 \quad (6)$$

Se concluye que:

$$D_\epsilon = \frac{\Delta E_{int}}{\Delta E_{act}} + 1 \quad (7)$$

Eso significa que:

- Si el efecto actividad y el efecto intensidad son ambos negativos ($\Delta E_{act}, \Delta E_{int} < 0$), entonces $D_\epsilon > 0, > 1$, el desacople es recesivo.
- Si los efectos actividad e intensidad son ambos positivos ($\Delta E_{act}, \Delta E_{int} > 0$) entonces $D_\epsilon > 0, > 1$, y el desacople es expansivo negativo.
- Si el efecto actividad es positivo y el efecto intensidad negativo ($\Delta E_{act} > 0; \Delta E_{int} < 0$), entonces $D_\epsilon < 1$. Ahora bien, podría darse el caso de $D_\epsilon > 0$ (y entonces $\Delta E_{int} > -\Delta E_{act}$) y el desacople es débil o que $D_\epsilon < 0$ (y entonces $\Delta E_{int} < -\Delta E_{act}$) y el desacople es fuerte.
- Si el efecto actividad es negativo y el efecto intensidad positivo ($\Delta E_{act} < 0; \Delta E_{int} > 0$), entonces $D_\epsilon < 1$. Aquí también podrían darse dos casos: el caso de $D_\epsilon > 0$ (y entonces $\Delta E_{int} < -\Delta E_{act}$) y el desacople es débil negativo o que $D_\epsilon < 0$ (y entonces $\Delta E_{int} > -\Delta E_{act}$) y el desacople es fuerte negativo.

Resultados

IV.1. Cambios en el consumo agregado de energía

La descomposición del consumo de energía muestra que el cambio entre 2004 y 2017 (12.996 miles de tep = 53.032 – 40.036) se debe en gran medida a la variación en el nivel de actividad en ese período (el PBI pasó de 485.115 a 728.557 millones de pesos a precios de 2004). Esto significa, como puede verse en la Tabla 3, que el efecto actividad de las Ecuaciones (2) y (3) es de 18.801 miles de tep. Si hubiese sido por las necesidades de energía debido al aumento de la actividad productiva, el consumo de energía habría aumentado aún más (18.801 en vez de 12.996 miles de tep). El cambio en la intensidad energética tuvo un efecto favorecedor para que el consumo no fuese tan grande. La misma bajó de 0,083 a 0,073 miles tep/millones \$ de 2004 (ver Tabla 2). La demanda de energía hubiese sido 5.805 miles de tep mayor si no fuera porque el efecto intensidad compensó el efecto actividad.

Ahora bien, si se analiza estos mismos efectos año a año puede verse en la Tabla 3 que, entre 2016 y 2017 el consumo final de energía bajó en 749 mil tep, y la actividad económica subió (las tasas de cambio fueron -1% para la energía y +3% para el PBI, y la intensidad energética bajó 4%). Esto significa que hubo un desacople fuerte entre energía y producto. Si fuera solo por el cambio de la economía, la demanda para uso final de energía hubiese subido 1.503 miles de tep, pero como bajó la intensidad energética, más que compensó ese aumento, y así pudo bajar el consumo de energía.

IV.2. Cambios en el consumo sectorial de energía

Si se hace la descomposición de los cambios para cada uno de los dos sectores productivos considerados en este trabajo (agropecuario e industria), puede verse que el patrón difiere entre ellos, aunque sigue predominando el efecto actividad en el consumo de energía y el efecto intensidad actúa como compensador cuando se toma todo el período. Esta tendencia también rige en las variaciones interanuales, las cuales se reportan en el Anexo C.

