

Análisis de la relación entre los subsidios al sector energético y algunas variables vinculantes en el desarrollo sostenible en México en el periodo 2004-2010

Abraham Allec Londoño Pineda y José Jaime Baena Rojas

El propósito de este trabajo es el de indagar, si existe una correlación significativa entre los subsidios al sector energético en México y algunas dimensiones del desarrollo sostenible. Para esto se analizan las emisiones de CO₂, subsidios al sector energético per cápita, la tasa de crecimiento anual del PIB, el consumo de energía eléctrica per cápita y la producción de energía equivalente a combustible fósil; esto para el periodo 2004 a 2010 de la historia reciente de ese país. Finalmente, se examinan los resultados y se presentan una serie de recomendaciones asociadas a la política energética además de plantear posibles líneas futuras de investigación en esta temática.

Palabras clave: México, subsidios, sector energético, PIB, cambio climático.

Analysis of the Relationship Between the Energy Sector and Some Binding Variables in Sustainable Development in Mexico During 2004-2010

The purpose of this paper is to investigate whether there is a significant correlation between energy subsidies in Mexico and some dimensions of sustainable development. In this sense are analyzed the CO₂ emissions, subsidies per capita energy sector, the annual growth rate of GDP, electricity consumption per capita and the production of equivalent fossil fuel energy. This research has been between the 2004-2010 period in the recent

*Abraham Allec Londoño Pineda es profesor investigador de la Universidad de Medellín, Carrera 87, núm. 30-65 Medellín, Colombia. Tel: +574 340 55 55, ext. 5683. Correo-e: alondo@udem.edu.co. José Jaime Baena Rojas es profesor investigador de la Universidad de Medellín, Carrera 87, núm. 30-65 Medellín, Colombia. Tel: +574 3405555, ext. 5683. Correo-e: jjbaena@udem.edu.co. Este artículo surge de un rastreo general de información en torno al tema de los subsidios del sector energético en México. Asimismo, considera datos obtenidos en su mayoría de fuentes secundarias provenientes especialmente del Banco Mundial y de estudios efectuados por Gabriel Quadri de la Torre, Director Asociado de Sigea (Sistemas Integrales de Gestión Ambiental) y Enerclima, empresas consultoras y desarrolladoras de proyectos ambientales y de energía renovable.

Artículo recibido el 25 de febrero de 2015 y aceptado para su publicación el 3 de agosto de 2016.

history of that country. Finally the results are studied and also are established different recommendations related to energy policy and even are presented some possible future research lines in this entire topic.

Keywords: Mexico, subsidies, energy sector, GDP, climate change.

INTRODUCCIÓN

En algunos sectores de la opinión pública mexicana se tiene la creencia de que los subsidios al sector energético han generado dos efectos, uno de tipo económico y otro, ambiental. El primero está asociado con el hecho de que las subvenciones reducen el crecimiento económico, mientras que el segundo se vincula con el aumento en las emisiones de CO₂ causada por la mayor generación energética basada en combustibles fósiles que es la que se encuentra subsidiada.

Este problema que se plantea es una variante de lo que ha preocupado al desarrollo sostenible desde sus orígenes, que se remontan a 1972 cuando en Estocolmo, Suecia, se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), pues hasta ese momento, los modelos económicos predominantes se fundamentaban en la idea de crecimiento indefinido (Wilches *et al.*, 2010, 3), lo cual dio prioridad a la explotación económica sobre el cuidado y protección del ambiente y de los recursos naturales (Macedo y Salgado, 2007; Calderón *et al.*, 2011; Flores, 2012), por lo que la relación es claramente inversa, ya que a mayor crecimiento se presenta un deterioro del medio ambiente mayor.

En la Cumbre de Río en 1992, mediante un documento conocido como la Agenda 21, se delimitaron las dimensiones del desarrollo sostenible de la siguiente forma: económica, social, ambiental e institucional (Serna *et al.*, 2015; Vélez y Londoño, 2016). En lo que respecta a los trabajos que las han considerado desde una perspectiva de política pública hay que decir que algunos han hecho una revisión del estado del arte de las mismas (Bobadilla y Harris, 2015; Walker y Andrews, 2015; Wai-Hang *et al.*, 2016), otros más se han centrado en la participación ciudadana y la incidencia que tienen las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para mejorar diversos procesos organizacionales y optimizar mejor los

recursos (Cano y Baena, 2013, 2015; Royo *et al.*, 2014; Washington, 2014; Beer y Yuval, 2015), por otro lado, otros autores abordan las dimensiones del desarrollo sostenible desde la adaptación al cambio climático (Henstra, 2012; Van Buuren *et al.*, 2016).

Incluso en materia energética, hay quienes han destacado el compromiso fiscal que requieren este tipo de políticas públicas (Shui-Yan *et al.*, 2014), así como aquellos que han definido los instrumentos económicos que se requieren para promover el uso de energías alternativas (Zuluaga y Dynner, 2007), tales como la energía eólica y la fotovoltaica (Giest, 2015; Morales *et al.*, 2015; Radomes y Arango, 2015).

Por lo tanto, un gran debate se ha generado sobre las repercusiones del crecimiento económico frente a los aspectos ambientales. Para algunos estas dos temáticas son irreconciliables (Jiménez, 2003); pues existe un conflicto entre el crecimiento y la preservación del ambiente (Munda, 2006). Otros, en cambio, ante la ambigüedad del concepto de desarrollo sostenible pueden no ver tan clara esta relación (Mori y Christodoulou, 2012).

Podría decirse que una de las preguntas que intenta resolver la temática de desarrollo sostenible es cómo crecer sin deteriorar el ambiente. Por ello es común pensar que la relación entre economía y medio ambiente es inversa, ya que a medida que crece una variable económica como el producto interno bruto (PIB), entonces, otra variable —en este caso perteneciente a la dimensión ambiental como la emisión de CO₂—, deteriora el clima del planeta. Cabe recordar que los llamados gases de efecto invernadero, entre ellos el CO₂, son considerados la causa principal de calentamiento global y de las modificaciones extremas en el clima (Krapivin y Varotsos, 2008).

Precisamente, las modificaciones extremas del clima se conocen como cambio climático (IPCC, 2014, 4). Estas alteraciones pueden ser originadas por factores naturales asociados a los ciclos biogeoquímicos,¹ o por factores antropogénicos.² Al respecto, Arrhenius (1896) fue el primero en pronosti-

¹ La biogeoquímica estudia la interacción entre los compuestos geoquímicos, entre los que se destacan los del carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo y el agua, y los organismos vivos.

² El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.

car que el aumento en las concentraciones de CO₂ estaría influido a futuro por la actividad humana, y posteriormente Crawford (1997) pronosticó que la quema de combustible podría incrementar la temperatura hasta en 5 °C en todo el planeta.

En este sentido se puede afirmar que las actuaciones antropogénicas orientadas al crecimiento económico se traducen en un deterioro del ambiente. Sin embargo, el problema que en este trabajo se trata es el de los subsidios al sector energético; que parece presentar una relación directa entre la dimensión económica y la ambiental, ya que la economía no crece y el ambiente se deteriora. Esto debido a que los subsidios representan una carga para el Estado, pues lo negativo no es el egreso que éste representa, sino el costo de oportunidad que lleva implícito, lo que se traduce en recursos que el Estado está dejando de usar en otras alternativas que pueden ser más eficientes. Además, el agravante mayor está vinculado al hecho de que el sector energético que recibe la subvención es aquel que genera energía a partir de combustibles fósiles, lo que puede traducirse en un mayor impacto en las concentraciones de CO₂ emitidas por este país.

Así, esta investigación pretende comprobar si en efecto los subsidios al sector energético tienen una relación significativa con el crecimiento económico y con la mayor emisión de CO₂ en México. Para ello se tomará un periodo que forma parte de la reciente historia de dicho país, 2004-2010. La razón para la selección de este intervalo de tiempo se encuentra apoyada en dos factores, el primero está vinculado al hecho de que la política de subsidios en México tomó más fuerza en el año 2004; el segundo, se asocia a que los datos en las fuentes que se estudian en este trabajo, sólo se encuentran disponibles hasta 2010. Al respecto cabe aclarar que existen técnicas estadísticas que combinan el método de la parábola de los mínimos cuadrados con otros como la regla de Cramer³ que son útiles para predecir datos de acuerdo con su tendencia. Sin embargo, por el perfil de los trabajos tra-

³ La regla de Cramer es un teorema del álgebra lineal que da la solución de un sistema lineal de ecuaciones en términos de determinantes. Recibe este nombre en honor a Gabriel Cramer (1704-1752), quien publicó la regla en su *Introduction à l'analyse des lignes courbes algébriques* de 1750.

tados en esta publicación sólo se consideran los datos históricos que en efecto se han presentado y de los cuales hay fuentes confiables.

