



Análisis de la variación de las emisiones de CO₂ y posibles escenarios al 2030 en Ecuador

Analysis of the variation of CO₂ emissions and possible scenarios to 2030 in Ecuador

ARROYO, Flavio R. [1](#) y MIGUEL, Luis J. [2](#)

Recibido: 10/09/2018 • Aprobado: 06/01/2019 • Publicado 22/04/2019

Contenido

- [1. Introducción](#)
 - [2. Metodología](#)
 - [3. Resultados y Discusión](#)
 - [4. Conclusiones](#)
- [Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Se desarrolló un estudio sobre los cambios en las emisiones en CO₂ y su posible futuro en Ecuador hacia el año 2030. Se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas integrado basado el software Vensim. Se simularon diferentes escenarios para investigar el efecto de cada uno de los factores en la producción de emisiones de CO₂. Con las actuales condiciones conduciría a una de las economías más bajas de la región, un consumo de energía creciente y dependencia al petróleo.

Palabras clave: CO₂, Emisiones; Cambio Climático

ABSTRACT:

A study on changes in CO₂ emissions and its possible future in Ecuador was developed around 2030. An integrated systems dynamics model was developed based on the Vensim software. Different scenarios were simulated to investigate the effect of each one of the factors in the production of CO₂ emissions. With the current conditions it would lead to one of the lowest economies in the region, a growing energy consumption and dependence on oil.

Keywords: CO₂, Emissions; Climate change

1. Introducción

Se ha demostrado que la contaminación atmosférica asociada con la producción y el uso de energía afecta directamente la calidad de aire local y del clima mundial, las temperaturas de la superficie de tierra siguen cambiando, la distribución de las precipitaciones se está modificando, el hielo y la nieve se están derritiendo y el nivel del mar está subiendo al igual que la temperatura de los océanos, la mayor parte de este calentamiento se ha producido en los últimos 30 años, pero el aumento ha sido especialmente acentuado en los últimos diez, agravando la situación. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la contaminación en las ciudades contribuye a casi 3,4 millones de muertes prematuras en

todo el mundo y es un factor decisivo en las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como en los ictus cerebrales. La mayoría de las muertes se producen en los núcleos urbanos de China (1,4 millones), seguidos de la India (645.000) y Pakistán (100.000) (Fresnada, 2016).

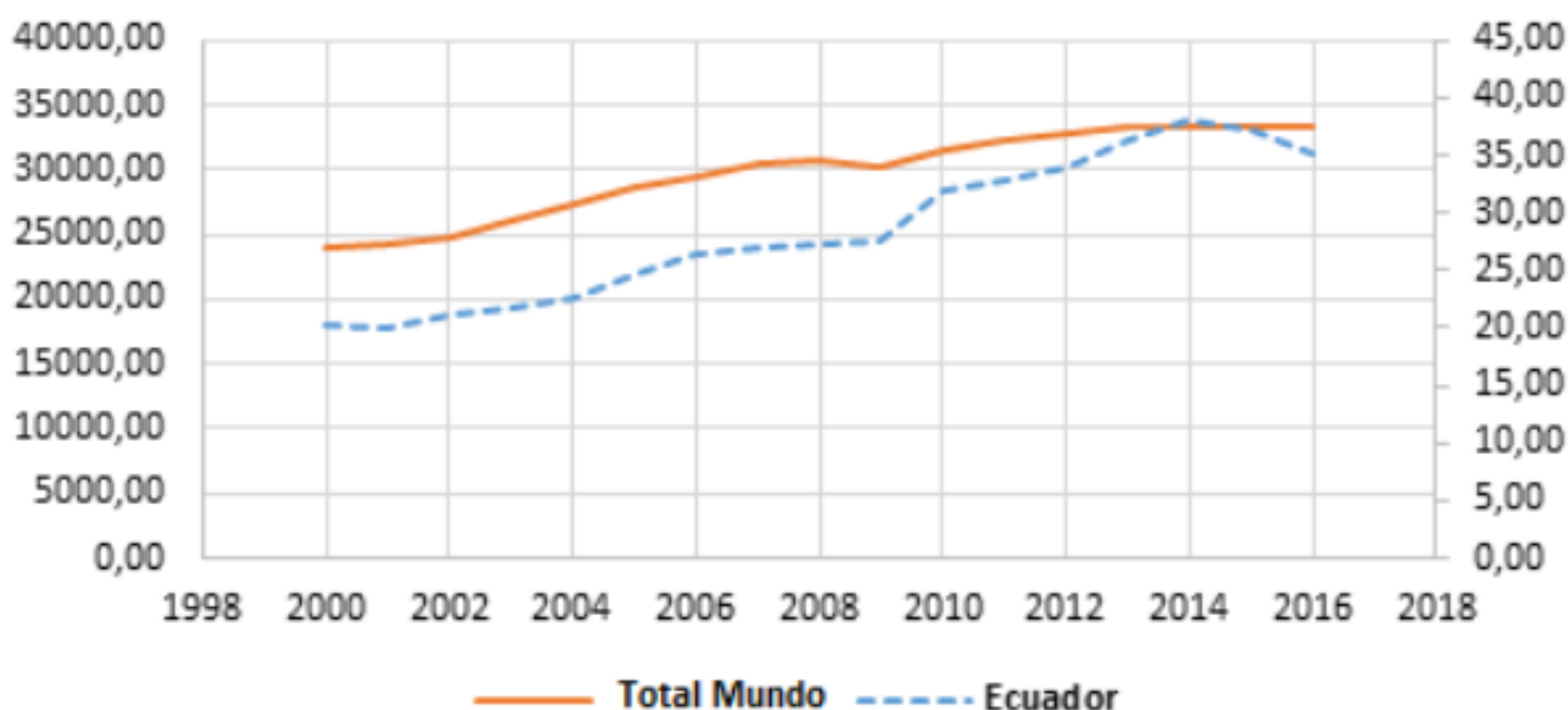
En 2014, los principales emisores de dióxido de carbono (CO₂) fueron China, los Estados Unidos, la Unión Europea, la India, la Federación de Rusia y Japón. Estos datos incluyen las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles, así como la fabricación de cemento y la quema de gas (United States Environmental Protection Agency, 2017).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado un nuevo modelo de calidad del aire que confirma que el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire exceden los límites fijados por la OMS. Casi el 90% de las muertes relacionadas con la contaminación del aire se producen en países de ingresos bajos y medianos, y casi dos de cada tres se producen en las Regiones de Asia Sudoriental y del Pacífico Occidental de la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Entre las principales fuentes de contaminación del aire figuran los modos ineficientes de transporte, la quema de combustible en los hogares y la quema de desechos, las centrales eléctricas y las actividades industriales. Sin embargo, la actividad humana no es la única fuente de contaminación del aire. Por ejemplo, las tormentas de arena, especialmente en regiones cercanas a desiertos, también pueden influir en la calidad del aire (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Varios investigadores evidencian que las emisiones de CO₂ han contribuido más al cambio climático entre 1750 y 2005 (Lu & Wu, 2016) (Mirzaei & Bekri, 2017). Esta última amenaza la esperanza de vida debido al menor acceso al agua, los alimentos, la salud y la tierra, y causa cambios climáticos ambientales y repentinos. Por lo tanto, es importante minimizar las emisiones de CO₂ mediante la reducción del consumo de combustibles fósiles (Mirzaei & Bekri, 2017). Según informe de Bp Statistical Review of World Energy en el año 2016 las emisiones de CO₂ totales del mundo fueron de 33432.04 (MTon). Si bien Ecuador representa tan solo un porcentaje mínimo de total de emisiones, en el en el mismo año se produjeron 35.02 (MTon), valor que refleja una disminución al año anterior, año hasta el cual se mantenía una tendencia al crecimiento de estas como se muestra en la Fig. 1 (BP, 2017).

Figura 1
Emisiones de CO₂ (Millones de toneladas de dióxido de carbono)



Fuente: (BP, 2017)

Estudios realizados concluyen que existe una relación de largo plazo entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el PIB (Campo Robledo & Olivares, 2013). Se sugiere que existe una relación de causalidad, del PIB a las emisiones de CO₂, y del consumo de energía

a las emisiones de CO₂, lo cual implica que en el largo plazo el crecimiento económico es un determinante del cambio climático a través de las emisiones de CO₂ al menos para la región conformada por los países estudiados CIVETS (Campo Robledo & Olivares, 2013). Existe una tendencia al alza a largo plazo de las emisiones industriales, tanto en relación con el PIB como en relación con la producción manufacturera. Estas tendencias positivas a largo plazo son claramente más altas entre los países de ingresos más bajos (Hettige, Lucas, & Wheeler, 1992).

1.1. Revisión de literatura

Los problemas ambientales en los últimos años han provocado que la mayoría de las naciones firmen acuerdos con miras a reducir las emisiones de GEI. El cumplimiento de reducción de las emisiones de GEI determinarán en gran medida las oportunidades para evitar una crisis climática que pueda frenar o impedir el desarrollo sostenible tanto en sus propios países como en los países en desarrollo vulnerables en el futuro (Warner, 2013).

El consumo energético desempeña un papel importante en el crecimiento económico tanto de los países desarrollados como de los países en desarrollo, así como de los países exportadores e importadores de energía (Kais & Ben Mbarek, 2015). El PIB tiene un impacto pequeño sobre el CO₂, mientras que el consumo de energía tiene un impacto más largo y positivo en las emisiones de CO₂, lo que implica que si hay un mayor consumo de energía se producirán mayores emisiones de CO₂ (Magazzino, 2014). Existe una relación a largo plazo entre el crecimiento económico, las emisiones de CO₂ y el consumo de energía en todos los sectores incluidos en el estudio, a saber, la agricultura, el doméstico, el industrial y el comercial (Nain, Ahmad, & Kamaiah, 2015).

