

Factores determinantes de las emisiones de CO₂ asociadas al uso de combustibles en el sector industrial de San Luis Potosí

Determinants of CO₂ emissions associated with the use of fuels in the industrial sector of San Luis Potosi



María Teresa Gutiérrez Escajeda^{1*}, Pedro Medellín Milán², Carlos Joel Ábrego Góngora¹

Gutiérrez Escajeda, M. T., Medellín Milán, P., Ábrego Góngora, C. J. Factores determinantes de las emisiones de CO₂ asociadas al uso de combustibles en el sector industrial de San Luis Potosí. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 68: 22-28, mayo-agosto 2016.

RESUMEN

El análisis de la dinámica de los factores determinantes de las emisiones de CO₂ y el efecto que los mismos ejercen sobre la variación de las mismas brinda argumentos útiles para establecer metas de reducción. En este artículo se analizó la identidad de Kaya para identificar los factores que impulsan la variación interanual de las emanaciones de CO₂ originadas por el consumo de combustibles en el sector industrial manufacturero de San Luis Potosí durante el periodo 2000-2012. La indagación determinó que la variación de la intensidad energética y del PIB per cápita y, en menor grado, el de la intensidad de carbonización de la energía, fueron los más contribuyentes en la variación de las emisiones de CO₂ del sector de estudio.

ABSTRACT

The analysis of the dynamics of the determinants of CO₂ emissions and the effect they have on the variation of emissions, provides useful arguments to

Palabras clave: sector manufacturero, dióxido de carbono, factores determinantes, intensidad de carbonización, intensidad energética, PIB per cápita.

Keywords: manufacturing sector, carbon dioxide, determinants, carbonization intensity, energy intensity, per capita GDP.

Recibido: 25 de septiembre de 2014, aceptado: 4 de septiembre de 2015

¹ Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

* Autor para correspondencia: maytte0179@gmail.com

establish appropriate reduction targets. In this article Kaya identity was analyzed to identify the factors driving the yearly variation of CO₂ emissions caused by the consumption of fuels by the manufacturing sector of San Luis Potosi during the period 2000-2012. The inquiry found that the effect of the energy intensity and GDP per capita, and to a lesser extent the intensity of carbonization of energy, were the factors that contributed the most in the variation of CO₂ emissions.

INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles como fuente energética es uno de los impulsores más importantes del incremento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, condición que ha intensificado el efecto invernadero sobre el calentamiento global experimentado en los últimos años. Las emisiones mundiales anuales de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles y la producción de cemento, fueron: 8.3 Gt (gigatoneladas) promediadas entre 2002 y 2011; esto es, 54% por encima del nivel registrado en 1990. Por lo anterior, es de gran utilidad analizar la relación entre las emisiones de CO₂ y la dinámica en el uso de los combustibles fósiles (IPCC, 2013).

El análisis de los factores determinantes de las emisiones de CO₂ es una tarea primordial para el establecimiento de estrategias que impacten de forma eficaz y precisa en las metas de reducción de las mismas en cada país. Una de las relaciones más analizadas es la atribuida a las emisiones de CO₂ con el crecimiento económico de cada país o región (Alcántara Escolano y Padilla Rosa, 2005;

Samaniego y Galindo, 2009). De igual forma, han cobrado importancia los estudios relacionados con la identificación de los factores determinantes que explican la dinámica o evolución de las emisiones de CO₂ generadas por el uso de energía (Galindo y Aroche, 2000; Stegman y McKibbin, 2005; Arouri et al., 2012).

Uno de los primeros modelos que se utilizaron para explicar los factores determinantes de los impactos ambientales fue propuesto por Ehrlich y Holdren (1972b), conocido como IPAT. El mismo propone que los impactos ambientales ($I = Impact$) se explican por el producto de tres factores: población ($P = Population$), la actividad económica ($A = Affluence$), y la tecnología ($T = Technology$) (Ehrlich & Holdren, 1972a). A través de los años se ha utilizado para explicar la dinámica de las emisiones de CO₂, al aplicarse a diferentes escalas espaciales y temporales (Dietz y Rosa, 1997; York et al., 2002; Zilio, 2008; Alcántara, 2009; Song et al., 2011; Yue et al., 2013).

