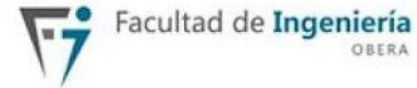


# EL ANÁLISIS DE DESCOMPOSICIÓN BASADO EN ÍNDICES: UNA HERRAMIENTA PARA MEDIR EFICIENCIA ENERGÉTICA

FLORENCIA ZABALOY  
CARINA GUZOWSKI

Curso de posgrado  
Facultad de Ingeniería UNaM 2021

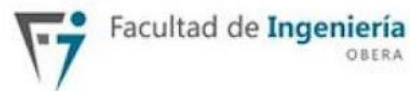


# ANÁLISIS DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

---

CLASE 2

16/12/2021



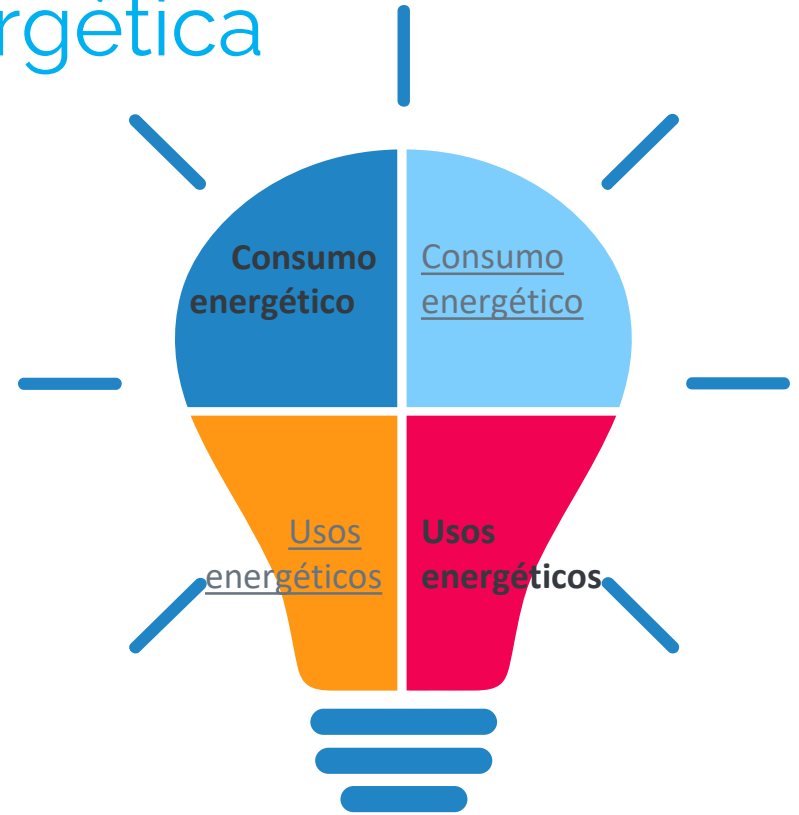
# Estructura de la clase

1. EE y Leyes de la termodinámica → vínculo con Economía
2. ¿Cómo se mide la EE? → tipos de indicadores, ventajas y desventajas
3. La intensidad energética
4. El análisis de descomposición
5. Reflexiones finales

# 1. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LEYES DE LA TERMODINÁMICA

# Eficiencia Energética

Utilizar **menos** cantidad de **energía** para obtener el mismo resultado final o bien gastar la misma cantidad de energía y obtener **mayores rendimientos** o un mejor resultado final (usos o necesidades energéticas).



# Leyes de la termodinámica

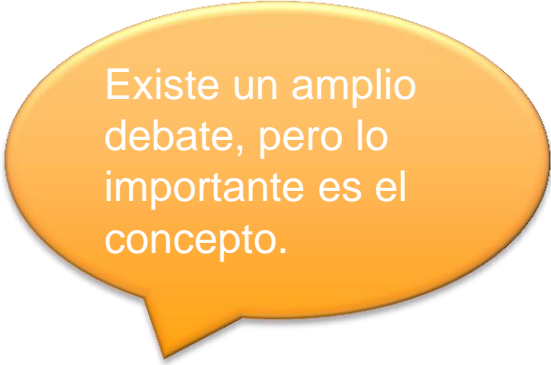
## Primera Ley

- ▷ La materia y la energía no pueden crearse o destruirse, solo transformarse (Daly y Farley, 2004).