La dinámica del sistema fue creada a mediados de los años cincuenta por el profesor Jay W. Forrester del Massachusetts Institute of Technology. La Dinámica de Sistemas (DS) trata con la interacción de varios elementos de un sistema en el tiempo y capta el aspecto dinámico incorporando conceptos tales como stock, flujos, retroalimentación y demoras, y proporciona así una visión del comportamiento dinámico del sistema en el tiempo (Tang & Vijay, 2001).

Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III (1972) explican cómo las políticas sociales de desarrollo a corto plazo pueden conducir a un comportamiento de "superación y colapso". "Límites al crecimiento" ha ejemplificado el potencial de la DS como una herramienta para ayudar a entender sistemas socio-ecológicos complejos, y es considerado como un recurso valioso para pensar en escenarios futuros sostenibles, por ejemplo, (Stave & Kopainsky, 2017), (Allingtona, Lib, & Brownc, 2017), (Turner, 2012). (Zhan, Zhang, Ma, & Chen, 2012) desarrolla un MDS para simular el crecimiento económico y los efectos de algunas políticas sobre la dinámica ecológica y económica en Tianjin.

El modelado del sistema energético es un problema complejo debido a la presencia de múltiples tomadores de decisiones, la complejidad de los comportamientos de los consumidores, los procesos de retroalimentación entre los módulos, las limitaciones tecnológicas y diversos tipos de retrasos. La fortaleza de este modelo reside en su capacidad para dar cuenta de la no linealidad en la dinámica, la retroalimentación y el tiempo de retraso (Wu, Kefan, Hua, & Olson, 2010).

Sobre el análisis de las emisiones de CO₂ y energía, (Li, Dong, Shangguan, & Hook, 2011) desarrollaron un modelo de dinámica de sistemas para analizar el consumo de gas natural de China en tres diferentes escenarios. Li, Zhang, Li, & He (2017) consideran un MDS para analizar las causas de emisión de CO₂ de la industria primaria del aluminio. Ansari & Seifi (2013) desarrollan un MDS para analizar el consumo de energía y la emisión de CO₂ en la industria cementera iraní bajo diversos escenarios de producción y exportación. Mirzaei & Bekri (2017) con el fin de proyectar el consumo de energía y las emisiones de CO₂ en Irán durante el período 2000-2025, utilizan la DS para desarrollar un MDS para simular diferentes escenarios para investigar el efecto de la intensidad energética. Feng, Chen, & Zhang (2013) presentaron un MDS para analizar el consumo de energía urbana y emisiones de CO₂ de Beijing, China.

La Identidad de Kaya definida por (Kaya & Yokobori, 1997) muestra que el CO₂ emitido por la actividad humana depende del producto de cuatro variables, consideradas a escala global: la población, el producto interior bruto (PIB) per cápita, la energía utilizada por unidad de PIB (o intensidad energética), y las emisiones de CO₂ emitidas por unidad de energía consumida (o intensidad de carbono del mix energético).

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

Desde el punto de vista matemático, esta expresión señala que "las emisiones de CO₂ son directamente proporcionales a la población (P), al ingreso per cápita (PIB/P), a la intensidad energética (E/PIB) y a las emisiones de CO₂ en proporción al consumo de energía (CO₂/E)". Lo interesante de la expresión es que cada término puede analizarse separadamente.

La identidad de Kaya ha sido ampliamente discutida en los análisis de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía. Aparte de su simplicidad, una ventaja del análisis que utiliza la identidad de Kaya para descomponer las emisiones en cuatro fuerzas motrices principales es que facilita al menos una cierta estandarización en la comparación y el análisis de muchos diversos escenarios de emisiones (Nakicenovic & Swart, 2000).

Chimeddorj & Abada (2015) concluyen que las emisiones de carbono pueden reducirse mediante la mejora del uso de la energía, el control de la población, el ajuste de la formación bruta de capital fijo y la orientación del gasto de consumo final de los hogares. Lin, Omoju, & Okonkwo (2015) examinan el impacto de la transformación estructural en la sustentabilidad ambiental investigando la relación entre el valor añadido industrial el PIB y la emisión de carbono. Remuzgo & María (2015) analizan los determinantes de la desigualdad en la distribución global de las emisiones de CO₂ en las regiones consideradas por la IEA durante el período 1990-2010. Girod, Wiek, Mieg, & Hulme (2009) analizan la evolución de la estructura, descripción, desarrollo de procesos y contexto de los escenarios de emisiones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), identificando los cambios más importantes y sus causas científicas y políticas. Karakaya & Özçag (2005) concluyen que el análisis de la tendencia de los cambios en las emisiones de CO₂ es un punto de referencia útil para diseñar políticas energéticas y ambientales en una nación. (Mavromatidis, Orehounig, Richner, & Carmeliet (2016) indican que el enfoque basado en Kaya permite la transformación de objetivos de emisión determinados, en una interpretación más flexible, permitiendo evaluar varias soluciones, combinaciones de ellos y compararlos con los valores objetivo.

CEPAL (2013) analiza la posible dimensión del impacto físico del cambio climático y su cuantificación económica en diferentes sectores: recursos hídricos, agricultura, biodiversidad, recursos marinos y costeros, salud, infraestructura, eventos extremos y, en particular, las islas Galápagos. Robalino López (2014) utiliza MDS, análisis de descomposición y curva de kuznets, para analizar las emisiones de carbono, consumo de energía y desarrollo sostenible en Ecuador (1980-2025). Cárdenas Herrera (2014) realiza un estudio de las emisiones de carbono en Ecuador con la finalidad de disponer una política de reducción de estas.

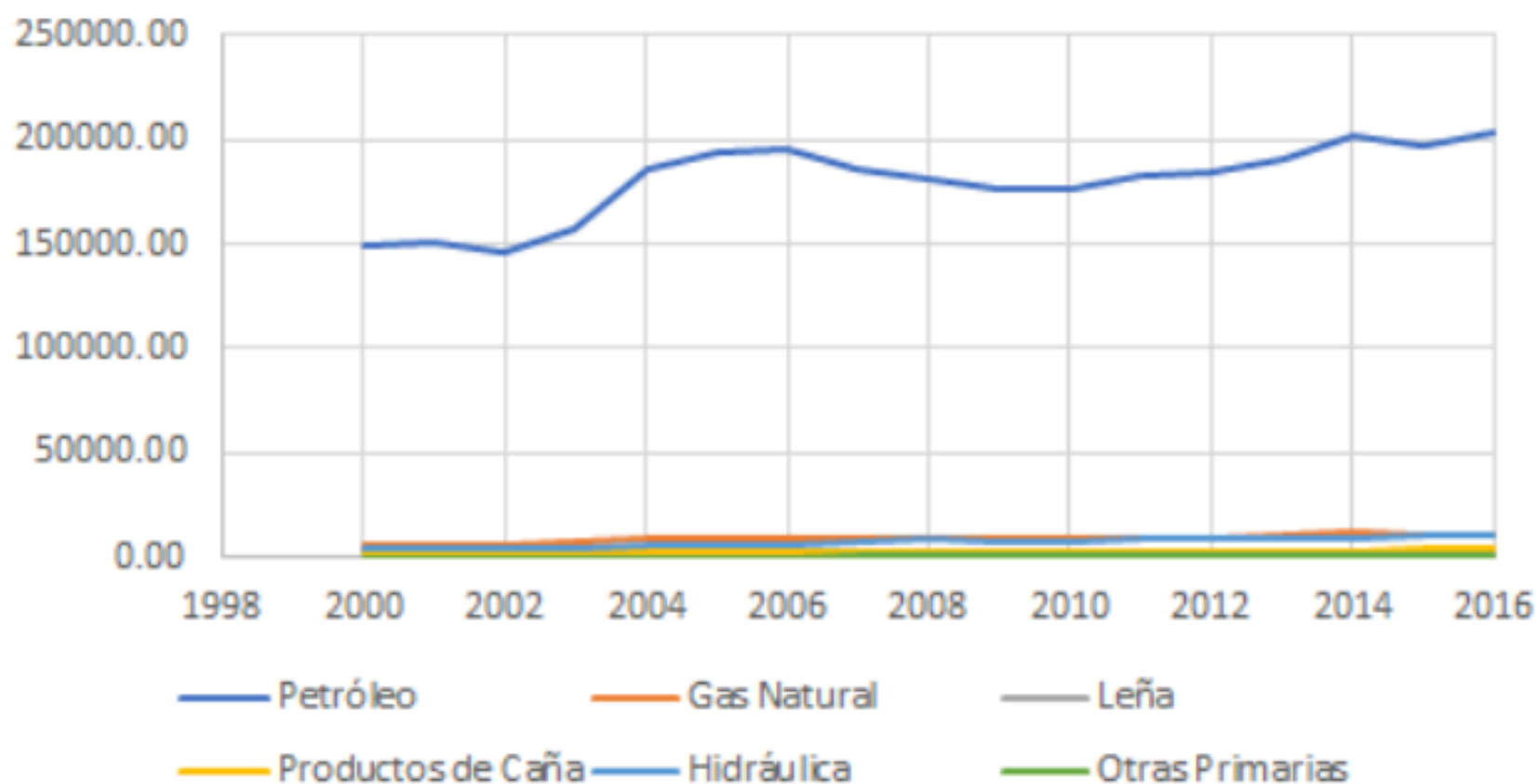
La producción petrolera en el Ecuador ha jugado un papel de suma importancia, no solo para abastecer la demanda interna, sino que sus exportaciones han permitido generar importantes ingresos económicos para el país. El sector del petróleo representó el 41% de los ingresos de exportación en el año 2016 (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2017). Ecuador es miembro de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). En el año 2016 produjo 549.000 barriles por día (b/d) de petróleo, se exportaron 414.700 barriles por día (b/d) y la capacidad nacional de refinación fue de 190.800 barriles por día calendario (b/cd) (Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), 2017). Para satisfacer la demanda local ha obligado al Ecuador a importar productos refinados, limitando los ingresos netos del petróleo.

