

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CRECIMIENTO DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL MEDIO AMBIENTE: IDENTIDAD DE KAYA APLICADA A VENEZUELA (1990-2006)¹

**Rivas Wyzykowska, Adam²
Ramoni Perazzi, Josefa³
Orlandoni Merli, Giampaolo⁴**

Recibido: 12-09-2012 Revisado: 21-03-2013 Aceptado: 07-05-2013

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es evaluar el impacto que la actividad económica humana, medida por el crecimiento del PIB, ejerce sobre el medio ambiente y su relación con el fenómeno del calentamiento global. Se analiza la evolución de las emisiones de CO₂ durante el periodo 1990-2006 para Venezuela, así como su relación con la actividad económica, basándose en la identidad de Kaya. Esta metodología considera el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente como resultado de la conjunción de población, consumo per cápita y el impacto ambiental por unidad consumida. Descompone las emisiones de CO₂ per cápita en el índice de carbonización, de intensidad energética y de afluencia. Venezuela muestra tasas de crecimiento de emisiones de un 35%, por debajo de Latinoamérica como conjunto, con 40,5. En lo que respecta a la intensidad energética, el índice de afluencia o riqueza, la intensidad de emisiones y las emisiones per cápita, sus comportamientos son contrarios a los deseados; la excepción corresponde al índice de carbonización, cuya tasa de variación muestra la fuerte dependencia del parque hidroeléctrico nacional como principal fuente de energía y de bajo impacto en cuanto a emisiones respecta.

Palabras clave: identidad de Kaya, emisiones de CO₂, índice de carbonización, intensidad energética, hidroelectricidad, Venezuela

1 Esta investigación contó con el apoyo del CDCHTA (Proyecto E-287-08-09-A), de la ULA (Mérida, Venezuela) y está basada en el trabajo titulado «Desempeño económico y cambio climático: análisis de la evolución de las emisiones de CO₂ en Venezuela según la Identidad de Kaya» (Rivas, 2011).

2 Economista (Universidad de Los Andes, ULA, Venezuela); M.Sc. en Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente, con énfasis en evaluación de Impacto Ambiental (Universidad de Los Andes, Venezuela). Profesor titular (Universidad de Los Andes). **Dirección postal:** Facultad de Ciencias Económicas y Sociales (Universidad de Los Andes), Avenida Las Américas, Núcleo Liria, Edificio H, 3^{er} piso. Mérida, Venezuela. **Teléfono:** +58-274-2401017/2401026; **e-mail:** arivasw@yahoo.com

3 Economista (Universidad de Los Andes, ULA, Venezuela); M.Sc. en Estadística (ULA, Venezuela) y en Economía (University of South Florida, EE.UU.); Ph.D. en Economía (University of South Florida, EE.UU.). Profesor titular (Universidad de Los Andes). **Dirección postal:** Facultad de Ciencias Económicas y Sociales (Universidad de Los Andes), Avenida Las Américas, Núcleo Liria, Edificio H, 3^{er} piso. Mérida, Venezuela. **Teléfono:** +58-274-2401113; **e-mail:** jramoni@ula.ve

4 Economista (Universidad de Los Andes, ULA, Venezuela); M.Sc. en Economía (Iowa State University, EE.UU.); cursos de postgrado en Administración de Proyectos Públicos (OEA-ENAP-CICAP, CIDIAT-Venezuela); Evaluación Económica, Social y Ambiental de Proyectos (Universidad de Los Andes, Colombia); Variabilidad Climática (University of Miami, EE.UU.) y Macroeconomic Management (World Bank). Doctor (HC) en Estadística (ULA, Venezuela). Profesor titular (Universidad de Los Andes). **Dirección postal:** Facultad de Ciencias Económicas y Sociales (Universidad de Los Andes), Avenida Las Américas, Núcleo Liria, Edificio H, 3^{er} piso. Mérida, Venezuela. **Teléfono:** +58-274-2401049; **e-mail:** orlandon@ula.ve

ABSTRACT

The main objective of this study is to assess the impact of human economic activity, as measured by GDP growth, on the environment and its relationship with the global warming phenomenon. It discusses the evolution of Venezuela's CO₂ emissions during the 1990-2006 period, and its relationship with economic activity, based on the Kaya identity. This methodology considers the impact of human activities on the environment as the result of the combination of population, per capita consumption and environmental impact per unit consumed. It breaks down the CO₂ per capita emissions into the index of carbonization, energy intensity and affluence. Venezuela's emissions grow up at rates of 35%, below the Latin America average rate (40.5%). Regarding the energy intensity, intensity of emissions and per capita emissions, they behave against the desired one. The exception is the index of carbonization, whose rate of change shows the strong dependency of Venezuela from hydroelectricity as the main source of energy and the low impact of this source on emissions.

Key words: Kaya identity, CO₂ emissions, carbonization index, energy intensity, hydroelectricity, Venezuela

RÉSUMÉ

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact de l'activité économique humaine, mesurée par la croissance du PIB sur l'environnement et de sa relation avec le phénomène du réchauffement climatique. On discute l'évolution des émissions de CO₂ au cours de la période 1990-2006 pour Venezuela et sa relation avec l'activité économique, fondée sur l'identité de Kaya. Cette méthode tient compte de l'impact des activités humaines sur l'environnement à la suite de la combinaison de la population, la consommation par habitant et l'impact sur l'environnement par unité consommée. Il décompose les émissions de CO₂ par habitant dans l'index de la carbonisation, l'intensité énergétique et à l'aisance. Venezuela montre des taux de croissance de 35%, sous d'Amérique latine avec 40,5%. En ce qui concerne l'intensité énergétique, l'intensité des émissions et les émissions par habitant, leurs comportements sont contraires à le désiré, à l'exception de l'index de la carbonisation, dont le taux de change montre la forte dépendance de l'hydroélectricité comme la principale source d'énergie et faible impact en termes d'émissions.

Mots-clé: l'identité de Kaya, émissions de CO₂, index de carbonisation, l'intensité énergétique, hydroélectricité, la Venezuela

RESUMO

O objetivo principal deste estudo é avaliar o impacto que a atividade econômica humana, medida pelo crescimento do PIB, exerce sobre o meio ambiente, bem como a relação que estabelece com o fenômeno do aquecimento global. Discute-se a evolução das emissões de CO₂ da Venezuela durante o período de 1990-2006, e sua relação com a atividade econômica, com base na identidade de Kaya. Esta metodologia considera o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente como resultado da combinação de crescimento populacional, consumo per capita e impacto ambiental por unidade consumida. Ela decompõe as emissões de CO₂ per capita para chegar ao índice de carbonização, a intensidade energética e de afluência. As emissões da Venezuela correspondem a uma taxa de crescimento equivalente a 35%, sendo inferior à média da América Latina (40,5%). Com respeito à intensidade energética, à intensidade das emissões e às emissões per capita, os índices se apresentam contrários ao desejado. A exceção fica a cargo do índice de carbonização, cuja taxa de variação mostra a forte dependência da Venezuela em relação à energia hidroelétrica, cujos impactos são consideravelmente baixos em termos do volume de emissões sobre a atmosfera.

Palavras-chave: a identidade de Kaya, emissões de CO₂, índice de carbonização, a intensidade energética, a hidroeletricidade, Venezuela

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos que sobre los sistemas naturales y humanos ha venido ejerciendo el cambio climático a nivel mundial suscitan preocupación en diversos países, sobre todo en aquellos que se encuentran en posición de vulnerabilidad geográfica, social y/o económica.

Por lo general, se suele relacionar la actividad económica —medida a través del PIB—, como la de mayor responsabilidad en la modificación del medio ambiente mundial, por su vinculación con las emisiones derivadas del consumo energético asociado a la obtención de bienes y servicios. Uno de los gases predominantemente utilizados para describir esta relación es el dióxido de carbono (CO_2), generado por la utilización de diferentes fuentes de energía, sobre todo las de origen fósil. Este gas es considerado como uno de los gases efecto invernadero más impactantes y potencial modificador del régimen climático a nivel global. Así, niveles crecientes de PIB se asocian con mayores niveles de emisiones de CO_2 ; sin embargo, para lograr los máximos niveles de eficiencia para la producción de bienes y servicios dicha relación debe invertirse. Este fue el compromiso adquirido por el grupo de países con mayores niveles de desarrollo y países en transición hacia economías de mercado en el Protocolo de Kyoto de 1997 (ONU, 1997).

