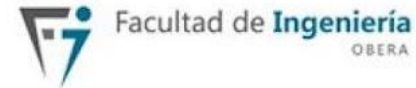


# EL ANÁLISIS DE DESCOMPOSICIÓN BASADO EN ÍNDICES: UNA HERRAMIENTA PARA MEDIR EFICIENCIA ENERGÉTICA

FLORENCIA ZABALOY  
CARINA GUZOWSKI

Curso de posgrado  
Facultad de Ingeniería UNaM 2021

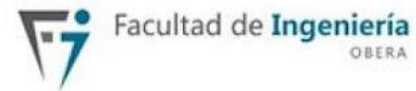


# OTRAS VARIANTES DEL MÉTODO LMDI

---

CLASE 6

03/03/2022



# Estructura de la clase

1. Repaso del modelo estudiado
2. Otros ejemplos de descomposición de Consumo (5)
3. Ejemplos de descomposición de Emisiones (2)
4. Ejemplos de descomposición de Intensidades (1)
5. Reflexiones finales

# 1. REPASO

# Modelo estudiado

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

- ▷ n es la cantidad de sectores en la economía o la cantidad de subsectores dentro de un sector en particular
- ▷ E es el consumo energético total
- ▷ Ei es el consumo energético del sector i
- ▷ P es la población
- ▷ Y es el nivel de actividad económica
- ▷ Yi es el nivel de actividad económica del sector i

4 efectos: Efecto población, Efecto actividad, Efecto estructura y Efecto intensidad. (N=6 sectores)

# Modelo estudiado aditiva

$$E^T - E^0 = \Delta E_{tot} = \Delta E_{pop} + \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$$

$$\Delta E_{pop} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{EP^T}{EP^0} \right)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{ES_i^T}{ES_i^0} \right)$$

$$\Delta E_{act} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{EA^T}{EA^0} \right)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{EI_i^T}{EI_i^0} \right)$$

Factor de ponderación:

*Es la media logarítmica del consumo de energía del sector  $i$  entre el período 0 y  $T$ .*

$$w_i = L(E_i^0, E_i^T) = \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0}$$

## 2. OTROS EJEMPLOS IDA CONSUMO

# IDA Consumo: otros efectos

CASO 1

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

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

3 efectos: Efecto actividad, Efecto estructura y Efecto intensidad



# IDA Consumo: otros efectos aditiva

CASO 1

$$E^T - E^0 = \Delta E_{tot} = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$$

$$\Delta E_{act} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{EA^T}{EA^0} \right)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{ES_i^T}{ES_i^0} \right)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{EI_i^T}{EI_i^0} \right)$$

Factor de ponderación:

*Es la media logarítmica del consumo de energía del sector  $i$  entre el período 0 y  $T$ .*

$$w_i = L(E_i^0, E_i^T) = \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0}$$

# IDA Consumo: nivel nacional

## CASO 2

$$E = E = P \cdot \frac{Y}{P} \cdot \frac{E}{Y}$$

- ▷ E es el consumo energético total
- ▷ P es la población
- ▷ Y es el nivel de actividad económica

3 efectos: Efecto población, Efecto actividad y Efecto intensidad. N=1 (el país o región seleccionada).

# IDA Consumo: nivel nacional aditiva

CASO 2

$$E^T - E^0 = \Delta E_{tot} = \Delta E_{pop} + \Delta E_{act} + \Delta E_{int}$$

$$\Delta E_{pop} = w \ln \left( \frac{EP^T}{EP^0} \right)$$

$$\Delta E_{int} = w \ln \left( \frac{EI^T}{EI^0} \right)$$

$$\Delta E_{act} = w \ln \left( \frac{EA^T}{EA^0} \right)$$

Factor de ponderación:

*Es la media logarítmica del consumo de energía entre el período 0 y T.*

$$w = L(E^0, E^T) = \frac{E^T - E^0}{\ln E^T - \ln E^0}$$

# IDA Consumo: por fuente energética

CASO 3

$$E = \sum_{j=1}^n E_j = \sum_{j=1}^n \left( P \cdot \frac{Y}{P} \cdot \frac{E}{Y} \cdot \frac{E_j}{E} \right) = \sum_{j=1}^n EP \cdot EA \cdot EI \cdot EM_j$$

- ▷ n es la cantidad de fuentes energéticas
- ▷ E es el consumo energético del sector residencial
- ▷  $E_j$  es el consumo energético de la fuente energética j
- ▷ Y es el nivel de actividad económica (*en este caso del país, pero podría ser sectorial. El sector residencial es un caso muy particular*)
- ▷ P población

4 efectos: Efecto población, Efecto actividad, Efecto intensidad y Efecto mix energético. N= 3 (3 fuentes: energía eléctrica, gas natural y otras).