Una economía que depende más de combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo

tendrá más emisiones que una economía que dependen de la energía renovable (Lin, Omoju, & Okonkwo, 2015). La intensidad de carbonización se define como las emisiones de carbono por unidad de energía consumida. La intensidad de carbonización difiere mucho en los diferentes tipos de energías. Para las energías fósiles, la intensidad de carbonización del carbón es la más alta, seguida por el petróleo y luego el gas natural. Para las energías renovables, la intensidad de carbono de la energía de biomasa es relativamente baja, mientras que la energía hidroeléctrica, eólica, solar, nuclear, geotérmica y de marea pertenecen a cero energías de carbono (Chimeddorj & Abada, 2015).

La matriz de energía primaria del Ecuador ha sido predominada históricamente por la producción de petróleo (Fig. 2). Asimismo, cabe destacar que históricamente, las energías renovables no han tenido una mayor participación en matriz de energía primaria. Sin embargo, la producción de hidroenergía ha incrementado en 72% entre 2000 y 2015, mientras que la producción de otras fuentes primarias como la energía eólica y fotovoltaica inició en el 2007 (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2017).

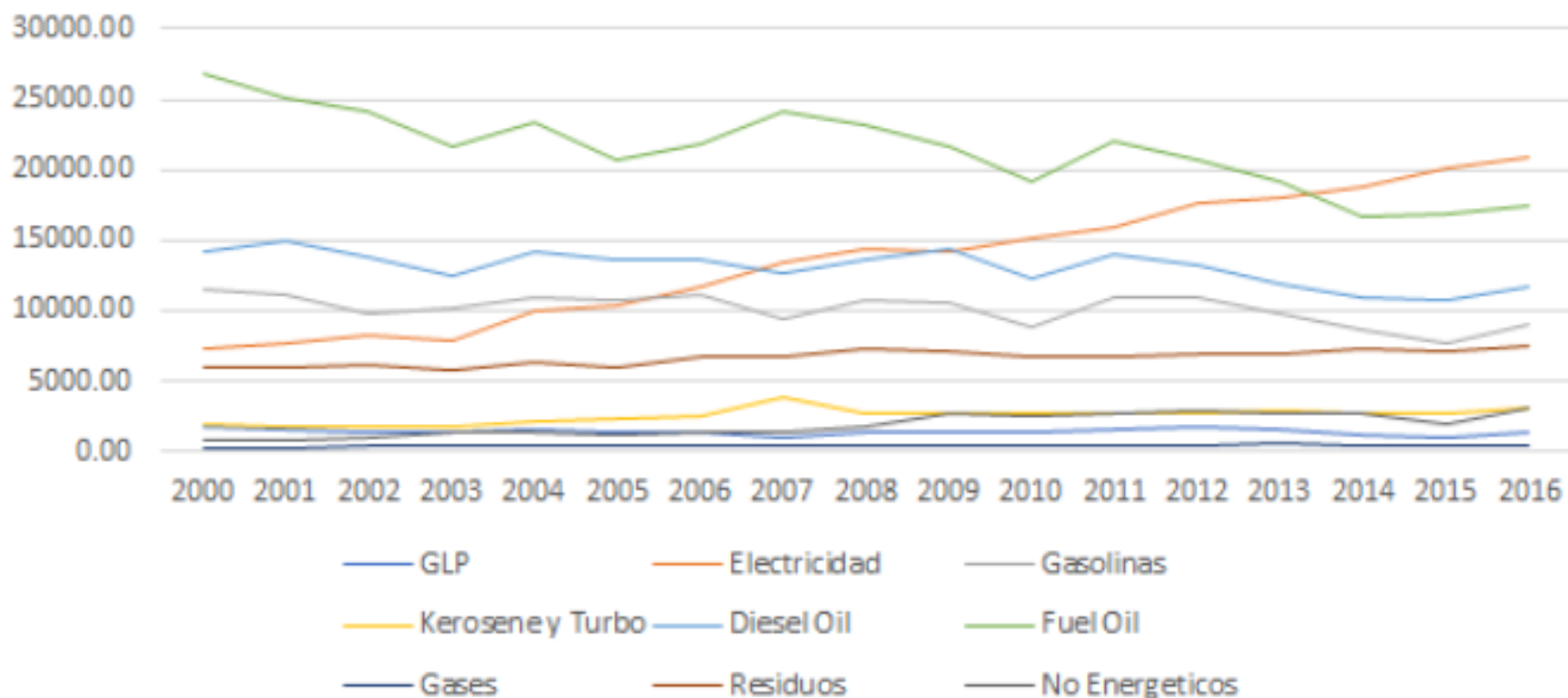
Figura 2
Producción de Energía Primaria (KBEP)



Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014),
(Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2017)

En la Fig. 3 se puede apreciar la evolución de la producción de energía secundaria en el Ecuador. La producción total de energía secundaria se ha mantenido en niveles cercanos a los 70 millones BEP entre 2003 y 2015, con el Fuel Oil como la principal energía secundaria producida en el país, seguido por el diésel hasta el año 2011, convirtiéndose en el 2012 la electricidad la segunda fuente secundaria más producida y en la actual casi a la par con el Fuel Oil.

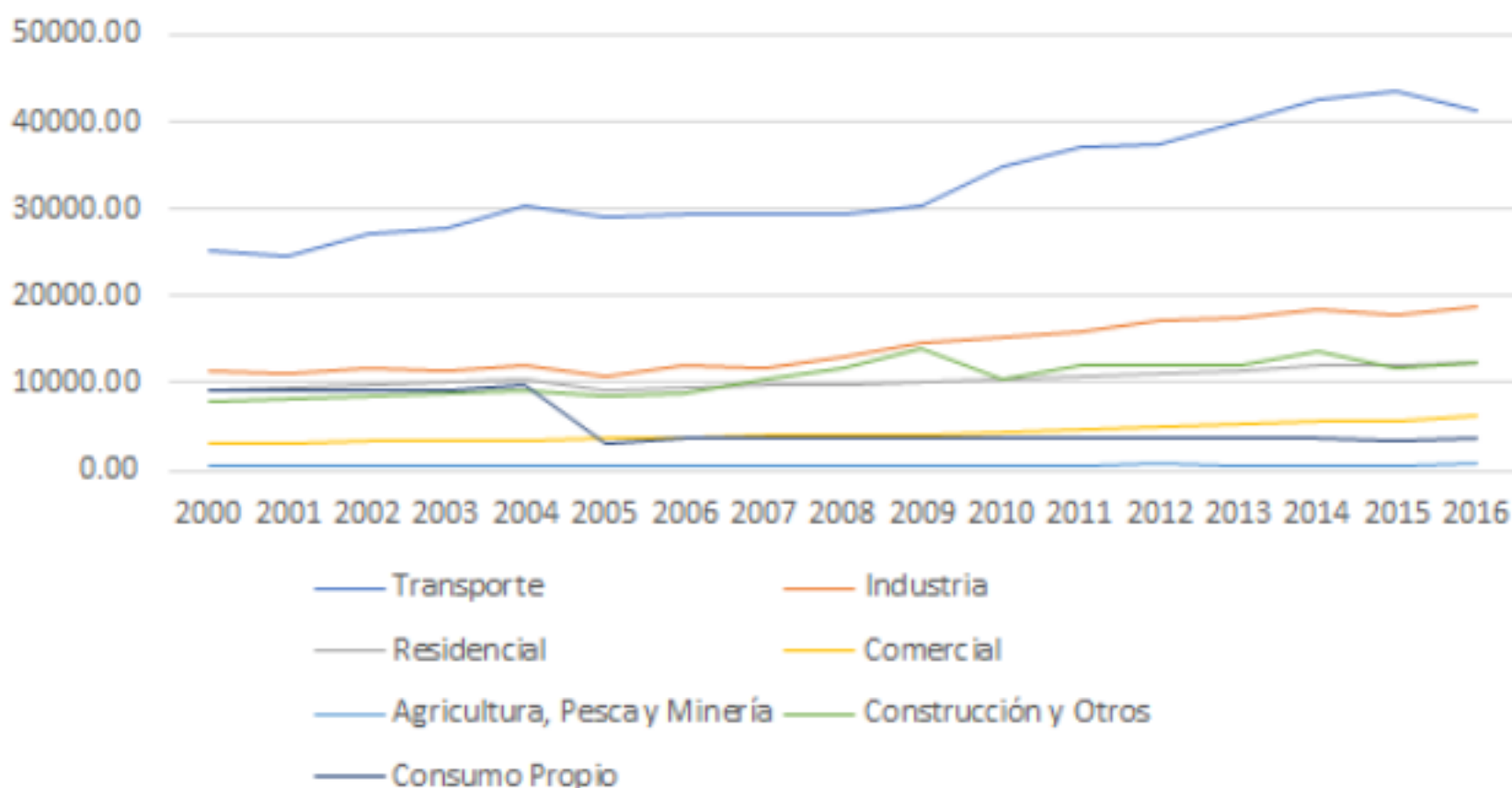
Figura 3
Evolución producción de Energía Secundaria (KBEP)



Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014),
(Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2017)

En el Ecuador se pueden identificar seis sectores económicos en los que se distribuye el consumo final de energía como se muestra en la Fig. 4. Al 2015, el transporte tuvo una participación del 46% del total de energía demandada en los sectores del país, las industrias alcanzaron un 19% y el sector residencial el 13%. Sin embargo, en el 2015 existió una reducción del 4% en el consumo energético sectorial del país comparado con el 2014, a pesar de un incremento en la demanda del transporte (2%) y de los hogares (1.6%). Este hecho se ha visto justificado principalmente por un menor consumo de energía en la industria (- 4.5%) y en otros sectores (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2017)

Figura 4
Consumo por Sector (KBEP)



Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014),
(Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2017)

2. Metodología

En este estudio, se construye un modelo dinámico utilizando Vensim. Estos procedimientos de desarrollo de modelos están diseñados sobre la base de un proceso de visualización que permite a los constructores de modelos conceptualizar, documentar, simular y analizar modelos de sistemas dinámicos (Dyson & Chang, 2005). Permite realizar un análisis de sensibilidad con la finalidad de examinar la consistencia del modelo ante cambios en los valores de los parámetros. En realidad, el método de los sistemas dinámicos pretende describir un problema dinámicamente. Se emplea el modelo propuesto por Sterman (2000). Este estudio tiene como objetivo analizar los efectos del consumo de energía sobre la economía y el medio ambiente. Las principales variables utilizadas son la población, oferta y demanda de energía, las emisiones de CO₂, la intensidad energética. El período de análisis es de 30 años comenzando en 2000 y terminando en 2030.