Una de las variantes del IPAT que frecuentemente ha sido utilizada es la ecuación de Kaya, que corresponde a una aplicación específica para explicar las emisiones de CO₂ generadas por el uso de combustible. Según la ecuación de Kaya, las emanaciones nacionales de CO₂ se descomponen en el producto de cuatro factores determinantes: el índice de carbonización, la intensidad energética, el PIB per cápita, y el tamaño de la población (Yamaji et al., 1991; Kaya, citado en IPCC, 2007).

La ecuación de Kaya ha sido aplicada para explicar y comparar los factores determinantes que impulsan las radiaciones de CO₂ en diferentes áreas del mundo (Alcántara Escolano y Padilla Rosa, 2005; Rivas Wyzykowska et al., 2012; Li y Ou, 2013). Asimismo, se han realizado análisis con base en esta ecuación, pero integrando índices para explorar las desigualdades en las emisiones de CO₂ entre distintos países y para analizar el impacto de acciones de reducción previamente aplicadas (Duro Moreno y Padilla Rosa, 2006; O'Mahony, 2013).

Galindo y Samaniego (2010) aplicaron la ecuación de Kaya para analizar el efecto de los factores determinantes en las emisiones de CO₂ asociadas al uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en los países de América Latina y el Caribe (ALC). Concluyeron que para el

periodo comprendido desde 1990 hasta 2005 la tasa anual promedio de crecimiento de las emanaciones de CO₂ en ALC fue de 2.6%, pero enfatizan diferencias significativas entre los países. El estudio muestra la dependencia del crecimiento económico de ALC sobre el consumo de energía, lo que podría ser un factor limitante para establecer acuerdos comunes sobre la reducción de las irradiaciones.

Baumert y Pershing (2004) señalan que el nivel de la intensidad energética de un país puede ser el reflejo de su estructura económica. Por esto, es de gran importancia analizar la dinámica de los distintos sectores que contribuyen con la economía de una región. Por ejemplo, el sector manufacturero de San Luis Potosí ha sido el principal contribuyente del PIB estatal, con una participación del 25.83% anual, promediado entre 1995 y 2010 (INEGI, 2000, 2005, 2009, 2012). A su vez, de los subsectores que componen dicho sector, los más importantes en orden por su mayor contribución al PIB del sector son: fabricación de maquinaria y equipo, industria alimentaria, industrias metálicas básicas y productos minerales no metálicos que juntos contribuyen con 90% del PIB manufacturero estatal.

La dinámica del sector manufacturero de San Luis Potosí ha impactado también en materia ambiental. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de este ramo durante el periodo 2000-2006 fueron de las más contribuyentes a nivel estatal al alcanzar 39,985,755 toneladas, de las cuales 68% corresponde a las derivadas por el uso de combustibles y el 32% restante a las generadas en los procesos de transformación de las materias primas. El objetivo del presente estudio fue aplicar la ecuación de Kaya para analizar el efecto que cada uno de los factores impulsores ejerce sobre la variación interanual de las radiaciones de CO₂ producidas por el consumo de combustible en el sector industrial manufacturero de San Luis Potosí (Figura 1), durante el periodo 2000-2012.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para analizar la variación de las emisiones de CO₂ se sustentó en el análisis de la ecuación de Kaya, la cual sugiere que las mismas se pueden descomponer en cuatro factores determinantes:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \cdot \frac{E}{PIB} \cdot \frac{PIB}{P} \cdot P \quad (1)$$



Figura 1. Imágenes de empresas manufactureras ubicadas en la zona industrial de San Luis Potosí. Fotografía proporcionada por la autora.

