



Informe metodológico sobre el análisis de descomposición de la variación del consumo de energía por sector para México

Febrero de 2019



Tabla de contenido

1. Introducción.....	3
2. Descomposición de la variación del consumo de energía	3
3. Descomposición de la variación del consumo de energía de la industria	3
4. Descomposición de la variación del consumo de energía en el transporte	4
5. Descomposición de la variación del consumo de energía del sector residencial	5
6. Descomposición de la variación del consumo de energía en los servicios	7
7. Descomposición del consumo final de energía	8
8. Descomposición del consumo nacional de energía	8
9. Descomposición del sector eléctrico público	9
Anexo: el índice de eficiencia energética (ODEX)	10

1. Introducción

Este informe metodológico presenta y explica la metodología de la descomposición de la variación del consumo energético de los principales sectores de la economía: industria, hogares, transporte y servicios. También explica como ese análisis se interpreta y cuál es el papel de los diferentes efectos que explican esta variación.

2. Descomposición de la variación del consumo de energía

El objetivo principal del análisis de descomposición es de mostrar los factores determinantes que explican la variación del consumo de energía durante un período determinado, en particular el papel de los ahorros de energía procedente de mejoramientos de la eficiencia energética al nivel de diferentes subsectores y usos finales.

Los ahorros de energía están calculados usando el índice de eficiencia energética ODEX calculado para todos los sectores. El ODEX es un indicador que mide el progreso de la eficiencia energética por sector principal (industria, transporte, hogares, servicios). Para cada sector, el índice se calcula como un promedio ponderado de los índices sub-sectoriales del progreso de la eficiencia energética; los subsectores son las ramas del sector industrial o de los servicios, o los usos finales para los hogares, o los modos de transporte (ver el anexo).

Como el ODEX se puede definir como la relación entre el consumo de energía en el año t (E) y un consumo ficticio que habría ocurrido sin los ahorros de energía (ES), los ahorros de energía pueden derivarse del ODEX:

$$ES = E \times \left(\frac{ODEX_{t-1}}{ODEX_t} - 1 \right)$$

Están calculados anualmente y sumados para calcular los ahorros del periodo considerado.

3. Descomposición de la variación del consumo de energía de la industria

La variación del consumo industrial de energía (manufactura, construcción y minería) está influenciada por los siguientes factores:

- Un efecto "**cantidad**", calculado para cada rama de la industria como la variación de la producción Q_i en unidades físicas (producción física¹ o índice de producción) en comparación al año de referencia ($t-1$):

$$QE_{i,t} = (Q_{i,t} - Q_{i,t-1}) \times \frac{E_{i,t-1}}{Q_{i,t-1}}$$

Este efecto esta dividido en 2 efectos:

¹ Para los productos intensivos: en tonelada producida para acero, cemento, vidrio, azúcar, papel, petroquímica; en numero de vehículos para la rama de producción de automóviles y camiones.

- Un efecto "**actividad**" que toma en cuenta los cambios en la actividad industrial. Esta calculado como la variación del consumo total debido a la variación del índice de producción en comparación al año de referencia:

$$Act_t = (IPI_t - IPI_{t-1}) \times \frac{E_{t-1}}{Q_{t-1}}$$

- Un efecto "**estructural**" que mide los cambios estructurales, es decir el hecho que la producción de las sub-ramas de la industria no están creciendo al mismo ritmo que el promedio del índice de producción de la industria. Este efecto está calculado como la diferencia entre los efectos "cantidad" y "actividad".
 - Un efecto "**ahorros de energía**" calculado gracias al ODEX (presentado en anexo);

Para la industria, el ODEX se calcula al nivel de 12 ramas:

- 7 ramas intensivas: azúcar, papel, petroquímica, cemento, vidrio, acero y vehículos
- 3 ramas residuales: otros alimentos y bebidas, otros químicos, otras ramas manufactureras
- Minería
- Construcción

El consumo unitario de cada rama se expresa en términos de energía utilizada por tonelada producida para los productos intensivos y en términos de energía utilizada en relación con el índice de producción para las otras ramas.