La identidad de Kaya es una fórmula sencilla para proyectar futuras emisiones de carbono basadas en cambios esperados población, actividad económica como PIB per cápita, intensidad energética, e intensidad de carbonización de las fuentes de energía. Para el modelo aplicado se utilizará la Eq. (3)

$$CO_2 = \text{Población} * \text{PIB per cápita} * \text{Intensidad Energética} * \text{Índice de Carbonización} \quad (2)$$

$$CO_2 = P * \frac{PIB}{P} * \frac{E}{PIB} * \sum_i (\%E_i)(FC_i) \quad (3)$$

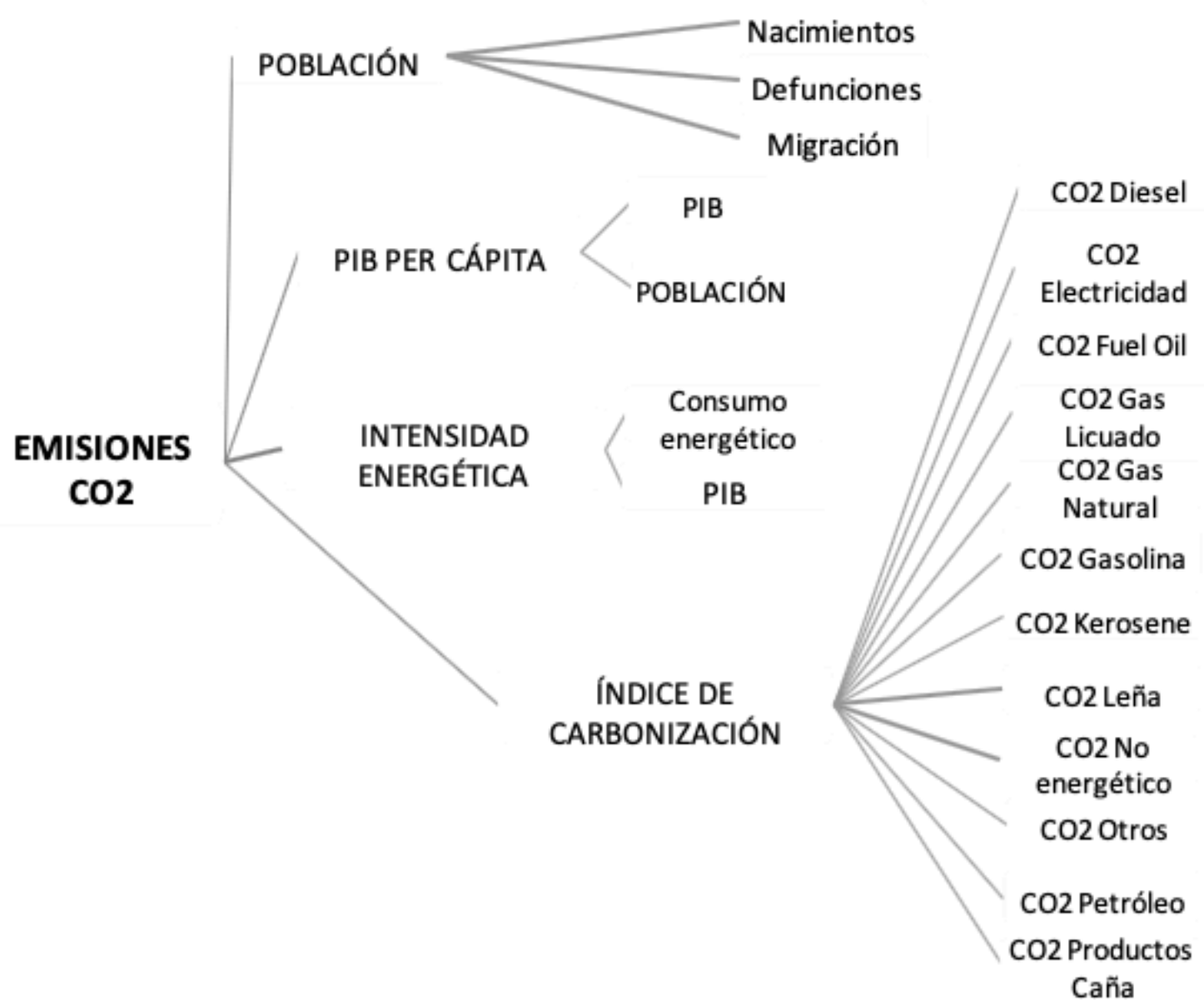
Donde: CO₂ = Emisiones totales de CO₂; P = Población; PIB = Producto Interno Bruto; E = Consumo de energía; ICO₂ = Índice de carbonización; %E_i = Porcentaje por fuente de energía y ; FC_i = Factor de conversión por fuente de energía.

(Lin, Omoju, & Okonkwo, 2015) mencionan que la identidad de Kaya es utilizada para expresar la relación entre las actividades humanas y el medio ambiente (específicamente en forma de emisiones de CO₂). Demuestra que la emisión es producto de las actividades humanas derivadas de los ingresos (PIB per cápita).

Se plantearon tres escenarios: BAU (*Bussiness as usual*) que hace referencia a la forma actual con que se están desarrollando los sistemas y qué pasaría si continuamos baja las mismas condiciones. El ESCN1, escenario económico optimista con implementación de políticas gubernamentales. Se consideran todas las políticas y estudios propuestos por el gobierno nacional para proyecciones a futuro. El ESCN2, escenario regional o mundial, se toman en cuenta las tendencias de países de la región o del mundo. El estudio desarrolla un modelo mediante dinámica de sistemas para estimar la producción de emisiones de CO₂ en el Ecuador en 2030. Para comprender mejor los cambios en las emisiones de CO₂ a lo largo del tiempo, es necesario conocer los factores que afectan o controlan por separado las emisiones de CO₂. En este trabajo, las variables que determinarán la cantidad de emisiones de CO₂ son la población, el crecimiento económico, la intensidad energética y el índice de carbonización, como se muestra en la Eq (3). La estructura de la producción de CO₂ mediante un árbol causal se muestra en la Fig. 5.

Figura 5

Árbol causal del modelo para proyectar emisiones de CO₂ del Ecuador



Fuente: Vensim

3. Resultados y Discusión

3.1. Población

Estudios previos han demostrado que la población es una variable importante que influye en las emisiones de carbono, al existir un mayor número de personas son necesarios más recursos, que de una u otra manera están vinculados con la energía y por consiguiente a las emisiones de CO₂. Según el Censo 2010, Ecuador tiene 14'483.499 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2011). Para modelar la población de Ecuador se utilizaron las tasas de natalidad y mortalidad, y la migración. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2017) la tasa de natalidad en el 2014 fue de 14.32, y la tasa de mortalidad fue de 3.93, la tendencia en los dos casos ha sido a disminuir. Finalmente, en lo referente al flujo migratorio, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2017) presenta cifras de una variación importante para los períodos del 2003 al 2005 en donde el saldo migratorio superó las 90.000 personas, y por otro lado en el período del 2006 al 2008 se presentó un saldo bruto migratorio negativo, esto debido a la mejora en la economía del Ecuador por los precios altos del petróleo. Al realizar la simulación de la población considerando los tres escenarios los resultados obtenidos de población al 2030 se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Número de habitantes en los diferentes escenarios

Escenario	Millones de habitantes
BAU	19.16

ESCN1	19.52
ESCN2	17.29

Fuente: Resultados modelación Vensim.

La diferencia entre los resultados proyectados con el ESCN2 se debe principalmente a la baja continua de la mortalidad y a persistentes tasas de elevada fecundidad, sumado a que, en la actualidad, los países en vías de desarrollo todavía mantienen las tasas de natalidad más elevadas debido a costumbres de fuerte arraigo o prejuicios religiosos y familiares, lo que no ocurre en los países desarrollados. Otro factor determinante es la tasa de mortalidad que para el ESCN2 es el doble de los otros dos escenarios.

El Ecuador debería plantearse políticas de población que no solo involucren acciones encaminadas a modificar el comportamiento de las variables demográficas analizadas, sino que vayan encaminadas a lograr un desarrollo humano sostenible.

3.2. PIB per cápita

Se considera una variable importante dentro del estudio, se espera que el PIB per cápita ejerza un efecto positivo sobre las emisiones de carbono. Las personas dispondrán de más recursos para comprar bienes y servicios como electrodomésticos, ropa, vehículos, viajes, etc., que de una u otra manera utilizan energía y por ende producirán emisiones.

La modelación del PIB per cápita se basa en la proyección en los tres escenarios, el BAU y el ESCN1 consideran una proyección económica positiva hasta el año 2030. El ESCN2 toma en cuenta las proyecciones del fondo monetario internacional (FMI) donde se pronostica una recesión, con un decrecimiento del PIB.