Para cumplir con este propósito se abordan cuatro momentos. En el primero se presenta un marco teórico que tiene dos componentes: la contextualización histórica sobre el gobierno de México dentro del régimen climático global, y la relación entre el modelo energético y la sostenibilidad.

En la segunda parte se abordan los asuntos metodológicos; se estudian cinco variables: emisiones de CO₂ en kT (kilo/Toneladas), subsidios a la producción de energía per cápita, crecimiento del PIB, y producción de energías provenientes de combustibles fósiles y el consumo de energía eléctrica per cápita. Después se realiza un análisis de correlación a partir de los coeficientes de *r Pearson* y, por último, se les hace una prueba de significancia para corroborar que las variables elegidas se encuentran relacionadas.

Finalmente en las secciones tres y cuatro se presenta el análisis de resultados y las recomendaciones en materia de política energética que se desprenden del estudio, así como las sugerencias para futuros trabajos y líneas de investigación para abordar esta problemática.

MARCO TEÓRICO

CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA SOBRE EL GOBIERNO DE MÉXICO DENTRO DEL RÉGIMEN CLIMÁTICO GLOBAL

El gobierno de México, como muchos otros países, no ha sido ajeno a la multiplicidad de iniciativas promovidas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que de acuerdo con los propósitos enmarcados puntualmente en el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) desde principios de la década de 1970, ha implementado políticas públicas conjuntas para el cuidado del medio ambiente, informando y capacitando así a las naciones en todo el mundo, para que mejoren su vida sin comprometer a las futuras generaciones. En este sentido, siguiendo la lógica anterior, Cabezas (2009) destaca el notable interés de todas estas instituciones de la ONU por financiar proyectos de inversión que redunden en una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero,

como el dióxido de carbono, entre otros; así, todos estos proyectos tienden a ubicarse en países en vías de desarrollo, lo cual en esencia es beneficioso desde el punto de vista económico, especialmente para estas regiones, dadas las condiciones de su entramado productivo.

México, como miembro del Sistema de las Naciones Unidas, ha participado activamente en las conferencias y demás eventos desarrollados por la comunidad internacional; de hecho respecto al protocolo de Kioto de 1997; en cuyo espectro normativo los países participantes se comprometieron a reducir las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero, los cuales sucesivamente inciden en el calentamiento global, es preciso señalar que según Tudela (2007) la formalización de los compromisos de México en torno al establecimiento de topes de índole cuantitativa, en relación con los gases de efecto invernadero, no fue un proceso fácil debido a la multiplicidad de opiniones en el seno de la entonces Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) —hoy Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)— entre otras instituciones; sin embargo, y pese a todas las dificultades, el gobierno logró formalizar compromisos derivados de una estrategia negociada mancomunadamente con parte del sector público, la interlocución con el Poder Legislativo y la promoción de un diálogo nacional. Así, en este orden de ideas México, al igual que 140 países más, logró en definitiva ratificar el protocolo de Kioto en 2005, con el propósito de reducir en 5.2 por ciento sus emisiones de gases tóxicos entre los años 2008 y 2012, respecto a las emisiones que se generaban en el año 1990.

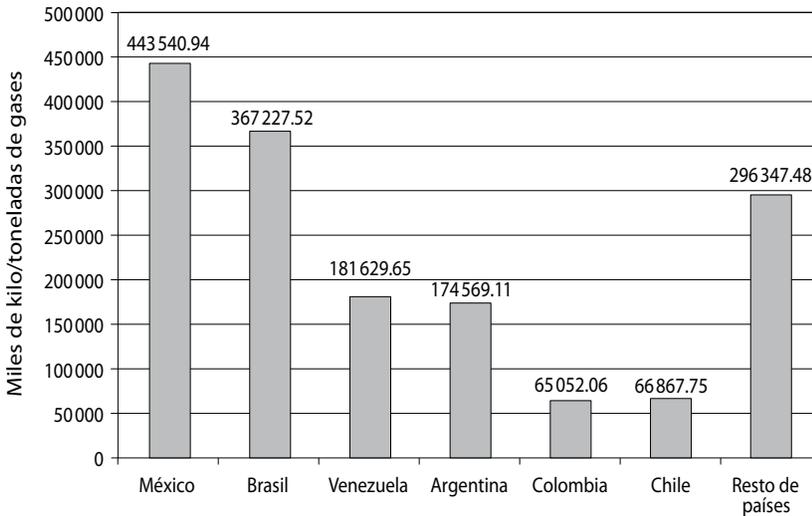
Asimismo, según Díaz-Bautista (2008), el gobierno mexicano consciente de sus compromisos a nivel internacional, ha tenido que promover la implementación a futuro de energías renovables como la solar, eólica, geotérmica, hidráulica y oceánica entre otras; no obstante, estas tecnologías tan sólo representan 2 por ciento de las fuentes de energía primaria en la actualidad. Esto en un Estado que con frecuencia experimenta diversos fenómenos y catástrofes naturales asociadas precisamente al cambio climático y a las condiciones medioambientales que dejan a miles de personas damnificadas. De hecho respecto a las condiciones del entorno de México, Balles-

ter *et al.*, (2006) sostienen que estudios previos, llevados a cabo durante la preparación de las discusiones acerca del contenido del Protocolo de Kioto, planteados por el Grupo de Trabajo sobre Salud Pública y Consumo de Combustibles Fósiles, revelan proyecciones de lo que ocurriría si las políticas energéticas mundiales cambiaban en función de dicho acuerdo; así, los resultados y estimaciones sugieren que tan sólo en la Ciudad de México se podrían reducir un total de 65 mil defunciones por año si se implementaran políticas públicas para contrarrestar la contaminación atmosférica y el calentamiento global. Por lo tanto ambas situaciones explican la notable problemática de esa región y los inconvenientes relacionados con la contaminación en el país.

Cabe destacar que México formó parte previamente del Protocolo de Montreal de 1987, considerado como una de las etapas clave para la discusión por parte de la comunidad internacional de todo el tema de emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico, el cual daría origen posteriormente a todo el marco legal del entonces incipiente régimen climático global (Ghezloun *et al.*, 2013), que entraría finalmente en vigor en 1989 y que sufrió además diversas revisiones posteriores en Londres 1990, Copenhague 1992, Viena 1995, Montreal 1997 y Pekín 1999; régimen con el cual los países miembros se comprometerían a reducir y controlar en definitiva la producción de sustancias que afectan la capa de ozono.

Históricamente la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1994) ha sido igualmente un importante precedente por parte de México, con el cual se ha intentado, al igual que los casos anteriores, que los países palien algunos efectos de la contaminación a través del establecimiento de compromisos que promuevan la sostenibilidad, en este caso puntual, intentando lograr la estabilización de gases invernadero en la atmósfera con el fin de que los ecosistemas se adapten y no se ponga en riesgo la producción de alimentos y víveres. Por ello, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2007) se han aprobado más de 5 500 proyectos y actividades en 144 países entre los cuales se han logrado resultados tales como conversiones industriales, asistencia técnica, capacitación y creación de actividades, las cuales han redundado en definitiva en la

GRÁFICA 1. Emisión de CO₂ en América Latina entre 2004 y 2010



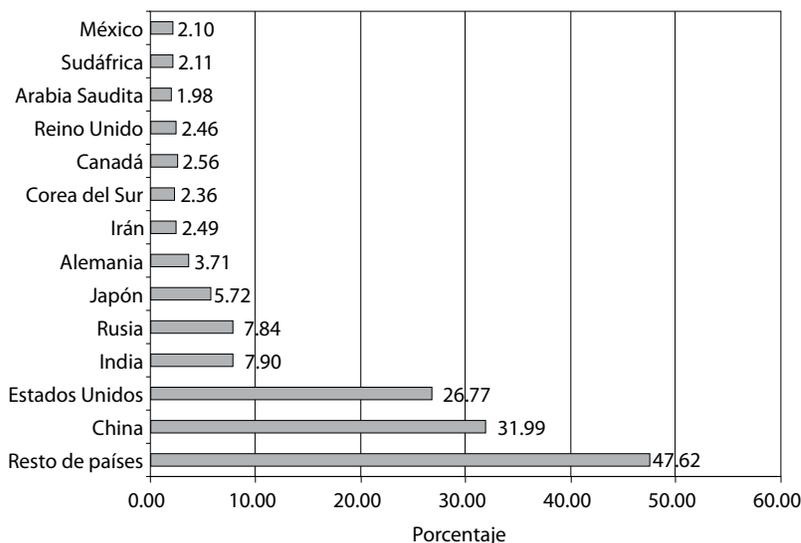
Fuente: Elaboración propia.

reducción anual de 215 462 kT de sustancias que deterioran la capa de ozono incluyendo gases CO₂; todo ello trabajado junto con una amplia gama de socios nacionales, entre los que destacan gobiernos, industrias, asociaciones técnicas, institutos agrícolas, universidades y la sociedad civil, para gestionar un programa mundial de más de 500 millones de dólares.

