

El Rendimiento Ambiental del Sistema Privado de Movilidad Urbana desde el enfoque Eointegrador

The environmental performance of the private urban mobility system from the eco-integrator approach

Pablo Hernández Arias¹

Beatriz Olivia Camarena Gómez²

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., doctorado en Desarrollo Regional.
Candidato a Doctor

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., programa de Estudios Ambientales y Socioculturales del Desarrollo, de la Coordinación de Desarrollo Regional

Autora para correspondencia: Beatriz Olivia Camarena Gómez, E-mail: betica@ciad.mx

Resumen

Introducción: Evaluar el funcionamiento ambiental de un sistema o proceso remite al concepto de rendimiento ambiental, entendido éste como una herramienta que, a través de indicadores alusivos a procesos internos del sistema en observación, provee información para determinar su estado.

Método: El interés de este artículo es evaluar el rendimiento ambiental del sistema privado de movilidad urbana (SPMU), en Hermosillo, Sonora, México, durante el período del 2005 al 2015, a través del Índice de Rendimiento Ambiental (IRA) conformado por tres indicadores de condición ambiental (ECI's): energético, económico y ecológico. Para el análisis se retoma el enfoque eco-integrador que emana de la economía ecológica.

Resultados: Los resultados muestran un IRA con variación negativa no obstante el comportamiento decreciente del índice energético, de las emisiones de carbono a la atmósfera e, inicialmente, del índice económico.

Discusión o Conclusión: El análisis permite concluir que variables exógenas al SPMU, de tipo contextual y de alto impacto en el costo energético, fueron las principales determinantes del comportamiento negativo del Índice de Rendimiento Ambiental.

Palabras clave: rendimiento ambiental; economía ecológica; enfoque ecointegrador; sistema privado de movilidad urbana; costo energético; variables exógenas; emisiones; carbono; atmósfera

Abstract

Introduction: To evaluate the environmental functioning of a system or process refers to the concept environmental performance, understood as a tool that, through indicators alluding to internal processes of the system under/in observation, provides information to determine its status.

Method: The interest of this article, is to evaluate the environmental performance of the private urban mobility system (PUMS), in Hermosillo, Sonora, Mexico, during the period from 2005 to 2015 through the Environmental Performance Index (EPI) made up of three environmental condition indicators (ECI's): energetic, economic and ecological. For the analysis the eco-integrator approach that emanates from the ecological economy is retaken.

Results: The results showed an Environmental Performance Index with negative variation despite the decreasing behavior of the energy consumption, carbon emissions into the atmosphere and the economic index.

Discussion or Conclusion: It is concluded that have been some exogenous variables, as contextual and high impact on energy variables which determined the negative behavior of the Environmental Performance Index.

Keywords: environmental performance; ecological economy; eco-integrator approach; private urban mobility system; energy cost; exogenous variables; emissions; carbon; atmosphere

Recepción: 20-01-2020

Aceptación 27-01-2020

Introducción

El crecimiento demográfico presentado en México en las últimas décadas se asocia con procesos migratorios de población que transita de zonas rurales a zonas urbanas, lo cual ha incrementado la demanda de recursos de todo tipo, entre ellos los energéticos destinados en gran parte a actividades de movilidad urbana. En el caso de Hermosillo, ciudad capital del estado de Sonora, concentra más de 70% de la población de la entidad (INEGI, 2016), e igual, presenta gran demanda de recursos energéticos para movilidad urbana (SENER, 2017) así como un crecimiento de las emisiones de carbono a la atmósfera.

Si bien son varias las herramientas utilizadas para estudiar el rendimiento ambiental de los sistemas de movilidad urbana, sus resultados tienden a ser limitados por ciertas imprecisiones en el manejo del concepto medio ambiente que utilizan y, por ende, los planteamientos metodológicos que de éste derivan (Soria-Lara y Valenzuela, 2014; Hongwei, Yang, Qingyuan y Junfei, 2017). En los estudios es poco clara la distinción que hacen entre ecosistema y medio ambiente y éste se asume, generalmente, sólo como un sistema aparte del sistema social. Para tratar de subsanar tales limitaciones, en este trabajo se utiliza el concepto de medio ambiente humano, el cual se concibe como el sistema social que, al igual que otros sistemas, es parte del medio ambiente (climático-atmosférico, ecosistema, entre otros), vinculados todos entre sí a través de flujos constantes de intercambio energético.

El objetivo del estudio es evaluar el rendimiento ambiental del Sistema Privado de Movilidad Urbana (SPMU), mediante tres indicadores de condición ambiental: índice de rendimiento económico (IR Económico), índice de rendimiento ecológico (IR Ecológico) e índice de rendimiento energético (IR Energéticos), sintetizados en el índice de rendimiento ambiental (IRA), utilizando la perspectiva analítica del enfoque ecointegrador que deriva de la economía ecológica (Naredo, 2003).

La investigación se centra en el SPMU del municipio de Hermosillo, Sonora, del 2005 al 2015, sobre el cual se hizo un análisis de tipo input-output, para determinar el rendimiento ambiental a partir de los ingresos y las pérdidas netas de energía y materia. El proceso metodológico utilizado parte del pensamiento lógico inductivo, se trata de una investigación de

carácter aplicativo y de corte transversal, en la cual se utilizan variables numéricas de razón. El estudio inicia por conocer el balance de materia y energía, para evidenciar el calor requerido (Q1) necesario en la operación in situ del parque vehicular, así como el requerido para generar la renta que permite adquirir bienes y servicios (gasolinas y automóviles) además del calor que se pierde (Q2) en cada una de las operaciones unitarias del sistema. Después, se estima la cantidad de carbono (CC1) que ingresó al sistema de transporte a través de los usuarios del SPMU, así como la cantidad de carbono que se transfirió a los no usuarios del sistema (CC2). Los resultados del estudio se describen por indicador y para el IRA en general, seguido de una interpretación analítica que aborda la complejidad de los procesos involucrados en el IRA desde la perspectiva del enfoque ecointegrador para esbozar, posteriormente, algunas recomendaciones para la posible mejora del SPMU del municipio de Hermosillo, Sonora, México.

Descripción Territorial y Contextual de Hermosillo, Sonora

Las condiciones ambientales del municipio de Hermosillo se han complejizado debido al incremento demográfico y diversas actividades económicas que se han potenciado en la región al constituirse en un punto estratégico para la entrada y salida de bienes y servicios a México y/o Estados Unidos. Hermosillo es la capital administrativa del estado de Sonora, México, localizado al Noroeste de la entidad, ocupa más del 8% de su superficie territorial y forma parte del corredor internacional CANAMEX por estar a 270km de la frontera con Estados Unidos de América (IMPLAN, 2018). Su ubicación geográfica le ha permitido desarrollar una amplia gama de actividades económicas que van desde la industria y el comercio en su área urbana hasta las actividades primarias (agricultura, ganadería, pesca y minería) en zonas rurales o periurbanas. Tal desarrollo económico se ha visto acompañado por un crecimiento horizontal de la mancha urbana, incidiendo ello en una mayor demanda de recursos, entre los que destacan los de tipo energético para transporte humano.

Datos oficiales refieren que cerca del 45% de las familias de Sonora cuentan, en promedio, con un vehículo privado (INEGI, 2017) cuya ocupación en zonas urbanas es de 1.2

personas por unidad (FIMEVIC, n.d.), una persona por vehículo para fines prácticos. El 55% de la población restante tiene entonces la necesidad de realizar sus actividades de traslado utilizando otros medios de transporte, regularmente los colectivos. El detalle es que el municipio de Hermosillo sólo registra 19 rutas de transporte colectivo (Aplicación Digital UNE TRANSPORTE URBANO, junio 13, 2019), en las cuales operan 200 unidades en total (Big Bang Dev, 2019); cuando otras ciudades del noroeste del país, con características demográficas y administrativas similares, como son Culiacán, Sinaloa y Mexicali, Baja California (véase Fig. 1), presentan más rutas y unidades (Gobierno del Estado de Sinaloa, 2016; y Gobierno del Estado de Baja California, 2015) (véase Fig. 2)

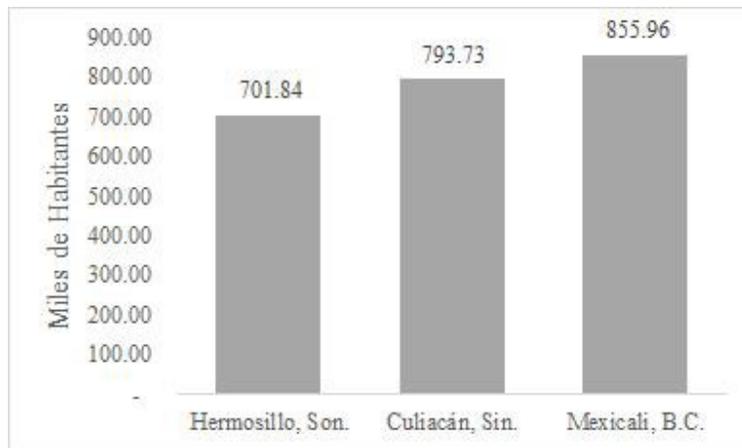


Fig. 1. Población de los municipios de Hermosillo, Mexicali y Culiacán en 2005.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2019.