Como muestra la Figura 4, el sector que más compensa su suba en la demanda energética vía el efecto intensidad es la industria. En efecto, en este, tomando como base el 100% del cambio de energía, el efecto actividad es + 424% y el efecto intensidad -324% en la industria (la relación es 0,76) mientras que, en el sector agropecuario, el primero es +187% y el segundo -87% (la relación es más de 0,46).¹¹

Más aún, mirando la última variación interanual de la demanda de energía para uso final (Anexo C), el sector industrial, así como la economía en su conjunto, han logrado el mejor grado de desacople (el fuerte), mientras que el sector agropecuario solamente ha desacoplado débilmente su consumo energético en relación al nivel de actividad. Esto es así ya que entre 2016 y 2017, a economía en su conjunto ha bajado su consumo energético y también lo ha hecho el sector industrial, mientras que el sector agropecuario lo ha subido, y esa suba ha devenido de un aumento de la actividad que no ha logrado ser compensado por cambios en la intensidad en el uso de energía.

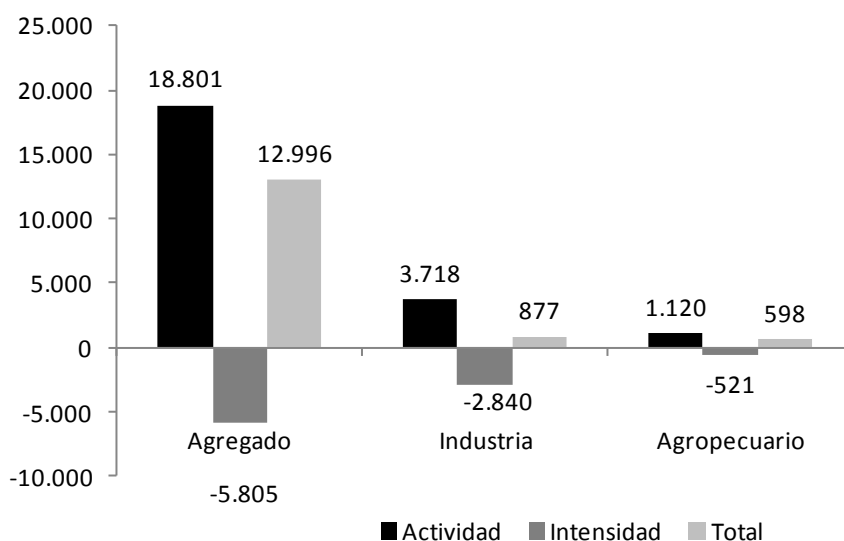
¹¹ El Anexo C reporta los cambios anuales y para el período 2004/2017 por sectores.

Tabla 3. Cambios en actividad e intensidad anuales y para el período 2004/2017

Años	Uso final energía	Cambio Energía	PBI	Intensidad	Efectos, miles tep			Detalle cuentas			Diferencia Energía	Casos de desacople	
	<i>miles tep</i>	<i>miles tep</i>	<i>millones de pesos de 2004</i>	Energía/PBI	Actividad	Intensidad	Total	Media logarítmica	Diferencia PBI	Diferencia Intensidad			como Ln
2004	40.036		485.115	0,083									
2005	41.888	1.852	528.056	0,079	3.474	-1.622	1.852	40.955	8%	-4%	5%	Débil	
2006	44.102	2.214	570.549	0,077	3.327	-1.113	2.214	42.986	8%	-3%	5%	Débil	
2007	47.267	3.165	621.943	0,076	3.939	-773	3.165	45.666	9%	-2%	7%	Débil	
2008	47.548	281	647.176	0,073	1.885	-1.605	281	47.407	4%	-3%	1%	Débil	
2009	44.876	-2.672	608.873	0,074	-2.819	147	-2.672	46.199	-6,1%	0,3%	-5,8%	Negativo débil	
2010	48.408	3.533	670.524	0,072	4.496	-964	3.533	46.620	10%	-2%	8%	Débil	
2011	50.592	2.184	710.782	0,071	2.886	-702	2.184	49.492	6%	-1%	4%	Débil	
2012	50.416	-176	703.486	0,072	-521	345	-176	50.504	-1%	1%	-0,3%	Negativo débil	
2013	53.365	2.949	720.407	0,074	1.233	1.716	2.949	51.876	2%	3%	6%	Expansivo negativo	
2014	52.410	-955	702.306	0,075	-1.346	391	-955	52.886	-3%	1%	-2%	Negativo débil	
2015	54.265	1.856	721.487	0,075	1.437	419	1.856	53.332	3%	1%	3%	Expansivo negativo	
2016	53.781	-484	708.338	0,076	-994	510	-484	54.023	-2%	1%	-1%	Negativo débil	
2017	53.032	-749	728.557	0,073	1.503	-2.252	-749	53.406	3%	-4%	-1%	Fuerte	
Período		12.996			18.801	-5.805	12.996	46.230	41%	-13%	28%	Débil	