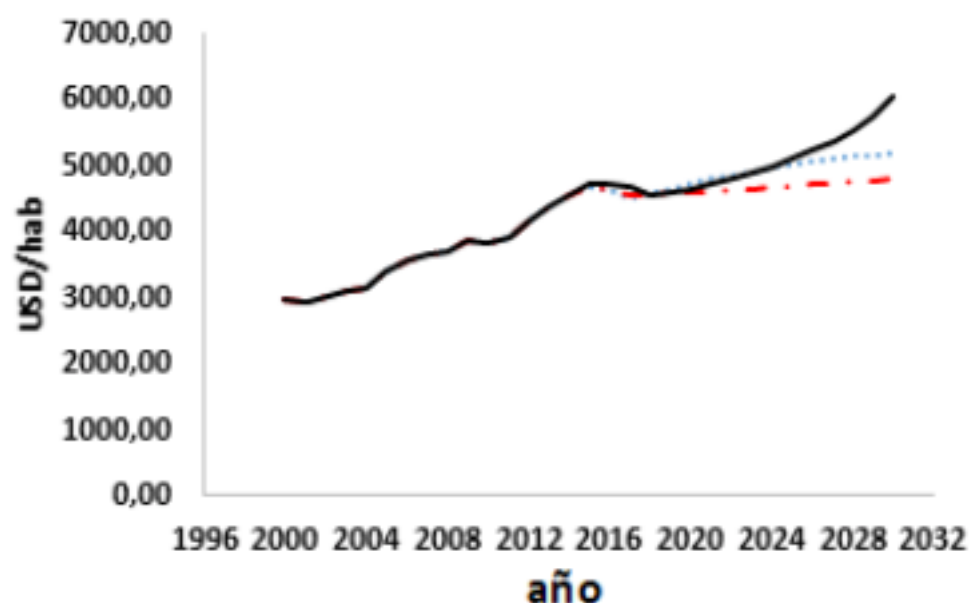
A partir del año 2015 el Ecuador vive una crisis económica importante debido principalmente a la baja en los precios del petróleo ocasionada principalmente a la sobre oferta de petróleo. El *fracking* en EE. UU. ha llegado a una producción de 9 millones de barriles al día en el 2016. La desaceleración económica de China ha frenado el consumo de productos en general, mientras que Arabia Saudita está más decidida a conservar su cuota en el mercado que en preocuparse por el valor del barril de petróleo.

Los indicadores de crecimiento económico están asociados con tasas rápidas de uso de recursos y producción de desechos. Varios estudios han indicado que el crecimiento económico tiene una relación en la variación de las emisiones de CO₂ (Bekhet, Matar, & Yasmin, 2017), (Ansuategi & Escapa, 2002), (Ara Begum, Sohag, Syed Abdullah, & Jaafar, 2015), (Esso & Keho, 2016), (Albrecht, Francois, & Schoors, 2002). Estadísticas actuales muestran que la economía mundial se está expandiendo mientras que las emisiones globales de carbono permanecen en el mismo nivel. La estadística es sorprendente. En los últimos dos años, la economía global ha crecido un 6.5%, pero las emisiones de dióxido de carbono no han crecido en absoluto, informó la Agencia Internacional de Energía (AIE). Las emisiones de CO₂ en Europa, Estados Unidos y, lo que es más sorprendente China han estado cayendo. Resultados empíricos muestran que no hay evidencia de causalidad a corto plazo del crecimiento económico y las emisiones de CO₂ (Farhani & Rejeb, 2012). Más allá de la industrialización básica, cualquier relación entre el PIB y el CO₂ parece ser muy débil, no existe un vínculo claro entre un crecimiento económico más rápido y un crecimiento más rápido del CO₂ (Grubb, Müller, & Butler, 2004). El rápido crecimiento de las emisiones globales de CO₂ de los combustibles fósiles y la industria cesó en los últimos dos años, a pesar del crecimiento económico continuo (Jackson, Canadell, Le Quéré, Robbie M. Andrew, & Nakicenovic, 2016). Las nuevas estadísticas sorprendentes muestran que la economía mundial se está expandiendo mientras que las emisiones globales de carbono permanecen en el mismo nivel. ¿Es posible que el esquivo "desacoplamiento" de las emisiones y el crecimiento económico pueda estar ocurriendo? (Pearce, 2016).

De la modelación realizada, en la Fig. 6, se puede observar que el crecimiento del PIB per

cápita muestra una tendencia similar al crecimiento del PIB que refleja en cierta medida el impacto del crecimiento demográfico. Esto indica que, dada la tendencia de crecimiento de la población de Ecuador, un crecimiento económico inconsistente es contrario a las mejoras en el nivel de vida. El crecimiento económico del Ecuador se ha mantenido durante el período de evaluación debido principalmente a medias que ha tomado el gobierno en el sector social.

Figura 6
Proyección PIB per capita en miles de dólares/hab (USD del 2007)



Fuente: Modelación en Vensim

De la modelación realizada se puede observar que los tres escenarios mantienen un crecimiento. El ESCN2 pronostica una mejora en la calidad de vida de los ecuatorianos, esto se debe principalmente a que se considera una disminución importante en el crecimiento poblacional. El BAU y ESCN1 proyectan que el desarrollo económico del Ecuador mantendría una tendencia al crecimiento. Al contrastar los datos obtenidos de los dos escenarios con el crecimiento del PIB per cápita de países desarrollados ninguna de las dos proyecciones es alentadora, motivo por el cual el Ecuador requiere un cambio estructural de su economía enfocados en un crecimiento sostenido y equitativo de largo plazo. Las razones de que el PIB per cápita sea uno de los más bajos en Latinoamérica se debe al crecimiento poblacional y al poco crecimiento económico, las proyecciones del PIB tomando en cuenta la actual crisis económica no son muy alentadoras.

3.3. Intensidad energética

La intensidad energética es la relación entre el consumo de energía y el producto interno bruto medido. La intensidad energética es un valor agregado que depende de varios factores entre los que se pueden destacar la estructura de los bienes y servicios, la intensidad energética en la provisión de diferentes bienes y servicios y los modelos de transporte (Alcántara & Roca, 1995). Parece claro que la intensidad energética varía mucho, incluso entre países con un nivel similar de PIB per cápita, como demuestra la comparación, por ejemplo, entre los Estados Unidos y Japón (Roca & Alcántara, 2001). La importancia de la intensidad energética como objetivo político está vinculada a la competitividad comercial, industrial y las ventajas de la seguridad energética, así como a los beneficios medioambientales como la reducción de las emisiones de CO₂ (Patterson, 1996).

Patterson (1996) agrupa en cuatro grupos principales el monitoreo de la intensidad energética mediante varios indicadores. Como base de este estudio se toma en cuenta al sector económico que evalúa la intensidad energética únicamente en términos de valores de mercado (USD). Es decir, tanto la entrada de energía como la entrega de servicios (producción).

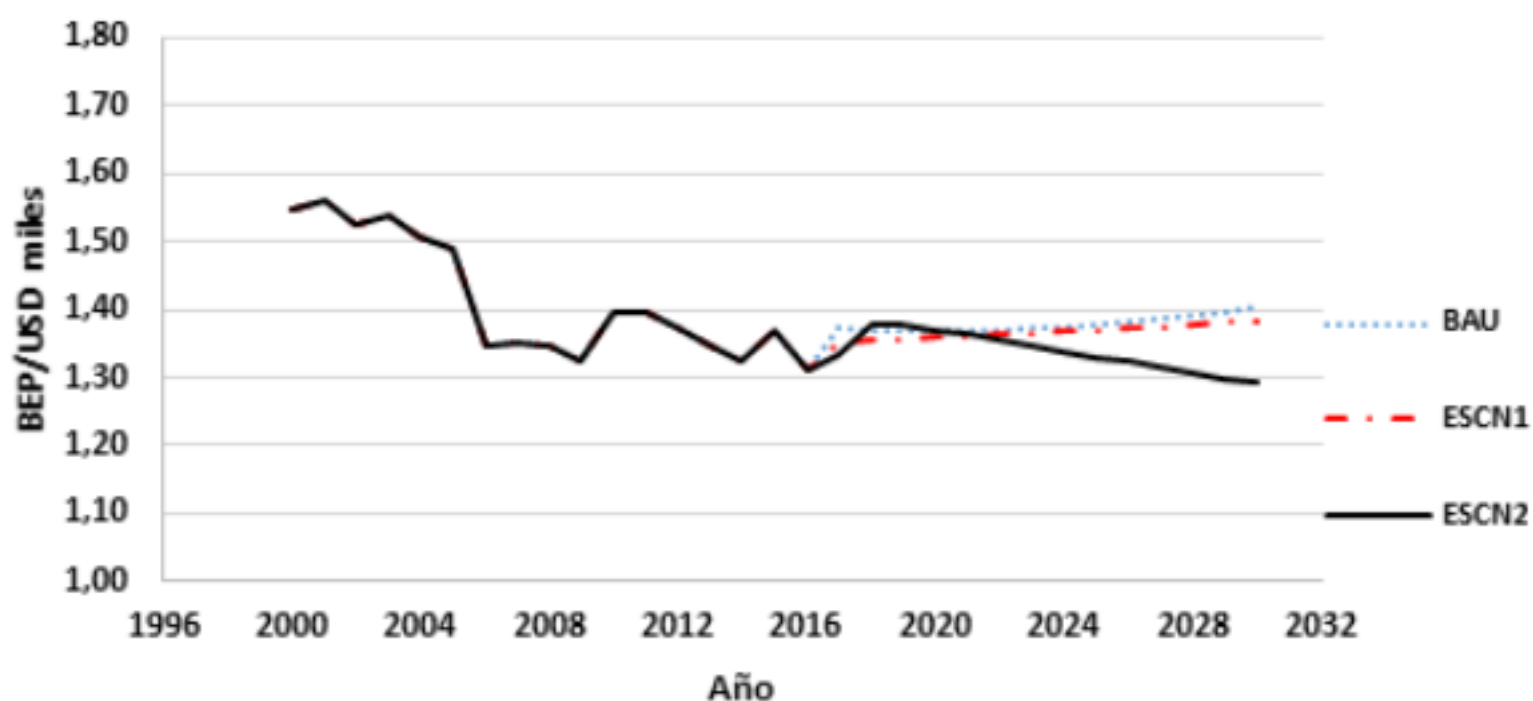
La intensidad energética es ahora un foco central de muchas políticas energéticas nacionales y está a la vanguardia del debate sobre cuestiones de sostenibilidad energética.

