

ESCENARIOS FUTUROS DE EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS POR EL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL EN EL ECUADOR

FUTURE SCENARIOS OF CO₂ EMISSIONS PRODUCED BY FINAL ENERGY CONSUMPTION IN ECUADOR

Flavio Roberto Arroyo Morocho¹, Luis Javier Bravo Alvarracín²

¹Universidad Central del Ecuador, Ciudadela Universitaria Av. América, ²Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11- 253
e – mail : ¹frarroyo@uce.edu.ec ²luis.bravo@epn.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)

Resumen

El cambio climático y el calentamiento global están esencialmente asociadas al consumo de energía y a las emisiones de CO₂. En este estudio se desarrolló un modelo de sistema dinámico para modelar las tendencias del consumo de energía final y la producción emisiones de CO₂ en Ecuador durante el período 2000-2040, utilizando los coeficientes de emisión de carbono del IPCC. El mix energético en Ecuador ha cambiado en los últimos años dándole mayor importancia a los recursos renovables y concretamente a la hidroenergía. Si se aplicarán políticas y tendencias de países industrializados sobre consumo energético y uso de energías renovables, la producción de emisiones de CO₂ al año 2040 alcanzarían las 15590 (KtCO₂) valor muy por debajo si se mantendrían las actuales condiciones 33150 (KtCO₂).

Palabras Clave:

Contaminación, Dinámica de Sistemas, Emisiones, Energías Renovables.

Abstract

Climate change and global warming are essentially associated with energy consumption and CO₂ emissions. The present model of dynamic system models the trends of the final energy consumption and the production of CO₂ emissions in Ecuador during the period 2000-2040, using the coefficients of emission of carbon of the IPCC. The energy mix in Ecuador has changed in the last years giving greater importance to the renewable resources and specifically to the hydroelectric energy. If industrialized countries' policies and trends on energy consumption and use of renewable energies are applied, the production of CO₂ emissions by the year 2040 could reach a value of 15590 (KtCO₂) much lower than that forecast under current conditions 33150 (KtCO₂).

Keywords:

Emissions, Pollution, Renewable Energies, Systems Dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio ambiental que afecta al mundo está ocurriendo a una velocidad muchísimo más rápida de lo que antes se pensaba, haciendo imperativo que los gobiernos actúen ahora para revertir el daño que se le ha hecho al planeta [1]. La mala calidad del aire en las ciudades empeora, según reportó la Organización Mundial (OMS) de la Salud en un nuevo informe sobre el impacto de la contaminación en la salud, presentado 12 de mayo de 2016 en Ginebra.

Se ha demostrado que la contaminación atmosférica asociada con la producción y el uso de energía afecta directamente la calidad de aire local y al clima mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el 92% de la población mundial vive en lugares con altos niveles de contaminación y que la polución causa cerca de tres millones de muertes al año. El 90% de estas muertes se producen en países con medios y bajos ingresos, y dos de cada tres ocurren en las regiones de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental.

De acuerdo con información de mayo de 2015 de la Asamblea Mundial de la Salud “cada año mueren 4.3 millones de personas debido a la exposición a la contaminación del aire en interiores y 3.7 millones, por la exposición a la contaminación del aire exterior”.

Con el empeoramiento de la calidad del aire, el riesgo de contraer infartos cerebrales, enfermedades del corazón, cáncer de pulmón, enfermedades agudas y crónicas, como asma, aumenta para las personas que viven en las ciudades. La Dra. Flavia Bustreo, subdirectora general de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que “La contaminación del aire provoca daños en la salud de las poblaciones más vulnerables como, por ejemplo, las mujeres, niños y mayores”. 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) [2]. En 2016, los principales emisores de dióxido de carbono (CO₂) fueron China (28.21%), los Estados Unidos (15.99%), la India (6.24%), Rusia (4.53%) y Japón (3.67%). 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.

Varios investigadores evidencian que las emisiones de CO₂ han contribuido más al cambio climático entre 1750 y 2005 [3], [4]. Este último 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 [4].