# IDA Consumo: por fuente energética aditiva

CASO 3

$$E^T - E^0 = \Delta E_{tot} = \Delta E_{pop} + \Delta E_{act} + \Delta E_{int} + \Delta E_{mix}$$

$$\Delta E_{pop} = \sum_{j=1}^n w_j \ln \left( \frac{EP^T}{EP^0} \right)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_{j=1}^n w_j \ln \left( \frac{EI^T}{EI^0} \right)$$

$$\Delta E_{act} = \sum_{j=1}^n w_j \ln \left( \frac{EA^T}{EA^0} \right)$$

$$\Delta E_{mix} = \sum_{j=1}^n w_j \ln \left( \frac{EM_j^T}{EM_j^0} \right)$$

Factor de ponderación:

*Media logarítmica del consumo de energía proveniente de la fuente energética  $j$  entre el periodo 0 y  $T$*

$$w_j = L(E_j^0, E_j^T) = \frac{E_j^T - E_j^0}{\ln E_j^T - \ln E_j^0}$$

# IDA Consumo: otros sectores

## CASO 4

Descomposición del consumo energético del **sector manufacturero** (Kim, 2017)

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i Q S_i I_i$$

E: Energy consumption by the manufacturing sector

$E_i$ : Energy consumption of industry  $i$

Q: Production in the manufacturing sector

$Q_i$ : Production in industry  $i$

$S_i$ : Proportion of industry  $i$  in the total production of the manufacturing sector

$I_i$ : Energy intensity of industry  $i$

3 efectos: Actividad, Estructura e Intensidad

# IDA Consumo: otros sectores

## CASO 4

Descomposición del consumo energético del **sector manufacturero** (Kim, 2017)

N= 9. Hay 9 subsectores o ramas del sector manufacturero:

- ▷ food and tobacco
- ▷ textile and clothing
- ▷ wood and wood products
- ▷ pulp and publications
- ▷ petroleum and chemical
- ▷ non-metallic
- ▷ primary and nonferrous metal
- ▷ fabricated metal
- ▷ other manufacturing industries

# IDA Consumo: otros sectores aditiva

## CASO 4

Descomposición del consumo energético del sector manufacturero (Kim, 2017)

$$\begin{aligned}\Delta E_{tot} &= E^T - E^0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{ins} \\ \Delta E_{act} &= \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left( \frac{Q_i^T}{Q_i^0} \right) \\ \Delta E_{str} &= \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left( \frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \\ \Delta E_{ins} &= \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left( \frac{I_i^T}{I_i^0} \right)\end{aligned}$$



# IDA Consumo: otros sectores

## CASO 5

Descomposición del consumo de **electricidad industrial** (Jiang et al., 2020)

$$E = \sum_{i,j} E_{i,j} = \sum_{i,j} P \frac{Q}{P} \frac{Q_i}{Q} \frac{Q_{i,j}}{Q_i} \frac{E_{i,j}}{Q_{i,j}} = \sum_{i,j} P \cdot Y \cdot S_i \cdot M_{i,j} \cdot U_{i,j},$$

i **province** (31) y j industries (3 – **primary, secondary y tertiary**)

E total industrial electricity consumption

$E_{i,j}$  electricity consumption of j industry in i province

P total population

Q is the GDP

$Q_i$  is the total GDP of i province

$Q_{i,j}$  is the j industrial production value of i province

# IDA Consumo: otros sectores

CASO 5  
2020)

Descomposición del consumo de **electricidad industrial** (Jiang et al.,

$$E = \sum_{i,j} E_{i,j} = \sum_{i,j} P \frac{Q}{P} \frac{Q_i}{Q} \frac{Q_{i,j}}{Q_i} \frac{E_{i,j}}{Q_{i,j}} = \sum_{i,j} P \cdot Y \cdot S_i \cdot M_{i,j} \cdot U_{i,j},$$

$Y = Q/P$  is the per capita GDP representing the **economic development index**

$S_i = Q_i/Q$  the economic contribution of  $i$  province in China, representing the **regional economic structure index**

$M_{ij} = Q_{ij}/Q_i$  the structure of production, representing the **regional industrial structure**

$U_{ij} = E_{ij}/Q_{ij}$  the electric power intensity of  $j$  industry in  $i$  province, representing the **technical index**

5 efectos: Población, Actividad, Estructura Económica Regional, Estructura Industrial Regional e Intensidad Eléctrica.