Fig. 1. Population of the municipalities of Hermosillo, Mexicali and Culiacán in 2005. **Source:** Own elaboration with data from INEGI, 2019.

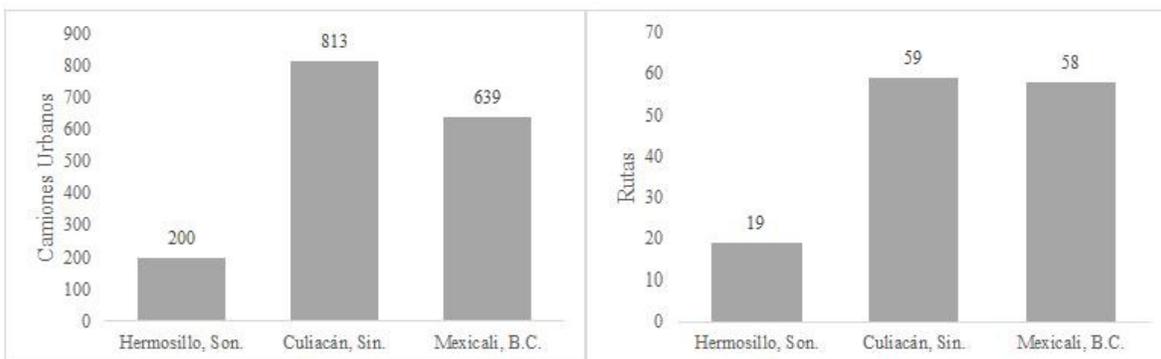


Fig. 2. Rutas de camiones urbanos y Número de camiones urbanos en operación en Culiacán, Mexicali y Hermosillo, en 2015, 2016 y 2019.

Fuente: Elaboración propia con información del Portal de Transparencia del Gobierno del Estado de Sinaloa (Gobierno del Estado de Sinaloa, 2016), el portal de

Transparencia del gobierno del estado de Baja California (Gobierno del Estado de Baja California, 2015) y UNE Transporte Público.

Fig. 2. Urban truck routes and Number of urban trucks in operation in Culiacan, Mexicali and Hermosillo, in 2015, 2016 and 2019.

Source: Own elaboration with information from the Transparency Portal of the Government of the State of Sinaloa (Government of the State of Sinaloa, 2016), the Transparency portal of the government of the State of Baja California (Government of the State of Baja California, 2015) and UNE Public Transport.

Pareciera que el crecimiento urbano junto con el clima y limitado sistema de transporte colectivo en la ciudad de Hermosillo, han provocado el incremento del parque vehicular privado, así como un mayor consumo/gasto de energía para satisfacer la demanda de transporte. Cifras oficiales para el periodo 2005-2015 (SENER, 2017), refieren un aumento de las ventas de combustibles utilizados en el SPMU en el municipio de Hermosillo y la consecuente variación con tendencia positiva en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a fuentes móviles (véase Fig. 3). El incremento en el consumo energético se atribuye al mayor flujo de transporte de personas, pero también al incremento del parque vehicular suscitado para satisfacer la demanda de transporte, como reflejan los datos publicados respecto del número de automóviles circulantes registrados de manera formal en el período (INEGI, 2017): aumentaron con una tendencia similar a la del consumo de energía, al igual que las emisiones de GEI (véase Fig. 4).

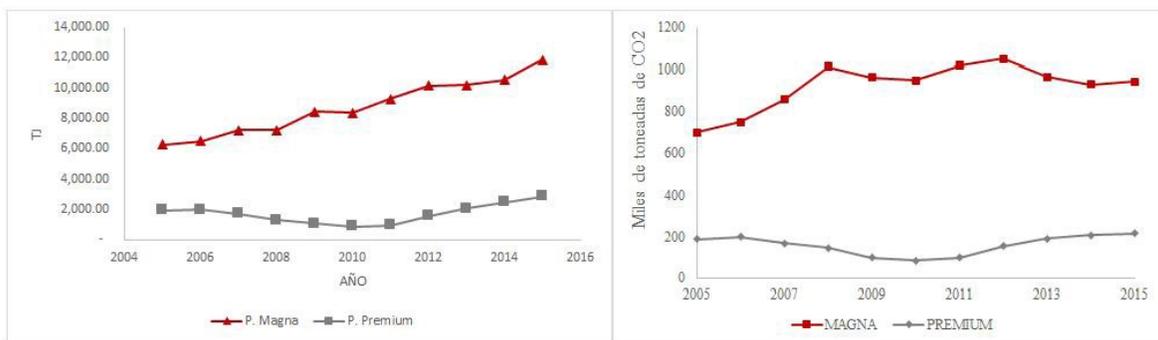


Fig. 3. Variación en el consumo de combustibles, Pemex Magna, Premium, y variación en las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la quema de gasolina P. Magna y P. Premium en fuentes móviles (Automóviles) en Hermosillo, Sonora. 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con base en cifras del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2017) y las directrices del IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales de GEI.

Fig. 3. Variation in fuel consumption, Pemex Magna, Premium, and variation in carbon dioxide emissions from the burning of P. Magna and P. Premium gasoline in mobile sources (Automobiles) in Hermosillo, Sonora. 2005-2015.

Source: Own elaboration, based on figures from the Energy Information System of the Ministry of Energy (SENER, 2017) and the 2006 IPCC guidelines for the preparation of national GHG inventories.

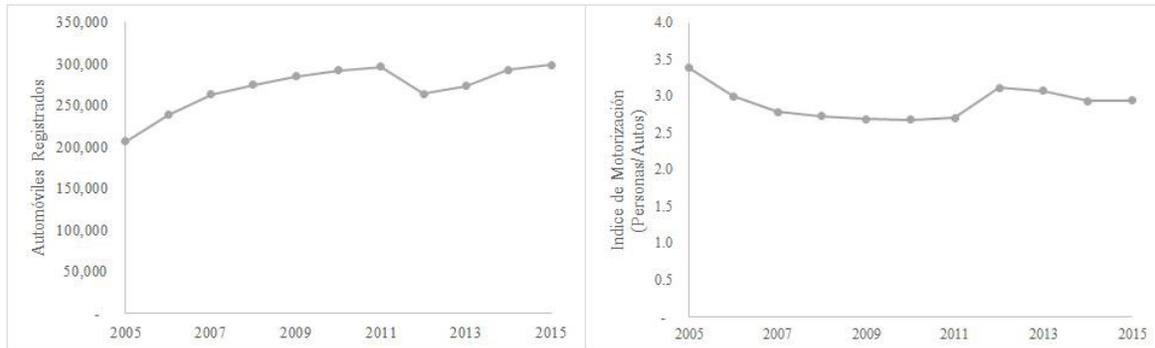


Fig. 4. Autos registrados e Índice de motorización (número de habitantes por vehículos registrados) en Hermosillo, Sonora. 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con información del Sistema Municipal de Bases de Datos (INEGI, 2016).

Fig. 4. Registered cars and Motorization index (number of inhabitants per registered vehicles) in Hermosillo, Sonora. 2005-2015.

Source: Own elaboration with information from the Municipal Database System (INEGI, 2016).

Eficiencia y Rendimiento SPMU

En física, el término eficiencia se entiende como la relación entre la energía invertida y la aprovechada en un sistema (Incropera, Dewitt, Bergman y Lavine, 1993), por tanto, un sistema será de alta eficiencia cuando ocupe un gran porcentaje de la energía que se le suministra; mientras que rendimiento refiere a la calidad y la cantidad de trabajo obtenido por unidad de energía suministrada en un sistema cualquiera (Moran y Shapiro, 2004). Ambos conceptos incluyen la cantidad de energía que no es aprovechada pero el segundo, rendimiento, es más amplio porque integra resultados generados por el aprovechamiento de la energía.

Ahora bien, desde la óptica analítica de la economía ecológica y la concepción de medio ambiente humano retomada en este trabajo, evaluar la eficiencia de un sistema lleva a medir

primero el grado de aprovechamiento de la energía disponible en el medio; y para evaluar el rendimiento habrá que determinar la calidad y la cantidad de trabajo del sistema una vez aprovechada la energía. Por tanto, habrá que analizar las externalidades positivas y negativas del sistema en cuestión.