# Leyes de la termodinámica

## Segunda Ley

- ▷ A pesar de que la materia y la energía son constantes en cantidad (por la primera ley), cambian en calidad.
- ▷ La forma de medir la calidad es la entropía y es una medida física del grado de "agotamiento" de la estructura o capacidad de la materia o energía para que sea útil (Daly y Farley, 2004).



Existe un amplio debate, pero lo importante es el concepto.

# Las leyes de la termodinámica y la Economía

## Primera ley

- ▷ La producción humana debe basarse en transformar los recursos provistos por la naturaleza

## Segunda ley

- ▷ Cualquier recurso que se transforme en algo útil, debe desintegrarse, descomponerse, deshacerse o disiparse en algo inútil, convirtiéndose en forma de desperdicio y volviendo al sistema de sustentación que generó el recurso

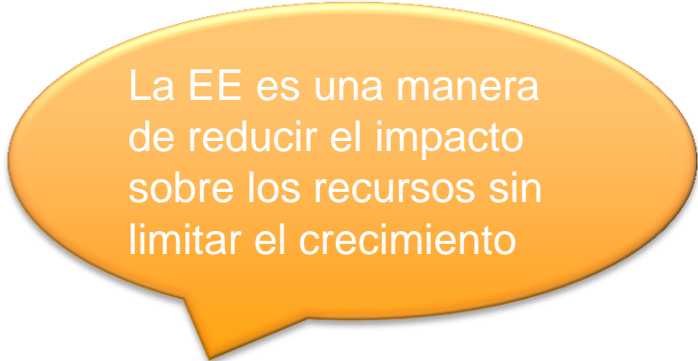


# Las leyes de la termodinámica y la Economía

## Economía

- ▷ Es un sistema ordenado que transforma materias primas y energía de bajo nivel de entropía en residuos de alta entropía y energía no disponible.

El límite al crecimiento económico es el aumento de la entropía, proveniente del agotamiento de los recursos y la generación de desechos (Ekins, 1993).



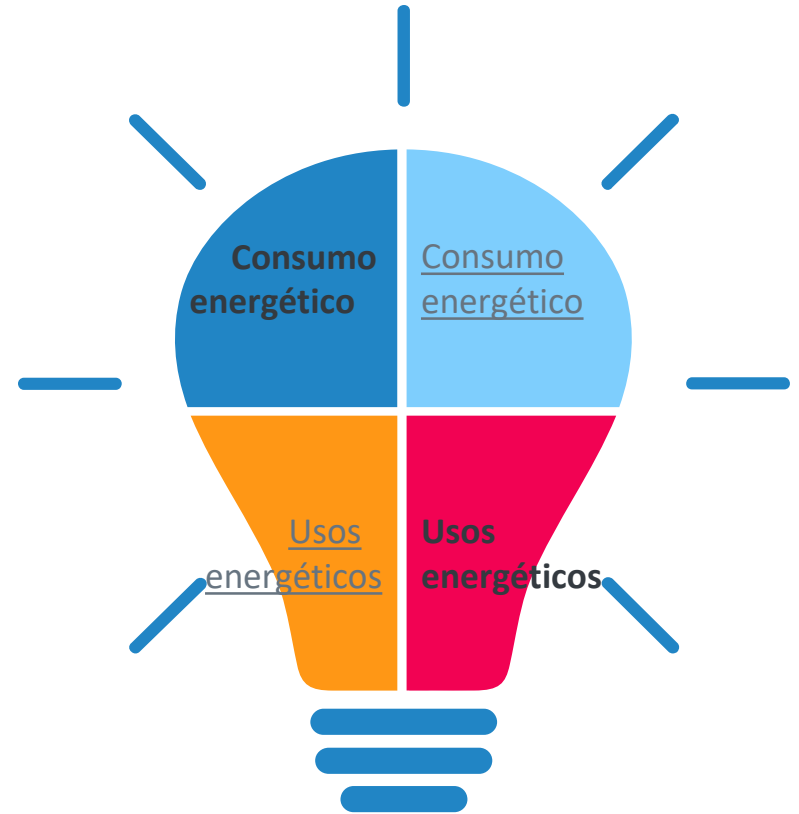
La EE es una manera de reducir el impacto sobre los recursos sin limitar el crecimiento