Fuente: Elaboración propia en base a balances energéticos de MINEM y cuentas nacionales de INDEC.

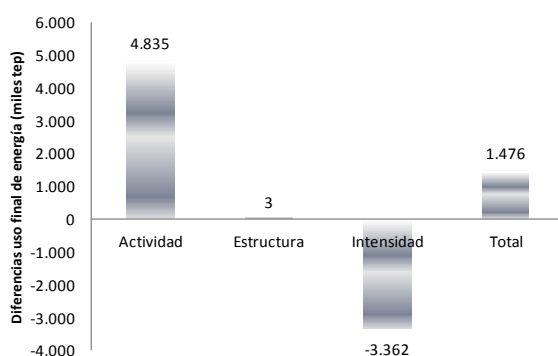
Figura 4. Descomposición del cambio de la demanda final de energía para cada uno de los sectores productivos entre 2004 y 2017



Fuente: Elaboración propia en base a balances energéticos de MINEM y cuentas nacionales de INDEC.

Finalmente, también puede considerarse la posibilidad de tomar ambos sectores en su conjunto para poder analizar el efecto estructura: cuánto el cambio en la participación de la industria y el sector agropecuario ha influido en la demanda final de energía. El resultado de dichos cálculos se presenta en la Figura 5. Allí puede verse que el efecto estructura es mínimo (3 mil tep) y que no es compensador sino que, al revés, ha contribuido al aumento del consumo energético. Ello puede explicarse por el hecho de que el sector industrial (en general, el más energía-intensivo) ha subido solo ligeramente su participación (de 73,0% del VAB de ambos sectores al 73,1%), por lo cual no puede haber influido sustantivamente en los cambios en la demanda de energía. Nótese que el cambio en el conjunto de los sectores (1.476) coincide efectivamente con la suma de la diferencia en la energía usada por cada sector por separado (877 + 598), la única modificación es que se captó el efecto estructura al considerar el sector productivo como un todo.

Figura 5. Descomposición Uso de Energía para el Total de los Sectores productivos 2004-2017



Fuente: Elaboración propia en base a balances energéticos de MINEM y cuentas nacionales de INDEC.

IV. Conclusiones

Este estudio muestra, usando la técnica de descomposición más difundida en los trabajos de la especialidad, que prima el efecto actividad como determinante de los cambios en la demanda final de energía para el período de 2004-2017 en Argentina. Existe a nivel país una compensación de dicho impacto vía mejoras en la intensidad energética. En lo sectorial, se observa que este efecto intensidad compensatorio es mayor en la industria que en el sector agropecuario. Esto estaría indicando que la industria en su conjunto está logrando mejoras en la intensidad energética mayores que el agro. El cambio de la estructura de los sectores productivos ha tenido muy escasa influencia en las variaciones del consumo energético del conjunto de los sectores productivos en el período estudiado.

Queda también claro de los resultados de este trabajo que, salvo que se quiera ir por el camino del decrecimiento de las actividades productivas, la baja de la intensidad energética es la principal vía a seguir para bajar la demanda creciente de energía.