Pese a todos los esfuerzos, el caso de México dentro de América Latina respecto a la generación de gases nocivos para la atmosfera es, según el Banco Mundial (2011), uno de los más llamativos, ya que este país puede ser considerado como el mayor productor de emisiones de gases CO₂ de esta región con un total de 443 540.94 kT; superando incluso a economías destacadas como Brasil con 367 227.52, Venezuela con 181 629.65, Argentina con 174 569.11, Colombia con 65 052.06 y Chile con 66 867.75 kT entre 2004 y 2010 (gráfica 1).

De hecho la evidencia empírica en el caso de México, y en algunos otros países en vías de desarrollo, demuestra que la regulación ambiental a menu-

GRÁFICA 2. Porcentaje de los principales países emisores de CO₂ en el mundo entre 2004 y 2010



Fuente: Elaboración propia.

do se realiza inadecuadamente. De hecho muchas de las políticas públicas de este tipo se valoran a veces como ineficaces, ya que en muchos casos las empresas amonestadas por las entidades ambientales, que posteriormente suelen ser más propensas a participar en esta clase de programas, tras recibir capacitación sostenible en torno a una mejor gestión de los recursos, terminan cometiendo errores similares a aquellas empresas que no recibían este tipo de capacitación. Estos resultados sugieren que los programas de industria limpia en México atraen plantas que no gestionan adecuadamente los recursos, lo que en definitiva no genera un impacto grande y duradero en su desempeño ambiental (Blackman *et al.*, 2010).

El caso de México es más que extraordinario (gráfica 2) ya que pese a estar considerado aún como una economía en vías de desarrollo, esto sin contar sus notables indicadores de producción, se encuentra entre los 13 países con mayor producción de gases CO₂ en el mundo, detrás de países como

China con 6756999.645; Estados Unidos con 5655029.475; India con 1668256.598; Rusia con 1655235.605 y Japón con 1208365.032 kT, además de otros países. La producción total del planeta equivale a 33615389.000 kT en promedio entre 2004 y 2010 (Banco Mundial, 2010a). Ésta es, por lo tanto, en muy buena medida, una de las razones por las cuales en las políticas públicas asociadas al tema medioambiental, aquellos gobiernos con mayores indicadores de producción y por supuesto con mayores niveles de emisión de gases de efecto invernadero suelen verse inclinados a participar en negociaciones sobre el cambio climático (Rong, 2010).

Y si bien aunque a escala per cápita las toneladas métricas producidas por cada mexicano no son altas comparadas con las de otros países latinoamericanos, ya que México posee por ejemplo una producción promedio de 3.91 toneladas métricas mientras que Brasil cuenta con 1.93; Venezuela con 6.56; Argentina con 4.44; Colombia con 1.46 y Chile cuenta con 4.01; es importante destacar que esto se debe en definitiva a que de este grupo de países, los que posean las mayores poblaciones evidenciarán, en la mayoría de casos, menores valores; ya que se verá dividida su producción total entre el total de habitantes. Por lo cual cabe destacar que en este caso Brasil y México son respectivamente los dos países con mayor cantidad de habitantes en Latinoamérica, respecto a Chile, Venezuela, Argentina y Colombia que son los que cuentan con la menor cantidad de habitantes en este grupo de países (Banco Mundial, 2010).

De igual modo, retomando la idea central, es necesario poner énfasis en cómo todo el proceso de participación del gobierno de México en el régimen climático global, considerando los diferentes momentos clave anteriores, puede responder a presiones por parte de la comunidad internacional que, en efecto, se ha hecho más consciente de la importancia del desarrollo sostenible, lográndose así lo que según Gupta (2010) se entiende como paradigma de liderazgo, que es la pieza central de la discusión sobre la manera de abordar el cambio climático desde aspectos como la complejidad de la definición del problema de desarrollo y medio ambiente; la incapacidad de los países desarrollados para reducir sus propias emisiones; el aumento de la participación de los diferentes actores sociales y su incidencia en la construc-

ción del régimen climático global; la progresiva búsqueda de soluciones alternativas en las negociaciones formales, como la identificación de medidas de mitigación apropiadas para el mundo en desarrollo, la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques y por último la búsqueda de soluciones fuera del régimen climático global, ya que algunos países emplean políticas nacionales que no siempre son consecuentes con ordenamientos jurídicos internacionales.

Para el caso de México los resultados de estudios que proyectan el comportamiento de diversos recursos en el tiempo parecen reflejar un ineludible escenario conflictivo para este país; ya que el modelo de combustión interna se hace insostenible debido a los altos costos y los impactos ambientales asociados con los combustibles fósiles; por eso el país, como muchos otros, contempla nuevas opciones y modelos con energías renovables como la eólica, la solar, la hidráulica, la geotérmica y biomasa e incluso la energía nuclear; ya que en definitiva estas vías de electricidad pueden garantizar el suministro interno energético además de garantizar el cumplimiento de los objetivos nacionales de emisión de gases de efecto invernadero fijados para el año 2050 de una forma más sostenible respecto a lo previsto con las políticas públicas actuales (Santoyo-Castelazo y Azapagic, 2014).

LOS SUBSIDIOS ENERGÉTICOS EN MÉXICO ¿UNA CONTRADICCIÓN CON EL MODELO DE SOSTENIBILIDAD DEL PAÍS LATINOAMERICANO?

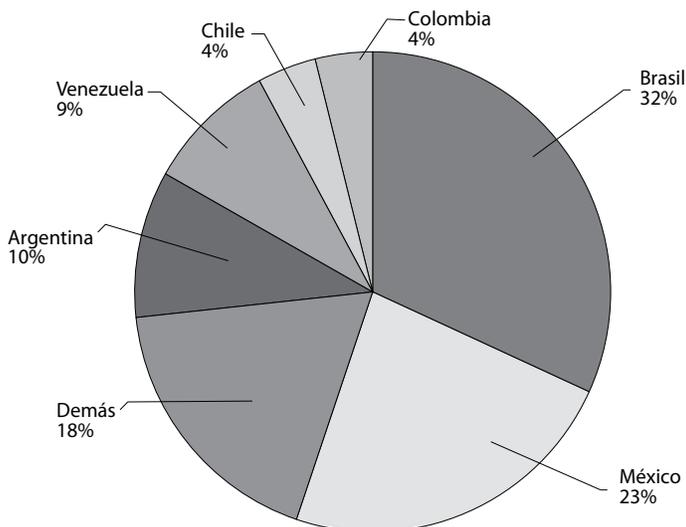
Pese a que el enfoque de México ha intentado responder a las iniciativas del sistema de las Naciones Unidas en torno al asunto del cambio climático y el desarrollo sostenible, evidentemente parece presentarse una situación que se opone a dicha realidad, ya que las condiciones del entorno en ese país inevitablemente conllevan a que exista una significativa dependencia del actual modelo energético basado en el consumo de hidrocarburos y energía eléctrica; en este sentido, sobre este último caso según Gallegos *et al.* (2014) el uso de sistemas de aire acondicionado es una necesidad para la realización de las actividades humanas debido a las altas temperaturas en algunas zonas, lo que conlleva a unos intensivos y altos

consumos de energía eléctrica, por lo que la facturación es muy cara para la mayoría de la población. Por esta razón, en algunas regiones se generan subsidios por parte del Estado en la tarifa eléctrica, situación que permite a los usuarios asignar menos de sus ingresos a pagar por el servicio, pero que en parte incide también en un mayor consumo que sucesivamente lleva a un mayor agotamiento de recursos y a emplear dinero que podría invertirse en iniciativas y programas de sostenibilidad.

Ésta es una de las razones por las cuales el gobierno intenta dar soluciones a través de iniciativas tales como la Ley del servicio público de energía eléctrica (2012) que se reforma y actualiza tras operar desde 1992, con el propósito de generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica toda la nación; por ello uno de los principales argumentos de la reforma es atraer inversión privada a fin de reducir la carga financiera del gobierno en infraestructura para el desarrollo del Sistema Nacional de energía Eléctrica mediante seis modalidades (autosuministro de energía, cogeneración, pequeña producción de energía, producción independiente de energía, exportación e importación de energía) de lo cual se puede, hasta ahora, concluir que el resultado de la reforma podría ser considerado un avance parcial e incipiente para garantizar el suministro de energía. De este modo es evidente que las políticas de subsidios son estratégicas en la actualidad, por lo cual se puede decir en términos generales que es necesario avanzar en las políticas y el fortalecimiento tanto como en la actualización misma de los marcos regulatorios en este apartado (Ramírez-Camperos *et al.*, 2013).