Venezuela no se encuentra enmarcada en el cumplimiento de metas específicas de reducción de CO_2 , pero ello no excluye la posibilidad de revisar su comportamiento en cuanto a emisiones de este gas. Este estudio analiza la evolución de las emisiones de CO_2 en Venezuela para el período 1990-2006, según la Identidad de Kaya, con el objetivo de determinar el desempeño ambiental de la economía venezolana en lo que a emisiones de CO_2 se refiere, con todo el nivel de detalle que la información obtenida permita.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), existe consenso científico global acerca de la modificación del régimen climático que se viene manifestando durante los últimos 100 años. La temperatura del planeta ha venido aumentando debido al efecto invernadero causado por la concentración en la atmósfera de los denomi-

nados gases de efecto invernadero (GEI)⁵. De entre ellos, al CO_2 se le atribuye un 60% de contribución al efecto invernadero desde la época preindustrial (año 1750) hasta el presente y posee una permanencia en la atmósfera de entre 50 y 200 años (IPCC, 2007; Márquez & Díaz, 2002). Este gas forma parte de los elementos naturales contenidos en la atmósfera; es el resultado del quemado de combustibles de origen fósil, tales como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, así como de los cambios de uso de la tierra y de procesos industriales (Brown, 2001).

Si bien el Banco Mundial reconoce que el cambio climático no es un problema particular de algunos países, sino que amenaza a todo el planeta, también aclara que son las economías débiles las que tienen mayor probabilidad de verse afectadas por su falta de recursos y capacidades para enfrentarlos técnica y económicamente. De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2009b), estas perturbaciones pueden manifestarse como: tasas de crecimiento económico lento o negativo, disminución o afectación en su base de recursos, pérdida de oportunidades comerciales y debilitamiento de logros alcanzados en materia de desarrollo (CEPAL, 2009b).

Varios informes resaltan los múltiples efectos sobre la agricultura, la salud, la infraestructura urbana y otras actividades económicas que, tanto a escala global como regional, puede generar el cambio climático (IPCC, 2007; ONU, 2009a, 2009b; y CEPAL, 2009a). De la Torre, Fajzylber & Nash (2009) hacen énfasis en la

5 Componentes gaseosos de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero. El vapor de agua, el dióxido de carbono, el óxido nítrico, el metano y el ozono son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. La atmósfera contiene, además, cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógenos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el Protocolo de Montreal. Además, el Protocolo de Kyoto contempla también los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre, los hidrofluorocarbonos y los perfluorocarbonos (IPCC, 2007, p. 83).

necesidad de implementar políticas de corte económico y ambiental a fin de minimizar los efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe. El *Little Green Data Book* (Banco Mundial, 2008) señala que mientras los países de alto ingreso generan y liberan a la atmósfera más dióxido de carbono que los países en desarrollo, las emisiones de estos últimos crecen a tasas aceleradas; no obstante, las emisiones per cápita en los primeros llegan a superar hasta en cinco veces las de los segundos.

Según el Informe de las Metas del Milenio (Banco Mundial, 2009), es prioritario concertar esfuerzos mundiales para lograr los cambios estructurales necesarios, a fin de avanzar hacia un desarrollo sustentable y hacerle frente a la crisis climática global. De este modo se plantea como meta: «Incorporar los principios de desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales e invertir la pérdida de recursos del medio ambiente» (Banco Mundial, 2009, p. 42).

2.1. TENDENCIAS EN EL CRECIMIENTO DE EMISIONES DE CO₂

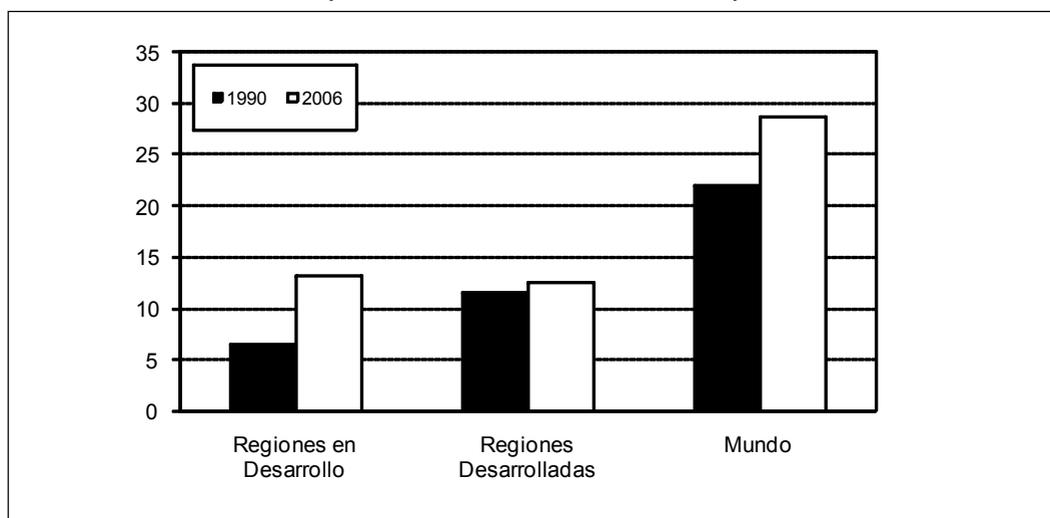
Según datos del Banco Mundial, todas las regiones en el mundo muestran un marcado crecimiento en sus niveles de emisiones de CO₂, en especial aquéllas regiones en desarrollo

(Gráfico N° 1). Así, mientras en los países desarrollados las emisiones de CO₂ crecieron 8,8% entre 1990 y 2006, dichas emisiones crecieron 102,94% en los países en desarrollo, para un crecimiento general de 31,1% durante ese mismo período.

De acuerdo con el Informe de las Metas del Milenio (Banco Mundial, 2009), en los países desarrollados se generan unas 12 toneladas métricas de CO₂ per cápita al año, contra 3 toneladas en las regiones en desarrollo. En lo que respecta a América Latina y el Caribe, se tiene que las emisiones de GEI crecieron 36,4%, al pasar de 1,1 en 1990 a 1,5 millones de toneladas métricas de CO₂ en el 2006. Así, el mundo es cada vez más vulnerable ante las amenazas surgidas, como consecuencia de este cambio global.

Venezuela no escapa a los efectos de este cambio climático, ni se encuentra exenta de responsabilidades en cuanto a generación de GEI, principalmente CO₂. El *Little Green data Book 2008* señala que las emisiones de CO₂ en Venezuela crecieron 47% durante entre 1990 y 2004, muy por encima de las de América Latina y el Caribe (29,6%). En términos per cápita, se destacan igualmente las altas tasas de emisiones de Venezuela durante el año 2008 (6,6 tm), con respecto a las 2,5 toneladas métricas generadas en la región.

Gráfico 1
Comportamiento de emisiones de CO₂ a nivel mundial, 1990-2006
(en millones de toneladas métricas)



Fuente: Banco Mundial (varios años); cálculos propios

El Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales de Venezuela (MARN, 2005), estableció que, de acuerdo con el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero del año 1999, las emisiones de CO₂ en este país provienen principalmente de la combustión de combustibles fósiles del sector energético. Estas representan un 89,9% del total, seguida por los procesos industriales que generan un 7,9% y las emisiones fugitivas con el 2,2% restante.

2.2. ACUERDOS INTERNACIONALES MARCO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Desde la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, llevada a cabo en Ginebra en 1979, se puso en evidencia la preocupación que suscita el tema del cambio climático a nivel mundial y la necesidad de acuerdos que permitan disminuir los niveles de emisiones de GEI, producto de la fuerte inestabilidad climática y la intensificación de desastres naturales en el planeta. Dicha Conferencia alertó a la comunidad internacional sobre los cambios que el hombre podría provocar sobre el clima y que pudiesen ser adversos al bienestar de la humanidad. A ésta le siguieron otras conferencias intergubernamentales, entre las que destacan: la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima en 1990, también en Ginebra, Suiza; la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de Río o Cumbre de la Tierra, 1992; la Tercera Conferencia de las partes o Protocolo de Kyoto, en 1997, en el que los países firmantes se comprometieron a reducir cuando menos un 5% de las emisiones entre 2008 al 2012, de los niveles existentes para el año 1990; la Cuarta Conferencia de las partes, en Argentina, 1998; La Haya, en 2000; las de Bonn y Marrakech, en 2001; las Cumbres de Nueva Delhi (VIII Conferencia de las Partes), en la que se comenzaron a aplicar instrumentos del desarrollo limpio; la Cumbre de Milán, en 2003; la Cumbre de Buenos Aires, en 2004 (IX y X Conferencia de las Partes, respectivamente) y la Cumbre de los Pueblos por la Justicia Social y Ambiental en Defensa de los Bienes Comunes de Río, en 2012.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático –generada en 1992–, fue un tratado ratificado por 170 países, cuyo objetivo fundamental se basa en lo

establecido en su artículo 2, según el cual se busca «lograr la estabilización de las concentraciones de gases efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático» (ONU, 1992, p. 4). En dicho documento se establecieron los compromisos entre los países firmantes, i) para la elaboración y publicación de inventarios nacionales de emisiones antropógenas de GEI; ii) para la elaboración de planes nacionales de acción para prevenir el aumento de las emisiones; y, iii) se reconoce en el acuerdo que los países firmantes poseen responsabilidades compartidas, pero diferenciadas de acuerdo con el nivel de desarrollo que posean. De allí que sólo se establecen objetivos específicos de reducción para aquellos países que se encuentran incluidos en el Anexo I del documento, en el que se enumeran los países desarrollados y aquellos en transición hacia economías de mercado. Venezuela no forma parte del grupo de países identificados en ese Anexo, por lo que no está obligada a la fijación en niveles específicos de reducción de CO₂. No obstante, esa no es razón para no implementar un conjunto de políticas que puedan estar encaminadas, si no a reducir los niveles de este gas, al menos a mantenerlos por debajo de la media latinoamericana. Así, Venezuela realizó el inventario nacional de gases efecto invernadero en el año 1999.