El gobierno de Australia planteó como objetivo nacional mejorar la intensidad energética primaria de Australia en un 30% entre 2010 y 2020 (Department of Climate Change and Energy Efficiency, 2011). La Directiva de eficiencia energética de 2012 establece un conjunto de medidas vinculantes para ayudar a la UE a alcanzar su objetivo de 20% de eficiencia energética para 2020. En virtud de la Directiva, todos los países de la UE deben utilizar la energía de manera más eficiente en todas las fases de la cadena energética. Consumo final. El 30 de noviembre de 2016, la Comisión propuso una actualización de la Directiva sobre eficiencia energética, que incluía un nuevo objetivo de eficiencia energética del 30% para 2030, y medidas para actualizar la Directiva para garantizar que se cumpla el nuevo objetivo. China se ha planteado objetivos nacionales para mejorar la eficiencia energética que tiene un gran potencial de ser alcanzados.

La intensidad energética es un indicador que se ve influenciado por el crecimiento de la industria y el comercio, la globalización y emprendimientos de programas de eficiencia energética; se puede utilizar como una medida comparativa entre países. La intensidad energética a nivel mundial tiende a la baja, es decir, se está produciendo mayor riqueza con una menor cantidad de energía (Consejo Nacional de Electricidad, 2013).

En la Fig. 7, se puede observar que en el período de evaluación se ha mantenido una tendencia a reducir la intensidad energética a excepción del período comprendido entre los años 2010 y 2011 debido a una disminución del crecimiento económico causado por la crisis financiera internacional. De las proyecciones de los diferentes escenarios, el ESCN2 plantea una importante reducción en la intensidad energética nacional debido a que se ha proyectado un consumo energético similar al de los países industrializados. El panorama cambia si tomamos en cuenta el BAU y el ESCN1, la intensidad energética se mantendría, inclusive podría tener un incremento por lo que es necesario que el gobierno plantee políticas económicas que permitan mejorar la situación económica del país. Al incrementar el poder adquisitivo de los ecuatorianos se pretendería que se pueda adquirir tecnología renovada y propia del mercado y, por otra parte, plantear programas de iluminación eficiente, sustitución de equipos, movilidad eficiente, entre otros.

Figura 7
Proyección Intensidad de Energía
en BEP/miles de dólares EEUU (USD del 2007)



Fuente: Modelación en Vensim

La intensidad energética en Ecuador está ligada directamente al consumo de energía de los diferentes sectores económicos del país, los resultados históricos muestran un incremento importante del consumo energético que relacionados con el valor de la producción dan como resultado una elevada intensidad energética que es un indicio de ineficiencia. Los resultados muestran una reducción en la intensidad energética en el período 2000 – 2009; esto ocurre por el mejoramiento del crecimiento del Producto Interno Bruto. Posterior a ese período se

produce una variación que mantiene casi estable la intensidad energética, que pese haber mantenido un crecimiento del PIB no se produjo una disminución, ya que se elevó el consumo energético.

3.4. Índice de Carbonización

El Ecuador ha mantenido un mix energético sustentado en fuentes de origen fósil. El incremento del consumo de gasolinas y diesel se ha mantenido debido principalmente al incremento del número de vehículos y a la generación eléctrica de las centrales termoeléctricas que por muchos años fueron la principal fuente de generación de electricidad en el Ecuador. Como se mencionó anteriormente, las fuentes de energía renovable son tecnologías con poco desarrollo y es ahora con la puesta en operación de centrales hidroeléctricas de gran capacidad que se puede pronosticar una mayor participación de ellas en el mix energético futuro. Para calcular el índice de carbonización se tomó en consideración el mix energético del Ecuador mediante la Eq. (4):

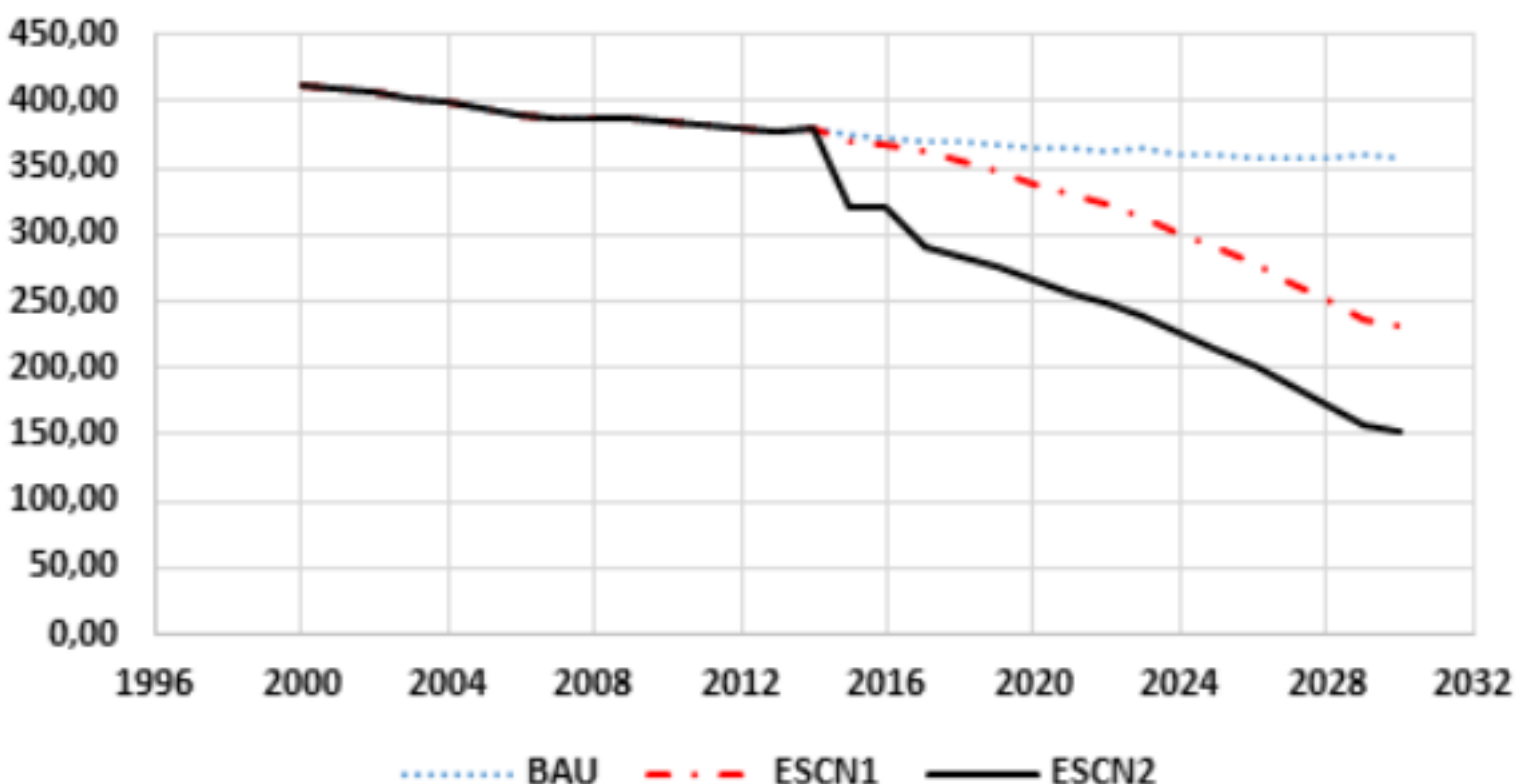
$$ICO_2 = \sum_i(\%E_i)(FC_i) \quad (4)$$

Donde: ICO_2 = Índice de carbonización; $\%E_i$ = Porcentaje por fuente de energía y; FC_i = Factor de conversión por fuente de energía. Los factores de conversión para emisiones de CO_2 de las diferentes fuentes de energía fueron tomadas de las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Garg, Kazunari, & Pulles, 2006).

La Fig. 8, muestra la evolución que ha tenido el índice de carbonización en el período 2000 – 2014. El suministro de energía de Ecuador, a pesar de los esfuerzos de los últimos años para diversificar su matriz energética, depende en gran medida de los combustibles fósiles. Sin embargo, en los últimos años la hidroenergía ha ido incrementando gradualmente su participación, promoviendo la sustitución del petróleo y de algunos de sus derivados principalmente el GLP, leña, productos de caña, lo que contribuye a disminuir la intensidad de carbonización del mix energético.

Figura 8
Proyección Índice de Carbonización Kg/Tj

Índice de Carbonización Kg CO_2 /Tj



Fuente: Modelación en Vensim

Al proyectar los diferentes escenarios podemos darnos cuenta de que al mantener la

tendencia de los porcentajes de participación de las fuentes de energía la disminución del índice de carbonización sería mínima. La intensidad de carbono difiere mucho en diferentes tipos de energías. Para las energías fósiles, la intensidad de carbonización es la más alta, mientras que, para las energías renovables, hidroeléctrica, energía eólica, la energía solar, se considera un índice de carbonización de cero debido a la ausencia de emisiones, mientras que para la energía de biomasa la intensidad de carbonización es relativamente baja.