Los resultados para Argentina para el período 2004/2017 están en línea con los encontrados por otros estudios. El predominio del efecto actividad en la misma dirección que el aumento del consumo de energía y su compensación parcial o total vía el efecto intensidad coincide con lo encontrado en otros países. Por ejemplo, Al-Ghandoor et al (2010) para la demanda de electricidad en el sector industrial de Jordania entre 1998 y 2005, encuentran que predomina el efecto actividad y los otros dos son compensatorios ya que actúan bajando el uso de energía. Ediger y Huvaz (2006) hacen un análisis de LDMI para Turquía tomando el consumo de energía de la agricultura, la industria y los servicios entre 1980 y 2000 y encuentran en general resultados similares. A su vez, Inglesi-Lotz y Blignaut (2011) para el consumo de electricidad de distintos sectores en Sudáfrica entre 1993 y 2006, encuentran como para el período bajo estudio en Argentina, que el uso de electricidad sube por la producción y el efecto estructura (en menor medida), pero se compensa parcialmente con una baja de la intensidad energética. Resultados parecidos a los de Sudáfrica son encontrados por Li et al (2016) para la demanda industrial de energía en una región de China entre 2003 y 2012 y por Kim (2017) para el sector manufacturero en Corea del Sur entre 1991 y 2011. Fernández González et al (2014) para las 27 economías de la Unión Europea encuentran que el efecto actividad es positivo en todos los países, el efecto intensidad es compensatorio en todos ellos, pero el efecto estructura es muy variable entre las naciones debido a las trayectorias diferentes de desarrollo que tuvo cada economía entre 2001 y 2008 (los años de análisis). Esa variabilidad en los signos del efecto estructura (aunque siempre dentro de valores pequeños) también se observa en el período como un todo y en las variaciones interanuales en Argentina.

A su vez, como ejemplos de compensación entre efecto actividad y el resto cuando el consumo de energía disminuye (lo que ocurrió en Argentina entre algunos años), la Agencia Internacional de Energía, concluye que, para sus miembros, entre 2000 y 2015 la demanda de energía bajó y esto ocurrió simultáneamente con un aumento de 15% en la actividad, una disminución de 15% por el efecto intensidad y un decrecimiento de 3% debido a los cambios de la estructura productiva. Este patrón es particularmente así en el conjunto de países en desarrollo formado por Brasil, India, Indonesia, México, Tailandia y China (OECD/IEA, 2016). También, y específicamente para la región, está el estudio de Duran et al (2015) para Chile. Dicho estudio se basa en datos de la Encuesta Nacional Industrial anual de Chile, y concluye que el consumo de energía es casi estable (disminuye levemente) entre 2005 y 2009 porque

los efectos estructura e intensidad más que compensan la baja de la demanda energética producido por la menor actividad productiva. Esto quiere decir que la leve baja en el consumo industrial de energía se debió a una baja en el producto y no a una mejora en la eficiencia, sino al revés. Este resultado es similar al encontrado para Argentina entre 2015 y 2016. En efecto, la actividad económica bajó (el efecto actividad es negativo) y el uso de energía en relación al valor agregado subió (el efecto intensidad es positivo), con lo cual el consumo de energía bajó pero no tanto como podría explicarse por la menor actividad económica (en el caso de Chile se mantuvo estable o disminuyó levemente, por lo que el efecto intensidad allí más que compensó el efecto actividad).

Es importante aislar el efecto de la intensidad energética para medir el efecto que tienen las políticas de eficiencia energética y determinar a qué subsectores debe darse prioridad. Pero, eso es posible solamente si se puede contar con los datos necesarios para hacerlo, y los mismos no están disponibles por el momento para Argentina.