## 2. ¿CÓMO SE MIDE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?

# Medición de la EE

En general se utiliza el ratio:

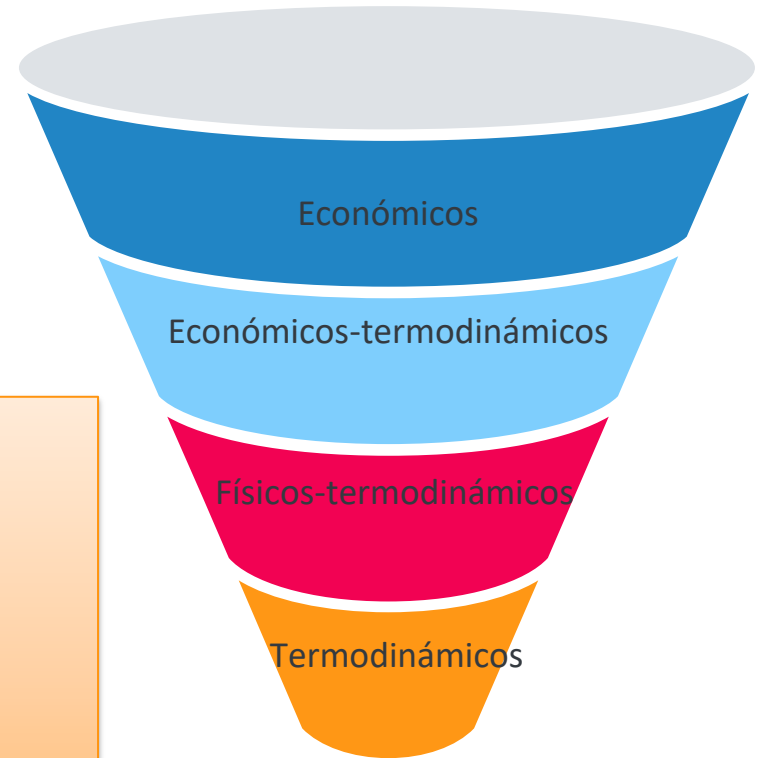
$$EE = \frac{\text{useful output of a process}}{\text{energy input into a process}}$$



# Medición de la EE

Según como definamos el trabajo útil (output) y el insumo energético (input) tendremos distintos indicadores.

Es imposible considerar todos los factores no relacionados con la eficiencia que serían necesarios para obtener una medición pura de la eficiencia energética en términos termodinámicos



# Problemas con los indicadores de EE:

1. juicio de valor en la construcción del indicador
2. calidad energética
3. frontera
4. partición y agregación
5. aislar los cambios tecnológicos en la eficiencia energética (Patterson, 1996).

# Problemas con los indicadores de EE

1. ¿Cómo se considera exactamente el output y el input energético?
2. ¿Cómo comparar la eficiencia energética de varios procesos con inputs de energía de diferentes calidades?
3. ¿Qué flujos de energía se tienen en cuenta en el output e input?
4. ¿Cómo asignar un input de energía a varios outputs de un proceso?
5. ¿Cómo aislar los efectos de comportamiento, clima, estructura económica, etc., no vinculados con la eficiencia energética?

# Indicadores termodinámicos

$$EE = \frac{\textit{useful output of a process}}{\textit{energy input into a process}}$$

$$EE = \frac{\textit{energía útil}}{\textit{energía final}}$$

- ▷ Ambas variables están en unidades termodinámicas (ej. W).
- ▷ Ejemplo: cálculo del rendimiento de un electrodoméstico
  - ratio entre energía útil- energía final (potencia de salida y potencia de entrada)

# Indicadores físicos -termodinámicos

$$EE = \frac{\text{useful output of a process}}{\text{energy input into a process}}$$

$$EE = \frac{\text{producto (m2)}}{\text{energía final}}$$

- ▷ Numerador: variable en unidades físicas (km, m2, toneladas, etc.)
- ▷ Denominador: variable en unidades termodinámicas (ej. kwh, tep).
- ▷ Ejemplos:
  - consumo de energía por metro cuadrado;
  - ratio consumo de energía- agua caliente entregada, a una temperatura especificada.