3. IDENTIDAD DE KAYA

La generación de CO₂ puede ser explicada por diversos factores, tales como la evolución del desempeño económico de una región, el crecimiento demográfico, el nivel de adelanto o atraso tecnológico, tipos, fuentes y cantidades de energía utilizadas, la disponibilidad de recursos, medios de transporte utilizados, las instituciones sociales, las políticas aplicadas, el sistema económico y las relaciones comerciales con el exterior, entre otros (Alcántara, Padilla & Roca, 2007). La identidad de Kaya intenta medir la incidencia de estos factores en la generación de GEI, específicamente CO₂. En otras palabras, se trata de una metodología de evaluación de las tendencias de las emisiones de CO₂ en el tiempo y su relación con la actividad económica.

3.1. ANTECEDENTES

A nivel mundial, varios son los estudios que han recurrido a la Identidad de Kaya para analizar el comportamiento de las emisiones de GEI, algunos de los cuales se refieren a continuación. El *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2005) presentó un informe en el que desarrollan una serie de propuestas para lograr disminuir el crecimiento de las emisiones de CO₂ a nivel mundial para el año 2050, considerando la Identidad de Kaya para evaluar el progreso de las economías del mundo. Byrne, Wang, Lee & Kim (1998) también recurren a este indicador y establecen la necesidad de los países del mundo para definir políticas energéticas alternativas sustentables para resolver el problema del cambio climático.

Alcántara & Padilla (2005) estudian el comportamiento de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo, en el que analizaron emisiones de este gas entre 1970 y 2001 y concluyen que las diferencias regionales de las emisiones se deben principalmente a las desigualdades presentes en los niveles de riqueza y a las diferencias en la intensidad del uso de energía y que las emisiones de CO₂ muestran las mismas tendencias crecientes que el producto interno bruto (PIB) y el nivel de población.

Las Naciones Unidas, en su informe «La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe» (2009a), utiliza la Identidad de Kaya para identificar el comportamiento de las emisiones de GEI de origen energético y las provenientes del consumo de energía, producción de cemento, el PIB y la población. En el mismo se concluye que existe una fuerte vinculación positiva entre consumo de energía per cápita y PIB per cápita. Igualmente se muestra que en América Latina y el Caribe existen países con diferentes tendencias en el comportamiento de sus intensidades energéticas⁶, prevaleciendo un estilo de crecimiento en la región fundamentado en un alto consumo de energía. Asimismo, la tendencia en las emisiones de CO₂ per cápita asociadas al consumo de energía y a la producción de cemento es creciente. Se observó que existe en la región una

relación positiva entre las emisiones CO₂ per cápita, consumo de energía per cápita y el PIB per cápita. Utilizando proyecciones de las Naciones Unidas para el periodo 1950-2050, Castesana & Puliafito (2011) estiman que los cambios climáticos observados pueden explicarse por el desempeño desfavorable del índice de carbonización en sectores regidos por fuentes de energía primaria. Sin embargo, de mantenerse la tendencia decreciente—tanto de la intensidad energética como de las emisiones de CO₂—, la reducción de la tasa de crecimiento poblacional impulsará una caída en las emisiones de carbono a nivel global.

Utilizando datos de los países de la OCDE en el periodo 1973-1999, Díaz & Canelo (2010) estiman un modelo de datos panel para identificar los factores que favorecen la reducción de emisiones contaminantes. Al respecto, concluyen que el uso de la energía nuclear y los mayores niveles de producción, favorecen la reducción de emisiones de carbono y azufre. Sin embargo, los resultados sugieren que políticas ambientales basadas en el incremento del precio del combustible fósil pueden no alcanzar los resultados deseados.

En el mismo orden, Samaniego & Galindo (2009) hacen un seguimiento de las emisiones en América Latina y el Caribe utilizando el mismo enfoque, mientras que Duro & Padilla (2006), utilizan la Identidad de Kaya para evaluar los factores que generan las desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ así como la identificación de sus condicionantes.

Existen estudios específicos por país, como los de Vide, Llebot, Padilla & Alcántara (2007) y el de Alcántara & Padilla (2010), en los que se investiga el comportamiento de las emisiones de CO₂ en España y su relación con el desempeño de la actividad económica; Alcántara, *et al* (2007) llevan a cabo dicho estudio para Cataluña. La Secretaría del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales de México (2009) aplicó la Identidad Kaya para simular escenarios de desacoplamiento energético y procesos de descarbonización en la economía de ese país.

En Venezuela, varios estudios analizan el comportamiento de las emisiones de CO₂ y la vulnerabilidad del país ante los efectos del cambio climático, aunque no se conoce de ninguno que recurra a la Identidad de Kaya para ha-

6 Razón existente entre el consumo de energía y PIB.

cerlo. El Proyecto Pan Earth desarrolla diversos escenarios de cambio climático en el caso venezolano, utilizando modelos de circulación atmosférica a partir del efecto invernadero y la deforestación (Harwell, 1993). Robock *et al.* (1993) aplican modelos de circulación general para analizar las emisiones de CO₂ en China, la región Sub-Sahara y Venezuela, concluyendo que están altamente correlacionadas con la alteración del régimen de precipitación de lluvias en Venezuela, modificación temperaturas y niveles de insolación.

Puran & Jayant (1995) revisan las implicaciones macroeconómicas sobre la mitigación del CO₂ en Venezuela, utilizando un modelo multisectorial y concluyen acerca de la necesidad de realizar inversiones adecuadas en el sector energético con el fin de ayudar al logro eficiente de una reducción en las emisiones CO₂. Por su parte, Andressen, Robock & Acevedo (1996) evalúan el cambio climático por efecto invernadero y deforestación en Venezuela, aplicando modelos de climáticos tridimensionales; sus conclusiones destacan que de haber una duplicación en los niveles de CO₂, la temperatura pudiese incrementarse entre 1,5 y 4,0°C. En lo que respecta a la deforestación en la selva amazónica, se tiene que la misma puede incidir en un aumento de 1°C en la temperatura, una disminución de la precipitación de un 20% y un aumento de la insolación de un 20%. Olivo, Letthorny, Platt Ramos & Sosa (2001) evalúan los efectos del cambio climático sobre el nivel del mar en Venezuela con un escenario de subida de 0,5 m en su nivel, poniendo en evidencia la potencial pérdida de tierras por inundación.

Según el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2005) los sectores generadores de GEI en el país son: Energía, Procesos industriales, Agricultura, Silvicultura y Manejo de desechos. Destaca que las emisiones de CO₂ en Venezuela se generan en un 89,9% por la utilización de combustibles fósiles del sector energético, mientras que las emisiones industriales y las emisiones fugitivas aportan un 7,9% y 2,2%, respectivamente. Más recientemente, Gabaldón (2008) evaluó los posibles efectos que el cambio climático puede generar en Venezuela, especialmente en los entornos físico, biológico, humano y económico. Así mismo, evaluó los impactos de la

transición energética, la cual permitiría reducir los efectos derivados de la utilización de recursos energéticos de origen fósil.

3.2. METODOLOGÍA

Para establecer una ecuación que permitiese recoger la relación existente entre el crecimiento de las actividades humanas y sus consecuencias sobre el medio ambiente, Kaya (1989, 1990) propone el desarrollo de una ecuación que pueda ser aplicada para el análisis ambiental. En ella se establece que el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente sería el resultado de la conjunción de tres factores: la población (P); el consumo per cápita, determinado por la prosperidad o afluencia y por el impacto ambiental por unidad consumida (A), el cual a su vez está determinado por la tecnología (T). Así se define la identidad $I = P.A.T.$ según la cual el impacto de una sociedad sobre el medio ambiente se puede disminuir, en la medida que se disminuya cualquiera de los factores que lo condicionan.