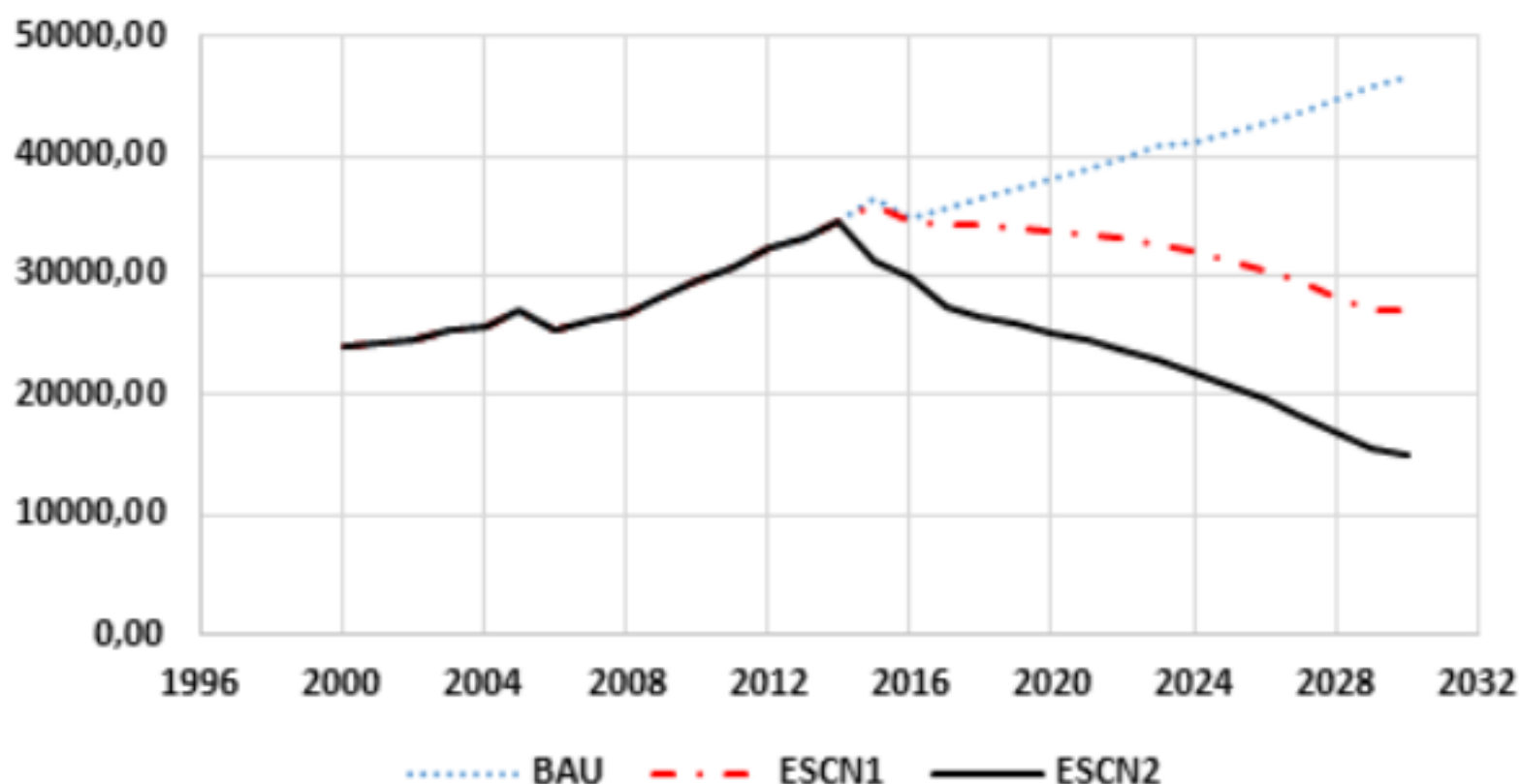
Tomando en cuenta esta consideración, los escenarios planteados proyectan un mix energético con mayor participación de energías renovables. El Ecuador y su gran potencial hidroeléctrico permitiría plantearse una matriz energética más sostenible sustentada en los recursos naturales propios que sustituya los derivados del petróleo. Se plantea como meta, mantener al menos un 70% de participación de la hidroenergía del total de electricidad producida anualmente en el Sistema Nacional Interconectado en el periodo de tiempo hasta el 2040, siempre que las condicionantes técnicas, económicas y ambientales lo permitan (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016).

El ESCN1 plantea al 2030 un mix energético con el 50% de energías renovables (hidroenergía, solar, eólica principalmente); con este escenario el índice de carbonización alcanzaría un valor importante de reducción que contribuiría en la reducción de emisiones. El ESCN2 es mucho más ambicioso, se plantea un mix energético con un 70% de energías renovables, ya que se toman en cuenta criterios de países industrializados y tecnológicamente más avanzados, en donde se alcanzarían niveles mucho más bajos de intensidad de carbonización. Se puede concluir que la sustitución a un mix más sostenible influye directamente a la reducción del índice de carbonización, pero por otra parte se debe tener en consideración que el cambio de tecnología estaría vinculado directamente al crecimiento económico y a la inversión que se realice en proyectos relacionados a energías renovables y a su utilización.

3.5. Emisiones de CO₂

El resultado de las emisiones del período 2000 – 2030 se muestran en la Fig. 9. Durante este período las emisiones de CO₂ se incrementaron en 10504.49 (KtCO₂). Del estudio realizado y mediante la descomposición de los factores de la identidad de Kaya, el incremento de emisiones ha sido ocasionado entre otras causas por el incremento de la población, los indicadores de crecimiento poblacional están sobre la media de los países industrializados; otro factor es la riqueza económica del Ecuador pese a que se ha mantenido una tendencia al crecimiento del PIB per cápita nacional sigue siendo una de las más bajas de Latinoamérica, lo que no permitiría invertir por ejemplo en equipos para el hogar con mejor eficiencia energética, vehículos eléctricos o híbridos o tecnologías vinculadas a las energías renovables; al mantener una economía desfavorable no se tendrá un impacto positivo en la intensidad energética, particularmente se debe tener en cuenta al sector del transporte es muy ineficiente; finalmente mantener una dependencia a las fuentes de energía de origen fósil como es el caso del petróleo y sus derivados es otro de los factores a tomar en cuenta al analizar el crecimiento, si bien en los últimos años se ha invertido en proyectos de energía renovables, principalmente hidroenergía con lo que se ha conseguido disminuir mínimamente el índice de carbonización sustituyendo los derivados del petróleo.

Figura 9
CO₂ emisiones (KT CO₂)



Fuente: Modelación en Vensim

Al analizar cada uno de los escenarios podemos observar en la Fig. 9, que el mejor escenario sería el ESCN2 que lógicamente considera políticas regionales o mundiales, es decir se toma en cuenta políticas de países industrializados o desarrollados; partiendo de la proyección de la población, la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad proyectada en este escenario es 12% y 8% respectivamente, valores distantes de las tasas que se proyectan si se mantiene las condiciones actuales. El PIB per cápita se ha proyectado con tendencias económicas locales y regionales; no se tomó en cuenta un valor mundial debido a la diversidad de economías, ya que se tendrían escenarios no tan confiables y con una variabilidad importante. De todas maneras, se puede observar que el crecimiento económico del Ecuador no sería muy favorable y únicamente en el ESCN2 se podría alcanzar niveles que superen la media actual de la región; de lo revisado una baja riqueza económica no contribuiría a una disminución de emisiones de CO₂. La intensidad energética se proyectó con las tasas de crecimiento del consumo de energía en los tres escenarios, la misma que mejoró en función del crecimiento económico y de la eficiencia en el consumo de energía; el ESCN2 proyecta una mejor eficiencia energética que si bien está muy lejos de los países más desarrollados es un panorama al que se podría llegar con ajustes en las políticas económicas. Las proyecciones del índice de carbonización muestran como al cambiar el mix energético se puede tener una disminución importante; terminar con la dependencia del Ecuador al petróleo abre un panorama muy alentador si se toman en cuenta el potencial hidroeléctrico que tiene la nación. Como se mencionó con anterioridad, al considerar un mix energético con presencia de 50% y 70% de energías renovables, las emisiones se reducirían de manera importante. Las proyecciones de producción de emisiones de CO₂ en los tres escenarios son las siguientes BAU: 46540 (KtCO₂), ESCN1: 27070 (KtCO₂) y ESCN2: 15050 (KtCO₂).

4. Conclusiones

Con el fin de proyectar la producción de emisiones de CO₂ en el Ecuador durante el período 2000-2030, se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas integrado basado en un marco de software Vensim. Se simularon diferentes escenarios para investigar el efecto de cada uno de los factores que componen la identidad de Kaya en la producción de emisiones de CO₂ futuras.

Se evidencia el potencial que tiene la identidad de Kaya para evaluar e investigar las medidas correctivas en cada uno de sus factores para reducir las emisiones de CO₂. A partir de la identidad de Kaya se identifican los principales factores de producción de emisiones en

el Ecuador.

Mediante la dinámica de sistemas se desarrolló un modelo que permite simular escenarios de producción de las emisiones de CO₂ al 2030. Los resultados obtenidos servirán de base a propuestas de políticas energéticas futuras encaminadas a la mitigación de emisiones.

De los resultados obtenidos se evidencia que, si existiera un decrecimiento poblacional en el Ecuador, se contribuiría a una disminución en las emisiones. La aplicación de indicadores demográficos mundiales permite alcanzar una merma en la población del Ecuador, lo que contribuye a generar menor cantidad emisiones de CO₂. Es evidente la influencia que tiene el crecimiento económico sobre la cantidad de emisiones de CO₂. El Ecuador ha mantenido un crecimiento económico muy por debajo de la media de la región y mucho más si se compara con el crecimiento de países mucho más desarrollados; las proyecciones económicas no pronostican un panorama alentador para el Ecuador y por consiguiente no será un factor que contribuya a una disminución en las emisiones, por lo que se hacen necesarias políticas que mejoren la calidad de vida de los ecuatorianos. La eficiencia de la energía requerida para producir una unidad de producción es elevada, razón por la cual tiene se incrementa la producción de emisiones de CO₂ en el Ecuador. Sectores como el transporte o la industria mantienen una tendencia a consumir más energía que al ser de origen fósil producen una mayor cantidad de emisiones. Al plantearse escenarios con mejor perspectiva económica y menor consumo de energía, la intensidad energética tiende a reducir, con lo que disminuye la cantidad de emisiones de CO₂. Un mix energético conformado en su mayoría por energías de origen fósil, no permite reducir el índice de carbonización, con lo que las emisiones de CO₂ se mantendrían. Al incrementar la participación de energías de fuentes naturales se observa cómo se reduce el índice de carbonización, tomando en cuenta el potencial hidroeléctrico del Ecuador, un mix energético que tenga mayor participación hidroenergía y otras fuentes renovables produce una menor cantidad de emisiones de CO₂.