- Y un efecto "**otros**", principalmente ahorros "negativos" debidos a usos ineficientes en la industria. Este deterioro de la eficiencia energética se produce principalmente durante una recesión cuando las fábricas no funcionan a plena capacidad.

4. Descomposición de la variación del consumo de energía en el transporte

La variación del consumo de energía en el transporte está descompuesta en 4 factores principales:

- **Efecto de actividad**: cambio en el tráfico de pasajeros (incluyendo el tráfico aéreo) y de mercancías;
- **Cambio modal** para el transporte terrestre, es decir, cambio en la proporción de cada modo de transporte en el tráfico terrestre total.
- **Ahorros de energía** (es decir, cambio en la eficiencia de los automóviles, camiones, aviones, etc.);
- **Otros efectos**, o sea efectos de comportamiento y "ahorros negativos" en el transporte de mercancías debido a la baja utilización de la capacidad.

El **efecto de actividad** está calculado anualmente para cada modo de transporte y sumado.

- Para el transporte de pasajeros, está calculado como la variación del consumo E_i debido a la evolución del tráfico de pasajeros (en pasajeros-kilometro) para cada modo de transporte en comparación al año de referencia t-1.
- Para el transporte de mercancías, está calculado como la variación del consumo E_i debido a la evolución del tráfico de mercancías (en toneladas-kilometro) para cada modo de transporte en comparación al año de referencia t-1.
- Para el transporte aéreo, está relacionado al número de pasajeros.
- Para las motocicletas, está relacionado al número de vehículos.

O sea para el modo de transporte i , el efecto anual de actividad es:

$$Act_i = (Q_{i,t} - Q_{i,t-1}) \times \left(\frac{E_{i,t-1}}{Q_{i,t-1}} \right)$$

con Q_i la variable de actividad del modo de transporte i ;

E_i el consumo de energía del modo de transporte i .

Al nivel agregado, el efecto de **cambio modal** está calculado como la diferencia entre la suma de los ahorros de energía de cada modo de transporte y el ahorro de energía global del transporte de pasajeros o de mercancías (calculado al nivel agregado). De hecho, el cambio modal muestra el cambio en el reparto modal del tráfico. Por ejemplo, una parte decreciente del transporte público en el transporte de pasajeros provocara una aumentación del consumo.

Para el transporte de pasajeros (o de mercancías):

$$Cambio\ modal = ES - \left(\frac{E_t}{Q_t} - \frac{E_{t-1}}{Q_{t-1}} \right) * Q_t$$

con ES los ahorros de energía para pasajeros (o para mercancías) calculados previamente;

Q el tráfico total de pasajeros (o de mercancías);

E el consumo total de energía para el transporte de pasajeros (o de mercancías).

Los **ahorros de energía** se calculan para cada modo multiplicando la variación del consumo específico por pasajero-km o tonelada-kilómetro por el tráfico en pasajero-km o tonelada-kilometro. Solo se consideran los ahorros de energía "técnicos", es decir los ahorros de energía positivos.

$$ES_i = \left(\frac{E_{i,t}}{Q_{i,t}} - \frac{E_{i,t-1}}{Q_{i,t-1}} \right) \times (Q_{i,t})$$

Los "**otros efectos**" están calculados por diferencia.

5. Descomposición de la variación del consumo de energía del sector residencial

La variación del consumo final de energía de los hogares se puede descomponer en siete factores principales:

- Cambio en la población ("**efecto de la demografía**")
- Cambio en el número de personas por hogar ("**efecto del tamaño de los hogares**")
- Un "**efecto de equipo**" que muestra el efecto de la difusión de los equipos: cambio en el porcentaje de hogares con varios tipos de equipo (refrigeradores, lavadoras, televisiones, calentadores de agua, acondicionadores de aire e iluminación);
- Un "**efecto de sustitución**" que muestra el efecto del cambio en el mix de combustibles para la cocción de alimentos y el agua caliente (entre solar, leña, GLP y gas natural);
- Los **ahorros de energía** técnicos, es decir ahorros brutos corregidos de ahorros negativos debido a la operación ineficiente de instalaciones o comportamientos;

- **“Otros efectos”**: cambios comportamentales, el “efecto clima” que toma en cuenta la influencia del clima en la variación del consumo (sobre todo para aire acondicionado, pero ese efecto es marginal), etc.