donde: CO_2/E es la intensidad de carbonización de la energía o índice de carbonización, que son las toneladas de CO_2 (tCO_2) generadas en el sector manufacturero en función de la energía (E) consumida por el uso de combustibles en el ramo (toneladas de CO_2 por cada barril equivalente de petróleo, BEP); E/PIB representa la intensidad energética en función de la renta económica, en este caso es la cantidad de energía requerida para producir mil unidades del PIB del sector manufacturero (BEP por cada 1,000 pesos de PIB); PIB/P , es la renta económica per cápita del sector (miles de pesos por habitante); y P es la población (número de habitantes en el estado). La Ecuación (1) se puede reescribir como:

$$C = c \cdot e \cdot r \cdot P \quad (2)$$

donde C = emisiones de CO_2 , c = intensidad de carbonización de la energía, e = intensidad energética, r = renta económica per cápita del sector, y P = población.

La desagregación de los factores de la ecuación se realizó con la técnica de análisis de descomposición de índices (*Decomposition Index Analysis*, IDA), la cual permite separar los componentes de una determinada ecuación con el fin de analizar en qué medida la variación de estos componentes contribuye con el cambio en el indicador de estudio (Fernández González, 2012). La descomposición de una variable en efectos explicativos se ha utilizado en años recientes bajo

distintos enfoques, en problemas relacionados con energía y emisiones de CO_2 (Alcántara Escolano y Padilla Rosa, 2005; Feng et al., 2009).

A partir de la Expresión (2) se puede establecer que el cambio en las emanaciones de CO_2 en un periodo T (ΔC_T) se descompone por el efecto de la variación de cuatro factores; a saber, el efecto de la variación de la intensidad de carbonización (ΔC_c), el de la intensidad energética (ΔC_e), el efecto del PIB per cápita (ΔC_r) y el del tamaño de la población (ΔC_p). La variación de las radiaciones de un año base a un año objetivo (T), puede expresarse como:

$$\Delta C_T = C_T - C_0 = \Delta C_c + \Delta C_e + \Delta C_r + \Delta C_p \quad (3)$$

Debido a que el interés se centra en la tasa de cambio de las emisiones a través del tiempo, se considera la derivación de los logaritmos de la Expresión (2):

$$\frac{d \ln C}{dt} = \frac{d \ln c}{dt} + \frac{d \ln e}{dt} + \frac{d \ln r}{dt} + \frac{d \ln P}{dt} \quad (4)$$

Finalmente, al integrar la Ecuación (4) para un intervalo entre 0 y T (para este estudio un año), y siguiendo la propuesta de Ang y Choi (1997), la forma aditiva para descomponer los efectos de cada factor en la variación de las irradiaciones está dada por:

$$\Delta C_T = L(C_T, C_0) \ln \frac{C_T}{C_0} + L(C_T, C_0) \ln \frac{e_T}{e_0} + L(C_T, C_0) \ln \frac{r_T}{r_0} + L(C_T, C_0) \ln \frac{P_T}{P_0} \quad (5)$$

Tabla 1. Contribución de los factores determinantes en la variación interanual de las emisiones de CO₂ por el uso de combustible en el sector manufacturero de San Luis Potosí, durante el periodo 2000-2012

Periodo	Variación total anual ΔC	Contribución de cada factor en la variación anual de las emisiones (en miles de toneladas de CO ₂ y porcentual)							
		ΔC_c	%	ΔC_e	%	ΔC_r	%	ΔC_p	%
2000-2001	20,241	17,772	4.04	180,938	41.11	-209,956	-47.70	31,488	7.15
2001-2002	188,046	72,544	38.59	55,037	29.27	28,293	15.05	32,171	17.11
2002-2003	208,228	-2,944	-0.96	-46,424	-15.12	223,862	72.93	33,734	11.00
2003-2004	295,536	-7,838	-2.150	-26,654	-7.31	294,264	80.73	35,765	9.81
2004-2005	574,128	198,080	25.74	434,325	56.44	-97,695	-12.70	39,418	5.12
2005-2006	-62,872	-71,758	17.13	-169,093	40.37	112,781	-26.93	65,199	-15.57
2006-2007	-294,829	-92,573	18.96	-298,993	61.23	35,033	-7.17	61,704	-12.64
2007-2008	521,657	120,071	22.28	347,850	64.54	-8,646	-1.60	62,383	11.57
2008-2009	-1,047,750	-62,791	5.40	-401,651	34.53	-640,958	55.11	57,651	-4.96
2009-2010	381,975	-164,486	-23.14	56,500	7.95	437,380	61.52	52,581	7.39
2010-2011	991,534	82,110	8.28	434,025	43.77	411,022	41.45	64,376	6.49
2011-2012	-248,250	-120,243	9.01	-671,042	50.29	472,807	-35.43	70,228	-5.26