La eficiencia del sistema transporte de automóviles ha mejorado en los últimos años, al menos en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (véase Fig. 5). El desarrollo tecnológico a nivel mecánico y mejor diseño aerodinámico de los automóviles ha permitido reducir el consumo energético (IPCC 2014).

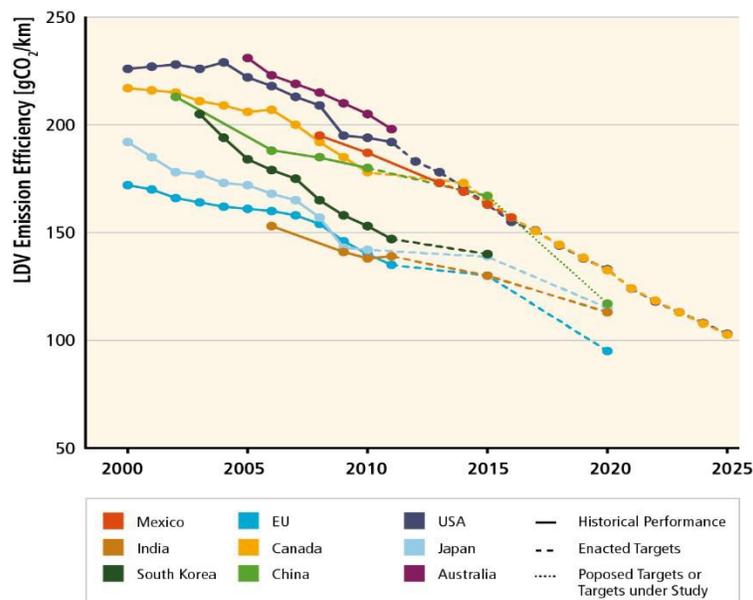


Fig. 5. Eficiencia de emisiones [Gramos de dióxido de carbono por kilómetro recorrido, gCO₂/km del transporte en países de la OCDE. Copyright IPCC, 2014.

Fig. 5. Efficiency of emissions [Grams of carbon dioxide per kilometer traveled, gCO₂ / km of transport in OECD countries. Copyright IPCC, 2014.

México no ha sido la excepción en tales procesos de mejora del sistema automotriz, su eficiencia en las emisiones ha mejorado e incluso se espera que mejore en poco más del 70% para el año 2050 (IPCC 2014). En Hermosillo, estudios locales refieren que la eficiencia en las emisiones ha mantenido la misma tendencia en referencia al rendimiento (véase Fig. 6).

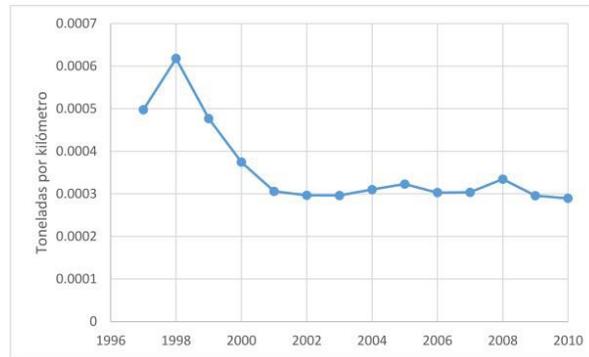


Fig. 6. Eficiencia de emisiones (Toneladas de Carbono por kilómetro recorrido, TCO₂/km) de los automóviles registrados en Hermosillo, Sonora. 1995-2010.

Recuperado de: Estimación de Indicadores Económicos y Ambientales del Sector Transporte Terrestre Privado de una Localidad Urbana (Hernández, 2014).

Fig. 6. Efficiency of emissions (Tons of Carbon per kilometer traveled, TCO₂ / km) of cars registered in Hermosillo, Sonora. 1995-2010.

Recovered from: Estimation of Economic and Environmental Indicators of the Private Land Transportation Sector of an Urban Locality (Hernández, 2014).

Algunas aproximaciones analíticas han evaluado el rendimiento ambiental de los sistemas de transporte a partir de los costos de contingencia de las externalidades tanto negativas como positivas del sistema (Soria-Lara y Valenzuela-Montes, 2015); en otras, se ha medido el rendimiento de dos sistemas de transporte terrestre (carretero y ferroviario) utilizando como variable de entrada la energía consumida y como variable de salida el dióxido de carbono generado y la cantidad de kilómetros recorridos por persona (Hongwei, Yang, Qingyuan y Junfei, 2017). Los autores citados realizaron el estudio en provincias de China y para estimar la energía consumida, en el caso del transporte ferroviario, se consideró la distancia de la vía férrea y el número de locomotoras; y en el transporte carretero, el número de automóviles, personas transportadas y kilómetros recorridos. Los dos estudios citados manejan de manera ambigua los conceptos de ecosistema y medio ambiente, asumen el segundo como un sistema aparte del sistema social, y tampoco es clara la diferenciación que hacen entre eficiencia y rendimiento.

Y es por esto que, desde la óptica de la economía ecológica e interiorizando los fundamentes de la ecología y la termodinámica al sistema en observación, hablar de rendimiento ambiental implica trasladar el enfoque de rendimiento hacia un análisis de interrelación entre sistemas, a partir de una serie de indicadores, lo cual implica considerar la relación entre sistemas, pero también el estado de cada uno. De tal manera que, de un esquema conceptual que describe solo algunas de las relaciones dadas entre los sistemas embebidos en el sistema

económico y el sistema climático atmosférico, tomando como factor determinante el sistema de transporte (véase Fig. 7); se propone un método para evaluar el rendimiento ambiental del sistema de transporte, a partir de sus relaciones con otros sistemas y el estado del mismo, descrito mediante un balance de materia y energía (véase Fig. 8).

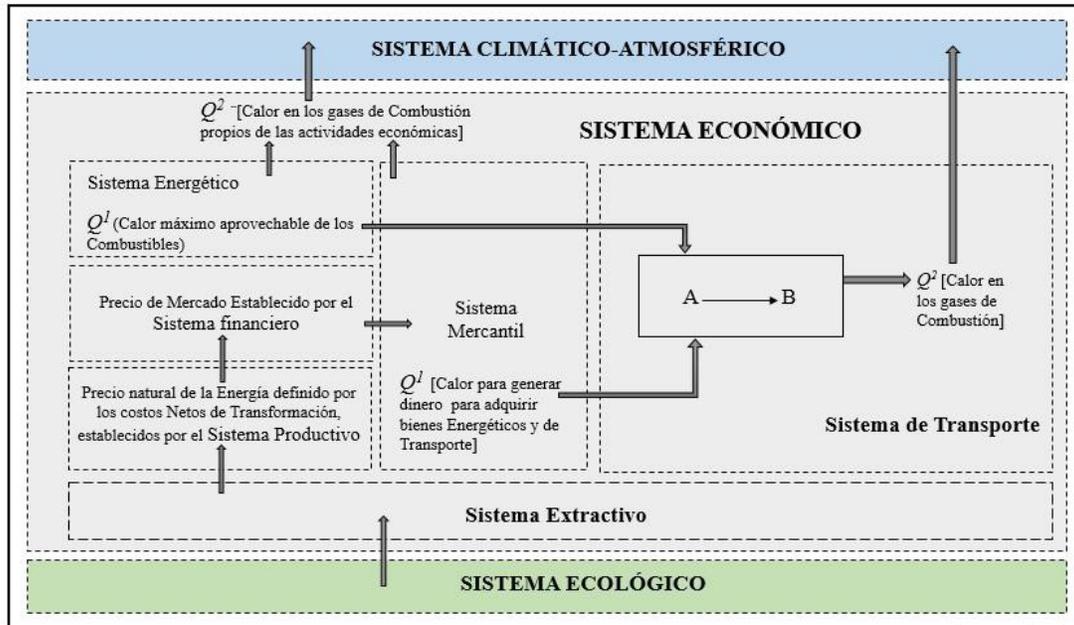


Fig. 7. Relación de los sistemas embebidos en el sistema económico, el sistema climático-atmosférico y el ecosistema.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 7. Relationship of the systems embedded in the economic system, the climate-atmospheric system and the ecosystem.

Source: Own elaboration.