# Indicadores económicos -termodinámicos

$$EE = \frac{\text{useful output of a process}}{\text{energy input into a process}}$$

$$EE = \frac{\text{producto (\$)}}{\text{energía final}}$$

- ▷ Numerador: variable en unidades económicas (\$ pesos, dólares)
- ▷ Denominador: variable en unidades termodinámicas (ej. Kwh, tep).
- ▷ Ejemplos:
  - Ratio PIB- Consumo de energía
  - Se suele usar la forma recíproca: Consumo de energía –PIB  
→ INTENSIDAD ENERGÉTICA

# Indicadores económicos

$$EE = \frac{\text{useful output of a process}}{\text{energy input into a process}}$$

$$EE = \frac{\text{producto (\$)}}{\text{energía final (\$)}}$$

- ▷ Ambas variables están en unidades económicas (\$ pesos, dólares)
- ▷ Intenta medir productividad económica de la energía
- ▷ Ejemplo:
  - ▷ Ratio gasto en energía del país- PIB
- ▷ Discusión: no es realmente un indicador de EE



Actividad para debatir:  
clasificación de indicadores  
de EE según BID

# Clasificación de indicadores de EE según BID

BID (2019) Towards greater energy efficiency in Latin American and the Caribbean: progress and policies

Disponible en:

[https://publications.iadb.org/publications/english/document/Towards\\_Greater\\_Energy\\_Efficiency\\_in\\_Latin\\_America\\_and\\_the\\_Caribbean\\_Progress\\_and\\_Policies.pdf](https://publications.iadb.org/publications/english/document/Towards_Greater_Energy_Efficiency_in_Latin_America_and_the_Caribbean_Progress_and_Policies.pdf)

# Clasificación de indicadores BID

Table 1: Indicators to measure energy efficiency<sup>3</sup>

Method	Indicator	Description
Top-down	Energy Intensity	The ratio of energy consumption over national income, i.e. energy input in an economic output process. <sup>4</sup>
	Energy Intensity Decomposition	Break down of macro-level energy intensity into sectoral intensity, e.g. industrial, commercial, residential. Also decompose the 'true' efficiency from economic and structural effects. Often use Laspeyres/Divisia index <sup>5</sup> .

Fuente: BID 2019, página 9

# Clasificación de indicadores BID

Method	Indicator	Description
	Energy Use per capita	Energy consumption per person is often used as an indicator of efficiency, especially for developing countries <sup>6</sup> .
Bottom-up	Productive Efficiency	Measured by the input price ratio. Implies the cost effectiveness of an input combination to achieve certain energy services <sup>7</sup> .
	Willingness to Pay	Identified by the elasticities of randomized trial for energy efficient investment, mostly in residential households <sup>8</sup> .
	Engineering Approach	Based on technical parameters of equipment/appliances, and assumption of counterfactual level of usage. Can include technology-level information, such as life cycle and cost, and could even include technology evolution <sup>9</sup> .

*Source: Own elaboration*

Fuente: IEA 2014, página 26

# Preguntas

1. ¿Cómo es la clasificación del BID respecto de la vista en clase (igual, diferente, opuesta, etc.)? Encontrar diferencias y similitudes.
2. ¿Qué indicadores requieren mayor cantidad de datos/información en ambos casos?
3. ¿Cuál de las dos clasificaciones les parece más clara?

# 3. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA



# Intensidad energética: principal indicador

- Es la cantidad de energía requerida por unidad de producto o actividad
- Ratio entre el consumo energético y el producto bruto interno (PIB) o valor agregado (VAB).
- Pueden ser sectoriales