# IDA Consumo: otros sectores aditiva

CASO 5  
2020)

Descomposición del consumo de electricidad industrial (Jiang et al.,

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^3 \frac{(E_{ij}^t - E_{ij}^0)}{(\ln E_{ij}^t - \ln E_{ij}^0)} \ln \left( \frac{P^t}{P^0} \right)$$

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^3 \frac{(E_{ij}^t - E_{ij}^0)}{(\ln E_{ij}^t - \ln E_{ij}^0)} \ln \left( \frac{Y^t}{Y^0} \right)$$

$$\Delta E = E^t - E^0 = \Delta P + \Delta Y + \Delta S + \Delta M + \Delta U,$$

$$\Delta S = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^3 \frac{(E_{ij}^t - E_{ij}^0)}{(\ln E_{ij}^t - \ln E_{ij}^0)} \ln \left( \frac{S_i^t}{S_i^0} \right)$$

→ ¿Cuántos factores (wi) habría en este caso?

$$\Delta M = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^3 \frac{(E_{ij}^t - E_{ij}^0)}{(\ln E_{ij}^t - \ln E_{ij}^0)} \ln \left( \frac{M_{ij}^t}{M_{ij}^0} \right)$$

$$\Delta U = \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^3 \frac{(E_{ij}^t - E_{ij}^0)}{(\ln E_{ij}^t - \ln E_{ij}^0)} \ln \left( \frac{U_{ij}^t}{U_{ij}^0} \right)$$

# 3. EJEMPLOS IDA EMISIONES

# IDA emisiones de CO2

CASO 6

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n \left( P \cdot \frac{Y}{P} \cdot \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{E_i}{Y_i} \cdot \frac{FF_i}{E_i} \frac{C_i}{FF_i} \right) = P \cdot Y^p \cdot ES_i \cdot EI_i \cdot RES_i \cdot CI_i$$

- ▷ n es la cantidad de sectores
- ▷ C es el total de las emisiones de CO2 de los sectores
- ▷ Ci son las emisiones del sector i
- ▷ EFi es el consumo energético de combustibles fósiles del sector i
- ▷ Ei es el consumo energético del sector i
- ▷ Yi es el VAB del sector i
- ▷ Y es el VAB total del país
- ▷ P es la población total del país

6 efectos: Efecto población, Efecto actividad, Efecto estructura, Efecto intensidad energética, Efecto energías renovables y Efecto intensidad de carbono

# IDA emisiones de CO2 aditiva

## CASO 6

$$C^T - C^0 = \Delta C_{tot} = \Delta C_{pop} + \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{res} + \Delta C_{car}$$

$$\Delta C_{pop} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{P^T}{P^0} \right)$$

$$\Delta C_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{EI_i^T}{EI_i^0} \right)$$

$$\Delta C_{act} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{Yp^T}{Yp^0} \right)$$

$$\Delta C_{res} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{RES_i^T}{RES_i^0} \right)$$

$$\Delta C_{str} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{ES_i^T}{ES_i^0} \right)$$

$$\Delta C_{car} = \sum_{i=1}^n w_i \ln \left( \frac{CI_i^T}{CI_i^0} \right)$$

Es la media logarítmica de las emisiones de CO2 del sector  $i$  entre el período 0 y T

$$w_i = L(C_i^0, C_i^T) = \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0}$$

# IDA emisiones CO2: otros sectores

## CASO 7

Descomposición de emisiones CO2 de **edificios comerciales** (Ma y Cai, 2018)

$$CCBCE = F \times \frac{F}{P} \times \frac{G}{F} \times \frac{1}{\frac{G}{P}} \times \frac{E}{F} \qquad E = F \times f \times I \times g \times e$$

E=CCBCE: commercial building carbon emission

F: GFA (Gross floor area) of existing commercial building in China

P: employed population of tertiary industry in China

G: GDP of tertiary industry in China

f: GFA per capita of existing commercial buildings in China

I: economic activity intensity of existing commercial buildings in China

g: reciprocal of GDP per capita of tertiary industry in China

e: CCBCE intensity (*medida como emisiones sobre superficie del suelo*)