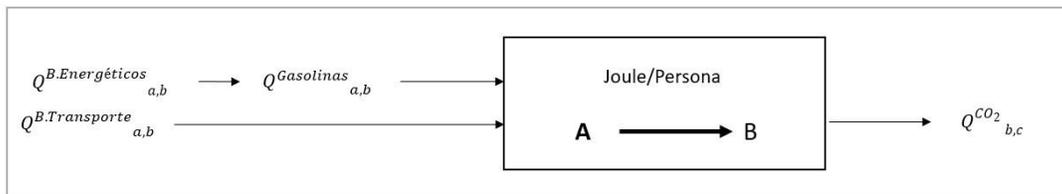


Fig. 8. Esquema metodológico para el balance de materia y energía del SPMU en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8. Methodological scheme for the balance of matter and energy of the PUMS in Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

Método

El objetivo general del estudio es estimar el rendimiento ambiental del Sistema Privado de Movilidad Urbana (SPMU) en Hermosillo, Sonora, México, del año 2005 al año 2015, el cual se desagrega en tres objetivos específicos: 1) Determinar la cantidad de energía requerida por el sistema privado de movilidad urbana (Q1); 2) Estimar las pérdidas de energía del sistema privado de movilidad urbana (Q2); y 3) Evaluar el costo económico de la energía de cada uno de los años a estudiar (P1 y P2), además de evaluar los flujos de materia (CC1 y CC2) y energía en el sistema (REnergético, REconómico y REcológico). El supuesto hipotético es que “el Rendimiento Ambiental del SPMU es dado por el cambio de energía en el sistema y el costo de las externalidades”. Por lo tanto, se entiende que el comportamiento del Índice al respecto (IRA) es determinado por el costo energético asociado a las emisiones de carbono.

Para dar cumplimiento al objetivo específico 1, (Determinar la cantidad de energía requerida por el sistema privado de movilidad urbana) se parte de la Ecuación 1, que describe la sumatoria del calor (Q) máximo aprovechable de la gasolina¹ y el calor necesario para generar el dinero para adquirir bienes energéticos (Gasolinas) y de transporte (Automóviles)². Y se presenta de manera expandida en la Ecuación 2.

¹ PCN (Poder Calorífico Neto): Es la cantidad de calor que se produce en una combustión, excluyendo el calor no recuperable (SENER, 2018)

NCP (Net Calorific Power): It is the amount of heat produced in a combustion, excluding non-recoverable heat (SENER, 2018)

² Con calor necesario para adquirir bienes de energéticos y de transporte, nos referimos a la energía que un consumidor promedio produce o transforma, en sus actividades cotidianas y que le representan una remuneración, la cual se emplea en la adquisición de dichos bienes. En este caso se toma como valor la cantidad de energía eléctrica que se puede adquirir en el mercado nacional, generada en fuentes fijas de jurisdicción federal propiedad de la Comisión Federal de Electricidad, por una unidad monetaria (\$1.00 MXN)

With the necessary heat to acquire energy and transport goods, we refer to the energy that an average consumer produces or transforms, in their daily activities and that represents a remuneration, which is used in the acquisition of said goods. In this case, the amount of electrical energy that can be acquired in the national market, generated in fixed sources of federal

$$Q^1 = Q^{Gasolinas} + Q^{B.Transporte/B.Energéticos}$$

Ecuación 1. Ecuación para determinar el calor que se suministra al SPMU.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 1. Equation to determine the heat supplied to the SPMU.

Source: Own elaboration.

$$Q^1 = \left[\frac{\left[\frac{\text{Litros}_{a,b}}{158.9} \right] * PCN_b}{1,000,000} \right] + \sum_{B.Energéticos}^{B.Transporte} \frac{(B.C_{a,b} * C.A_{a,b}) * KJ/\$^{F.F.}_b}{1000}$$

Ecuación 2. Ecuación expandida para determinar el calor que se suministra al SPMU.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 2. Expanded equation to determine the heat supplied to the SPMU.

Source: Own elaboration.

Donde:

Q^1	= Calor suministrado al SPMU (MJ)
Litros _{a,b}	= Litros de combustible vendidos, por tipo de combustible y año
PCN _b	= Poder Calorífico Neto, por año (MJ/vol. Combustible)
BC _{a,b}	= Bienes de consumo (Litros de gasolina o Número de Autos), por año.
C.A. _{a,b}	= Costo anual de bienes energéticos o de transporte (\$)
$KJ/\$^{F.F.}_b$	= Volumen de energía que se puede adquirir por un peso, en forma de energía eléctrica o calor proveniente de fuentes fijas (MJ).
A	= tipo de combustible (p. ej., gasolina P. Magna o P. Premium)
B	= Año

Para el cumplimiento del objetivo específico 2 (Estimar las pérdidas de energía del sistema privado de movilidad urbana) se empleó la Ecuación 3, para estimar las pérdidas de calor disipadas en los gases de combustión derivadas de la transformación de energía química (combustión) en energía mecánica y eléctrica³.

jurisdiction owned by the Federal Electricity Commission, for a monetary unit (\$ 1.00 MXN) is taken as value

³ Para calcular la energía disipada en forma de calor contenido en el dióxido de carbono, se tomó en la temperatura media de cada año a analizar del municipio de Hermosillo, reportado por (INEGI, 2015) en el caso de fuentes móviles; mientras que para fuentes fijas se tomó en cuenta la temperatura media nacional proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2019).

$$Q^{CO_2}_{b,c} = \frac{\left(\frac{Emisión_{b,c}}{44g/mol}\right) * (C_P^0 CO_2^{T.M.^{\circ}C} * (T_2 - T_1))}{1000}$$

Ecuación 3. Ecuación para determinar la energía que el sistema sede al medio en forma de dióxido de carbono con valores de capacidad calorífica a la temperatura media donde se hizo la emisión y presión constante.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 3. Equation to determine the energy that the system headquarters to the medium in the form of carbon dioxide with heat capacity values at the average temperature where the emission and constant pressure was made.

Source: Own elaboration.

Donde:

$Q^{CO_2}_{b,c}$	= Energía contenida en el dióxido de carbono generado por año y origen de la emisión (MJ)
Emisión _{b,c}	= Emisiones de dióxido de carbono por año y origen de la emisión (g)
$C_P^0 CO_2^{25^{\circ}C}$	= Capacidad calorífica a presión constante del dióxido de carbono a la temperatura media de la región donde se generó la emisión(J/mol*K)
T_1	= Temperatura Inicial
T_2	= Temperatura final
b	= Año
c	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)
44g/mol	= Peso molecular del dióxido de carbono

Finalmente, para cumplir el objetivo específico número 3 (Evaluar el costo económico de la energía de cada uno de los años a estudiar y los flujos de materia y energía en el sistema), se estimó como valor de P^1 la sumatoria del gasto monetario para adquirir bienes energéticos y de transporte en un año determinado; seguidamente se asignó un precio a las pérdidas de energía (P^2) disipada a la atmósfera por tipo de fuente, para lo cual se planteó la Ecuación 4.

Posteriormente, se obtuvieron los datos de C_P^0 (Capacidad calorífica) para cada una de las temperaturas medias de (Incropera *et al.*, 1993)

To calculate the energy dissipated in the form of heat contained in carbon dioxide, it was taken at the average temperature of each year to be analyzed in the municipality of Hermosillo, reported by (INEGI, 2015) in the case of mobile sources; while for fixed sources the national average temperature provided by the National Water Commission (CAN, 2019) was taken into account. Subsequently, the $CP0$ (Heat Capacity) data were obtained for each of the average temperatures of (Incropera *et al.*, 1993)

$$P^2_{b,c} = \frac{Q^{CO_2}_{b,c}}{KJ/\F_b$

Ecuación 4. Ecuación para estimar el valor económico de las pérdidas de energía disipada a la atmósfera basado en el volumen de energía que se pudo adquirir con \$1.00 por su forma, del año correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 4. Equation to estimate the economic value of energy losses dissipated to the atmosphere based on the volume of energy that could be acquired with \$ 1.00 for its form, of the corresponding year.

Source: Own elaboration.

Donde:

$P^2_{b,c}$	= Precio estimado de las pérdidas de energía disipada a la atmósfera por origen de la emisión y año (\$)
$ECO_{2,b,c}$	= Energía contenida en el dióxido de carbono generado por año y origen de la emisión (MJ)
$KJ/\F_b	= Volumen de energía que se puede adquirir por un peso, en forma de energía eléctrica o calor proveniente de fuentes fijas o energía en forma de gasolina para el uso del automóvil
B	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)
F	= Forma de la energía (p. ej. Energía eléctrica o calor, gasolinas)

El valor de CC^1 se estimó tomando en cuenta la proporción de energéticos empleados para producir energía en fuentes fijas (centrales eléctricas) propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por tipo de combustible (SENER, 2019a), energía necesaria para adquirir bienes energéticos y de transporte y los contenidos específicos de carbono por tipo de combustible (INECC, 2014); mientras que el valor de CC^2 se estimó con la Ecuación 5.

$$CC^2_{b,c} = \left(12 * \sum_{a,b} CO_{2,b,c} / 44 \right)$$

Ecuación 5. Ecuación para estimar el contenido de carbono en las emisiones de Dióxido de carbono por tipo de fuente.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 5. Equation to estimate the carbon content in carbon dioxide emissions by type of source.