El **efecto de población** está calculado como la variación de la población en comparación al año de referencia, multiplicado por el número de personas por hogar y el consumo unitario por hogar del año de referencia:

$$DE = (pop_t - pop_{t-1}) \times \left(\frac{HH_{t-1}}{pop_{t-1}} \right) \times CU_{t-1}$$

con pop : población

HH : número de hogares

CU : consumo unitario por hogar

El **efecto del tamaño de los hogares** está calculado tomando en cuenta el cambio en el número de hogares por persona entre t y $t-1$.

$$pop_t \times \left(\frac{HH_t}{pop_t} - \frac{HH_{t-1}}{pop_{t-1}} \right) \times CU_{t-1}$$

El **efecto de equipo** está calculado al nivel de cada equipo de los hogares considerando los equipos principales: refrigeradores, lavadoras, televisiones, calentadores de agua y aire acondicionado. El cálculo es el siguiente:

$$\sum_i \left((eq_{i,t} - eq_{i,t-1}) \times CU_{i,t-1} \right) - DE$$

con eq_i : número de equipos del equipo i ;

CU_i : consumo unitario del equipo i .

El **efecto de sustitución** está calculado para los usos cocción y calentamiento de agua, medido gracias al índice de sustitución. Para cada uso final (cocción o calentamiento de agua), el índice de sustitución mide la tendencia de la eficiencia del uso final (véase el cuadro 1). El índice de sustitución corresponde al inverso del rendimiento medio que se calcula como la relación entre el consumo útil de energía y el consumo final de energía:

$$IS = \frac{1}{R} = \frac{SEC}{SECU}$$

Con R : rendimiento medio

SEC : consumo final de energía

$SECU$: consumo útil de energía

El efecto de sustitución se deduce de ese índice:

$$SEC * \left(1 - \left(\frac{IS_{t-1}}{IS_t} \right) \right)$$

Los **ahorros de energía** están calculados gracias al ODEX (ver anexo) en relación al consumo energético de los hogares.

Para el cálculo del ODEX de los hogares, se consideran los siguientes indicadores para cada uso final:

- Aire acondicionado: consumo por hogar equipado
- Calentamiento de agua: consumo por hogar equipado en energía útil
- Cocción de alimentos: consumo por hogar en energía útil

- Principales aparatos eléctricos: consumo específico de electricidad, en kWh/año/aparato
- Iluminación: consumo por hogar

Cuadro 1 – Estudio de caso del impacto del cambio de mix de combustibles para cocción

La eficiencia final de varios combustibles usados para cocción es diferente: aproximadamente 50% para gas natural, 45% para GLP, 80% para electricidad, 25% para carbón vegetal y 5% para leña o para residuos:

- Una sustitución de la leña para el GLP reducirá el consumo final de energía ya que cada hogar que cambia de la leña para el GLP consumará 9 veces menos tep (i.e. la proporción 45%/5%).
- Al contrario, una sustitución del GLP para carbón vegetal aumentará el consumo final de energía de un factor 1.8 (45%/25%).

Para medir el impacto de la sustitución de los combustibles, se puede comparar la tendencia del consumo útil de energía (SECU) con la del consumo final de energía (SEC) a través del índice de sustitución:

- la variación del SECU no depende de la sustitución de los combustibles;
- la diferencia entre las variaciones del SEC y del SECU corresponde al impacto de la sustitución de los combustibles.

Por ejemplo, si el SEC decrece de 3%/año y el SECU de 1%/año, esto significa que la sustitución de los combustibles contribuyó a reducir el consumo específico de energía de 2%/año.

También se puede calcular el **efecto del clima** sobre el consumo energético del sector residencial. Para México, se puede calcular este efecto para aire acondicionado (porque el consumo para calefacción no es significativo). Se calcula el consumo con correcciones climáticas, usando los grados-días de refrigeración, y el efecto del clima está calculado por diferencia entre la evolución del consumo observado de los hogares y el consumo corregido del clima:

$$(CS_t - CS_{t-1}) - (CS_{cc,t} - CS_{cc,t-1})$$

con CS : consumo observado de los hogares;

CS_{cc} : consumo corregido del clima de los hogares.