Donde:

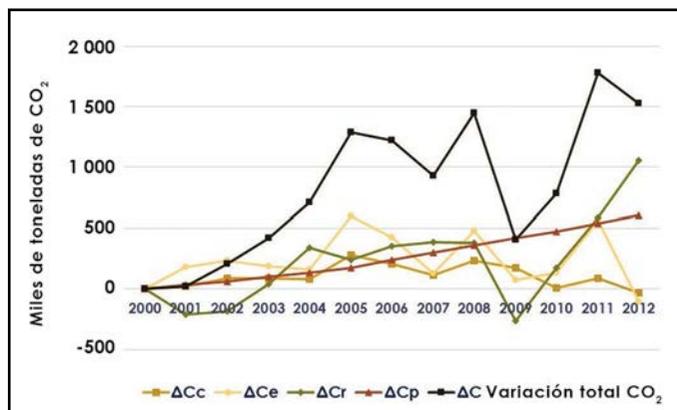
$$L(C_T, C_0) = \frac{C_T - C_0}{\ln C_T - \ln C_0} \quad (6)$$

Corresponde a la media logarítmica de C_T y C_0 , que proporciona una descomposición aditiva exacta. Cada uno de los términos de la Ecuación (5) describe el efecto (emisiones), con el cual contribuye cada factor determinante en el total de la variación de las emisiones del periodo a evaluar (ΔC_c , ΔC_e , ΔC_r , ΔC_p).

Los datos relativos a las emanaciones de CO₂ y de energía consumida se tomaron del inventario de emisiones de GEI 2000-2012 del sector industrial en San Luis Potosí con año base 2005, elaborado por Gutiérrez Escajeda (2015). Los datos del PIB del sector manufacturero a precios constantes del 2008 se tomaron del INEGI (2005, 2009 y 2012), y las cifras de población del INEGI (s/f).

RESULTADOS

Una vez que se obtuvieron los valores de cada uno de los factores, se hicieron los cálculos de la Expresión (5) para cada año del periodo en estudio. En términos generales, la dinámica de la variación interanual total de las emisiones de CO₂ reflejó la contribución cambiante de cada uno de los factores del modelo (Tabla 1). En la variación total acumulada se distingue el efecto que impusieron los factores de la intensidad energética y el PIB manufacturero per cápita sobre el


Figura 2. Variación acumulada de las emisiones de CO₂ por factores determinantes.

patrón de comportamiento observado en la mayoría del periodo (Figura 2).

A continuación se analiza con más detalle el efecto de cada factor del modelo:

- En general, el efecto del factor de intensidad de carbonización de la energía (ΔC_c) en la variación interanual de las emisiones fue poco significativo, con una contribución media anual de 14.64%; sin embargo, hay algunos periodos como el 2001-2002 y el 2004-2005, cuyas contribuciones de 38.59% y 25.74%, respectivamente, fueron importantes en la variación total de CO₂. De igual forma, durante el comprendido desde 2009 hasta 2010 este

Tabla 2. Cambios observados en el factor de la intensidad de carbonización de la energía entre 2004 y 2005

Año	ton CO ₂	TAV CO ₂	*BEP	TAV BEP	**c = CO ₂ /BEP	TAV c
2004	3 977 376		9 442 819		0.4212	
2005	4 551 504	14.43%	10 314 702	9.23%	0.4413	4.76%

*Barriles equivalentes de petróleo. **Intensidad de carbonización de la energía.

factor contribuyó de forma positiva con - 23.14% de la variación de las emisiones; lo que significa que gracias a esta importante participación se dejaron de emitir 164, 486 tCO₂ durante ese lapso.