La ventaja principal de la Identidad de Kaya es que permite descomponer las emisiones de CO₂ per cápita en tres factores básicos: un índice de carbonización, un índice de intensidad energética y uno de afluencia. Sin embargo, estos factores no pueden ser independientes unos de otros, de manera que países con crecimiento económico podrían desarrollar tecnologías eficientes gracias a la rentabilidad del capital, con menor intensidad energética (Duro & Padilla, 2006). Para ello, el índice para el periodo t en su forma simple se presenta de la siguiente manera:

$$C(t) = \frac{C(t)}{EP(t)} * \frac{EP(t)}{PIB(t)} * \frac{PIB(t)}{POB(t)} * POB(t) \quad (1)$$

donde C representa las emisiones totales de GEI expresadas aquí como emisiones de CO₂ equivalentes; EP representa la energía primaria⁷ medida en miles de toneladas equivalentes

7 La energía primaria se refiere principalmente a las fuentes originarias de energía, tales como carbón mineral, petróleo crudo, energía hidroeléctrica, etc., comúnmente utilizadas para usos finales. La energía secundaria por su parte, es toda aquella energía obtenida a partir de las energías primarias, tal como la gasolina obtenida del petróleo, o la electricidad generada a partir de la energía hidroeléctrica o a partir de cualquier fuente fósil directa (Vide *et al.*, 2007).

de petróleo (TEP), o kilovatios hora (kWh); *PIB* es el producto interno bruto, expresado en el valor de bienes finales producidos en un período de tiempo determinado a precios constantes y *POB* se refiere a la población.

El índice de carbonización $C(t) / EP(t)$ de los consumos energéticos, relaciona el CO_2 generado y el consumo de energía primaria utilizada en un país o área geográfica para un período determinado. Una caída del mismo sería favorable para el medio ambiente, por cuanto indicaría que las emisiones de CO_2 causadas por la utilización de la energía primaria disminuyen. Para ello, debe hacerse un uso eficiente de las energías primarias, dándosele prioridad al uso de la energía hidroeléctrica antes que las energías de origen fósil (carbón, petróleo, gas natural), lo cual requiere de políticas de sustitución energética. Una tendencia creciente del indicador pondría en evidencia una mayor generación del gas por unidad de energía utilizada, lo que implica el uso ineficiente de las fuentes de energía primarias, con predominio de la energía fósil.

El índice de intensidad energética, $EP(t)/PIB(t)$, mide el consumo de energía primaria por unidad de producto generado, por la que se considera un indicador de eficiencia energética de un sistema económico. Una caída en este indicador refleja el uso eficiente de la energía, lo que para efectos del cambio climático sería positivo. Según la CEPAL, la intensidad energética se encuentra condicionada por una serie de factores entre los que se mencionan la estructura sectorial del PIB; los precios relativos de la energía, maquinarias y equipos; cambios tecnológicos; modos de producción; pautas de crecimiento urbano; políticas de acceso a tecnologías nuevas y eficientes; evolución de la eficiencia de los equipamientos y su accesibilidad; la mayor satisfacción de necesidades y la mejora del bienestar y su reflejo en los servicios energéticos, la presencia de barreras institucionales y las políticas públicas implementadas (2009b, p. 44). Hanaoka, Kainuma & Matsuoka (2009) destacan la importancia de considerar la intensidad energética en la reducción de los aportes de CO_2 a través del desarrollo de energías tecnológicamente avanzadas con baja intensidad en uso de fuentes fósiles, sobre todo en los países en vías de desarrollo.

El producto per cápita, $PIB(t)/POB(t)$ es una medida de renta económica o de productividad per cápita. Una tendencia creciente puede entenderse como una medida de crecimiento económico, lo que sería favorable desde el punto de vista económico, pero desde el punto de vista ambiental podría indicar un crecimiento de las emisiones como resultado de un mayor nivel de producto (Cancelo & Díaz, 2002). Por el contrario, una tendencia decreciente en este indicador puede entenderse como bajos niveles de productividad económica y bajos niveles de emisiones de CO_2 , producto del bajo requerimiento energético utilizado para su obtención.

La población se considera como un factor de escala; indica el crecimiento natural de esta variable. Se entiende que en la medida en que esta crezca, mayores serán los requerimientos de bienes y servicios para abastecerla y por ende mayores los requerimientos energéticos.

Alcántara & Padilla (2005) modifican la ecuación (1) incorporando dos indicadores adicionales. El primero es el índice de intensidad de las emisiones de CO_2 , $C(t)/PIB(t)$, producto de la multiplicación de los dos primeros factores de la ecuación para expresar el CO_2 generado por unidad de producto o servicio producido. Una tendencia creciente en el mismo es señal de un proceso de producción de bienes y servicios eficiente y amigable con el medio ambiente. El segundo es el índice de emisiones per cápita $C(t)/POB(t)$, que de mostrar una tendencia negativa, es señal de que las emisiones pueden mantenerse estables en el tiempo con población creciente.

Otra modificación sufrida por la ecuación (1) permite descomponer los índices que la integran, agregando además variables de Consumo de Energía Fósil⁸ (EFS) y de Energía Final Consumida (EF). Este nuevo indicador, o Identidad de Kaya Desagregada, viene dado por la siguiente expresión:

$$C(t) = \frac{C(t)}{EFS(t)} * \frac{EFS(t)}{EP(t)} * \frac{EP(t)}{EF(t)} * \frac{EF(t)}{PIB(t)} * \frac{PIB(t)}{POB(t)} * POB(t) \quad (2)$$

Con estas nuevas variables, la Identidad incorpora nuevos índices. El índice de carbonización $C(t)/EFS(t)$ especifica el peso

⁸ Esta variable recoge la principal fuente generadora de emisiones de CO_2 .

de la energía fósil, altamente generadora de CO_2 , en el total de fuentes de energía primaria. Resulta obvio que si este coeficiente muestra una tendencia creciente, las emisiones de carbono aumentan en la medida que la energía fósil es utilizada, lo cual es perjudicial para el medio ambiente (Vide, Llebot, Padilla & Alcántara, 2007).

El índice de intensidad energética, $EP(t)/PIB(t)$, se descompone en tres coeficientes cuyo comportamiento puede generar tres efectos con implicaciones distintas. El *efecto sustitución*, denotado por $EFS(t)/EP(t)$, recoge la tendencia a reemplazar energía fósil por otras fuentes de energía primaria. Un valor decreciente del mismo es señal de que la economía se mueve hacia el uso de fuentes de energía menos contaminantes. Luego está el *efecto transformación*, $EP(t)/EF(t)$, que muestra cuánta de la energía final utilizada en una economía corresponde a energías primarias. Así, una disminución en este cociente puede interpretarse como un avance a la eficiencia del sector energético. Finalmente, el *efecto eficiencia* medido a través de la razón $EF(t)/PIB(t)$, mide la energía final utilizada para la generación del *PIB*, la cual debe ser decreciente en el caso de procesos productivos eficientes.

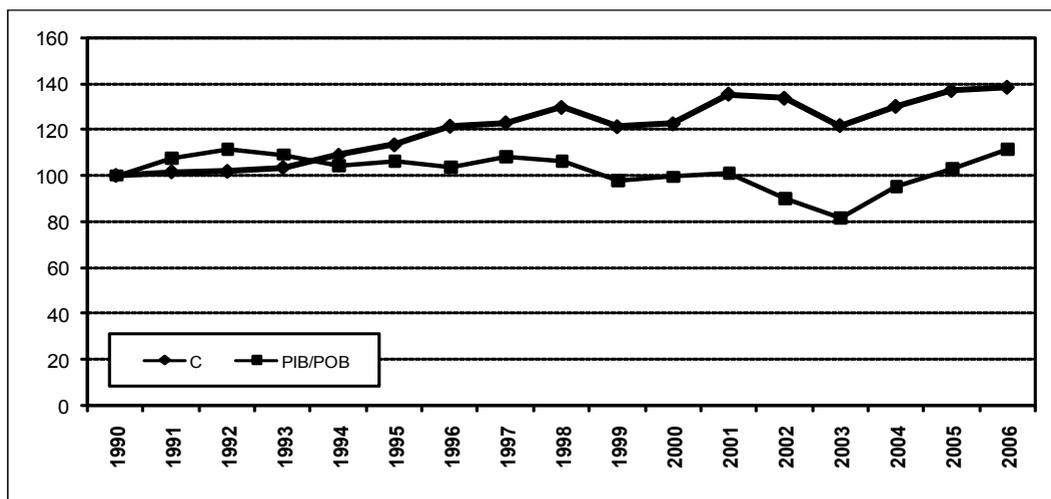
Este trabajo estima y analiza la evolución la Identidad de Kaya simple y desagregada en Venezuela en el período 1990-2006. Para ello, se recurre a información suministrada por distintos entes, tales como la CEPAL, la Agencia Internacional de Energía (AIE) y el Banco Mundial. Se recurre principalmente a fuentes internacionales, debido a la limitada información pertinente al ámbito ambiental disponible en Venezuela. Sin embargo, se recurre al Instituto Nacional de Estadística (INE, 2010) para obtener información de carácter demográfico.

3. RESULTADOS

Según información de la AIE, las emisiones de CO_2 en Venezuela durante el período 1990-2006⁹ muestran una clara tendencia a crecer no obstante algunos períodos de caída en las emisiones, en contraste con el no muy claro comportamiento del PIB per cápita a precios constantes producto de la inestabilidad del mercado petrolero (Gráfico N° 2).