El efecto del clima está incluido en "Otros efectos" porque su valor es marginal.

6. Descomposición de la variación del consumo de energía en los servicios

La variación del consumo final de energía en el sector de los servicios se explica por:

- El **efecto de actividad**, que mide el efecto de la evolución del valor agregado de los servicios;
- Los **ahorros de energía**, medidos con el ODEX (ahorros técnicos);

- **Otros efectos** que incluye el cambio en la productividad laboral es decir en la relación entre el valor agregado y el número de empleados, y también el efecto del clima (que es marginal).

El **efecto de actividad** en los servicios se mide con la variación del valor agregado multiplicado por la intensidad de energía del año de referencia:

$$EQT_{t/t-1} = (VA_t - VA_{t-1}) * I_{t-1}$$

- con *EQT*: efecto de actividad;
VA: valor agregado de los servicios;
I: intensidad energética de los servicios.

Los **ahorros de energía** están calculados gracias al ODEX (ver anexo). El ODEX de los servicios se basa en el indicador de consumo por empleado, diferenciando el consumo unitario de electricidad del de los combustibles.

Los **otros efectos** están calculados por diferencia. Incluyen el cambio en la productividad laboral (relación entre valor agregado y empleo) y el efecto del clima.

7. Descomposición del consumo final de energía

La descomposición de la variación del consumo final de energía está calculada combinando la descomposición sectorial, es decir, sumando la contribución de los diferentes factores por sector de uso final (industria, transporte, hogares, servicios) en categorías amplias, de la siguiente manera:

- **Efecto de actividad**: cambios en la actividad económica (usando el índice de producción para la industria, el valor agregado para los servicios y los tráficos para el transporte) y cambio en la población;
- **Estilos de vida**: evolución de la tasa de equipos y número de personas por hogar;
- **Efecto estructural**: cambios en la estructura de la industria, cambio en el reparto modal de los transportes y sustitución de combustibles para cocción y calentamiento del agua de los hogares;
- **Ahorros de energía**: suma de los ahorros de cada sector;
- **Otros efectos**: comportamientos de los hogares, valor de los productos en la industria, productividad laboral en los servicios, ahorros "negativos" debido a operaciones ineficientes en la industria y el transporte, variación del consumo de la agricultura y efecto del clima sobre el consumo de los hogares y de los servicios.

8. Descomposición del consumo nacional de energía

El **consumo nacional de energía** es la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda de energía de un país, incluyendo el consumo no energético. Se puede también calcular este consumo excluyendo el consumo no energético.

La variación del **consumo nacional de energía** se explica por:

- La variación del consumo energético final;
- La variación del consumo neto del sector eléctrico (centrales públicas) (ver la siguiente sección);

- La variación del consumo de las otras transformaciones de energía (incluyendo la autoproducción de electricidad);
- La variación del consumo no energético.

9. Descomposición del sector eléctrico público

El consumo neto de energía para la generación de electricidad pública² depende mayoritariamente de los tres siguientes efectos:

- La variación de la producción pública de electricidad, que, si todo lo demás permanece igual, contribuye a aumentar las pérdidas en la generación de electricidad ("**efecto de actividad**").
- La eficiencia promedia de las plantas térmicas ("**efecto de eficiencia**"): cuando se mejora, contribuye a reducir el consumo neto del sector eléctrico.
- La evolución del mix eléctrico ("**efecto del mix eléctrico**") que depende de la proporción de las energías renovables, nucleoelectrica y térmica. Como el rendimiento de las energías renovables es de 100% mientras que es de 33% para el nuclear y más o menos 40% para las centrales térmicas, un aumento del porcentaje de renovables en el mix eléctrico contribuye a reducir el consumo neto del sector eléctrico.