Para analizar la causa de los efectos más significativos de la intensidad de carbonización es necesario analizar los cambios en las variables que la componen. Por ejemplo, para el efecto que experimentó entre 2004 y 2005 se detectó que la tasa anual de variación (TAV) de la energía consumida en el sector fue de 9.23%, pero las emisiones de CO₂ aumentaron 14.43%, lo cual generó un incremento de 4.76% en la intensidad de carbonización (Tabla 2), que se reflejó de forma negativa al contribuir con 198,080 tCO₂ en la variación de las mismas entre 2004 y 2005 (Tabla 1).

El efecto del factor determinante de la intensidad energética (ΔC_e) mostró una participación significativa en la variación interanual de las emisiones, con una contribución media anual de 37.66%. Cabe destacar los episodios de 2004-2008 y de 2010-2012, en los que el efecto de la intensidad energética dominó el patrón que siguió la variación total de las emanaciones (Figura 3). Además, existen episodios como 2005-2006 y 2006-2007 en los que este factor contribuyó de forma positiva, al dejar de emitir 169, 063 y 298, 993 tCO₂, respectivamente.

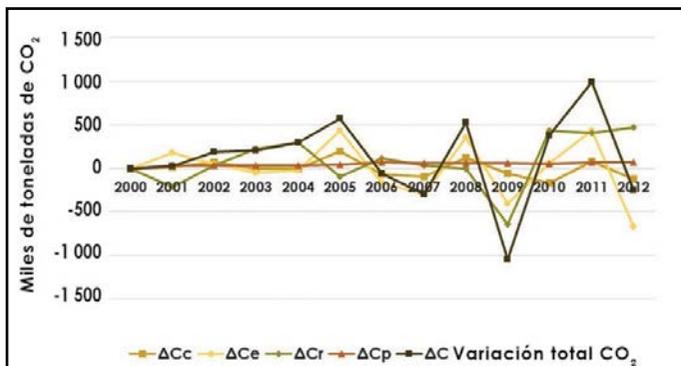


Figura 3. Dinámica de la contribución de cada factor en la variación interanual de las emisiones de CO₂ por el uso de combustible en el sector manufacturero de San Luis Potosí.

Por otra parte, el efecto del factor del PIB manufacturero per cápita (ΔC_p) presentó la mayor contribución en la variación media anual de CO₂, con 38.19%. El factor reflejó una dinámica variable en su contribución, con efectos interanuales importantes en los periodos 2002-2004 y 2008-2010. Aunque este factor se relaciona con el de la intensidad energética (energía/PIB), se presentaron episodios como el de 2002 a 2004, en los que el incremento del PIB no impactó de la misma forma en la variación de ambos factores.

Finalmente, el efecto del tamaño de población no parece significativa, presenta una contribución anual en la variación de las emisiones de 9.50%. Además, este factor conservó un crecimiento interanual constante, desacoplado de la dinámica observada en la variación interanual de las emisiones durante el periodo de estudio.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la estructura económica de un sector impacta en los niveles de su intensidad energética, lo cual coincide con lo argumentado por Baumert y Pershing (2004). Como se observó en el estudio, la intensidad energética reflejó un efecto importante en la variación de las emisiones entre 2004-2005 y 2007-2008, como consecuencia de un incremento en el PIB total del sector, pero con un aumento más pronunciado en la energía consumida. En el periodo 2004-2005, el factor de la intensidad energética contribuyó mayoritariamente con 56.44% de la variación total, como resultado del cambio experimentado por el mismo factor, al pasar de 0.1772 a 0.1962 BEP/PIB, debido a un desacoplamiento entre la TAV de la energía y la del PIB; mientras que la TAV de la energía fue 9.23%, la del PIB fue de - 1.36% (Tabla 3).