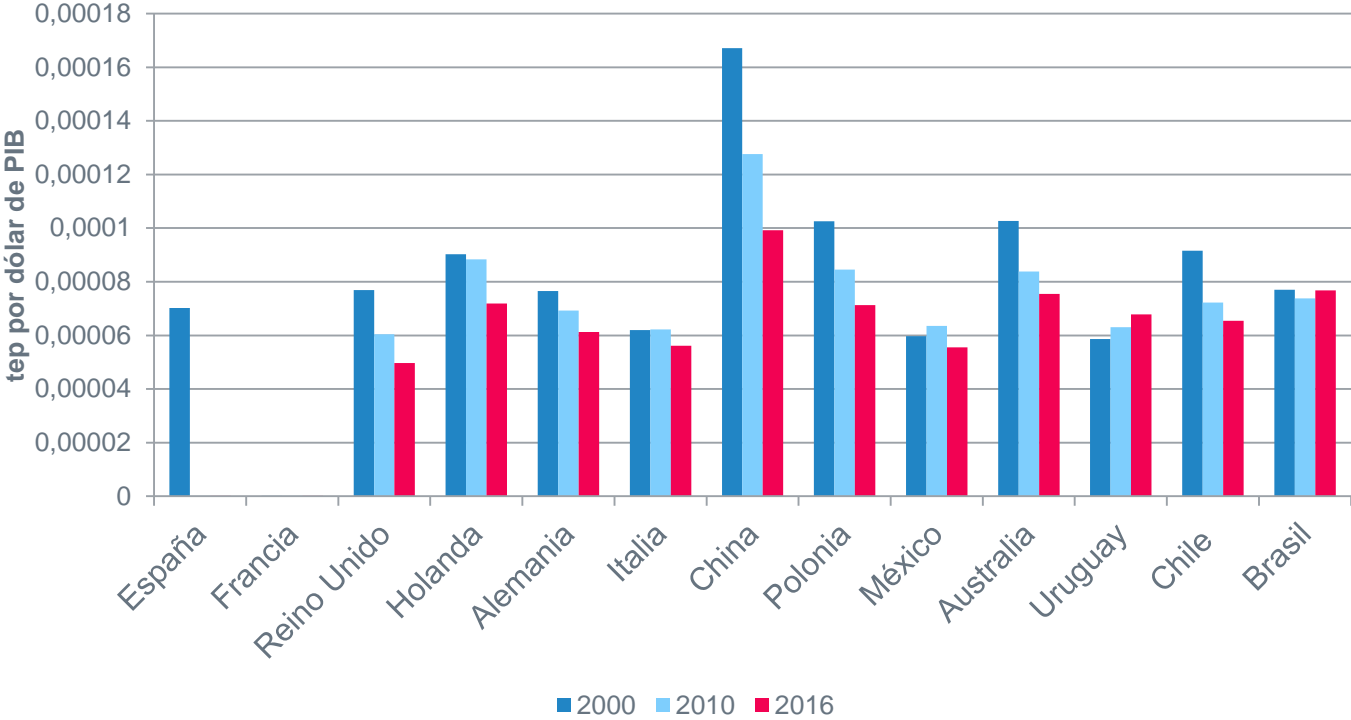
$$IE = \frac{\textit{Consumo de energía}}{\textit{PIB o VAB}}$$

# Intensidad energética: desventajas

- El PIB no necesariamente es una buena representación del output o bien de las necesidades energéticas
- El indicador puede estar representando consecuencias energéticas del desarrollo y no un uso menos eficiente de la energía (crecimiento económico)
- Se pueden confundir cambios en la estructura productiva del país con cambios en la EE