La eficiencia de las plantas térmicas y la evolución del mix eléctrico se calculan de la siguiente manera:

- **Efecto de eficiencia:** diferencia entre el consumo real y un consumo ficticio utilizando el mix eléctrico del año y la eficiencia del año anterior.
- **Efecto del mix eléctrico:** diferencia entre el consumo real y un consumo ficticio utilizando la eficiencia del año y el mix eléctrico del año anterior.

² Es decir, la diferencia entre las entradas de las centrales y la producción eléctrica.

Anexo: el índice de eficiencia energética (ODEX)

El índice de eficiencia energética (ODEX) resume la tendencia de la eficiencia energética para un sector. Está calculado para cada sector en 2 etapas:

- Etapla 1: cálculo de un índice (base 100) gracias al consumo específico de cada subsector (para tener la misma unidad)³;
- Etapla 2: multiplicación de los índices calculados por subsector por la proporción de cada subsector en el consumo total del sector.

La variación del índice ponderado ODEX entre los años t-1 y t está definido como:

$$\frac{I_{t-1}}{I_t} = \sum_i \left(EC_{i,t} \times \frac{UC_{i,t}}{UC_{i,t-1}} \right)$$

con UC_i : consumo unitario del subsector i;

EC_i : proporción del subsector i en el consumo total del sector.

El valor al año t está calculado usando el valor del año anterior (t-1), invirtiendo el cálculo:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 = \frac{1}{I_t - I_{t-1}}$$

El ODEX está a un nivel de 100 para el año de referencia y después calculado por cada año t multiplicando el valor del ODEX del año t-1 con I_t/I_{t-1} . Este cálculo está basado en un año base móvil, lo que significa que la mejoría de la eficiencia energética está calculada en relación con el año anterior. Este enfoque elimina la dependencia de un año base fijado. Entonces, el ODEX al año t acumula los ahorros de energía desde el año de referencia.

Las tendencias observadas por algunos sectores, subsectores y ramas pueden ser muy irregulares. Fuertes fluctuaciones pueden existir en el ODEX, que son difíciles de entender ya que los progresos de eficiencia energética deberían normalmente ser suaves (cambio técnico adicional). Varios factores pueden explicar las fluctuaciones, entre ellos factores comportamentales, influencia de los ciclos económicos o imperfecciones de los datos estadísticos (en particular para el último año). Para reducir las fluctuaciones, el ODEX está calculado como un promedio móvil de 3 años. El valor utilizado para el año t es el promedio de los valores del ODEX de los años t-1, t y t+1. Este método está frecuentemente usado en estadística.

Para cada sector, el ODEX técnico está también calculado para tomar en cuenta únicamente las mejoras de la eficiencia energética técnica (ver cuadro 2).

³ El consumo específico por subsector puede expresarse en diferentes unidades físicas para ser lo más cerca posible de la evaluación de la eficiencia energética (por ejemplo, tep/tonelada o tep/IPI para la industria).

Cuadro 2: ODEX observado vs. técnico

Una disminución de los indicadores específicos de consumo de energía indica que la eficiencia energética se ha mejorado. Sin embargo, en algunos casos, la tendencia del indicador observado muestra un aumento, lo que resulta en una mejora de la eficiencia energética "negativa".

Este aumento en el consumo específico puede explicarse por un uso ineficiente del equipo, como se observa a menudo durante las recesiones económicas. Esto es especialmente cierto en la industria o el transporte de mercancías. Por ejemplo, en la industria, en un período de recesión, el consumo de energía no disminuye proporcionalmente a la actividad, lo que reduce la eficiencia de la mayoría de los equipos, ya que no se utilizan a su capacidad nominal. Además, una parte de este consumo es independiente del nivel de producción. En este caso, la eficiencia energética técnica no disminuye como tal, ya que el equipo sigue siendo el mismo, pero se usa de manera menos eficiente.

Por lo tanto, está sugerido separar la eficiencia técnica de la eficiencia observada (o aparente). El ODEX observado puede ser substituido por un **índice de eficiencia "técnico"**, considerando que si el consumo específico de un subsector determinado aumenta, su valor se mantendrá en el cálculo del índice técnico. En la análisis de descomposición, los ahorros de energía están derivados del ODEX "técnico".