Source: Own elaboration.

Donde:

CC2 _{b, c}	= Contenido de carbono en las emisiones de dióxido de carbono por tipo de fuente y año.
CO _{2, b, c}	= Emisiones de dióxido de carbono, por tipo de fuente y año (kg)
44/12	= Relación carbono-oxígeno en la molécula de dióxido de carbono.
b	= Año
c	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

Por último, de acuerdo con lo establecido en el tercer objetivo específico, se estimaron el Rendimiento Energético, Económico y Ecológico, derivado del balance de materia y energía del SPMU, a partir de las Ecuaciones 6,7 y 8.

$$R_{energético} = (100) - \frac{(\sum Q_{b,c}^2) * 100}{\sum Q_{a,b}^1}$$

Ecuación 6. Ecuación para determinar el rendimiento energético del sistema de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 6. Equation to determine the energy efficiency of the transport system.

Source: Own elaboration.

Donde:

R _{energético}	= Rendimiento energético del sistema (%)
$\sum Q_{b,c}^2$	= Sumatoria de la energía contenida en el dióxido de carbono generado por año y origen de la emisión (p. ej. Q ² (Gasolinas) Q ² (B.Energéticos) Q ² (B.Transporte)) (MJ)
$\sum Q_{a,b}^1$	= Sumatoria de la energía que se produjo para generar el dinero necesario para adquirir bienes de transporte (Q ^{B.Transporte}) bienes energéticos (Q ^{B.Energéticos}) y la energía contenida en la gasolina (Q ^{Gasolinas}) por tipo de combustible
a	= Tipo de combustible (p. ej. P. Magna o P. Premium)
b	= Año
c	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

$$R_{económico} = \frac{(P^2_{b,c}) * 100}{\sum P^1_{b,c}}$$

Ecuación 7. Ecuación para estimar el rendimiento económico del sistema de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 7. Equation to estimate the economic performance of the transport system.

Source: Own elaboration.

Donde:

$R_{\text{económico}}$	= Rendimiento económico del sistema (%)
$p_{\text{CO}_2}^{b, c}$	= Precio estimado de las emisiones de CO2 por origen de la emisión y año (\$)
$p_{\text{B. Transporte}}^b$	= Cantidad de dinero que se requirió para adquirir los vehículos del año que se evalúa
$p_{\text{B. Energéticos}}^b$	= Cantidad de dinero que se requirió para adquirir la gasolina de año que se evalúa
b	= Año
c	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

$$R_{\text{ecológico}} = \frac{\sum_{a,b} CC^1}{\text{No. de Autos}_b} / \frac{\sum_{a,b} CC^2}{\text{No. de Habitantes}_b}$$

Ecuación 8. Ecuación para estimar el rendimiento ecológico del sistema de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 8. Equation to estimate the ecological performance of the transport system.

Source: Own Elaboration.

Donde:

$R_{\text{ecológico}}$	= Rendimiento ecológico del sistema ($CC^1 * \text{Automóvil}^{-1} / CC^2 * \text{Persona}^{-1}$)
$\sum_{a,b} CC^1$	= Volumen de carbono que se adquiere mediante bienes de energéticos, de transporte y el contenido en las gasolinas para el uso del automóvil (kg)
$\sum_{a,b} CC^2$	= Contenido de carbono de las emisiones de cada una de las variables en el sistema (Bienes energéticos, de transporte y gasolinas)
No. Habitantes	= Población total en la localidad a evaluar
No. Autos	= Cantidad de automóviles registrados en la localidad y el año a evaluar
a	= Tipo de combustible (p. ej. Gasolina P. Magna o P. Premium)
b	= Año
C	= Origen de la emisión o de la energía (p. ej. Emisiones o energía provenientes de la quema de combustible para adquirir bienes energéticos o de transporte, emisiones provenientes de la quema de combustible para el transporte terrestre)

Índice de Rendimiento Ambiental (IRA)

El valor del rendimiento ambiental se estima a través de un indicador sintético que va de 0 a 1, donde cuanto más cercano sea el valor obtenido a 0 menor será el rendimiento, y viceversa, mientras más cercano sea a 1 mayor será el rendimiento (tal metodología se presenta de manera ampliada en la Fig. 9).

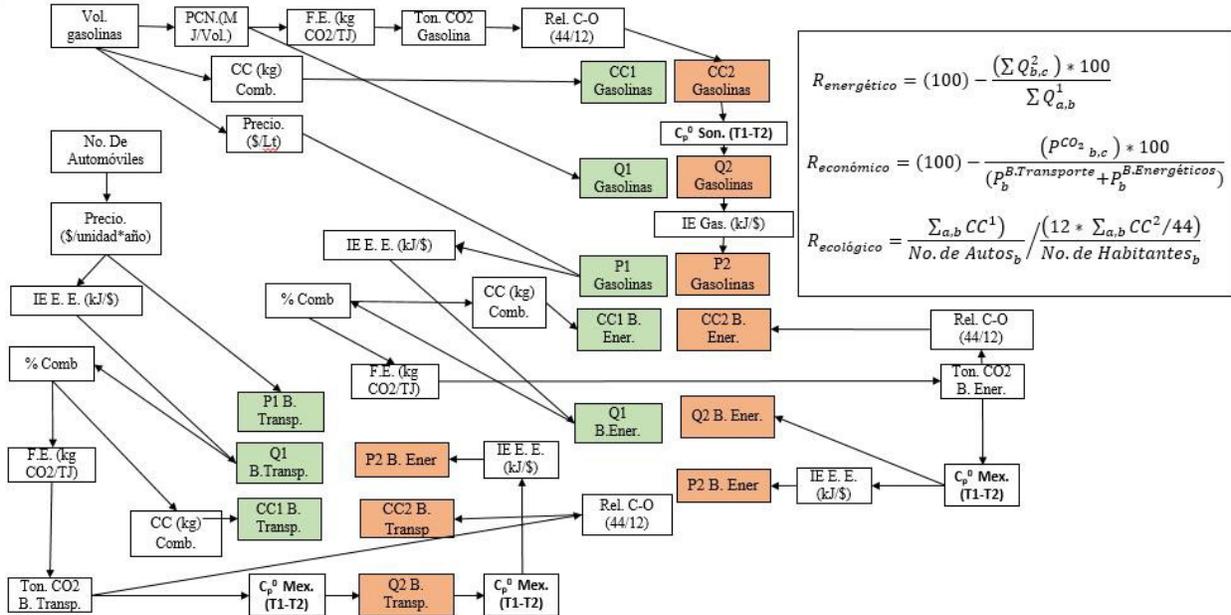


Fig. 9. Esquema metodológico ampliado para la construcción del IRA del SPMU de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 9. Extended methodological scheme for the construction of the IRA of the SPMU of Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

El IRA se estima sumando el valor de los tres índices que lo conforman: el índice de rendimiento energético ($IR^{Energético}$), el índice de rendimiento económico ($IR^{Económico}$) y el índice de rendimiento ecológico ($IR^{Ecológico}$) (véase Ecuación 9). Por tanto, previo a estimar el IRA, es necesario estimar el índice de rendimiento correspondiente a cada uno de las variables (energético, económico y ecológico).

$$IR^{Ambiental} = \frac{1}{3} IR^{Energético} + \frac{1}{3} IR^{Económico} + \frac{1}{3} IR^{Ecológico}$$

Ecuación 9. Ecuación para estimar el índice de rendimiento ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 9. Equation to estimate the environmental performance index.

Source: Own elaboration.

Para estimar el índice de rendimiento energético IR energético, se toma como valor máximo ($R^{\text{energético Max}}$) un porcentaje de rendimiento del 90% ya que de acuerdo con las leyes de la termodinámica (2da ley) no existe un proceso con eficiencia perfecta, es decir, siempre existirán pérdidas de energía o energía no aprovechable de baja calidad (Incropera *et al.*, 1993). Por otro lado, como valor mínimo ($R^{\text{energético Min}}$) se toma un porcentaje del 10%. Para determinar el $IR^{\text{energético}}$ se utiliza la Ecuación 10.

$$IR^{\text{Energético}} = \frac{\ln(R^{\text{Energético Real}}) - \ln(R^{\text{Energético. Min}})}{\ln(R^{\text{Energético. Max}}) - \ln(R^{\text{Energético. Min}})}$$

Ecuación 10. Ecuación para estimar el índice de rendimiento energético.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 10. Equation to estimate the energy efficiency index.