Para el año 2002, la disminución en las emisiones de CO_2 pudo estar condicionada por la fuerte contracción de la economía venezolana y la caída de la demanda interna, entre otros factores, con una caída del PIB per cápita por

Gráfico 2
Venezuela: variaciones en las Emisiones de CO_2 y PIB real per cápita, 1990-2006



Fuente: EIA; elaboración propia

⁹ Era el período más reciente para el cual se disponía de información estadística en los organismos internacionales, al momento de realizar la investigación de base del presente artículo.

el orden del 8,9%.

El Gráfico N° 2 también pone de manifiesto un cambio en el patrón de comportamiento de las variables a partir del año 1993. Antes de esa fecha ambas variables se movían en direcciones que pudieran considerarse opuestas, con el PIB creciendo muy por encima de las emisiones, lo cual se interpreta como un período de crecimiento con «eficiencia», en términos de generaciones de CO₂. Posteriormente, ambas variables comienzan a marchar de manera acompasada, siguiendo por lo general el mismo sentido, con una ligera tendencia a expandir la brecha entre ambas, pero siempre con las emisiones creciendo muy por encima del PIB

per cápita. Tal comportamiento sugiere ineficiencia asociada al uso de la energía y/o a la falta de políticas orientadas a la reducción de las emisiones de GEI.

4.1. IDENTIDAD DE KAYA SIMPLE

Los resultados de la estimación de los distintos factores que conforman la Identidad Kaya simple se muestran en el Cuadro N° 1.

Dicho Cuadro muestra un crecimiento de las emisiones de CO₂ por el orden del 38,49% entre el periodo considerado, a un promedio de 2,17% interanual. Este crecimiento estuvo –a su vez– condicionado tanto por la expansión de la población, la cual para ese mismo período aumentó 36,97% (al 1,99% interanual),

Cuadro 1

Venezuela: factores de la Identidad de Kaya simple, 1990-2006

	Emisiones	Índice de Carbonización	Índice de Intensidad Energética	Efecto Riqueza	Población (miles de hab.)	Intensidad de emisiones	Emisiones per cápita
Año	CO ₂	CO ₂ /EP	EP/PIB	PIB/Pob.	Pob.	CO ₂ /PIB	CO ₂ /POB
1990	109,73	2,029	567,84	4828,10	1.973,47	1.151,9	5,6
1991	111,48	1,860	573,40	5173,60	2.019,67	1.066,4	5,5
1992	111,72	1,949	517,06	5362,20	2.065,90	1.007,7	5,4
1993	113,54	1,877	544,12	5257,90	2.112,12	1.031,3	5,4
1994	119,41	1,955	562,70	5023,40	2.158,28	1.099,9	5,5
1995	124,41	1,877	587,35	5115,50	2.204,32	1.102,4	5,6
1996	133,29	1,763	671,30	4995,90	2.250,20	1.183,5	5,9
1997	134,96	1,565	719,88	5206,80	2.295,87	1.126,5	5,9
1998	142,34	1,387	854,23	5118,90	2.341,27	1.184,6	6,1
1999	133,09	1,443	816,57	4720,00	2.386,74	1.178,0	5,6
2000	134,46	1,519	755,46	4800,70	2.431,09	1.147,7	5,5
2001	148,70	1,677	732,08	4871,10	2.476,56	1.277,7	6,0
2002	146,70	2,023	656,82	4358,20	2.521,92	1.328,8	5,8
2003	133,64	1,507	870,71	3947,90	2.567,36	1.312,3	5,2
2004	142,84	1,585	747,95	4587,10	2.612,74	1.185,8	5,5
2005	150,41	1,240	913,08	4972,60	2.657,74	1.131,9	5,7
2006	151,97	1,368	760,93	5370,00	2.703,07	1.040,8	5,6
Variación %	38,49	-32,58	34,00	11,22	36,97	-9,64	0,00
Variación promedio anual %	2,17	-1,7	2,69	0,9	1,99	-0,46	0,12

Notas: las emisiones de CO₂ se expresan en ktm; población en millones de habitantes; emisiones per cápita en toneladas (tm/hab); Índice de carbonización en tm de CO₂ por tm de energía primaria en equivalente de petróleo; Índice de intensidad energética en tm de energía primaria en equivalente de petróleo por millón de US\$ a precios constantes 1990; Intensidad del carbono del PIB en tm de CO₂ por millón de dólares constantes de 1990. Para este y los siguientes cuadros, el PIB se encuentra expresado en millones de dólares constantes de 1990

Fuente: INE, AIE y CEPAL (varios años); cálculos propios

así como por un creciente efecto riqueza, con el PIB real per cápita del 2006 un 11,22% superior al de 1990 (0,8% interanual). Por su parte, el índice de intensidad energética mantuvo un ritmo creciente del 2,69% anual promedio, no obstante las fuertes fluctuaciones evidenciadas, acumulando 34% entre el inicio y el final del período de estudio, mientras que el índice de carbonización mostró una caída por el orden del 32,58% para el mismo período, con una tasa de crecimiento interanual promedio de -1,7% (si bien mostró períodos con crecimiento positivo). Este índice depende de las fuentes de energía utilizadas en un país o región, por lo que esta caída puede interpretarse como una disminución de las emisiones de CO₂ por la utilización de fuentes primarias de energías renovables antes que de origen fósil. En efecto, la principal fuente de energía primaria en Venezuela es la hidroeléctrica, con un 72% del total, mientras que la energía primaria de origen fósil aporta un 28% del total utilizado para el 2008 (Banco Mundial, 2009).

El gráfico del comportamiento de cada uno de estos factores de Kaya permite identificar tres períodos: 1990-1998, 1999-2002 y 2002-2003. En cada uno de estos períodos la mayoría de los indicadores muestra un comportamiento similar, excepción hecha por el índice de carbonización, el cual mantiene una tendencia decreciente a lo largo del horizonte de tiempo

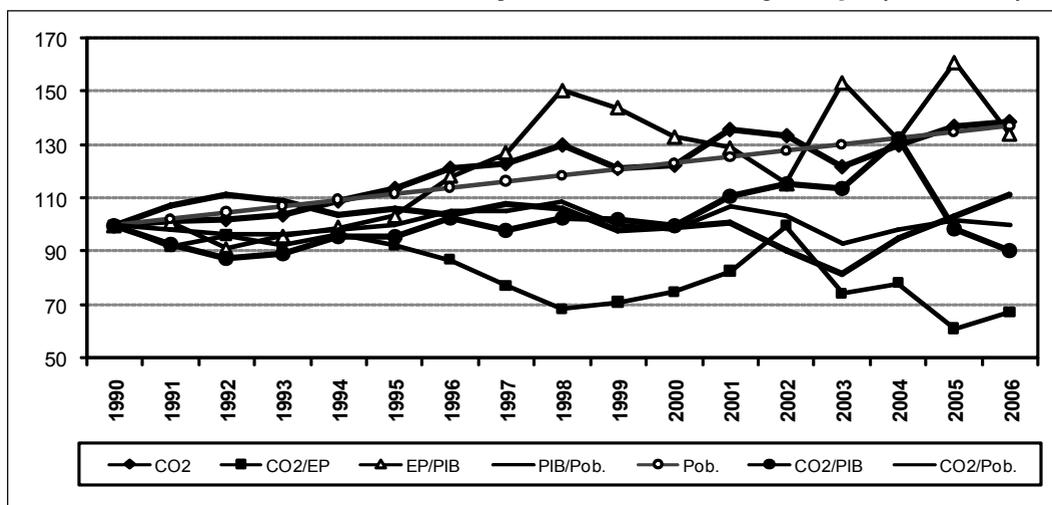
evaluado (Gráfico N° 3).

La variación promedio de los indicadores para cada periodo con respecto al año 1990 se resume en el Cuadro N° 2. En cada una de estas tres etapas, las emisiones de CO₂ muestran una tendencia positiva, lo cual puede explicarse por el comportamiento de los factores que lo condicionan.

El período 1990-1998 se considera de crecimiento ambientalmente amigable, pero ineficiente. Mientras ambiental y económicamente el país se movía en la dirección correcta, con mejoras en el ingreso per cápita y una paulatina reducción de las emisiones de CO₂ por unidad de energía primaria, probablemente como resultado de una mayor dependencia de fuentes primarias de origen no fósil, el índice de intensidad energética sugiere ausencia de políticas públicas que busquen eficiencia en la utilización de la energía para la producción de bienes o servicios. Ello pudiera explicarse por la reducida incorporación de tecnologías eficientes en energía, la obsolescencia del parque industrial y el elevado e ineficiente consumo del parque automotor, entre otros factores.