En 2005-2010 el gasto acumulado en subsidios energéticos representó 1 150 miles de millones de pesos de ese país (MMP) equivalente a 10 por ciento del producto interno bruto (PIB) anual medio en estos años. En 2008, cuando se duplicó el precio internacional del petróleo, se alcanzó un máximo histórico de casi 400 MMP. Esta cifra representó: 3.3 por ciento del PIB de ese año; 18 por ciento del gasto público programable; 30 por ciento del gasto en desarrollo social; más que todo el gasto público en salud, y 10 veces el presupuesto del principal programa contra la pobreza en México (Andretta, 2011).

GRÁFICA 3. Porcentaje de los principales países consumidores de energía en América Latina entre 2004 y 2010



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, aparte de los inconvenientes de eficiencia en la producción de energía, Edenhofer y Jaeger (1998) sostienen que un país puede tener también importantes problemas debido a la no adecuada gestión de las políticas públicas en general; en cuanto a los impuestos sobre la energía, los subsidios a la energía y los límites de consumo de energía, que pueden agravarse por la excesiva demanda, tal como sucede precisamente con México. El país alcanzó, según el Banco Mundial (2011a), entre el año 2004 y el año 2010 un promedio de 175 165.9534 kT ocupando así la posición trece a nivel mundial de los países con mayor consumo de energía en petróleo, y la posición dos, después de Brasil, de los países latinoamericanos con mayor consumo (véase gráfica 3); por lo tanto, se puede afirmar que este país posee un problema estructural y una contradicción significativa que lo ha obligado, como un importante pero ineficiente productor de petróleo, a imple-

mentar subsidios para la energía con el fin de ofrecer gasolina y combustibles baratos a su población. Este tipo de desequilibrios genera problemas de tipo fiscal, que además conllevan a una situación de insostenibilidad; por eso en algunos países los déficit presupuestarios están tornándose inmanejables y amenazan la estabilidad de las economías (FMI, 2013).

Igualmente cabe señalar que según Andretta (2011) los subsidios energéticos en México son esencialmente de tres tipos; el primer subsidio es el aplicado a las gasolinas por valor 223 716 millones de pesos mexicanos o 17 098 millones de dólares equivalentes a 1.84 por ciento del PIB; el segundo es el aplicado a la electricidad por valor de 148 521 millones de pesos mexicanos o 11 351 millones de dólares equivalentes a 1.22 por ciento del PIB y el tercero es el aplicado al gas por valor de 126 197 millones de pesos mexicanos o 9 645 millones de dólares equivalentes a 0.22 por ciento del PIB; para un consolidado total de 398 434 millones de pesos mexicanos o 30 452 millones de dólares equivalentes a 3.3 por ciento del PIB en México. Todo esto durante el año 2008 que fue precisamente el periodo en que se duplicó el precio del petróleo debido a inconvenientes asociados a la crisis mundial.

Otros estudios que analizan a fondo los efectos negativos y contradictorios de este tipo de políticas son las investigaciones de Quadri de la Torre (2011), quien afirma que es preciso mantener los subsidios energéticos como un aliciente en contra de la inflación; no obstante, y pese a que su remoción sin duda causaría un efecto sobre el nivel general de precios, este fenómeno de presión inflacionaria no tendría por qué ser permanente, de hecho, sería sólo un ajuste puntual en el tiempo que tendería a diluirse asintóticamente en un periodo significativamente corto, conllevando así a un realineamiento en los precios capaz incluso de transformar patrones de producción y consumo en las economías.

La cifra total de los subsidios en México ha sido tan alarmante, y como bien se ha señalado, promovida por el latente imaginario de presiones inflacionarias, que si se comparan las cifras totales de 2010 concernientes a rubros importantes tales como defensa, economía, educación, salud, seguridad, trabajo, medio ambiente y otros tantos más del Presupuesto de Egresos de la

Federación (PEF), es decir 787 492 millones de pesos mexicanos, respecto a los 398 434 millones de pesos mexicanos correspondientes al total de los subsidios energéticos de 2008; el resultado sería que poco más de la mitad de ese PEF de dos años se emplea para los subsidios energéticos en ese país. De hecho cabe destacar que de los 46 236 millones de pesos mexicanos del año 2010 destinados al presupuesto de medio ambiente, la octava parte del dinero empleado corresponde a los subsidios energéticos (Quadri de la Torre, 2011).

En definitiva los subsidios energéticos pueden ser entendidos como un problema y una política pública cuestionable en diversos países del mundo; de hecho, según el FMI (2013a), en primera instancia los bajos precios promovidos por los subsidios desestimulan las inversiones y la producción de la empresa tanto privada como pública en el sector de la energía; conllevando a la reducción de la oferta de energía, un elemento determinante para el crecimiento. En segundo lugar, los subsidios consumen recursos que en teoría deben emplearse en gastos públicos que incentiven el crecimiento, incluidos gastos como infraestructura, educación, salud, protección social y demás; tal como demuestra Quadri de la Torre (2011) algunos países como México suelen gastar más en subsidios a la energía que en salud y educación, perjudicando el desarrollo del capital humano. En tercer lugar, la implementación de subsidios conlleva a que los recursos se asignen de manera ineficiente a actividades de uso intensivo de capital y energía; por ello, la eliminación de los subsidios a la energía también puede extender la disponibilidad de recursos energéticos que suelen ser no renovables, además de incentivar la investigación y desarrollo de tecnologías más sostenibles. En cuarto lugar, estas ayudas estatales incitan a un mayor consumo de energía, por ello los subsidios ejercen presión sobre la balanza de pagos de los países que son importadores netos de energía y ocasionan fuga de reservas internacionales, entre otros fenómenos. En quinto lugar, al promover el consumo de energía, paralelamente tienden a aumentar las emisiones de CO₂, por ello los subsidios pueden empeorar los problemas del cambio climático y elevar indirectamente la contaminación. Por último, los subsidios energéticos, elevan la desigualdad porque benefician principalmente a los grupos

de altos ingresos, que son los mayores consumidores de energía respecto a los grupos de bajos ingresos tal como afirma Quadri de la Torre (2011) en algunas de sus investigaciones.

METODOLOGÍA

En este estudio se incluyeron cinco variables: emisiones de CO₂ en kT, el PIB (crecimiento anual), el uso de energía equivalente a petróleo, el consumo de energía eléctrica per cápita, y los subsidios al consumo de energía per cápita. Las cuatro primeras se tomaron de los datos que el Banco Mundial (2014a) presenta sobre diferentes temáticas y la variable restante fue extraída de un estudio publicado en Cuaderno de Debate 7 (Quadri de la Torre, 2011).

El Banco Mundial suministra datos para cuatro de las cinco variables incluidas en el estudio desde el año 1990 hasta 2010 para las variables emisiones de CO₂ kT y consumo de energía eléctrica per cápita. En los casos de la tasa de crecimiento del PIB y el uso de energía equivalente a petróleo per cápita, se cuenta con datos hasta 2013. Por su parte, respecto a la variable subsidios al consumo de energía eléctrica per cápita, los datos disponibles abarcan el periodo 2000 a 2010.

Inicialmente se había pensado en abordar el periodo 2004 a 2012. La justificación para ello era que en 2004 tomó más fuerza la política de subsidios al sector energético en México, y 2012 representa el año en que finaliza el primer periodo del protocolo de Kioto, cuyo propósito era logara la reducción de las emisiones en 5 por ciento en el periodo 2008-2012 con relación a las emisiones del año 1990.

Por este motivo se pensó en proyectar según la tendencia de datos las variables que no contaban con información para los años 2011 y 2012, por lo que se podría utilizar la parábola de los mínimos cuadrados, que aproxima el conjunto de puntos (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) , ... (X_N, Y_N) a la ecuación dada por $Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2$, donde las constantes a , a_1 y a_2 se determinan al resolver simultáneamente el sistema de ecuaciones que se forma al multiplicar la ecuación $Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2$ por 1, y que para su resolución emplea la regla de Cramer.

CUADRO 1. Variables analizadas en el estudio

<i>Año</i>	<i>Emisiones de CO₂ en kT</i>	<i>Subsidios al consumo de electricidad per cápita (dólares)</i>	<i>PIB (Crecimiento anual)</i>	<i>Uso de energía equivalente a petróleo per cápita (kT)</i>	<i>Consumo de energía eléctrica per cápita (Kwh)</i>
2004	410 744	7 553	4.3	1 457	1 799
2005	435 046	8 714	3.0	1 538	1 853
2006	441 796	8 882	5.0	1 537	1 865
2007	455 845	9 682	3.1	1 557	1 899
2008	471 444	13 344	1.4	1 582	1 908
2009	446 237	4 848	-4.7	1 510	1 870
2010	441 674	7 516	5.1	1 518	1 916

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco Mundial (2014) y de Quadri de la Torre (2011).