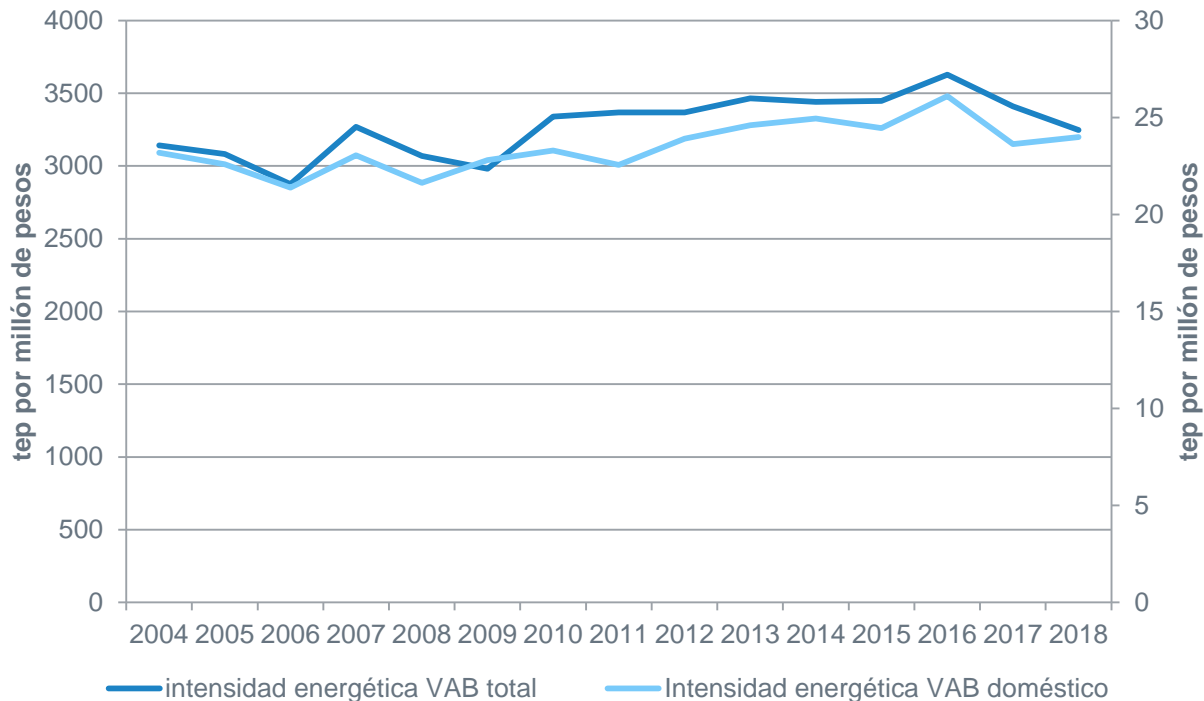
Entonces → intensidad energética como una forma de medir la ***productividad global de la energía*** y no el desempeño de la eficiencia energética desde un punto de vista técnico

# Evolución de la Intensidad energética 2000-2016



Fuente: elaboración propia en base a datos de IEA y World Bank

# Intensidad energética del sector residencial Argentina 2004-2018



Fuente: elaboración propia en base a datos del BEN y de INDEC.

# Intensidad energética en América Latina 2010-2018

BIEE → <https://biece-cepal.enerdata.net/es/>

- Se puede comparar Argentina con los demás países
- Se puede ver si en el período 2010-2018 la intensidad aumentó o disminuyó

# 4. EL ANÁLISIS DE DESCOMPOSICIÓN (IDA)

# Análisis de descomposición basado en índices – Index Decomposition Analysis (IDA)

- ▷ Se debe definir es una función en la cual se relaciona un **agregado**, que será descompuesto, con un número de **factores** de interés predefinidos (Ang, 2004).
- ▷ La idea es cuantificar los **impactos** de los cambios de los factores sobre el agregado (Ej. Consumo Energético).
- ▷ A partir de esta cuantificación se puede:
  - Evaluar la efectividad de las políticas de eficiencia tomadas en el pasado
  - Realizar comparaciones entre sectores o países
  - Identificar las medidas apropiadas para reducir el consumo en un futuro (Xu & Ang, 2013)

# Historia IDA

- ▷ Desde 1970 se concentró en el estudio del **consumo energético**. Interés asociado a la eficiencia energética y a la seguridad energética, por la crisis del petróleo de dicha época.
- ▷ Las primeras aplicaciones se estudió el impacto en la demanda energética del cambio de estructura en la industria.
- ▷ Desde 1991 su aplicación se expandió a estudios de **emisiones de CO<sub>2</sub>**, por la preocupación por el cambio climático y las emisiones de GEI.
- ▷ Es una herramienta de política en temas de energía y medio ambiente.