En el período 1999-2002 –o de recesión con deterioro del ambiente– se observa un incremento sostenido en los niveles de CO₂ por unidad de energía primaria, por unidad de producto obtenido y per cápita, con mayor intensidad en el uso de energía de origen fósil, básicamente

Gráfico 3
Venezuela: evolución de las emisiones y de los factores de Kaya simple (1990 = 100)



Fuente: INE; AIE; CEPAL; elaboración propia

Cuadro 2**Venezuela: variación porcentual promedio de los componentes de Kaya por períodos (1990 = 100)**

	Etapas		
	1990-1998	1999-2002	2003-2006
CO ₂	1,115	1,283	1,319
Índice carbonización	0,891	0,821	0,700
Índice intensidad energética	1,095	1,304	1,450
Efecto riqueza	1,061	0,971	0,977
Población	1,093	1,244	1,335
CO ₂ /PIB	0,960	1,070	1,087
CO ₂ /Pob.	1,010	1,022	0,982

Fuente: INE, AIE y CEPAL (varios años); cálculos propios

camente promovida –probablemente– por la entrada en vigencia de la Ley orgánica de hidrocarburos gaseosos (promulgada en 1999). Este instrumento promovió la inversión privada en el sector, con un menor índice de eficiencia energética, no por gestión energéticamente eficiente sino por caída en la actividad económica. En efecto, para este periodo el PIB petrolero y no petrolero se contraen en 4,15% y 4,45%, respectivamente. La caída de la actividad petrolera se explica por la disminución en el programa de inversiones del sector, así como por el escenario de reducción de precios del crudo en los mercados internacionales que generó un exceso de inventarios, lo que a su vez obligó a una política de recortes de la producción petrolera. En cuanto al PIB no petrolero, la caída se debió fundamentalmente a la contracción de la demanda agregada interna y a los efectos indirectos de la reducción en el gasto de inversión programada por el sector petrolero; esto en el marco de un escenario de deterioro de expectativas, causada por la desmejora en las finanzas públicas originada por la disminución de los ingresos petroleros y por razones políticas, básicamente la generada por la incertidumbre asociada al proceso electoral de ese año.

Durante el período 2003-2006 –o periodo de recesión con deterioro ambiental acelerado–, el ingreso per cápita continuó disminuyendo, en un escenario caracterizado por la acentuación del crecimiento de las emisiones

de CO₂ a nivel global y por unidad de producto obtenido. A diferencia del periodo anterior, las emisiones per cápita disminuyeron. Durante esta etapa de marcada inestabilidad política y macroeconómica el PIB real cayó 9,4% en 2003, por lo que es posible que el comportamiento que presenta el índice de eficiencia energética se deba a la escasa productividad de bienes y servicios con respecto a la energía primaria requerida.

4.2. IDENTIDAD DE KAYA DESAGREGADA

La estimación de la Identidad de Kaya desagregada se resume en el Cuadro N° 3. En ella se evidencia que el crecimiento del CO₂, el efecto riqueza y la población mantienen el comportamiento descrito anteriormente. En cuanto al índice de carbonización específico, este mostró una disminución de un 24,77% a lo largo del período estudiado, con una tasa de disminución interanual del 0,64%.

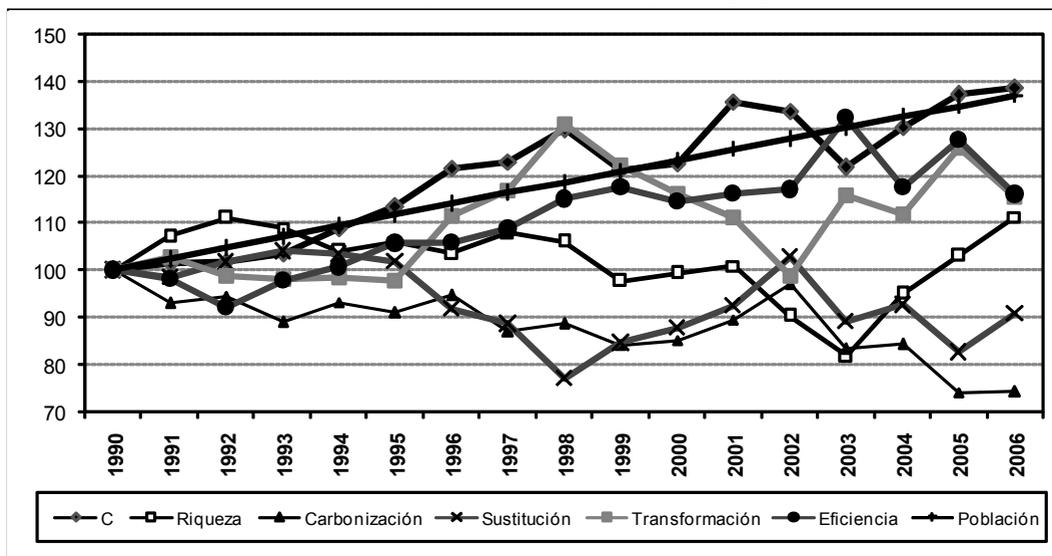
El efecto sustitución, uno de los componentes del índice de intensidad energética, mostró una tendencia general a caer a una tasa de 0,29% anual, para una variación de 9,17% en el período estudiado. Los efectos transformación y eficiencia por su parte, crecieron 15,47% y 16,05%, con tasas de variación interanual de 1,24% y 1,12%, respectivamente. El Gráfico N° 4 permite una visión más clara de estas tendencias. En él destaca la evolución de los índices de carbonización y del efecto sustitución, cuyas tendencias se diferencian de las de las demás variables.

Cuadro 3

Venezuela: factores de la Identidad de Kaya desagregada, 1990-2006							
Año	Emisiones CO ₂	Índice de carbonización específico CO ₂ /EFS	Efecto sustitución EFS/EP	Efecto transformación EP/EF	Efecto eficiencia EF/PIB	Efecto riqueza PIB/Pob.	Población Pob.
1990	109,73	554,67	365,72	301,99	1.880,32	4.828,10	1.973,47
1991	111,48	515,97	360,46	310,82	1.844,83	5.173,60	2.019,67
1992	111,72	524,35	371,68	298,64	1.731,38	5.362,20	2.065,90
1993	113,54	493,63	380,25	295,78	1.839,61	5.257,90	2.112,12
1994	119,41	517,02	378,07	297,14	1.893,74	5.023,40	2.158,28
1995	124,41	504,49	372,04	295,54	1.987,34	5.115,50	2.204,32
1996	133,29	524,73	335,98	336,97	1.992,15	4.995,90	2.250,20
1997	134,96	482,49	324,34	352,36	2.043,01	5.206,80	2.295,87
1998	142,34	491,66	282,06	395,04	2.162,37	5.118,90	2.341,27
1999	133,09	466,36	309,32	369,36	2.210,78	4.720,00	2.386,74
2000	134,46	472,72	321,39	351,00	2.152,32	4.800,70	2.431,09
2001	148,70	496,40	337,82	335,16	2.184,26	4.871,10	2.476,56
2002	146,70	538,13	375,96	298,44	2.200,83	4.358,20	2.521,92
2003	133,64	461,87	326,33	349,94	2.488,17	3.947,90	2.567,36
2004	142,84	467,74	338,95	338,09	2.212,29	4.587,10	2.612,74
2005	150,41	410,34	302,10	380,46	2.399,95	4.972,60	2.657,74
2006	151,97	411,74	332,20	348,72	2.182,05	5.370,00	2.703,07
Variación %	38,49	-25,77	-9,17	15,47	16,05	11,22	36,97
Variación promedio anual %	2,17	-0,64	-0,29	1,24	1,12	0,90	1,99

Fuente: INE, AIE y CEPAL (varios años); cálculos propios

Gráfico 4
Evolución de las emisiones y de los factores de Kaya desagregada (1990=100)



Fuente: INE; AIE; CEPAL; elaboración propia

Cuadro 4

Venezuela: variación porcentual promedio de los componentes de Kaya desagregada por períodos (1990 = 100)			
	Etapas		
	1990-1998	1999-2002	2003-2006
CO ₂	1,115	1,283	1,319
Índice carbonización específico	0,923	0,890	0,790
Efecto sustitución	0,963	0,919	0,888
Efecto transformación	1,061	1,121	1,173
Efecto eficiencia	1,027	1,163	1,234
Efecto riqueza	1,061	0,971	0,977
Población	1,093	1,244	1,335

Fuente: INE, AIE y CEPAL (varios años); cálculos propios

De nuevo, los factores son analizados para los tres periodos identificados previamente y resumidos en el Cuadro N° 4.

En el período 1990-1998, además de crecimiento económico con decreciente emisión de CO₂, el índice de carbonización específico también decreció, lo que indica que la composición de las emisiones generadas por la utilización de combustibles fósiles fue baja. El bajo valor del efecto sustitución es señal de disminución en la intensidad en el uso de la energía fósil con respecto a las demás fuentes de energías primarias. Sin embargo, ello se contradice con el desempeño ineficiente del sector energético reflejado en el valor del efecto transformación; es decir, se incrementó el uso de energías primarias en relación con la energía final consumida. Lamentablemente, para el caso venezolano no es posible identificar cuál de las energías primarias es la que genera el incremento en la variable, debido a la ausencia de información sectorial de emisiones. El efecto eficiencia, por su parte, también mostró crecimiento para este período. Tal comportamiento da cuenta de ineficiencia en el uso de la energía final consumida, tanto en la producción como en el consumo.