Source: Own elaboration.

En el caso del cálculo del IE Económico se toman los mismos valores máximos y mínimos y se estima con base en la Ecuación 11.

$$IR^{\text{Económico}} = \frac{\ln(R^{\text{Económico. Real}}) - \ln(R^{\text{Económico. Min}})}{\ln(R^{\text{Económico. Max}}) - \ln(R^{\text{Económico. Min}})}$$

Ecuación 11. Ecuación para estimar el índice de rendimiento económico.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 11. Equation to estimate the economic performance index.

Source: Own elaboration.

Finalmente, para el $IR^{\text{Ecológico}}$ se toma como valor máximo ($R^{\text{Ecológico Max}}$), el número promedio de capacidad de ocupantes en un vehículo que es de 10^4 y, como valor mínimo ($R^{\text{Ecológico Min}}$) se asigna el valor de 1, que es el número mínimo de ocupantes en un vehículo en funcionamiento. Inicialmente, debido a que la reducción del número de personas a las que se les transfieren emisiones de carbono es positiva, este valor se ajusta a través de la obtención del

⁴ El valor máximo promedio de ocupación se estimó con base en la clasificación de vehículos propuesta por Martínez, (2010) que circulan en el país, donde de cada clasificación se obtuvo en promedio las plazas.

residuo que resulta de la diferencia entre el número máximo de ocupantes en un vehículo y el $R^{Ecológico}$ (véase Ecuación 12).

$$IR^{Ecológico} = \frac{\ln(FC - R^{Ecológico. Real}) - \ln(R^{Ecológico. Min})}{\ln(R^{Ecológico Max.}) - \ln(R^{Ecológico. Min})}$$

Ecuación 12. Ecuación para estimar el índice de rendimiento ecológico.

Fuente: Elaboración propia.

Equation 12. Equation to estimate the ecological performance index.

Source: Own elaboration.

Resultados

Durante el período en estudio, el comportamiento del suministro de energía (Q1) en el SPMU presentó una variación negativa, con una caída significativa el año 2009, y una afectación similar en la variación de las pérdidas de energía (Q2) del sistema (véase Fig. 10).

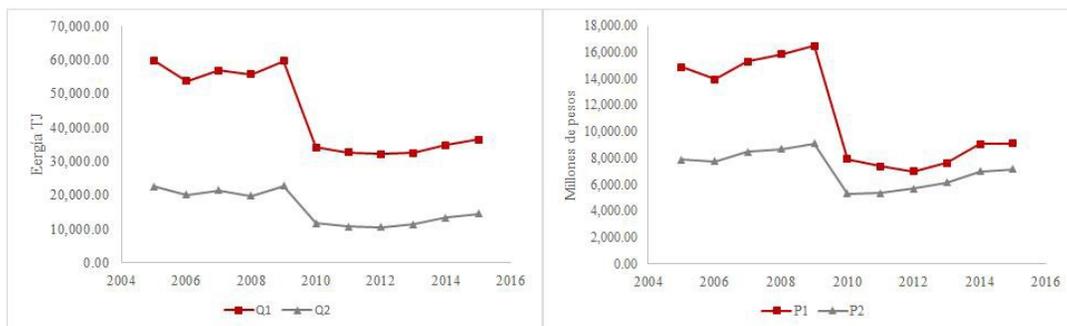


Fig. 10. Calor que se suministra al SPMU vs el calor que pierde en forma de calor disipado en emisiones de dióxido de carbono y dinero que se suministra al SPMU vs Dinero que pierde en forma de calor disipado en emisiones de dióxido de carbono en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 10. Heat that is supplied to the PUMS vs. the heat that it loses in the form of heat dissipated in carbon dioxide emissions and money that is supplied to the PUMS vs. Money that is lost in the form of heat dissipated in carbon dioxide emissions in Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

Tal situación detonó que, de manera paralela, se redujera el gasto en el sistema (P1): bajaran las pérdidas económicas (P2) (véase Fig. 12) e igual, la cantidad de carbono suministrado (CC1) así como el emitido en forma de dióxido de carbono a la atmósfera (CC2), también por vehículo disminuyó la intensidad en el uso del carbono (kg C/automóvil) (véase Fig. 11).

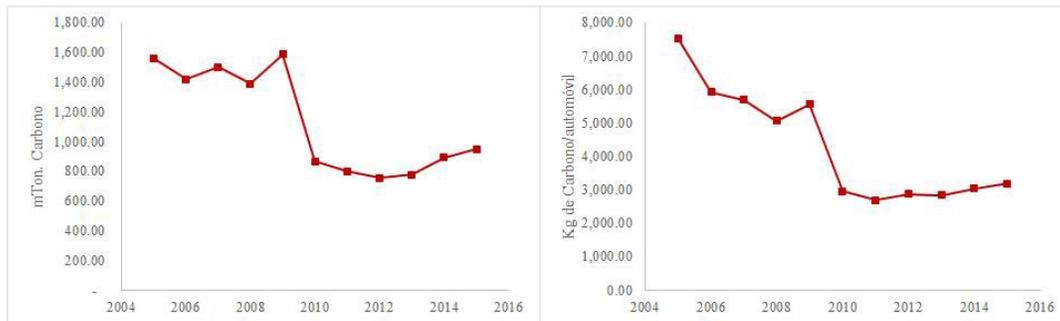


Fig. 11. Carbono que se suministra al SPMU vs Intensidad del uso de carbono por automóvil en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 11. Carbon supplied to the PUMS vs. Intensity of carbon use by car in Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

El rendimiento energético global presentó una tendencia creciente del 2004 al 2008 y del 2010 al 2012, con caídas abruptas del 2008 al 2010 y del 2012 al 2015; comportamiento que fue a la baja en el rendimiento económico durante todo el periodo, sobre todo a partir del 2008 (véase Fig. 12).

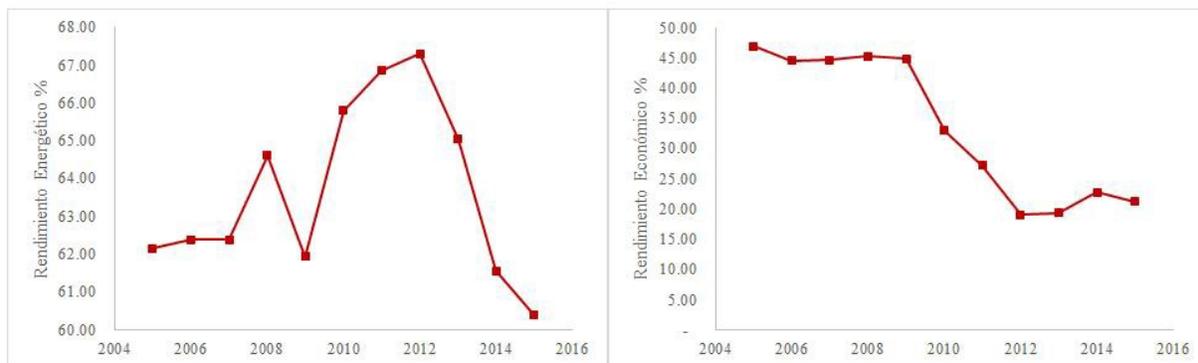


Fig. 12. Rendimiento energético y Económico del SPMU en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 12. Energy and Economic Performance of the PUMS in Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

En el caso del rendimiento ecológico del SPMU, su comportamiento fue significativamente estable en todo el período, con tendencia al alza del 2010 al 2012, situación que obedece al cambio de tipo de combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica en fuentes móviles, particularmente al sustituirse el uso del combustóleo por gas natural (SENER, 2019^a), de manera gradual (véase Fig. 13).

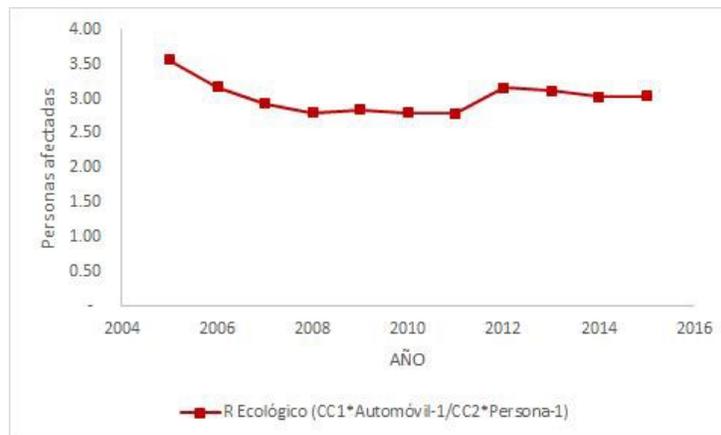


Fig. 13. Rendimiento ecológico (Número de personas no usuarios del SPMU a los que se le transfirieron emisiones de CO2) del SPMU en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 13. Ecological performance (Number of non-users of the PUMS to whom CO2 emissions were transferred) of the SPMU in Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

Finalmente, el rendimiento ambiental, medido a través del IRA, presentó un decremento en el periodo analizado, debido a los decrementos del $IR^{Económico}$ y del $IR^{Energético}$, que presentaron variaciones porcentuales del -51.24% y -1.58% respectivamente, a pesar del incremento en el $IR^{Ecológico}$ del 4.24% (véase cuadro 1) que, cabe destacar, no fue suficiente para propiciar una variación positiva en el IRA (véase Fig. 14).