Sin embargo, por el perfil de la revista a la que se adscribe este artículo se consideró que era mejor tomar los datos históricos disponibles, con el fin de que el análisis fuera más realista, ya que las proyecciones pueden tener cierto margen de error. Por este motivo se selecciona como periodo de estudio aquel que se encuentra comprendido entre los años 2004 y 2010 y así mismo a continuación, en el cuadro 1, se presentan los datos para las cinco variables mencionadas.

Para el caso de los subsidios al consumo de electricidad per cápita se tuvo que realizar una conversión a dólares expresados en términos corrientes, pues los datos suministrados por Quadri de la Torre (2011) se presentan en pesos mexicanos. Por este motivo se consulta la tasa de cambio oficial promedio que suministra el Banco Mundial (2014), y posteriormente se realiza la conversión correspondiente.

A partir de estos datos se calcula una matriz de correlación de coeficientes de *r* Pearson (cuadro 2), cuya diagonal siempre debe ser igual a uno, debido a que este valor representa la relación de cada variable consigo misma.

Para efectos prácticos de este estudio se hace la siguiente notación:

A: Emisiones de CO₂ en kT.

B: Subsidios al consumo de electricidad per cápita.

C: PIB, tasa de crecimiento anual.

CUADRO 2. Significados de los valores de las correlaciones

<i>Valor</i>	<i>Significado</i>
-1.0	Correlación negativa grande y perfecta
(-0.9; -0.99)	Correlación negativa muy alta
(-0.7; -0.89)	Correlación negativa alta
(-0.4; -0.69)	Correlación negativa moderada
(-0.2; -0.39)	Correlación negativa baja
(-0.01; -0.19)	Correlación negativa muy baja
0.0	Correlación nula
0.01- 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2- 0.39	Correlación positiva baja
0.4- 0.69	Correlación positiva moderada
0.7-0.89	Correlación positiva alta
0.9- 0.99	Correlación positiva muy alta
1.0	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Tomado de Suárez (2012).

D: Uso de energía equivalente a petróleo per cápita.

E: Consumo de energía eléctrica per cápita.

Los autores de este texto intentan probar si las variables descritas presentan algún tipo de relación. Por este motivo se generan una serie de hipótesis que deben ser verificadas utilizando una matriz de correlaciones, a los valores arrojados se les realiza una prueba de significancia estadística.

Se toma en cuenta que son cinco variables se pueden generar 25 combinaciones entre sí. Aunque, hay que considerar que cinco de ellas sería contra sí mismas y diez se repetirían, ya que por ejemplo, la combinación A-C sería lo mismo que la relación C-A. Por este motivo sólo interesan diez coeficientes de correlación, de los que se podrían generar mínimo diez hipótesis, es decir, una por cada relación.

Sin embargo, sólo se van a formular siete hipótesis, debido a que se cree que con ello se abarca lo más importante de este trabajo. De esta forma, las hipótesis se clasificaron en cuatro tipos: la hipótesis principal, las relacionadas con los subsidios energéticos, las relacionadas con las emisiones de CO₂ y las que relacionan la forma de energía con su consumo.

La hipótesis principal para este trabajo es la siguiente:

Hipótesis principal: Si bien es cierto que en diferentes sectores se han utilizado tecnologías limpias para mitigar las emisiones, la tendencia de las emisiones en México es a que aumenten las concentraciones de CO₂. Por este motivo, la relación de éstas con la tasa de crecimiento de la economía es alta o muy alta, además de ser negativa y probablemente su coeficiente de correlación se ubica entre -0.7 y -0.99.

Luego se presenta el primer grupo de hipótesis, denominadas *hipótesis del grupo 1*. En ellas se encuentran expresadas las relaciones que se presentan entre los subsidios a la producción de energía y otras variables pertenecientes a las dimensiones económica y ambiental del desarrollo sostenible.

A continuación se muestran las cuatro hipótesis que conforman este grupo.

Hipótesis 1A: Los subsidios a la producción de energía deben relacionarse negativamente con el crecimiento del PIB, por lo que su correlación debe ser negativa y alta, o muy alta, esto es, en un valor entre -0.7 y -0.99.

Hipótesis 1B: Los subsidios a la producción energética se encuentran orientados a la producción proveniente de energías fósiles. Por este motivo, la relación entre estas dos variables debe ser positiva y ubicarse en valores entre 0.7 y 0.99.

Hipótesis 1C: Los subsidios a la producción energética estimulan el consumo de energía eléctrica per cápita. Por esta razón, la relación entre estas dos variables debe ser alta o muy alta, por lo que su rango de correlación debe de estar entre 0.7 y 0.99.

Hipótesis 1D: Los subsidios a la producción energética se encuentran orientados a la producción proveniente de energías fósiles, y generan incrementos en las emisiones de CO₂. Por esta razón, la relación existente entre los subsidios a la energía y las emisiones de CO₂ debe ser positiva y alta o muy alta, lo que ubicaría el coeficiente de correlación en un valor entre 0.7 y 0.99.

En el segundo grupo se pueden ubicar aquellas hipótesis vinculadas a otros factores generadores de emisión. En este caso debe estudiarse la correlación de la variable denominada emisiones de CO₂ en kT con respecto a otras variables:

De la misma manera se presenta un segundo grupo de hipótesis, las cuales establecen relaciones entre la variable emisiones de CO₂ en kT con otras de las variables del estudio.

Estas serían las tres hipótesis que conforman este grupo:

Hipótesis 2A: Las emisiones de CO₂ se encuentran vinculadas a la producción de energías con combustible fósil. Por lo tanto, esta relación debe ser positiva alta, o muy alta. De esta forma el coeficiente de correlación se debería ubicar en el rango 0.7 a 0.99.

Hipótesis 2B: Como gran parte de la energía es generada por combustibles fósiles, entonces debe existir una relación alta o muy alta entre las emisiones de CO₂ en kT y el consumo de energía eléctrica per cápita.

Se podría pensar que falta una hipótesis que relacione las emisiones de CO₂ con la tasa de crecimiento del PIB, pero resulta que esa no se puede establecer debido a que fue la que se formuló como hipótesis principal.

Finalmente se presentan aquellas hipótesis que relacionan la forma de energía con su consumo.

En este grupo sólo se considera una hipótesis. Esto se explica porque sólo se consideraron dos variables que representan la relación requerida en este tipo de hipótesis, las que en este caso estarían representadas por la opción D-E o E-D. Las dos son válidas ya que representan la misma relación ente variables, por lo que es indiferente elegir una u otra.

Hipótesis 3A: como buena parte de la producción de energía proviene de combustibles fósiles, entonces la correlación entre las energías provenientes de combustibles fósiles y el consumo de energía debe ser positiva y alta o muy alta.

Para validar los datos se genera una matriz de correlación entre dichas variables. Al respecto (cuadro 3), se presentan los resultados de las correlaciones entre estas cinco variables.

En este estudio se toman los coeficientes que presentan una correlación alta y muy alta, pues son éstos los que pueden ser más significativos al mo-

CUADRO 3. Coeficientes de correlación de las variables

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>A</i>	1.00	0.59	-0.30	0.96	0.85
<i>B</i>	0.59	1.00	0.35	0.73	0.37
<i>C</i>	-0.30	0.35	1.00	-0.06	-0.06
<i>D</i>	0.96	0.73	-0.06	1.00	0.81
<i>E</i>	0.85	0.37	-0.06	0.81	1.00

Fuente: Elaboración propia.

mento de comprender la relación entre las variables. Cabe recordar que cuando se analizan coeficientes de correlación no se debe caer en lo que se conoce como la falacia post hoc, que consiste en pensar que una variable incide sobre la otra, debido a que una correlación no implica causalidad, sino simplemente compartir una dirección o tendencia que puede ser positiva o negativa.

Luego de conocer los coeficientes de correlación se les debe hacer una prueba de significancia, la cual indica que además de que las variables están relacionadas, lo hacen de forma significativa.

Para muestras menores a 30 datos se puede utilizar una prueba *t* de *student* con un $\alpha = 0.95$ y $N-2$ grados de libertad. Se toma el $\alpha = 0.95$ debido a que es el más común en las pruebas estadísticas. En el caso de los grados de libertad, se tiene que $N=7$, puesto que entre 2004 y 2010 hay siete años. De esta forma, los $N-2$ grados de libertad serían iguales a cinco.

En la prueba de *t* de *student* debe generarse y probarse una hipótesis nula y una alterna:

H0: = 0_{xy} El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero ($p = 0$).

H1: = 0_{xy} El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuyo coeficiente de correlación es distinto de cero ($p \neq 0$).

En el caso en que $t > t_{student}(0.95, N-2)$ se rechaza la hipótesis nula y, por lo tanto, las variables estarán relacionadas.