De igual manera, entre 2007 y 2008, la intensidad energética experimentó un comportamiento similar al del periodo comprendido entre 2004 y 2005, lo que dejó de manifiesto que un crecimiento en la demanda de energía del sector no siempre es el reflejo de

Tabla 3. Cambios en los componentes de la intensidad energética en el periodo 2004-2005

Año	BEP	TAV BEP	PIB	TAV PIB	*e = BEP/PIB	TAV e
2004	9 442 819		53 296 322		0.1772	
2005	10 314 702	9.23%	52 571 847	-1.36%	0.1962	10.74%

*Intensidad energética.

Tabla 4. Cambios en los componentes de la intensidad de carbonización de la energía en el periodo 2009-2010

Año	ton CO ₂	TAV CO ₂	BEP	TAV BEP	c = CO ₂ /BEP	TAV c
2009	3 666 321		8 520 311		0.4303	
2010	4 114 432	12.22%	10 025 127	17.66%	0.4104	-4.62%

un incremento en el PIB; esto es, la intensidad energética depende, en gran medida, de la dinámica de los subsectores más intensos en la demanda de energía, pero que no necesariamente son los más contribuyentes en el PIB del sector.

En una economía en crecimiento es común observar que las emisiones aumenten de acuerdo con el PIB, debido a que un mayor crecimiento económico requiere mayor demanda de energía; sin embargo, es posible un crecimiento del PIB junto a una reducción en la intensidad de carbonización, debido a que la estructura económica dentro de un sector económico incide sobre las radiaciones de CO₂, lo cual coincide con lo demostrado por Galindo y Samaniego (2010). Por ejemplo, el factor de la intensidad de carbonización de la energía contribuyó con una tasa significativa de -23.14%, que evita la emisión de 164, 486 toneladas en 2010, debido a que la energía consumida en el sector se incrementó a una tasa de 17.66%, mientras las emisiones lo hicieron a 12.22% (Tabla 4); este desacoplamiento entre radiaciones y energía se debió al crecimiento de subsectores en los cuales predomina el uso de combustibles de baja carbonización.

las irradiaciones, con una contribución media anual de 37.66% y 38.19%, respectivamente. El efecto de estos factores determinantes reflejó la dinámica de los subsectores más demandantes en energía y que utilizan combustibles intensos en carbonización, independientemente de la contribución de estos subsectores en el PIB del sector manufacturero.

Por otra parte, la intensidad de carbonización de la energía contribuyó en menor grado que los factores anteriores, pero de forma importante en algunos años. Cabe señalar los lapsos 2006-2007 y 2009-2010, en los que se experimentó una reducción de emisiones por el efecto del factor de intensidad de carbonización, a pesar de una mayor demanda energética. Estos episodios muestran la posibilidad de una reducción de emisiones ante un incremento en la energía requerida por los procesos industriales.

Dado que el tamaño de la población no reflejó un efecto significativo, es posible prescindir de este último factor en la ecuación de Kaya al analizar los factores determinantes en las emisiones industriales de CO₂, por lo que se recomienda hacer un análisis que considere solamente el efecto de los tres primeros factores del modelo.

CONCLUSIONES

Los factores de la intensidad energética y el PIB per cápita fueron los de mayor efecto en la variación de

LITERATURA CITADA

- ALCÁNTARA ESCOLANO, V. Consumo energético y emisiones de CO₂ en la industria española: una primera aproximación a la situación actual. *Economía Industrial*, 2009(371): 49-57, 2009.
- ALCÁNTARA ESCOLANO, V. y PADILLA ROSA, E. Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. *Revista de Economía Crítica*, 4, 17-37, 2005.
- ANG, B. W. y CHOI, K. H. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *Energy Journal*, 18(3): 59-73, 1997.
- AROURI, E. et al. Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342-349, 2012.