Cuadro 1. Índices de Rendimiento energético, económico y ecológico del SPMU de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Table 1. Energy, economic and ecological performance indices of the PUMS of Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Año	$Ir^{energético}$	$Ir^{económico}$	$Ir^{Ecológico}$
2005	0.83	0.70	0.81
2006	0.83	0.68	0.83
2007	0.83	0.68	0.85
2008	0.85	0.69	0.86
2009	0.83	0.68	0.85

2010	0.86	0.54	0.86
2011	0.86	0.46	0.86
2012	0.87	0.29	0.84
2013	0.85	0.30	0.84
2014	0.83	0.37	0.84
2015	0.82	0.34	0.84
Media	0.84	0.52	0.84
Desv. Est.	0.02	0.17	0.01
Inc. %			
total	-1.58	-51.24	4.24
Tca	-0.14	-6.32	0.38

Fuente: Elaboración propia.

Source: Own elaboration.

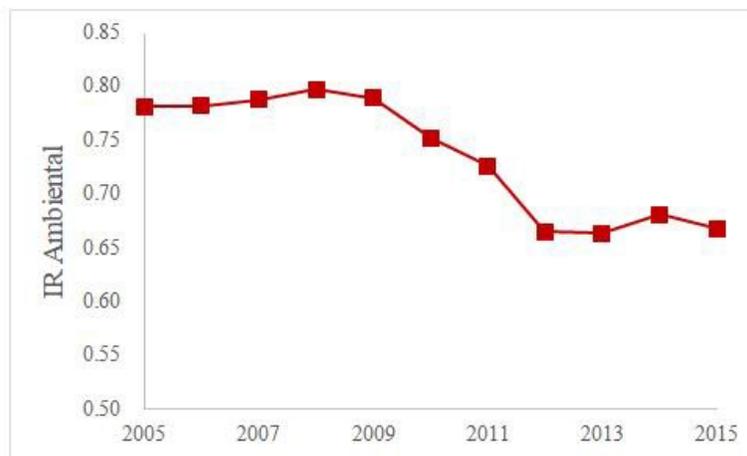


Fig. 14. Rendimiento ambiental del SPMU en Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 14. PUMS environmental performance in Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration.

Discusión

Las estimaciones realizadas dan cuenta de una variación negativa en el crecimiento del suministro de energía (Q^1) en el SPMU, con una caída significativa el año 2009, y una variación similar en pérdidas de energía (Q^2) de dicho sistema. Aparejado a ello se redujo el gasto en el sistema (P^1), es decir, bajaron las pérdidas económicas (P^2) al igual que la cantidad de carbono

suministrado al sistema (CC¹) y el emitido en forma de dióxido de carbono a la atmósfera (CC²) así como la intensidad en el uso del carbono por vehículo (kg C/automóvil).

Explicar tal situación desde el llamado enfoque eco integrador lleva a considerar los factores más determinantes e involucrados en el comportamiento del SPMU. Es decir, cuáles son las razones que explican el decremento presentado por el rendimiento ambiental del 2005 al 2015 del sistema, medido a través del IRA, más cuando los resultados de las estimaciones dan cuenta de un comportamiento favorable del índice de rendimiento ecológico y que éste no fue suficiente para compensar la caída de los índices económicos y energéticos. Al orientar la reflexión por tal proceso de análisis, destacan ciertos factores económicos durante el período en estudio, particularmente su manejo a nivel nacional.

Según el Sistema de Información Energética (2019), la intensidad energética (kJ/Unidad del PIB) del país se redujo en el periodo de análisis debido al alza presentada por el costo de energéticos, ello implicó una reducción en el consumo de combustibles, así como una caída en el gasto monetario destinado a la adquisición de energéticos, lo que a simple vista generó un impacto positivo al reducir las pérdidas monetarias derivadas de las pérdidas energéticas en el sistema. A simple vista esos resultados parecen ser favorables, sin embargo, al considerar las distintas variables involucradas en el sistema se advierte que tal tendencia no fue impulsada por factores endógenos del SPMU. Se advierte entonces que disminuyó la adquisición de nuevos vehículos y de vehículos registrados, y que, además, se presentó un crecimiento asimétrico entre el salario mínimo, el costo real de la energía, el precio al público de los combustibles y el de la energía eléctrica, principalmente.

Datos tomados del Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros y del Sistema Municipal y Estatal de Bases de Datos (INEGI, 2017), dan cuenta que la venta y registro de autos nuevos en Hermosillo y a nivel nacional bajó a partir del 2008 (véase Fig. 15).

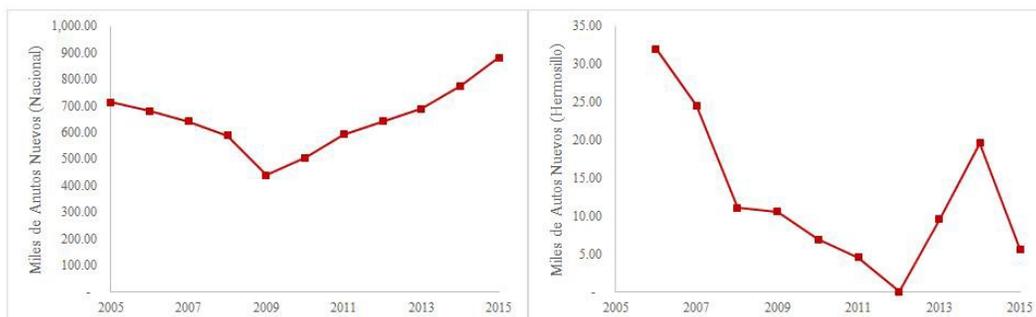


Fig. 15. Venta de autos nuevos en territorio nacional y autos nuevos registrados de manera formal en el municipio de Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros del INEGI, (2018) y el Sistema Municipal y Estatal de Bases de Datos (SIMBAD) del INEGI, (2017).

Fig. 15. Sale of new cars in national territory and new cars formally registered in the municipality of Hermosillo, Sonora, 2005-2015.

Source: Own elaboration with data from the Administrative Registry of the automotive industry of light vehicles of INEGI, (2018) and the Municipal and State System of Databases (SIMBAD) of INEGI, (2017).

También se presentó un crecimiento asimétrico entre el salario mínimo (medida de referencia del ingreso per cápita), y el costo real de la energía (pesos por Mega Joule) según datos referentes al salario mínimo (CONASAMI, 2019) y el precio al público de la energía eléctrica y de los combustibles (SENER, 2019b), donde este último resultó ser, aparentemente, mayor que el incremento anual del salario mínimo, mermando la capacidad de la población para adquirir energía (véase Fig. 16).

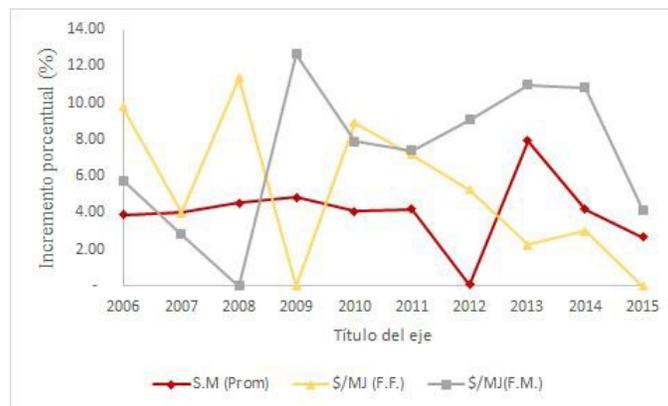


Fig. 16. Variación porcentual anual del Salario mínimo en México, del costo real de la energía para fuentes móviles (automóviles) y de la energía eléctrica (Fuentes fijas), 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos, (2019) y el Sistema de Información Energética de la SENER, (2019).