Referencias

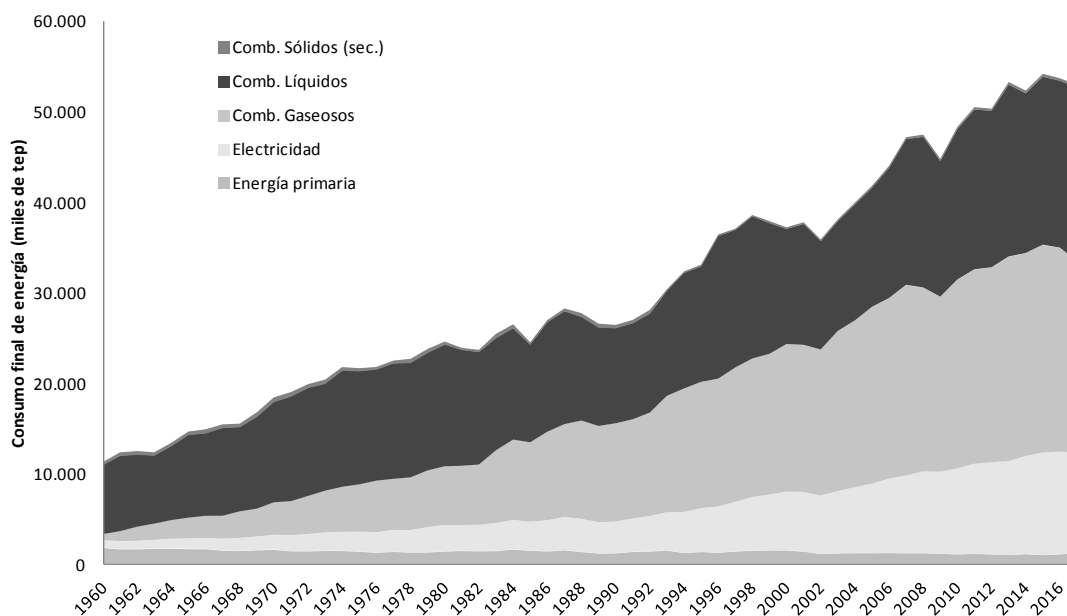
- ACEEE. 2015. Multiple Benefits of Business-Sector Energy Efficiency: A Survey of Existing and Potential Measures. Energy's Multiple Benefits. American Council for Energy Efficient Economy.
- Al-Ghandoor, A. ,I. Al-Hinti, A. Mukattash, Y. Al-Abdallat. 2010. Decomposition analysis of electricity use in Jordanian industrial sector. *Internal Journal of Sustainable Energy*, 29 (2010), pp. 233–244.
- Ang, B. W. 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 32, 1131–1139.
- Ang, B. W. 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 33, 867–871.
- Ang, B. W., & Choi, K. H. 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *Energy*, 18(3), 59–73.
- Ang, B.W. 2015. LMDI decomposition approach: A guide for implementation. *Energy Policy* 86, 233-238.
- Ang, B.W., Huang, H.C., Mu, A.R. 2009. Properties and linkages of some index decomposition analysis methods. *Energy Policy* 37, 4624-4632.
- Ang, B.W., Liu, F.L. 2001. A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy* 26, 537-547.
- Ang, B.W., Mu, A.R., Zhou, P. 2010. Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. *Energy Economics* 32, 1200-1219.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q. 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy* 25, 1149-1176.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H. 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy* 23, 489-495.
- Bak C., A. Bhattacharya, O. Edenhofer, y B. Knopf. 2017. Towards a comprehensive approach to climate policy, sustainable infrastructure and finance. Task Force Climate Policy and Finance G20. March 16.
- Boyd, G.A., McDonald, J.F., Ross, M., Hanson, D.A. 1987. Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvement: a Divisia index approach. *Energy Journal* 8(2), 77-96.
- BUR (2017). Segundo Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. <https://unfccc.int/documents/180598>.