CUADRO 4. Prueba de significancia de las correlaciones

Relaciones	S	$(1-r/n-2)$	t	$(r-0)$	$t\ student$ $(0.95, N-2)$
A-B	0.28668812	0.08219008	2.05467041	0.59	2.015
A-D	0.08885202	0.00789468	10.8104076	0.96	2.015
A-E	0.17437681	0.03040727	4.86282327	0.85	2.015
B-D	0.23418412	0.0548422	3.09922384	0.73	2.015
D-E	0.19680544	0.03873238	4.09713324	0.81	2.015
B-C	0.36062357	0.13004936	0.96985673	0.35	2.015
B-E	0.3544868	0.12566089	1.04854547	0.37	2.015
C-A	0.51021784	0.26032225	-0.59114209	-0.30	2.015
C-D	0.45945861	0.21110221	-0.12081842	-0.06	2.015
C-E	0.46131509	0.21281161	-0.13885963	-0.06	2.015

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, cuando $t < t\ student (0.95, N-2)$ se acepta la hipótesis nula y, por lo tanto, las variables no estarán relacionadas. Así, en el cuadro 4 se presentan los resultados de la prueba t y su contraste con la t de *student* (0.95, $N-2$).

Nótese que el valor de la $t\ student (0.95, N-2)$ es igual a 2.015. En este caso sólo serán significativos aquellos valores t que sean superiores a dicha puntuación.

En la sección tres se analizarán los resultados arrojados tanto por la matriz de correlación del cuadro 3, como de la prueba de significancia presentada en el cuadro 4.

RESULTADOS

En la sección que abordó los temas metodológicos se plantearon cuatro tipos de hipótesis que se formulaban de acuerdo con la importancia de las variables. La primera en formularse fue la hipótesis principal, luego se presentaron las relacionadas con los subsidios energéticos, así como las relacionadas con las emisiones de CO₂ y, finalmente, las que relacionan la forma de energía con su consumo.

RESULTADOS ASOCIADOS A LA HIPÓTESIS PRINCIPAL

La relación A-C, esto es, aquella que vincula a las variables de emisiones de CO₂ en kT y la tasa de crecimiento del PIB, presenta un coeficiente de correlación negativo como era de esperarse, pero muy bajo, pues su valor es de -0.3; además en la prueba de significancia el valor *t* fue de 0.96 que es inferior al requerido para un nivel de confianza de 0.95 y *N*-2 grados de libertad. Por esta razón se puede decir que para este periodo no existe una relación significativa entre estas dos variables.

RESULTADOS ASOCIADOS CON LAS VARIABLES RELACIONADAS
CON LOS SUBSIDIOS AL SECTOR ENERGÉTICO

En la hipótesis 1A se había planteado que los subsidios a la producción de energía debían relacionarse negativamente con el crecimiento del PIB, por lo que su correlación también tendría que ser negativa y alta, o muy alta, por lo que su valor de correlación debía ubicarse en el rango que va de -0.7 a -0.99.

Sin embargo, al estudiar el cuadro 3, se nota que la relación B-C, es decir, aquella que relaciona los subsidios energéticos con el crecimiento del PIB es positiva y tiene un valor apenas de 0.35, lo que según el cuadro 2, la ubica en la categoría baja. Por este motivo, no existe evidencia que demuestre una relación entre estas variables. Esto se corrobora en el cuadro 4, en donde puede verse que su relación no es significativa ya que para las variables B-C el valor *t* es menor que el *t* de *student* (0.95, *N*-2).

En este sentido puede decirse que la hipótesis 1A no se cumple, pues se esperaba un valor negativo superior a -0.7. Esta baja relación que, además, fue positiva se explica por el hecho de que los subsidios energéticos no son el único factor de relación con el PIB, pues éste depende, entre otras variables, de la inversión privada nacional o extranjera, el consumo doméstico, el nivel de gasto público y de las exportaciones netas. Por esta razón, lo único que puede decirse es que estas variables no se mueven en dirección contraria, que era lo que se esperaba, sino que lo hacen en la misma dirección pero con una muy baja relación.

En el caso de la hipótesis 1B, hay que recordar que se había enunciado que como los subsidios a la producción energética se encontraban orientados a la producción proveniente de energías fósiles, entonces, lo más apropiado era pensar que la relación de estas dos variables debía ser positiva y ubicarse en valores entre 0.7 y 0.99, lo que indicaría una correlación alta o muy alta entre ellas.

Para comprobar el cumplimiento de esta hipótesis debe analizarse la relación B-D, que es la que incluye estas dos variables. En este caso el valor de la correlación fue de 0.73, lo que corresponde con lo que plantea el enunciado de la hipótesis. Luego al realizar la prueba de significancia estadística y al comparar el valor t de la relación B-D con el t de *student* (0.95, $N-2$) se ve que el primero es mayor que el segundo, lo que confirma que estas variables se encuentran relacionadas.

En contexto esta relación muestra que los subsidios al sector energético se mueven en la misma tendencia, o se comportan de forma similar al consumo de energía proveniente de combustibles fósiles. Una vez más debe insistirse en que correlación no significa causalidad y, que ello puede llevar a caer en una falacia post hoc. Sin embargo, sí puede pensarse que la tendencia que comparten estas dos variables podría estar asociada a que en México estos subsidios, en buena medida, financian actividades energéticas provenientes del uso de combustibles.

De igual forma se formuló una hipótesis que relacionó los subsidios energéticos con el consumo de energía eléctrica per cápita. A esta se le denominó hipótesis 1C y, en ella, también se estableció que su correlación debía ser superior a 0.7, pero al recurrir al cuadro 4 y ver el resultado de la relación B-E se notó que ésta sólo era de 0.37, lo que la clasifica como una correlación positiva baja. Además, en la prueba de significancia el valor t para estas dos variables fue de 1.048, que es inferior a 2.015 que muestra el valor t de *student* (0.95, $N-2$). Por esta razón, no existe una relación significativa entre estas dos variables.

Aunque en esta correlación no podría hablarse de la incidencia de los subsidios energéticos en el consumo de energía eléctrica, pues no se trata de una relación de causalidad, sí debe considerarse que estas dos variables se mueven con una tendencia similar pero su correlación no es alta.

En este último punto podría ser más valioso realizar estimaciones de las tendencias de consumo de energía, que de hecho muestra ser creciente, lo que se justifica por el hecho de que las sociedades modernas consumen más energía. Además, si el cambio climático es una realidad, entonces el clima del planeta podría tener cambios abruptos y eso incidiría a que a futuro se demande más energía por concepto de calefacción en unos casos y de aire acondicionado en otros.

La última de las hipótesis de este grupo, la 1D, indaga la relación entre las subvenciones a la producción de energía y las emisiones de CO₂ expresadas en kT, en ella se proponía un coeficiente de correlación superior a 0.7.

Al revisar el coeficiente de correlación para las variables A-B se tiene que éste fue de 0.59, que lo clasifica como una relación positiva moderada. Al momento de revisar la prueba de significancia, el cuadro 3, muestra para la relación A-B que el valor *t* es de 2.05, mientras que el exigido por la prueba *t* de *student* (0.95, *N*-2) es de 2.015. Esto significa que el primero es levemente superior, lo que permite inferir que sí existe una relación entre las variables en cuestión.

Sin embargo se insiste en que se debe evitar creer que este resultado indica que al aumentar los subsidios al sector energético van a aumentar las emisiones de CO₂; por un lado eso no explica el significado de la correlación y, por otro, el hecho de que el sector energético no es el único sector que genera emisiones de CO₂. De esta manera, el coeficiente sólo expresa que hay una tendencia común entre estas dos variables, pero que ésta es moderada.

RESULTADOS ASOCIADOS CON LAS RELACIONES ENTRE LAS EMISIONES DE CO₂

Con la hipótesis 2A se quería establecer si las emisiones de CO₂ se encontraban vinculadas a la producción de energías con combustible fósil. Parece una relación muy obvia, por este motivo se consideró que la relación entre ellas debía ser positiva alta, o muy alta, por lo que el coeficiente de correlación se ubicaría en el rango 0.7 a 0.99.

En el cuadro 3 se presenta la matriz de correlaciones. En este caso interesa centrarse en la relación A-D. Puede observarse que el valor del coeficiente es de 0.96, lo que indica que se trata de una correlación positiva muy alta. Esto

quiere decir que la emisión de CO₂ expresada en kT y la producción de energía equivalente a petróleo presentan un comportamiento casi igual. Después se le realiza una prueba de significancia a dicho valor, que se representa en el cuadro 4, de forma específica, en la relación A-D. Su valor *t* no sólo es mayor que el de la prueba *t* de *student* (0.95, *N*-2), sino que es el más alto de todos. Eso significa que existe una relación muy marcada entre estas dos variables.

Pese a no tratarse de una prueba de causalidad, sí puede deducirse que una forma de bajar las emisiones de CO₂ en kT es reduciendo la producción de energía equivalente a petróleo. Por este motivo sería conveniente que en trabajos futuros se estudiará alguna forma de relación de causalidad debido a que es muy probable que sí exista una alta incidencia de la primera variable sobre la segunda.