Fig. 16. Annual percentage variation of the minimum wage in Mexico, of the real cost of energy for mobile sources (automobiles) and electrical energy (Fixed sources), 2005-2015.

Source: Own elaboration, based on data from the National Minimum Wages Commission, (2019) and the SENER Energy Information System, (2019).

Aunado a esto, la reducción en la capacidad económica de la población para adquirir energía implicó que tuviesen que consumir cada vez más energía o transformarla, para poder generar la

cantidad de dinero necesaria para adquirir energía útil en el SPMU, por ende, un mayor volumen de energía disipada al ambiente, lo cual implicó no sólo pérdidas de energía sino también económicas, situación que repercutió directamente en el rendimiento energético y económico global del sistema. En pocas palabras, la reducción del poder adquisitivo y del crecimiento asimétrico entre dicho factor y el costo de la energía y/u otros bienes y servicios, implicó una mayor inversión energética para adquirir cualquier tipo de bien o servicio, particularmente productos energéticos.

Respecto al rendimiento ecológico del SPMU que también mejoró de manera considerable, ello fue porque cambió el tipo de combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica en fuentes móviles: se sustituyó el uso del combustóleo por gas natural (SENER, 2019^a), de manera gradual.

En síntesis, la tendencia que presentó el IRA estuvo marcada por el consumo y transformación de energía para adquirir bienes energéticos y de transporte, siendo principalmente variables de tipo económico las que impactaron directamente en el índice (el costo de la energía en diferentes modalidades y la capacidad para adquirirla). Y según la estructura conceptual de medio ambiente utilizada, el Rendimiento Ecológico tuvo una implicación visiblemente menor que la de los otros dos tipos de rendimiento. Ello fue así porque el costo monetario de los bienes energéticos y de transporte está en función, en parte, de la energía implicada en dichos bienes, mientras que el sistema ecológico y sus variables, se mantienen distantes de la conformación de los costos de la energía y de otros bienes.

Conclusiones

El estudio confirmó que el Rendimiento Ambiental del SPMU es dado por el cambio de energía en el sistema y que el comportamiento del Índice al respecto (IRA) fue significativamente determinado por el costo energético asociado a las emisiones de carbono. Por lo tanto, es posible afirmar que la hipótesis de investigación se cumple a cabalidad ya que una vez que se estimó el cambio energético en el SPMU, derivado del intercambio de energía dentro de las fronteras del

sistema y los sistemas con los que convive, permitió conocer el estado de este y por ende su rendimiento ambiental.

Se considera que el análisis convencional del rendimiento del SPMU, asociado al uso de la energía y de las emisiones de carbono *in situ*, resulta insuficiente para describir el funcionamiento del sistema, particularmente los factores determinantes del rendimiento ambiental. El estudio de caso ha mostrado la necesidad de involucrar al análisis del SPMU variables endógenas que tienen que ver con procesos internos del sistema, pero también, con variables exógenas vinculadas al contexto económico nacional que afectan el salario e ingreso per cápita, la demanda y stock de vehículos en circulación, así como el costo de los combustibles, entre otros.

Importa precisar que durante el transcurso de esta investigación hubo limitantes que fueron subsanadas empleando datos estadísticos correspondientes a mediciones realizadas de manera aproximada en la región, con el fin de obtener datos más cercanos a la realidad, sin embargo, medir el rendimiento ambiental desde la óptica planteada requiere de información más puntual, principalmente datos del sistema de transporte específicos a la región de análisis; esto con el objetivo de reducir la incertidumbre intrínseca a fuentes de información que provienen de bases de datos a escala nacional.

En ese sentido, una limitante del estudio fue el utilizar el salario mínimo como referencia para medir el ingreso per cápita cuando no es del todo suficiente para representar, estadísticamente, el poder adquisitivo de la población; para estudio futuros se sugiere sustituir por el ingreso promedio de la población en la región que se pretende analizar, ello permitiría descripciones más contundentes respecto de la cantidad de energía requerida para generar una renta determinada.

Pero asumir la complejidad del SPMU y orientar el estudio por la perspectiva del enfoque eointegrador permitió incorporar al análisis factores exógenos e incluso considerarlos como determinantes del comportamiento de los índices energético, económico y ecológico. Esta mirada ha permitido transitar de la mera descripción de la condición ambiental del SPMU del municipio de Hermosillo a una interpretación más afín con los propósitos de gestión que justifican, precisamente, los estudios de evaluación del rendimiento ambiental. Por tanto, en materia de gestión y lineamientos de política económica, las acciones a instrumentar para mejorar el rendimiento del SPMU no deben soslayar la repercusión que tienen las variables económicas en

el IRA y lo importante de utilizar en este tipo de estudios enfoques teórico-metodológicos de carácter transdisciplinar que permitan cruzar y revisar de manera simultánea los diversos sistemas que conviven en un medio, sus interacciones, componentes y determinantes. Por lo mismo, y en esta línea de investigación, se recomienda sumar la dimensión territorial en investigaciones futuras, con sus implicaciones teóricas, es decir, abordar el rendimiento ambiental del SPMU desde una visión regional territorial e integradora.

Referencias

- Big Bang Dev. (2019). *UNE Sonora*. Hermosillo, Sonora, México: Gobierno del Estado de Sonora.
- CNA. (2019). *Resúmenes Mensuales de Temperatura y Lluvia*. Retrieved April 4, 2019, from <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- CONASAMI. (2019). *Tabla de Salarios Mínimos Generales y Profesionales por Áreas Geográficas*. <https://doi.org/https://www.gob.mx/conasami/documentos/tabla-de-salarios-minimos-generales-y-profesionales-por-areas-geograficas>
- FIMEVIC. (n.d.). *Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal*. Retrieved May 9, 2018, from <http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm>
- Gobierno del Estado de Baja California. (2015). *Gobierno del Estado de Baja California*. Retrieved June 13, 2019, from http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/mexicali/rutas.jsp
- Gobierno del Estado de Sinaloa. (2016). *Portal de Obligaciones de Transparencia*. Retrieved June 13, 2019, from http://www.transparenciasinaloa.gob.mx/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2134:asyt-direccion-vialidad-y-transportes&Itemid=3050
- Hernández, P. (2014). *Estimación de Indicadores Económicos y Ambientales del Sector Transporte Privado de una Localidad Urbana*. Tesis de Maestría en Desarrollo Regional. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.
- Hongwei, L., Yang, Z., Qingyuan, Z., & Junfei, C. (2017). Environmental efficiency of land transportation in China: A parallel slack-based measure for regional and temporal

- analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 867–876.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.048>
- IMPLAN. (2018). *Programa Municipal de Ordenamiento Territorial de Hermosillo 2018. Hermosillo, Sonora, México*. Retrieved from http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2018/05/PMOT_2018.pdf
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (1993). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.
<https://doi.org/10.1109/TKDE.2004.30>
- INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México*. (Vol. 3). Retrieved from <http://www.inecc.gob.mx>
- INEGI. (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2015*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Retrieved June 24, 2017, from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=26#>
- INEGI. (2017). *SIMBAD*. Retrieved June 4, 2017, from <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (O. Edenhofer, Y. Pichs-Madruga, E. Sokona, S. Farahani, K. Kadner, A. Seyboth, ... J. C. Minx, Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.001>
- Martínez, H. (2010). *Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas: Fase IV. [Medición de emisiones en cinco ciudades y análisis de resultados globales]*. CTS. Ciudad de México. Retrieved from <https://www.ctsmexico.org>
- Morán, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamentos de Termodinámica*. (E. R. S.A., Ed.) (2da Edición).
- Naredo, J. M. (2003). Ciudades y crisis de civilización. *El Ecologista*: 12-15. ISSN 0211-6472, #34.
- SENER. (2017). *Sistema de Información Energética [SIE]*. Retrieved July 21, 2017, from <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=PMXE2C03>

- SENER. (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*. Ciudad de México. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf
- SENER. (2019a). *Consumo por Tipos de Combustibles para la Generación de Electricidad*. <https://doi.org/66c34537-cb3c-488f-a0d0-ee136b5f5845>
- SENER. (2019b). *Sistema de Información Energética*. Retrieved March 12, 2019, from <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IIIBC02>
- Soria-Lara, J. A., & Valenzuela, L. M. (2014). Diseño de un sistema de evaluación del rendimiento ambiental en corredores de movilidad urbana [en línea]. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 9(25), 43–68. <https://doi.org/10.5821/ace.9.25.3620>.
- Soria Lara, J. A., & Valenzuela Montes, L. M. (2015). Dimensiones relevantes para la evaluación ambiental proactiva de la movilidad urbana. *Investigaciones Geográficas*, 87, 5–24. <https://doi.org/10.14350/rig.34416>