# Métodos IDA alternativos (Ang, 2004)

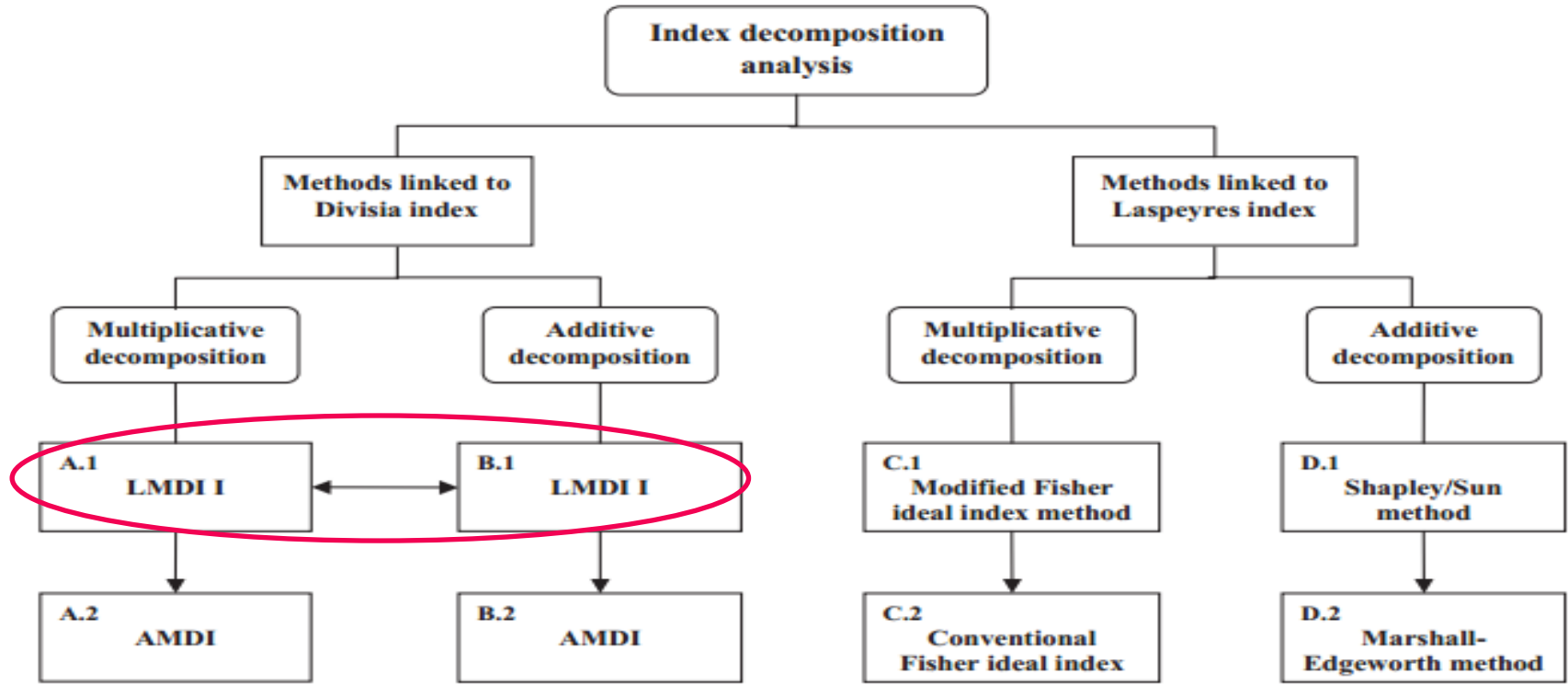


Fig. 1. Recommended methods for energy decomposition analysis.

## Desventajas de otros métodos

- ▷ En los métodos vinculados con el Índice Laspeyre no existe una relación clara entre la descomposición aditiva y multiplicativa.
- ▷ El método del Índice de la Media Aritmética Divisia (AMDI) arrojan un término residual muy grande.

# Ventajas de los Métodos Índice de la Media-logarítmica Divisia (LMDI)

- ▷ **Descomposición perfecta** → los resultados no contienen un término de residuo
- ▷ **Consistencia en la agregación** → permite agregar los resultados de los subgrupos de manera consistente, es decir, la forma en que se definen los subgrupos no afecta a los resultados a nivel agregado
- ▷ **Asociación directa y simple entre la forma aditiva y la forma multiplicativa** → brindan los resultados de maneras distintas pero complementarias (Ang, 2005, 2015)
- ▷ **Fácil de aplicación** independientemente del número de factores de descomposición definidos
- ▷ **Información** requerida de fácil acceso.