# IDA emisiones CO2: otros sectores

## CASO 7

Descomposición de emisiones CO2 de **edificios comerciales** (Ma y Cai, 2018)

$$CCBCE = F \times \frac{F}{P} \times \frac{G}{F} \times \frac{1}{\frac{G}{P}} \times \frac{E}{F} \quad E = F \times f \times I \times g \times e$$

### 5 efectos:

$\Delta E_F$  Impact of *GFA of existing commercial buildings* on  $E$

$\Delta E_f$  Impact of *GFA per capita of existing commercial buildings* on  $E$

$\Delta E_I$  Impact of *economic activity intensity of existing commercial buildings* on  $E$

$\Delta E_g$  Impact of *reciprocal of GDP per capita of Tertiary Industry* on  $E$

$\Delta E_e$  Impact of *CCBCE intensity* on  $E$

Sin desagregación sectorial/subsectorial



# IDA emisiones CO<sub>2</sub>: otros sectores aditiva

## CASO 7

Descomposición de emisiones CO<sub>2</sub> de **edificios comerciales** (Ma y Cai, 2018)

$$\Delta E_{tot} = E|_T - E|_0 = \Delta E_F + \Delta E_f + \Delta E_I + \Delta E_g + \Delta E_e$$

$$\Delta E_F = W \times \ln \left( \frac{F|_T}{F|_0} \right)$$

$$\Delta E_g = W \times \ln \left( \frac{g|_T}{g|_0} \right)$$

$$\Delta E_f = W \times \ln \left( \frac{f|_T}{f|_0} \right)$$

$$\Delta E_e = W \times \ln \left( \frac{e|_T}{e|_0} \right) :$$

$$\Delta E_I = W \times \ln \left( \frac{I|_T}{I|_0} \right) :$$

→ ¿Por qué no aparece el símbolo de sumatoria en este caso?

# 4. EJEMPLOS IDA INTENSIDADES

# IDA Consumo: intensidad energética

## CASO 8

$$V = \frac{E}{Q} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_i}{Q} \cdot \frac{E_i}{Q_i} \right) = \sum_{i=1}^n S_i \cdot I_i$$

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

2 efectos: Efecto estructura y Efecto intensidad

(Ang, 2015)

# IDA Consumo: intensidad energética aditiva

## CASO 8

$$V^T - V^0 = \Delta V_{tot} = \Delta V_{str} + \Delta V_{int}$$

Siendo  $\Delta V_{str}$  y  $\Delta V_{int}$  :

$$\sum_i L\left(\frac{E_i^T}{Q^T}, \frac{E_i^0}{Q^0}\right) \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^0}\right)$$

$$\sum_i L\left(\frac{E_i^T}{Q^T}, \frac{E_i^0}{Q^0}\right) \ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^0}\right)$$

(Ang, 2015)



## 5. REFLEXIONES FINALES

# Reflexiones finales

- El método LMDI es muy **flexible**, se adapta a distintos objetivos e información
- Los casos presentados son solo **ejemplos**, existen muchos más. No es una lista taxativa, sino es un panorama para ver distintas aplicaciones
- Es importante realizar una **revisión de literatura exhaustiva** a la hora de definir un modelo, ya que podemos armar una nueva versión basándonos en diversos trabajos
- Podemos armar **nuestro propio modelo** y discutir qué agregado queremos explicar, qué efectos valdría la pena incluir y de qué manera agregaríamos subsectores (sectores de consumo, industrias, fuentes energéticas, etc.)

# Referencias incluidas en la presentación

Ang, B. W. (2015). LMDI decomposition approach: A guide for implementation. *Energy Policy*, 86, 233-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.007>

Jiang, S., Zhu, Y., He, G., Wang, Q., & Lu, Y. (2020). Factors influencing China's non-residential power consumption: estimation using the Kaya–LMDI methods. *Energy*, 201, 117719. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117719>

Kim, S. (2017). LMDI decomposition analysis of energy consumption in the Korean manufacturing sector. *Sustainability*, 9(2), 202. doi:10.3390/su9020202

Ma, M., & Cai, W. (2018). What drives the carbon mitigation in Chinese commercial building sector? Evidence from decomposing an extended Kaya identity. *Science of The Total Environment*, 634, 884-899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.043>

# Muchas gracias!

Florencia Zabaloy

*florenciazabaloy@gmail.com*

Carina Guzowski

*cguzow@criba.edu.ar*