Los años comprendidos entre 1999 y 2002 forman un periodo de recesión con deterioro del ambiente. En él, el índice de carbonización específico continuó su descenso, al igual que el efecto sustitución; por su parte, los efectos transformación y eficiencia crecían aún más, reforzando la idea de ineficiencia energética. Así, este es el peor escenario, por cuanto

se conjugan la caída en el producto per cápita con un mayor deterioro del ambiente y mayor consumo de energía por unidad de producto. Estas mismas tendencias se observan de manera más pronunciada en el periodo 2003-2006.

4.3. POSICIÓN RELATIVA DE VENEZUELA SEGÚN LA IDENTIDAD DE KAYA

Resulta imperativo ubicar los resultados de la Identidad de Kaya obtenidos para Venezuela en el contexto internacional. El Cuadro N° 5 resume el comportamiento promedio de los factores de Kaya en Venezuela, conjuntamente otros grupos de países o regiones –estos últimos según estimaciones de Alcántara & Padilla (2005) para el período 1990-2001–. China, cuyo crecimiento de emisiones para la época fue similar al de Venezuela (35,95% *versus* 35,51%) muestra una fuerte y positiva variación en el efecto riqueza (144,24%), que contrasta con el casi insignificante valor observado en Venezuela (0,89%). Si se compara la intensidad de las emisiones se tiene que Venezuela tiene una tasa de variación positiva de 10,92%, mientras que China muestra una tasa de variación negativa de 50,33%; esta substancial diferencia obedece a la intensidad energética de cada país. El factor demográfico también mostró tendencias positivas en sus variaciones para ambos países, lo cual lo convierte en un factor impulsador de las emisiones –más para Venezuela (25,49%) que para China (12,07%)–, no obstante las sustanciales diferencias en esta materia entre ambos países. Este país asiático tiene un elevado índice de emisión

Cuadro 5

Factores de Kaya en el contexto internacional (variación porcentual promedio), período 1990-2001							
	Emisiones	Índice de Carbonización	Índice de Intensidad Energética	Efecto Riqueza	Población	Intensidad de emisiones	Emisiones per cápita
Venezuela	35,51	-17,35	28,92	0,89	25,49	10,92	7,14
Latinoamérica	40,54	5,53	-2,45	14,23	19,51	2,95	17,6
Norteamérica OCDE	18,09	-0,45	-13,78	18,69	15,93	-14,17	1,87
Europa OCDE	1,32	-8,59	-11,75	19,05	5,49	-19,33	3,96
Europa No OCDE	-34,4	-6,71	22,95	5,56	-3,37	-28,12	-32,12
Ex-URSS	-33,04	-3,51	4,32	-33,48	0	0,66	-33,04
Pacífico OCDE	29,06	-4,18	7,37	18,52	5,84	2,88	21,94
China	35,95	3,65	-52,08	144,24	12,07	-50,33	21,31
Asia (sin China)	73,78	13,79	-10,31	39,67	21,91	2,06	42,55
África	32,2	2,27	0,44	-0,44	30,25	2,71	2,26
Oriente Medio	78,51	2,98	20,28	11,23	29,57	23,87	37,78
Mundo	14,63	1,75	-15,75	18,63	16,74	-17,23	-1,81

Fuente: Alcántara & Padilla (2005); Banco Mundial (varios años); CEPAL (varios años); ONU (varios años); cálculos propios

nes que se traduce al menos en mayores niveles de ingreso para sus habitantes, mientras que en el caso venezolano, las emisiones no aportan mejoras a las condiciones de vida de sus habitantes.

El decreciente índice de carbonización para el caso venezolano, puede interpretarse como resultado de la aplicación de políticas de sustitución energética, pudiendo inferirse que la mayor fuente de energía del país es la hidroeléctrica, lo que influye en el comportamiento negativo de este factor. China, por el contrario, con una tasa de variación positiva pero baja, indica intensiones de políticas de sustitución energética. En lo que respecta a emisiones per cápita estas tuvieron una tasa de variación positiva en ambos casos, de 7,14% para Venezuela y 17,6% para China, justificando con ello los altos niveles de crecimiento económico experimentado por este último para este período.

En el caso de la antigua URSS se tiene que el comportamiento de la mayoría de los factores señalados muestra tendencias negativas, incluso el relativo a las emisiones de CO₂, lo cual puede ser producto de la transición económica experimentada por ese país tras la caída del antiguo bloque comunista.

En el contexto latinoamericano, la variación creciente que presentan los niveles de emisiones de CO₂ de Venezuela (35,51%) está ligeramente por debajo de las variaciones de las

emisiones de Latinoamérica (40,54%). Al igual que en el caso de China, las altas tasas de crecimiento de las emisiones en América Latina se asocian con significativas y positivas tasas de variación del efecto riqueza (14,23%), contrariamente a lo observado en Venezuela. La variación en la intensidad de las emisiones en Venezuela fue de un 10,92% frente a un 2,95% latinoamericano, indicando una mayor generación de CO₂ por unidad de PIB obtenida en el país, comparado con el resto de la región. La tendencia en el factor población fue positiva y mayor que la de la región (25,49% y 19,51%, respectivamente), convirtiéndose este factor en impulsador de las emisiones de CO₂.

Respecto al índice de carbonización, Venezuela muestra una tasa de variación decreciente de 17,35%, muy por encima del promedio de la región (5,53%). Ello es señal de una aparente disminución en la generación de CO₂ por unidad de energía primaria relacionada a una fuerte dependencia en la energía hidroeléctrica, la cual es menos generadora de CO₂ que los combustibles fósiles, tradicionalmente relacionados con las fuentes de energía primaria. En el caso de la región se tiene que sus bajas tasas de variación podrían estar asociadas a la búsqueda de políticas orientadas a la sustitución de energías fósiles por alternativas menos impactantes en el ambiente. Finalmente cabe destacar que Venezuela tiene una tasa de va-

riación del índice de intensidad energética de 28,92%, muy alta si se compara con la región (-2,45%). Ello se traduce en alta ineficiencia desde el punto de transformación de la energía requerida para obtener unidades de producto por parte del país, comparado con la búsqueda de la eficiencia energética de la región en promedio.

5. CONCLUSIONES

Este estudio se basó en el análisis de la evolución de las emisiones de CO₂ en Venezuela para el período 1990-2006, a través de la aplicación de la Identidad Kaya desde los enfoques simple y desagregado. Una de las limitantes más importantes para la aplicación de esta identidad para Venezuela fue la falta de información estadística relativa a emisiones de gases efecto invernadero, proveniente de los organismos oficiales a cargo de la gestión y aplicación de las políticas ambientales. Cabe destacar la importancia que implica el poder disponer de información referida a emisiones por sectores económicos, a fin de evaluar el desempeño económico ambiental del país y orientar la toma de decisiones en materia de políticas sectoriales conducentes al logro de la reducción y control de las emisiones de gases efecto invernadero. Por esta razón, el estudio recurrió a datos provenientes de organismos internacionales, tales como la Agencia Internacional de Energía, la CEPAL y el Banco Mundial.

Con base en la Identidad Kaya simple, se aprecia una alta tasa de crecimiento en las emisiones de CO₂ frente a una menor tasa de crecimiento del PIB a lo largo del período considerado, lo cual indica ineficiencia en el uso de la energía para la obtención de bienes y servicios en Venezuela. Ese comportamiento obedece principalmente a la ausencia de políticas específicas que logren disminuir o estabilizar las emisiones en cierto nivel.

El índice de carbonización mostró una tendencia decreciente en promedio a lo largo del período evaluado, lo cual es ambientalmente favorable, pues indica que las emisiones de CO₂ causadas por la utilización de la energía primaria disminuyen, ya que en ellas es más intensivo el uso de la energía hidroeléctrica que las de origen fósil (carbón, petróleo, gas natural). Todo esto se traduce en una «mayor eficiencia» en términos de utilización de energías pri-

marias o en un mayor aprovechamiento del potencial hidroeléctrico nacional.

El crecimiento en el índice intensidad energética expresa bajos niveles de PIB respecto a la energía utilizada, o altos niveles de energía utilizados para la obtención del PIB, lo cual es síntoma de un sistema económico productivo ineficiente. Ello puede explicarse por la baja incorporación de tecnologías eficientes en energía, la obsolescencia del parque industrial y el elevado e ineficiente consumo de combustibles del parque automotor venezolano debido a las políticas de precios. Tal comportamiento sugiere que el estilo de crecimiento de la economía venezolana requiere de un elevado consumo de energía. Asimismo, el efecto riqueza mostró a lo largo de los períodos considerados una tendencia a disminuir, lo que indica bajos niveles de productividad económica per cápita, asociados a los niveles de contracción de la inversión interna motivada por las crecientes tensiones inflacionarias y de incertidumbre respecto a la política económica. Esto se asocia al comportamiento de la intensidad de las emisiones en el que se resalta que las emisiones de CO₂ crecieron en la medida que se generaron menores niveles de PIB.