# Primeros pasos para aplicar LMDI

Es necesario definir:

- ▷ El agregado a descomponer → Puede ser una variable como consumo energético o emisiones de CO<sub>2</sub> o puede ser una intensidad.
- ▷ Los factores explicativos
- ▷ Los subsectores
- ▷ Elegir 2 momentos del tiempo → explica el cambio en la evolución, no explica el nivel.
- ▷ Verificar que exista la información necesaria para realizar el análisis

# Punto de partida

## ▷ Modelo IPAT

El impacto humano (I) (emisiones de CO<sub>2</sub> o consumo de energía) depende de:

- ▷ la población (P)
- ▷ la afluencia (A) o nivel de actividad económica per cápita
- ▷ la tecnología (T) (medida como nivel de consumo energético dividido el nivel de actividad económica)

# Punto de partida

## ▷ Ecuación de KAYA

Es una identidad matemática en la cual se asocia las emisiones de CO2 o el consumo energético con la población, el crecimiento económico y la intensidad energética:

$$E = P \cdot A \cdot S \cdot I$$

P la población

A la actividad económica

S la estructura económica

I la intensidad energética

# Punto de partida

Intensidad  
energética

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \left( P \cdot \frac{Y}{P} \cdot \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{E_i}{Y_i} \right) = \sum_{i=1}^n EP \cdot EA \cdot ES_i \cdot EI_i$$

- ▷ n es la cantidad de sectores en la economía o la cantidad de subsectores dentro de un sector en particular
- ▷ Y es el nivel de actividad económica
- ▷  $Y_i$  es el nivel de actividad económica del sector i
- ▷  $E_i$  es el consumo energético del sector i.
- ▷ E es el consumo energético total

Efecto población, Efecto actividad, Efecto estructura y Efecto intensidad

# Bases de datos IDA:

- Odyssee-Mure → <https://www.odyssee-mure.eu/>
- BIEE-CONUEE → <https://www.biee-conuee.net/>





## 5. REFLEXIONES FINALES

# Reflexiones finales

- Incluso cuando estemos de acuerdo en qué es la EE, puede que pensemos en distintos indicadores
- Es muy importante entender qué tipo de variables usamos para medir EE
- Cada indicador tiene sus ventajas y desventajas y su uso dependerá del objeto de estudio a abordar
- Un punto fundamental de los indicadores económicos termodinámicos, es que en algún punto permiten captar cambios de comportamiento (lo cual queda por fuera en los indicadores termodinámicos)
- La intensidad energética es uno de los indicadores más utilizados en el mundo

# Reflexiones finales

- El método LMDI mide EE a partir de un indicador económico-termodinámico: intensidad energética
- Evita algunos problemas inherentes de la intensidad energética, como aislar el efecto estructura.
- Metodológicamente tiene muchas ventajas desde el punto de vista teórico pero también práctico (fácil implementación).
- Es muy versátil, podemos analizar diversos agregados con distintos factores.
- Utilizado en la IEA, ODYSSEE-MURE, BIEE
- Es relativamente nuevo → años 2000

# Referencias incluidas en la presentación

- Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?. Energy policy, 32(9), 1131-1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)
- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. Energy policy, 33(7), 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>
- Ang, B. W. (2015). LMDI decomposition approach: a guide for implementation. Energy Policy, 86, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.007>
- BID (2019) Towards greater energy efficiency in Latin American and the Caribbean: progress and policies. Disponible en: [https://publications.iadb.org/publications/english/document/Towards\\_Greater\\_Energy\\_Efficiency\\_in\\_Latin\\_America\\_and\\_the\\_Caribbean\\_Progress\\_and\\_Policies.pdf](https://publications.iadb.org/publications/english/document/Towards_Greater_Energy_Efficiency_in_Latin_America_and_the_Caribbean_Progress_and_Policies.pdf)
- Daly, H. E., & Farley, J. (2004). Ecological economics: principles and applications. Island press. Disponible en: [https://indomarine.webs.com/documents/Ecological\\_Economics\\_Principles\\_And\\_Applications.pdf](https://indomarine.webs.com/documents/Ecological_Economics_Principles_And_Applications.pdf)
- Ekins, P. (1993). 'Limits to growth' and 'sustainable development': grappling with ecological realities. Ecological Economics, 8(3), 269-288
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. Energy policy, 24(5), 377-390.
- Xu, X. Y., & Ang, B. W. (2013). Index decomposition analysis applied to CO2 emission studies. Ecological Economics, 93, 313-329. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.007>

# Muchas gracias!

Florencia Zabaloy

*florenciazabaloy@gmail.com*

Carina Guzowski

*cguzow@criba.edu.ar*