- Conrad, E., Cassar, L.F., 2014. Decoupling Economic Growth and Environmental Degradation: Reviewing Progress to Date in the Small Island State of Malta. *Sustainability*, 6, 6729-6750.
- Conte Grand M. 2016. "Carbon emission targets and decoupling indicators", *Ecological Indicators*, 67: 649-656, Agosto.
- Diakoulaki D. y M. Mandaraka, 2007, Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector. *Energy Economics*, 29 : 634-664.
- Divisia, F. 1925. L'indice monétaire et la théorie de la monnaie. *Revue d'Economie Politique* 39, 980-1008.
- Duran E., C. Aravena, R.Aguilar. 2015. Analysis and decomposition of energy consumption in the Chilean industry. *Energy Policy*. Volume 86, November 2015, Pages 552–561
- Ediger, V. S., & Huvaz, O. 2006. Examining the sectoral energy use in Turkish economy (1980–2000) with the help of decomposition analysis. *Energy Conversion and Management*, 47, 732–745.
- Fernández González P, Landajo M., Presno M J. 2014. Multilevel LMDI decomposition of changes in aggregate energy consumption. A cross country analysis in the EU-27. *Energy Policy*, 68, 576–584.
- Freitas de L. C., Kaneko, S., 2011. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*. 70(8), 1459-1469.
- Ghersa, F., D. Ferraro, L. Moscovich. 2016. Energy Intensity of the Argentine Economy and Agriculture Sector: A Decomposition Exercise and Policy Evaluation. Poster Sessions. RCN Conference on Pan American Biofuel and Bioenergy Sustainability.
- Hoekstra, R. & J.C.J.M. van den Bergh. 2003. "Comparing structural decomposition analysis and index," *Energy Economics*, Elsevier, vol. 25(1), pages 39-64, January.
- IEA 2011. 25 Energy Efficiency Recommendations - 2011 Update. International Energy Agency. Paris.
- Inglesi-Lotz, R., & Blignaut, J. N. 2011. South Africa's electricity consumption: a sectoral decomposition analysis. *Applied Energy*, 88, 4779–4784.
- IPCC 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kim, S. 2017. LMDI Decomposition Analysis of Energy Consumption in the Korean Manufacturing Sector. *Sustainability*, 9, 202.
- Li, H.; Lo, K.; Wang, M.; Zhang, P.; Xue, L. 2016. Industrial Energy Consumption in Northeast China under the Revitalisation Strategy: A Decomposition and Policy Analysis. *Energies*, 9, 549.
- Lu, I.J., Lin, S.J., Lewis, C., 2007. Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea. *Energy Policy*. 35, 3226-3235.
- MINEM 2016, Balance Energético Nacional 2015, Documento Metodológico. Centro de Información Energética. Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos. Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico. http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balances_2016/Documento_Metodolo%CC%81gico_Balance_Energetico_Nacional_2015_final.pdf
- Navajas, F., 2015. "Subsidios a la energía, devaluación y precios." Documento de Trabajo 122 FIEL.
- OCDE/AIE. 2015. Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas.
- OECD, 2002. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth. Sustainable Development. SG/SD (2002) 1/Final. Organization for Economic Co-operation and Development.
- OECD/IEA. 2014. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. International Energy Agency.
- OECD/IEA. 2016. Energy, Climate Change and Environment: 2016 Insights.
- Patterson, M. G. 1996. What is energy efficiency?: concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390.

- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Velázquez, D. 2013. Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency*, 6(2), 239–254.
- Ren, S., Hu, Z., 2012. Effects of decoupling of carbon dioxide emission by Chinese nonferrous metals industry. *Energy Policy*. 43, 407-414.
- Román-Collado R., J.M.Cansino, C. Botia, 2018. How far is Colombia from decoupling? Two-level decomposition analysis of energy consumption changes. *Energy*: 687-700.
- Tapio, P., 2005. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*. 12(2), 137–151.
- UNEP, 2011. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. United Nations Environment Programme. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel.
- Wang, Z., Yang, L., 2015. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case. *Ecological indicators*. 48, 41-48.
- Wang H., S. Hashimoto, Q. Yue, Y. Moriguchi, Z. Lu, 2013. Decoupling analysis of four selected countries. *J. Ind. Ecol.*, 17 (4): 618-629.
- WEC, 2016. Policies and Measures for Promoting Efficient Electric Motors in Industry. Abril.
- Woodruff, E., W. Turner, W. Heffington, and B. Capehart. 2012. “Energy Conservation Also Yields: Capital, Operations, Recognition, and Environmental Benefits.” *Energy Engineering*, 109 (5).
- Yang L., Y. Yang, Zhang X. K. Tang, 2018, Whether China’s industrial sectors make efforts to reduce CO2 emissions from production? A decomposed decoupling analysis, *Energy*, 160: 796-809.