Los resultados de la simulación muestran que el Ecuador, de mantener las actuales condiciones, se enfrentaría a un crecimiento poblacional importante; económicamente se mantendrá como una de las economías más bajas de la región; el consumo de energía mantendría su crecimiento y se mantendría una dependencia al petróleo con lo que las emisiones al 2030 llegarían a 46.54(MtCO₂). El incremento del uso hidroenergía en los últimos años desempeña un papel fundamental en la reducción de las emisiones de CO₂. El desarrollo de energías renovables es importante para el Ecuador y se hace necesario una producción y consumo de energía de fuentes naturales.

Se han planteado políticas con la finalidad de consolidar una matriz energética más eficiente y renovable en donde la hidroenergía es la principal fuente de generación eléctrica. Las proyecciones consideran una participación del 45% y 60% de hidroenergía obteniendo como resultado 27.07 (MtCO₂) y 15.05 (MtCO₂) respectivamente, con lo que se comprueba que el camino a seguir es el uso de energías renovables.

Finalmente, tomando en consideración que los combustibles fósiles son una fuente principal del consumo total de energía, es esencial que Ecuador mejore eficiencia energética ya que contribuye a la reducción de los gastos en toda la cadena energética, disminuye las emisiones y mejora la productividad del país.

Referencias bibliográficas

Albrecht, J., Francois, D., & Schoors, K. (2002). A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals. 727-736.

Alcántara, V., & Roca, J. (1995). Energy and CO₂ emissions in Spain: Methodology of analysis and some results for 1980–1990. *Energy Economics*, 221-230.

Allingtona, G. R., Lib, W., & Brownc, D. G. (2017). Urbanization and environmental policy effects on the future availability of grazing resources on the Mongolian Plateau: Modeling socio-environmental system dynamics. *Environmental Science & Policy*, 35-46.

Ansari, N., & Seifi, A. (2013). A system dynamics model for analyzing energy consumption

and CO₂ emission in Iranian cement industry under various production and export scenarios. *Energy Policy*, 75-89.

Ansuategi, A., & Escapa, M. (2002). Economic growth and greenhouse gas emissions. *Ecological Economics*, 23-37.

Ara Begum, R., Sohag, K., Syed Abdullah, S. M., & Jaafar, M. (2015). CO₂ emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 594-601.

Banco Central del Ecuador. (2014). *Estadísticas macroeconómicas*. Quito: BCE.

Bekhet, H. A., Matar, A., & Yasmin, T. (2017). CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, and financial development in GCC countries: Dynamic simultaneous equation models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117-132.

BP. (2017). *Statistical Review of World Energy*. Londres: BP.

Campo Robledo, J., & Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el PIB: el caso de los CIVETS. *Semestre Económico*, 45-66.

Cárdenas Herrera, J. (2014). *Estudio de la reducción de emisiones de carbono en el Ecuador (Tesis Maestría)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

CEPAL. (2013). *La economía del cambio climático en el Ecuador 2012*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Chimeddorj, N.-E., & Abada, O. (2015). Empirical analysis of Mongolia's carbon emission factors based on Kaya Identity. *European Journal of Business and Management*, 270-276.

Consejo Nacional de Electricidad. (2013). *Estudio y gestión de la demanda eléctrica. Plan maestro de electrificación 2013-2022*. Cuenca: CONELEC.

Department of Climate Change and Energy Efficiency. (2011). *Securing a clean energy future: The Australian Government's Climate Change Plan*. Canberra: DCCEE.

Dyson, B., & Chang, N.-B. (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fastgrowing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, 669679.

Esso, L. J., & Keho, Y. (2016). Energy consumption, economic growth and carbon emissions: Cointegration and causality evidence from selected African countries. *Energy*, 727736.

Farhani, S., & Rejeb, J. B. (2012). Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions: Evidence from Panel Data for MENA Region. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 71-81.

Feng, Y., Chen, S., & Zhang, L. (2013). System dynamics modeling for urban energy consumption and CO₂ emissions: A case study of Beijing, China. *Ecological Modelling*, 44-52.

Fresnada, C. (18 de enero de 2016). Alerta mundial por la contaminación en las ciudades de todo el planeta. *El mundo*. Obtenido de

<http://www.elmundo.es/salud/2016/01/18/569bba3d268e3ea1548b45e4.html>

Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Ginebra: IPCC.

Girod, B., Wiek, A., Mieg, H., & Hulme, M. (2009). The evolution of the IPCC's emissions scenarios. *Environmental Science & Policy*, XXX-XXX.

Grubb, M., Müller, B., & Butler, L. (2004). *The relationship between carbon dioxide emissions and economic growth*. Cambridge: University of Cambridge.

Hettige, H., Lucas, R. E., & Wheeler, D. (1992). The toxic intensity of industrial production: Global patterns, trends, and trade Policy. *American Economic Association*, 478-481.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). *Resultados del censo 2010 población y vivienda en el Ecuador*. Quito: INEC.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (4 de Julio de 2017). *Vdatos*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/vdatos/>

Jackson, R. B., Canadell, J. G., Le Quéré, C., Robbie M. Andrew, J. I., & Nakicenovic, N.

(2016). Reaching peak emissions. *Nature climate change*, 7-10.

Kais, S., & Ben Mbarek, M. (2015). Dynamic relationship between CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in three North African countries. *International Journal of Sustainable Energy*, 840-854.

Karakaya, E., & Özçag, M. (2005). Driving forces of CO₂ emissions in Central Asia: A decomposition analysis of air pollution from fossil fuel combustion. *Arid Ecosystems Journal*, 49-57.

Kaya, Y., & Yokobori, K. (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. Tokyo: United Nations University Press.

Li, J., Dong, X., Shanguan, J., & Hook, M. (2011). Forecasting the growth of China's natural gas consumption. *Energy*, 1380-1385.

Li, Q., Zhang, W., Li, H., & He, P. (2017). CO₂ emission trends of China's primary aluminum industry: A scenario analysis using system dynamics model. *Energy Policy*, 225-235.

Lin, B., Omoju, O. E., & Okonkwo, J. (2015). Impact of industrialisation on CO₂ emissions in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1228-1239.

Lu, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 297-301.

Magazzino, C. (2014). The relationship between CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Italy. *International Journal of Sustainable Energy*, 844-857.

Mavromatidis, G., Orehounig, K., Richner, P., & Carmeliet, J. (2016). A strategy for reducing CO₂ emissions from buildings with the Kaya identity – A Swiss energy system analysis and a case study. *Energy Policy*, 343-354.

Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Beherens III, W. (1972). *The limits to growth*. New York: Universe Books.

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). *Balance energético nacional 2013*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

Ministerio Coordinador de Sectores Estartégicos. (2016). *Agenda nacional de energía 2016-2040*. Quito: Ministerio Coodinador de Sectores Estartégicos.

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2017). *Balance energético nacional 2016*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

Mirzaei, M., & Bekri, M. (2017). Energy consumption and CO₂ emissions in Iran, 2025. *Environmental Research*, 354-351.

Nain, M. Z., Ahmad, W., & Kamaiah, B. (2015). Economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in India: a disaggregated causal analysis. *International Journal of Sustainable Energy*, 807-824.

Nakicenovic, N., & Swart, R. (2000). *Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.

Organización Mundial de la Salud. (27 de septiembre de 2016). *La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/es/>

Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). (10 de Julio de 2017). *Organization of the Petroleum Exporting Countries*. Obtenido de http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/148.htm

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? *Energy Policy*, 377-390.

Pearce, F. (2016). Can We Reduce CO₂ Emissions and Grow the Global Economy? *Yale Environment 360*, XXX-XXX.

Remuzgo, L., & María, S. J. (2015). International inequality in CO₂ emissions: A new factorial decomposition based on Kaya factors. *Environmental Science & Policy*, 15-24.

- Robalino López, A. (2014). *Carbon emissions, energy consumption and sustainable development in Ecuador (1980-2025): System dynamics modelling, decomposition analysis and the environmental kuznets curve. (Tesis Doctorado)*. Huelva: Universidad de Huelva.
- Roca, J., & Alcántara, V. (2001). Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case. *Energy Policy*, 553-556.
- Stave, K., & Kopainsky, B. (2017). System dynamics as a framework for understanding human–environment dynamics. *Social and Ecological System Dynamics*, 25-36.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Tang, V., & Vijay, S. (2001). System Dynamics. Origins, development, and future prospects of a method. *Research Seminar in Engineering Systems*, 1-12.
- Turner, G. M. (2012). On the Cusp of Global Collapse? Updated Comparison of The Limits to Growth with Historical Data. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 116-124(9).
- United States Environmental Protection Agency. (28 de junio de 2017). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Obtenido de <https://www.epa.gov/ghgemissions/globalgreenhouse-gas-emissions-data#Country>
- Warner, K. (2013). *Climate change and global warming: The role of the International Community*. Tokio: United Nations University.
- Wu, D. D., Kefan, X., Hua, L., & Olson, D. L. (2010). Modeling technological innovation risks of an entrepreneurial team using system dynamics: An agent-based perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 857-869.
- Zhan, S., Zhang, X., Ma, C., & Chen, W. (2012). Dynamic modelling for ecological and economic sustainability in a rapid urbanizing region. *Procedia Environmental Sciences*, 242-251.

-
1. Universidad Central del Ecuador, Universidad de Valladolid. Magister en Gestión de la Calidad y Productividad; Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética. flavio.arroyo@gmail.com
 2. Universidad de Valladolid. Phd en Ingeniería Industrial. ljmiguel@eii.uva.es
-

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 40 (Nº 13) Año 2019

[\[Índice\]](#)

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]