El creciente índice de emisiones per cápita es favorable al medio ambiente, aunque para el caso Venezolano se traduce en una dilución del CO₂ en niveles crecientes de población. El índice de carbonización específico decrece, indicando que la composición de las emisiones generadas por la utilización de combustibles fósiles fue baja. En el efecto sustitución prevalece la tendencia positiva, asociada a la intensiva utilización de fuentes de energía fósil respecto a las demás fuentes de energía primaria, traducido en la escasa capacidad de sustitución de las energías fósiles dada su alta dependencia a éstos, más aún siendo Venezuela un país petrolero.

Por su parte, el efecto transformación tiene un comportamiento inestable, pero cierra el período en crecimiento, lo que se traduce en la utilización intensa de fuentes primarias de energía con respecto a la energía final. El efecto eficiencia mantuvo un comportamiento creciente —es decir, un alto consumo energético respecto al total de bienes y servicios generados en el país—, traducido en bajos niveles de PIB y mayores requerimientos energéticos.

En el contexto internacional, Venezuela mantiene tasas de crecimiento de emisiones ligeramente por debajo de las de América Latina. En lo que respecta a la intensidad energética, al índice de afluencia o riqueza, a la intensidad de emisiones y a las emisiones per cápita, sus comportamientos fueron contrarios a los deseados, excepción hecha del índice de carbonización, cuya tasa de variación muestra la fuerte dependencia del parque hidroeléctrico nacional como principal fuente de energía y de bajo impacto en cuanto a emisiones respecta.

En definitiva, la Identidad de Kaya permitió una primera aproximación para la evaluación del comportamiento de las emisiones de CO₂ para Venezuela, con las limitaciones de información sectorial existentes. No obstante, es un indicador apropiado que permite explicar el comportamiento del CO₂ de origen antropogénico en el país. Se requiere establecer mecanismos de seguimiento sectorial de las emisiones de CO₂, para evaluar el comportamiento de los diferentes sectores que conforman la economía nacional y establecer mecanismos de fiscalización energética así corregir tendencias alejadas de los objetivos de estabilización climática tanto a nivel nacional como internacional.

En la medida que se postergue el fomento a la utilización más intensa de energías renovables –tales como la hidroeléctrica, la eólica y la solar– y en la medida que se siga utilizando más intensidad energética por unidad de PIB, mayor será la contribución del país en el deterioro ambiental. Se hace perentorio para el país el implementar medidas y políticas que logren reducir los niveles de emisiones actuales en Venezuela y hacer compatible un modelo de desarrollo económico basado en la eficiencia y productividad, que permita alcanzar niveles de crecimiento económico con un desempeño ambiental de calidad.

REFERENCIAS

- Andressen, R., Robock, A. & Acevedo, M. (1996). Escenarios de cambio climático por efecto invernadero y deforestación para Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 37(2), 221-250.
- Alcántara, V. & Padilla, E. (2005). *Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo*. Barcelona (España): Universidad Autónoma de Barcelona, Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales.
- Alcántara, V. & Padilla, E. (2010). *Determinación do crescimento das emissões dos gases de efeito invernaderoiro en España*. Revista Galega de Economía, 19(1), 25-39.
- Alcántara, V. Padilla, E. & Roca, J. (2007). Actividad económica y emisiones de CO₂ derivadas del consumo de energía en Cataluña, 1990-2005. *Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input output*. Barcelona (España): Universidad Autónoma de Barcelona, Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales.
- Banco Mundial (2008). *Little green data book 2008*. Washington D.C.: World Bank.
- Banco Mundial (2009). *Informe de las metas del milenio 2009*. Washington D.C.: Banco Mundial.
- Brown, Lester R. (2001). *Eco-Economy. Building an economy for the earth*. New York: Earth Policy Institute-W.W. Norton & Company.
- Byrne, J., Wang, Y., Lee, H. & Kim, J. (1998). An equity –and sustainability– based policy response to global climate change. *Energy Policy*, 26(4), 335-343.
- Cancelo M., M. & Díaz V., M. (2002). Emisiones de CO₂ y el crecimiento económico en los países de la UE. *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*, 2(1), 69-91.

- Castesana, P. & Puliafito, E. (2011). Influencia de la dinámica poblacional sobre las emisiones de carbono. Un análisis de indicadores tecnológicos. *Proyecciones*, 9(1), 11-23.
- Comisión Económica para América Latina, CEPAL (2009a). *Anuario Estadístico 2009*. Recuperado de http://websie.eclac.cl/anuario_estadistico/anuario_2009/datos/2.1.1.4.xls
- Comisión Económica para América Latina, CEPAL (2009b). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL.
- De la Torre, A., Fajzylber, P. & Nash, J. (2009). *Desarrollo con menos carbono: respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático*. Washington D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento y Banco Mundial.
- Díaz V., M & Cancelo, M. (2010). Análisis de los factores determinantes de la evolución de las emisiones de CO₂ y azufre en países OCDE mediante una descomposición econométrica. *Revista de Economía Mundial*, 26, 85-103.
- Duro, J. & Padilla, E. (2006). *Análisis de los factores determinantes de las desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ per cápita aplicando enfoque distributivo: una metodología de descomposición por factores de Kaya*. Barcelona (España): Universidad Autónoma de Barcelona, Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales.
- Energy Information Administration (2006). *International energy annual 2006*. Washington: AIE. Recuperado de <http://eia.doe.gov/iea/> y <http://www.eia.doe.gov/iea/elec.html>
- Gabaldón, A. J. (2008). El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humana del Sur*, 3(4), 13-32.
- Harwell, M. A. (1993). Assessing the effects of global climate change: The Pan-Earth Project series. *Climatic Change*, 23(4), 287-292.
- Hanaoka, M., Kainuma, M. & Matsuoka, Y. (2009). The role of energy intensity improvement in the AR4 GHG stabilization scenarios. *Energy Efficiency*, 2(2), 95-108. doi: 10.1007/s12053-009-9045-y
- Instituto Nacional de Estadística, INE (2010). *Anuario estadístico 2010*. Recuperado de <http://www.ine.gov.ve/demografica/salidadistribucion.asp?Tt=Cuadro201&cuadro=cuadro201> Anuarios estadísticos.
- IPCC (2007). Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. En: Pachauri, R. K. & Reisinger, A. (Dir.), *Cambio climático 2007: informe de síntesis*. Ginebra: OMM-PNUMA, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Kaya, Y. (1989, 1990). Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios. *Ponencia en el Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Intergovernmental Panel on Climate Change* (Paris, Francia).
- Márquez, M. T. & Díaz, M. del R. (2002). Emisiones de CO₂ y crecimiento económico de países de la UE. *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*, 2(001), 69-91.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (2005). *Primera comunicación nacional en cambio climático de Venezuela*. Caracas: MARN/GEF/PNUD.
- Olivo, M., Letthernny, E., Platt Ramos, C. & Sosa, M. (2001). Pérdidas de tierras en la costa venezolana debido al incremento en el nivel del mar. *INCI*, 26(10), 463-468.
- Organización de Naciones Unidas, ONU (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Nueva York: ONU.
- Organización de Naciones Unidas, ONU (1997). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Japón: ONU.

- Organización de Naciones Unidas, ONU (2009a). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: ONU.
- Organización de Naciones Unidas, ONU (2009b). *Objetivos del desarrollo del milenio. Informe 2009*. Nueva York: ONU.
- Rivas W., A. (2011). *Desempeño económico y cambio climático: análisis de la evolución de las emisiones de CO₂ en Venezuela, según la Identidad de Kaya*. Mérida (Venezuela): Universidad de Los Andes (inédito).
- Puran, M. & Jayant, S. (1995). Macroeconomic implications of CO₂ mitigation in Venezuela. *Interciencia*, 20(6), 360-365.
- Robock, A., Turco, R. P., Harwell, M. A., Ackerman, T. P., Andressen, R., Hsinshih, C. & Sivakumar, M. V. K. (1993). Use of general circulation model output in the creation of climate change scenarios for impact analysis. *Climate Change*, 23(4), 293-335. doi: 10.1007/BF01091621
- Samaniego, J. L. & Galindo, L. M. (2009). Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero asociados a combustibles fósiles y cemento en América Latina. *Economía Informa*, 360, 22-39.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2009). *The economics of climate change*. México: Galindo Luis M. Editor.
- Vide, J. M., Llebot, J. E., Padilla, E. & Alcántara E. V. (2007). *Aspectos económicos del cambio climático en España*. Barcelona (España): Caixa Catalanluya.
- World Business Council for Sustainable Development, WBCSD (2005). *Rutas hacia el 2050, energía y cambio climático*. Suiza: Conches-Geneva.