Anexo A. Consumo de energía no residencial por tipo de combustible

Figura A.1 Consumo de energía no residencial, por tipo de combustible: 1960-2017



Fuente: Elaboración propia en base a Balances Energéticos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina, <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>.

Tabla A.1. Consumo energético por tipo de fuente para los distintos sectores

Sectores	Energía primaria	Año 2017, miles tep, %				Total
		Energía secundaria				
		Electricidad	Comb. Gaseosos	Comb. Líquidos	Comb. Sólidos (sec.)	
Residencial	86	3.850	10.147	13	171	14.266
	1%	27%	71%	0%	1%	
Comercio y Sector Público	43	2.774	1.627	124	114	4.682
	1%	59%	35%	3%	2%	
Transporte	0	57	2.118	15.255	0	17.431
	0%	0%	12%	88%	0%	
Agropecuario	129	81	89	3.732	0	4.031
	3%	2%	2%	93%	0%	
Industria	959	4.332	7.194	137	0	12.623
	8%	34%	57%	1%	0%	
Total	1.217	11.094	21.176	19.261	284	53.032
	2%	21%	40%	36%	1%	

Fuente: Elaboración propia en base a Balances Energéticos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina, <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>.

Anexo B. Justificación de la Ecuación (3) del texto

Puede demostrarse, simplemente aplicando las propiedades de los logaritmos, que la Ecuación (3) es una manera de escribir el cambio en el consumo de electricidad de dos momentos en base a la Ecuación (1).

$$E_t - E_{t-1} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,t-1}} \cdot \left[\ln \left(\frac{Q_{i,t}}{Q_{i,t-1}} \right) + \ln \left(\frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right) + \ln \left(\frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right) \right]$$

$$E_t - E_{t-1} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,t-1}} \cdot \left[\ln \left(\frac{Q_{i,t}}{Q_{i,t-1}} \cdot \frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \cdot \frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right) \right]$$

$$E_t - E_{t-1} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,t-1}} \cdot \left[\ln \left(\frac{E_t}{E_{t-1}} \right) \right]$$

$$E_t - E_{t-1} = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,t-1}} \cdot (\ln E_{i,t} - \ln E_{i,t-1})$$

$$E_t - E_{t-1} = \sum_i E_{i,t} - E_{i,t-1}$$

$$E_t - E_{t-1} = E_t - E_{t-1}$$

Para comprender mejor la fórmula y el origen del término *Logarithmic Mean Divisia Index*, vale la pena hacer un ejemplo.

Puede suponerse que el consumo de electricidad es 50 en el momento t-1 y 80 en el momento t. Esto significa que el cambio es 30. A su vez, esto implica que el cambio relativo entre períodos es: positivo ($\frac{80-50}{50} = +60\%$) si se toma el año t-1 como base; y negativo (y diferente en valor absoluto ($\frac{50-80}{80} = -38\%$) si se toma el año t como base. Si tomo la diferencia como logaritmo, el número absoluto que se obtiene es igual, independientemente de la dirección de cambio que se tome. Esto es: $\ln(80) - \ln(50) = +47\% = \ln(50) - \ln(80) = -47\%$.

Por otro lado, la *media aritmética* entre los dos períodos (sobre la cual podría aplicarse el cambio) es igual al promedio entre 50 y 80. Esto es: $\frac{50+80}{2} = 65$. Y, la *media logarítmica* es: $\frac{80-50}{\ln(80)-\ln(50)} \approx 63,83$.

Entonces, la diferencia calculada con logaritmos debe aplicarse sobre la media logarítmica. Es decir, que se usa la siguiente fórmula, con su correspondiente resultado:

$$\text{Cambio Absoluto} = 80 - 50 = \frac{80-50}{\ln(80)-\ln(50)} \cdot \ln \left(\frac{80}{50} \right) = 63,83 \cdot 47\% = 30.$$