Una segunda hipótesis de este nivel es la 2B. En ella se expresa que como gran parte de la energía es generada por combustibles fósiles, entonces debería existir una relación alta o muy alta entre las emisiones de CO₂ en kT y el consumo de energía eléctrica per cápita, por lo que el valor de la correlación debería moverse entre 0.7 y 0.99.

Para validar esta hipótesis se debe analizar la relación A-E. Al respecto, el cuadro 4 presenta los resultados de la correlación de estas dos variables. Puede notarse que toma un valor de 0.85, lo cual indica una alta correlación. Al igual que con los demás resultados, éste debe ser sometido a una prueba de significancia, cuyo valor se presenta en el cuadro 4. En ella se aprecia que el valor *t* es de 4.86 y éste es mayor que el valor de la prueba *t* de *student*, por lo que se considera que estas variables se encuentran relacionadas de una forma significativa.

RESULTADOS ASOCIADOS CON LA RELACIÓN ENTRE LA FORMA DE ENERGÍA PREDOMINANTE Y EL CONSUMO DE ÉSTA

La hipótesis que se validó fue la 3A. En ella, inicialmente, se expresó que como buena parte de la producción de energía provenía de combustibles fósiles, entonces la correlación entre estas últimas y el consumo de energía debería ser positiva, alta o muy alta.

En efecto el valor del coeficiente de correlación entre E-D fue de 0.81, que se puede observar en el cuadro 3; Además, en la prueba de significancia asignada el valor t fue de 4.089 y éste es mayor que el requerido por la prueba t de *student* (0.95, $N-2$). Por este motivo puede decirse que la relación entre estas dos variables no sólo es alta sino también significativa. Esto quiere decir que la energía equivalente a combustible fósil per cápita y el consumo de energía per cápita se comportan de manera similar, ya que el tema de la incidencia de una sobre otra sería motivo de otro tipo de estudios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJOS

Hay todavía una creencia muy generalizada en el medio académico y empresarial internacional que consiste en relacionar de forma inversa las dimensiones ambiental y económica pertenecientes a la temática del desarrollo sostenible. En este trabajo dicha relación se estudió al analizar la combinación A-C que representa el coeficiente de correlación entre las emisiones de CO₂ expresado en kT y la tasa de crecimiento del PIB. En efecto, la relación es inversa, pero no es para nada significativa, ya que el coeficiente entre éstas es apenas de -0.30, es decir, la correlación estaría clasificada como muy baja; además la prueba de t no confirmó relación entre estas variables, por lo que para este periodo no podría hablarse de que exista una relación significativa entre ambas.

En este sentido se debe evitar incurrir en este tipo de generalizaciones, puesto que se puede caer en lo que se conoce como la falacia de la composición, la cual consiste en inferir que porque algo ocurre en la totalidad, de esa misma forma se comportará en las partes.

La emisiones de CO₂ presentan relación alta con respecto a la energía equivalente a combustible fósil (esta fue la más alta de todas las correlaciones) y al consumo de energía per cápita. El hecho de que se muevan en una misma dirección podría ser un primer indicio de que puede haber incidencia entre ellas, lo que hace necesario que se realicen estudios de causalidad que, de validarse adecuadamente, podrían constituirse en una base para las políticas energéticas que cuiden el ambiente y se orienten más a la producción de energías alternativas en lugar de las basadas en gas y petróleo.

En cuanto a las emisiones de CO_2 y los subsidios al sector energético, su relación fue válida; no obstante, moderada, ya que el valor t es ligeramente superior a la prueba t *student* (0.95, $N-2$). De nuevo se invita a realizar una prueba de causalidad que, de ser valedera, también daría nuevos elementos que podrían incluso justificar que este tipo de subsidios podría ir destinados a financiar las energías alternativas en lugar de las provenientes de combustibles fósiles.

En el caso concreto de los subsidios se encuentra una correlación alta que pasa la prueba de significancia, de su relación con la energía equivalente a combustible fósil, lo que indica que estas dos variables en el periodo de análisis se comportan de forma similar y que, de confirmarse algún tipo de causalidad, estaría sugiriendo que gran parte de los subsidios se estarían destinando a generación de energía térmica a gas o a petróleo, lo que a su vez tendería a aumentar la concentraciones de CO_2 .

De igual forma, el hecho de que las variables energía equivalente a petróleo y consumo de energía per cápita hayan presentado una correlación alta y significativa estaría mostrando una tendencia similar de estas en dicho periodo. Lo anterior tiene mucha coherencia, pues la oferta de servicios energéticos, en este caso sustentados en la producción basada en combustibles fósiles, se ajusta de acuerdo con los requerimientos de la demanda de energía.

En esto último hay que tener en cuenta que, ante las tendencias del cambio climático, la temperatura del planeta puede presentar cambios extremos (IPCC, 2014), eso puede verse reflejado en temperaturas más altas o más bajas que pueden intensificar la demanda de calefacción o de aire acondicionado según sea el caso, lo cual se vería reflejado en el incremento del consumo de energía per cápita, de hecho los datos de esta variable muestran una tendencia al alza. Es en esta parte donde se debe responder el interrogante de ¿con qué tipo de generación de energía se cubrirá ese aumento de la demanda? Si la respuesta es que con la proveniente de los combustibles fósiles, muy seguramente las concentraciones de CO_2 no se reducirán y se mantendría la tendencia que presenta la relación A-D; que ya es de por sí muy alta. Para revertir esa tendencia, o por lo menos bajar el coeficiente de correlación, se tendría que empezar a incentivar mucho más el uso de energías renovables.

Se recomienda que en futuros trabajos se establezcan relaciones de causalidad entre algunas de las variables. Para ello se podría tomar como criterio la prueba de significancia, ya que ésta expresa cuáles de las variables en efecto se encuentran relacionadas. En este caso las variables que se podrían elegir para dicha prueba serían:

La relación A-B: emisiones de CO₂ en kT y subsidios al consumo de energía.

La relación A-D: emisiones de CO₂ en kT y energía equivalente a petróleo per cápita.

La relación A-E: emisiones de CO₂ en kT y consumo de energía per cápita.

La relación B-D: subsidios al consumo de energía y consumo de energía per cápita.

La relación D-E: energía equivalente a petróleo per cápita y consumo de energía per cápita.

Sin embargo se podría considerar como criterio adicional elegir sólo las que tengan una alta o muy alta correlación. Una opción válida para lograr este propósito sería la de realizar regresiones múltiples, ya que en éstas pueden expresarse en una relación de causalidad entre una variable dependiente y unas cuantas variables independientes. Todo ello con el propósito de generar elementos que sean útiles para el accionar político, lo cual permitirá trascender desde un modelo de desarrollo centrado en la explotación económica hacia uno que propenda por el desarrollo sostenible de México. ☐

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andretta, J. (2011), *¿Quién se beneficia de los subsidios energéticos en México?*, México, CIDE, disponible en: http://www.cide.edu/cuadernos_debate/Subsidios_energeticos_J_Scott.pdf [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].

Arrhenius, S. (1896), "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon

- the Temperature of the Ground”, *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 4(5), pp. 237-276.
- Ballester, F., J. Díaz y J. Moreno (2006), “Cambio climático y salud pública: Escenarios después de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto”, *Gaceta Sanitaria*, 20(1), pp. 160-174.
- Banco Mundial (2010), “Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita)”, disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries?display=default> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (2010a), “Emisiones de CO₂ (kT)”, disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT/countries?display=default> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (2011), “Emisiones de CO₂ del consumo de combustible gaseoso (kilotoneladas)”, disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (2011a), “Emisiones de CO₂ del consumo de combustible gaseoso (kilotoneladas)”, disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.LFKT> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (2014), “Tasa de cambio oficial (UMN por US\$, promedio para un periodo)”, disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/PA.NUS.FCRF> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (2014a), “Sustainable Development”, disponible en: <http://www.worldbank.org/en/topic/sustainabledevelopment> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Blackman, A., B. Lahiri, W. Pizer, M. Rivera y C. Muñoz (2010), “Voluntary Environmental Regulation in Developing Countries: Mexico’s Clean Industry Program”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 60(3), pp. 182-192.
- Beeri, I. y F. Yuval (2015), “New Localism and Neutralizing Local Government: Has Anyone Bothered Asking the Public for Its Opinion?”, *Journal of Public Administration Research and Theory*, 25(2), pp. 623-653.
- Bobadilla, V. y E. Harris (2015), “Through the Student Lens: A review of