- BAUMERT, K. y PERSHING, J. *Climate Data: Insights and Observations*. Arlington, VA, US: Pew Center on Global Climate Change, 2004.
 - DIETZ, T. y ROSA, E. A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(1): 175-179, 1997.
 - DURO MORENO, J. A. y PADILLA ROSA, E. *Análisis de los factores determinantes de las desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ per cápita aplicando el enfoque distributivo: una metodología de descomposición por factores de Kaya*. Barcelona, España: Instituto de Estudios Fiscales, 2006.
 - EHRLICH, P. y HOLDREN, J. A bulletin dialogue on The Closing Circle: Critique: One dimensional ecology. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 28(5): 16-27, 1972a.
 - EHRLICH, P. R. y HOLDREN, J. Impact of population growth. En R. G. Riker (Ed.), *Population, Resources and the Environment* (pp. 365-377). 1972b.
 - FENG, K. et al. Lifestyles, technology and CO₂ emissions in China: A regional comparative analysis. *Ecological Economics*, 69(1): 145-154, 2009.
 - FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, P. *Técnicas de descomposición de variaciones basadas en índices Divisia. Algunas aplicaciones medioambientales*. Tesis inédita de doctorado. Principado de Asturias, España: Universidad de Oviedo, 2012.
 - GALINDO, L. M. y AROCHE, F. *Cambio climático y fundamentos económicos. El caso México*. Reporte final. D. F., México: Estudio elaborado para el Instituto Nacional de Ecología, 2000.
 - GALINDO, L. M. y SAMANIEGO, J. L. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados. *Revista CEPAL*, 100, 69-96, 2010.
 - GUTIÉRREZ ESCAJEDA, M. T. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector industrial de San Luis Potosí: proyección al 2020 y propuesta de mitigación*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2015.
 - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa*. Aguascalientes, México: Autor, 2000, 2005, 2009, 2012.
 - IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). *Climate Change 2007: Mitigation*. En B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave & L. A. Meyer (Eds.), *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (107). Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007.
 - IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. En T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press, 2013.
 - O'MAHONY, T. Decomposition of Ireland's Carbon Emissions From 1990-2010: an Extended Kaya Identity. *Energy Policy*, 59, 573-581, 2013.
 - RIVAS WYZYKOWSKA, A. et al. Impact assessment growth of human activity environmental: Identity Kaya applied to Venezuela (1990-2006). *Agroalimentaria*, 19(37): 127-145, 2012.
 - SAMANIEGO, J. L. y GALINDO, L. M. Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero asociados a combustibles fósiles y cemento en América Latina. *Economía Informa*, 360, 40-66, 2009.
 - SONG, M. et al. To reduce energy consumption and to maintain rapid economic growth: Analysis of the condition in China based on expended IPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9): 5129-5134, 2011.
 - STEGMAN, A. y MCKIBBIN, W. J. Convergence and per capita carbon emissions. *Brookings Discussion Papers in International Economics*, Canberra, Australia, 167, 1-76, 2005.
 - YAMAJI, K. et al. An integrated system for CO₂/Energy/GNP Analysis: Case studies on economic measures for CO₂ reduction in Japan. En *Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century*, 19-21 March 1991. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1991.
 - YORK, R. et al. Bridging Environmental Science with Environmental Policy: Plasticity of Population, Affluence, and Technology. *Social Science Quarterly*, 83(1): 18-34, 2002.
 - YUE, T. et al. The optimal CO₂ emissions reduction path in Jiangsu province: An expanded IPAT approach. *Applied Energy*, 112(C): 1510-1517, 2013.
 - ZILIO, M. I. Emisiones de dióxido de carbono en América Latina. Un aporte al estudio del cambio climático. *Economía y Sociedad*, XIV(22): 133-161, 2008.
- De páginas electrónicas**
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Volumen y crecimiento. Población total por entidad federativa, 1895 a 2010* [Base de datos]. México: Autor. Recuperado el 3 de abril 2014, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/Default.aspx?t=mdemo148&s=est&c=29192>
 - LI, W. y OU, Q. X. Decomposition of China's Carbon Emissions Intensity from 1995 to 2010: An Extended Kaya Identity. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013(2013): Article ID 973074. Recuperado el 11 de enero de 2014. doi: 10.1155/2013/973074