Anexo C. Detalle de los efectos, cambios anuales por sector

Años	Uso final energía	Cambio Energía	Valor agregado	Intensidad	Efectos, miles tep			Detalle cuentas			Diferencia	Caso de desacople
	Industria		Bruto, Industria	Energía/VAB	Actividad	Intensidad	Total	Media logarítmica	Diferencia PBI	Diferencia Intensidad	Energía	
	miles tep	miles tep	millones de pesos de 2004					miles tep	como Ln	como Ln	como Ln	
2004	11.746		109.738	0,107								
2005	12.264	518	118.869	0,103	959	-441	518	12.003	8%	-4%	4%	Débil
2006	13.222	958	130.364	0,101	1.176	-218	958	12.737	9%	-2%	8%	Débil
2007	12.811	-411	140.375	0,091	963	-1.374	-411	13.016	7%	-11%	-3%	Fuerte
2008	12.847	35	145.463	0,088	457	-421	35	12.829	4%	-3%	0,3%	Débil
2009	11.826	-1.021	134.771	0,088	-941	-80	-1.021	12.329	-7,6%	-0,6%	-8,3%	Recesivo
2010	12.163	337	149.300	0,081	1.228	-891	337	11.993	10%	-7%	3%	Débil
2011	12.966	803	160.451	0,081	905	-101	803	12.560	7%	-1%	6%	Débil
2012	12.421	-545	156.088	0,080	-350	-195	-545	12.691	-3%	-2%	-4,3%	Recesivo
2013	12.791	371	157.388	0,081	105	266	371	12.605	1%	2%	3%	Expansivo Negativo
2014	13.261	470	150.679	0,088	-567	1.037	470	13.025	-4%	8%	4%	Fuerte negativo
2015	13.687	426	152.522	0,090	164	262	426	13.473	1,2%	2%	3,2%	Expansivo Negativo
2016	12.968	-719	143.173	0,091	-843	124	-719	13.324	-6%	1%	-5%	Débil negativo
2017	12.623	-345	148.911	0,085	503	-848	-345	12.795	4%	-7%	-3%	Fuerte
Período		877			3.718	-2.840	877	12.179	31%	-23%	7%	Débil

Años	Uso final energía	Cambio Energía	Valor agregado	Intensidad	Efectos, miles tep			Detalle cuentas			Diferencia	Casos de desacople
	Agropecuario		Bruto, Agropecuario	Energía/VAB	Actividad	Intensidad	Total	Media logarítmica	Diferencia PBI	Diferencia Intensidad	Energía	
	miles tep	miles tep	millones de pesos de 2004					miles tep	como Ln	como Ln	como Ln	
2004	3.433		40.568	0,085								
2005	3.597	164	48.190	0,075	605	-441	164	3.514	17%	-13%	5%	Débil
2006	3.812	215	47.936	0,080	-20	234	215	3.703	-1%	6%	6%	Fuerte negativo
2007	4.161	350	52.029	0,080	326	23	350	3.984	8%	1%	9%	Expansivo negativo
2008	4.042	-119	50.892	0,079	-91	-28	-119	4.102	-2%	-1%	-3%	Recesivo
2009	3.626	-416	37.608	0,096	-1.159	743	-416	3.831	-30%	19%	-11%	Débil negativo
2010	3.956	330	52.473	0,075	1.262	-932	330	3.789	33%	-25%	9%	Débil
2011	4.098	141	51.198	0,080	-99	240	141	4.027	-2%	6%	4%	Fuerte negativo
2012	3.881	-217	44.606	0,087	-550	333	-217	3.989	-14%	8%	-5%	Débil negativo
2013	4.308	427	49.726	0,087	444	-18	427	4.091	11%	0%	10%	Débil negativo
2014	3.927	-381	51.269	0,077	126	-507	-381	4.114	3%	-12%	-9%	Fuerte
2015	4.047	120	55.136	0,073	290	-169	120	3.987	7%	-4%	3%	Débil
2016	3.962	-85	52.634	0,075	-186	101	-85	4.005	-5%	3%	-2%	Débil negativo
2017	4.031	69	54.800	0,074	161	-92	69	3.997	4%	-2%	2%	Débil
Período		598			1.120	-521	598	3.724	30%	-14%	16%	Débil