- Understanding Environmental Policy”, *Public Administration Review*, 75(4), pp. 633-635.
- Cabezas, A. (2009), “La evaluación de los riesgos ambientales y su aplicación a los proyectos de desarrollo limpio”, *Cuadernos de Economía*, 32(90), pp. 73-136.
- Calderón, R., R. Sumerán, J. Chumpitaz y J. Campos (2011), *Educación ambiental: Aplicando el enfoque ambiental hacia una educación para el desarrollo sostenible*, Húanuco, Gráfica Kike.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2012), Ley del servicio público de energía eléctrica, disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/99.pdf> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Cano, J. y J. Baena (2013), “Las tecnologías de información y comunicación como herramientas efectivas para la negociación internacional: Un estudio de caso en las empresas de la ciudad de Medellín”, en A. Beltrán, C. Cobo, E. Velásquez y C. Restrepo, *La administración frente a los desafíos de la economía global*, Santa Marta, Universidad Externado de Colombia, pp. 578-590.
- _____ (2015), “Tendencias en el uso de las tecnologías de información y comunicación para la negociación internacional”, *Estudios Gerenciales*, 31(136), pp. 335-346.
- Crawford, E. (1997), “Arrhenius’ 1896 Model of the Greenhouse Effect in Context”, *Ambio*, 26(1), pp. 6-11.
- Díaz-Bautista, A. (2008), “Un análisis económico político para México del Protocolo de Kyoto”, *Desarrollo local sostenible*, I(1), 1-10.
- Edenhofer, O. y C. Jaeger (1998), “Power Shifts: The Dynamics of Energy Efficiency”, *Energy Economics*, 20(5-6), pp. 513-537.
- Flores, R. (2012), “Investigación en educación ambiental”, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(55), pp. 1019-1033.
- FMI (Fondo Monetario Internacional) (2013), “Energy Subsidy Reform- Lessons and Implications”, disponible en: <https://www.imf.org/external/np/pp/eng/2013/012813.pdf> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (2013a), “Energy Subsidy Reform: The Way Forward”, disponible

- en: <https://www.imf.org/external/spanish/np/speeches/2013/032713s.htm> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Gallegos, R., E. Tapia y S. Romero (2014), “Impact of the Subsidy on the Electric Rate in the Use of Renewable Energy for Net Zero Housing in Mexicali, Mexico”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 181, pp. 291-300.
- Ghezloun, A., A. Saidane, N. Oucher y S. Chergui (2013), “The Post-Kyoto”, *Energy Procedia*, 36, pp. 1-8.
- Giest, S. (2015), “Comparative Analysis of Sweden’s Wind Energy Policy: The Evolution of ‘Coordinated’ Networks”, *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 17(4), pp. 393-407.
- Gupta, J. (2010), “A History of International Climate Change Policy”, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(5), pp. 636-653.
- Henstra, D. (2012), “Toward the Climate-Resilient City: Extreme Weather and Urban Climate Adaptation Policies in Two Canadian Provinces”, *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 14(2), pp. 175-194.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014), “Impacts, Adaptation, and Vulnerability”, disponible en: <http://www.ipcc.ch>: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Jiménez, L. (2003), *Ecología y economía para un desarrollo sostenible*, Valencia, La Nau Solidaria.
- Krapivin, V. y C. Varotsos (2008), *Biogeochemical Cycles in Globalization and Sustainable Development*, Nueva York, Springer.
- Macedo, B. y C. Salgado (2007), “Educación ambiental y educación para el desarrollo sostenible en América Latina”, *Forum de Sostenibilidad*, 1, pp. 29-31.
- Morales, S., C. Álvarez, C. Acevedo y C. Díaz (2015), “An Overview of Small Hydropower Plants in Colombia: Status, Potential, Barriers and Perspectives”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, pp. 1650-1657.
- Mori, K. y A. Christodoulou (2012), “Review of Sustainability Indices and

- Indicators: Towards a New City Sustainability Index (CSI)", *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), pp. 94-106.
- Munda, G. (2006), "Social Multi-criteria Evaluation for Urban Sustainability Policies", *Land Use Policy*, 23(1), pp. 86-94.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (1994), "Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático", disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- _____ (1997), "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático", disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Ove, S. (2010), "Technology and the Notion of Sustainability", *Technology in Society*, pp. 274-279.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2007), *Veinte años de éxito relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*, Nueva York, PNUD.
- PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (1987), Manual del Protocolo de Montreal - Ozone Secretariat, disponible en: <http://ozone.unep.org/30th-anniversary-montreal-protocol-and-international-ozone-day-2017> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Quadri de la Torre, G. (2011), "Subsidios vs. medio ambiente en México: El absurdo y las oportunidades", disponible en: [http://energiaadebate.com/wp-content/uploads/2011/09/Quadri\[1\].pdf](http://energiaadebate.com/wp-content/uploads/2011/09/Quadri[1].pdf) [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Radomes Jr., A. y S. Arango (2015), "Renewable Energy Technology Diffusion: An Analysis of Photovoltaic-system Support Schemes in Medellín, Colombia", *Journal of Cleaner Production*, 92, pp. 152-161.
- Ramírez-Camperos, A., V. Rodríguez-Padilla y P. Guido-Aldana (2013), "The Mexican Electricity Sector: Policy Analysis and Reform (1992-2009)", *Energy Policy*, 62, pp. 1092-1103.
- Rong, F. (2010), "Understanding Developing Country Stances on Post-2012 Climate Change Negotiations: Comparative Analysis of Brazil, China, India, Mexico, and South Africa", *Energy Policy*, 38, pp. 4582-4591.

- Royo, S., A. Yetano y B. Acere (2014), “E-Participation and Environmental Protection: Are Local Governments Really Committed?”, *Public Administration Review*, 74(1), pp. 87-98.
- Santoyo-Castelazo, E. y A. Azapagic (2014), “Sustainability Assessment of Energy Systems: Integrating Environmental, Economic and Social Aspects”, *Journal of Cleaner Production*, 80(1), pp. 119-138.
- Serna, C., M. Czerny, A. Londoño y O. Velez (2015), “Livelihood Assessment in District 1 of Medellín- Colombia”, *Miscellanea Geographica*, 19(4), pp. 9-20.
- Shui-Yan, T., R. Callahan y M. Pisano (2014), “Using Common-Pool Resource Principles to Design Local Government Fiscal Sustainability”, *Public Administration Review*, 74(6), pp. 791-803.
- Suárez, M. (2012), *Interaprendizaje de probabilidades y estadística inferencial con Excel, Winstats y Graph*, disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/940/1/Interaprendizaje%20de%20Probabilidades%20y%20Estad%3%ADstica%20Inferencial%20con%20Excel,%20Winstats%20y%20Graph.pdf> [fecha de consulta: 13 de marzo de 2016].
- Tudela, F. (2007), “México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático”, disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/437> [fecha de consulta: 13 de abril de 2016].
- Van Buuren, A., M. Vink y W. Jeroen (2016), “Constructing Authoritative Answers to a Latent Crisis? Strategies of Puzzling, Powering and Framing in Dutch Climate Adaptation Practices Compared”, *Journal Of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 18(1), pp. 70-87.
- Vélez, O. y A. Londoño (2016), “De la educación ambiental hacia la configuración de redes de sostenibilidad en Colombia”, *Perfiles Educativos*, 38(151), pp. 175-187.
- Wai-Hang, Y. y T.W.-H. Shui-Yan (2016), “Regulatory Compliance when the Rule of Law Is Weak: Evidence from China’s Environmental Reform”, *Journal of Public Administration Research and Theory*, 26(1), pp. 95-112.
- Walker, R. y R. Andrews (2015), “Local Government Management and

- Performance: A Review of Evidence”, *Journal of Public Administration Research and Theory*, 25(1), pp. 101-133.
- Washington, V. (2014), “Commentary: Local Government, the Internet, and Sustainability”, *Public Administration Review*, 74(1), pp. 99-100.
- Wilches, A., D. Gil y P. Cañal (2010), “Educación para la sostenibilidad y educación ambiental”, *Investigación en la Escuela*, 71, pp. 5-15.
- Zuluaga, M.e I. Dyer (2007), “Incentives for Renewable Energy in Reformed Latin-American Electricity Markets: The Colombian Case”, *Journal of Cleaner Production*, 15(2), pp. 153-162.

Abraham Allec Londoño Pineda es candidato a doctor en Desarrollo Sostenible de la Universidad de Manizales, Master Business Administration (MBA) de la Universidad de Medellín. Con pregrado en Economía de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como docente investigador de la Universidad de Medellín en el Grupo de investigación en Negocios y Relaciones Internacionales.

José Jaime Baena Rojas es doctor en Derecho y Ciencia Política de la Universidad de Barcelona, magíster en Internacionalización de la misma universidad, especialista en Comercio Internacional de la Escuela Europea de Dirección y Empresa. Con pregrado tanto en Negocios Internacionales de la Institución Universitaria Esumer como en Ciencia Política de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como docente investigador de la Universidad de Medellín en el Grupo de investigación en Negocios y Relaciones Internacionales.