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) [5]. En el Ecuador los problemas de contaminación ambiental se presentan en las grandes ciudades, en especial en Quito, Guayaquil y Cuenca, donde se evidencia gran concentración de población urbana y la presencia de industrias manufactureras. De acuerdo a los análisis de la OMS (2012-2013), Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación perjudiciales para la salud. Ibarra, Cuenca y Ambato son las ciudades menos polutas con 9 ug/m³ de PM_{2.5}. Por otro lado, solo Quito, Santo Domingo y Milagro son las urbes que superan los límites de contaminación nacionales.

En la figura 1, podemos comparar la evolución de emisiones de CO₂ en el mundo y en el Ecuador desde el año 2000.

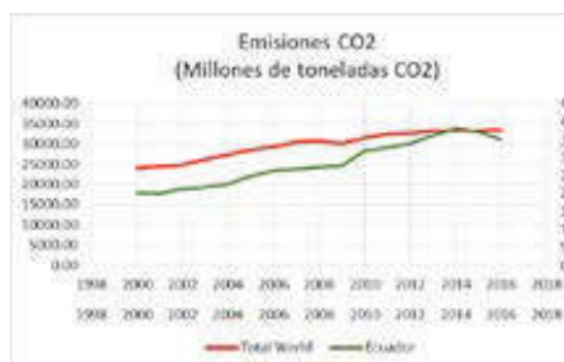


Figura. 1. Emisiones de CO₂
Fuente: [5]

Estudios realizados concluyen que existe una relación directa entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el tipo de energía. Las sociedades humanas generan un importante impacto en el medio ambiente, como resultado de sus actividades. La agricultura, la ganadería y la pesca, la minería, la industria o los servicios son los responsables de lo que la mayoría de las veces se traduce en un grave deterioro [6].

El funcionamiento de la economía mundial se basa en el consumo de energía. Sin ella sería imposible extraer las materias primas necesarias, ni hacer funcionar el sistema productivo para generar los bienes y servicios que la sociedad necesita, tampoco su transporte ni el de las personas. En este sentido cabe señalar que la producción y el consumo de energía generan efectos que se manifiestan en forma de calentamiento global, contaminación atmosférica, lluvia ácida, contaminación radiactiva o vertidos de hidrocarburos, entre otros, dando lugar a graves afecciones medioambientales [6].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

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 es un método que se extiende más allá del dominio convencional del enfoque de sistemas a problemas de ingeniería complejos a gran escala. 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 [7].

En este estudio, se construye un modelo dinámico utilizando Vensim, que es una herramienta gráfica de creación de modelos de simulación que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas. Los mecanismos de la dinámica del sistema pueden ser manejados por una interfaz fácil de usar. 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 [8]. 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 [9]. Este estudio tiene como objetivo analizar los efectos del consumo de energía sobre el medio ambiente. Las principales variables utilizadas son la población, oferta y demanda de energía, las emisiones de CO₂, la intensidad energética, etc.

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. El modelo de dinámica de sistemas (MDS) es un enfoque adecuado para modelar tales complejidades, ya que es una poderosa técnica de modelado para entender y explorar la estructura de retroalimentación en sistemas complejos. 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 [10].

En lo referente a estudios realizados sobre análisis de emisiones y consumo energético en el Ecuador, [11] 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. [12] en su tesis doctoral 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). [13] realiza un estudio de las emisiones de carbono en Ecuador con la finalidad de disponer una política de reducción de las mismas.

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 [14]. La matriz de energía primaria del Ecuador ha sido

predominada históricamente por la producción de petróleo figura 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 [15].

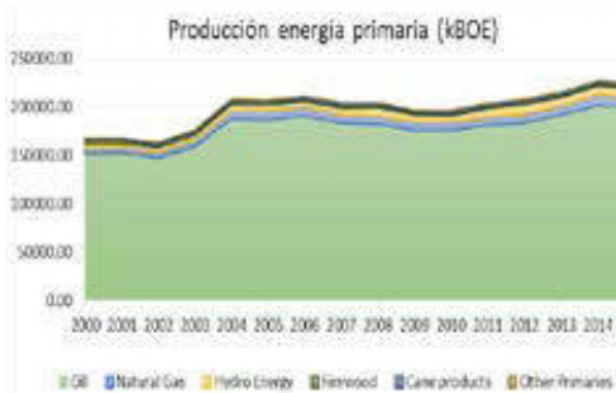


Figura 2. Evolución producción de energía primaria

Fuente: [16]

En la figura. 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.

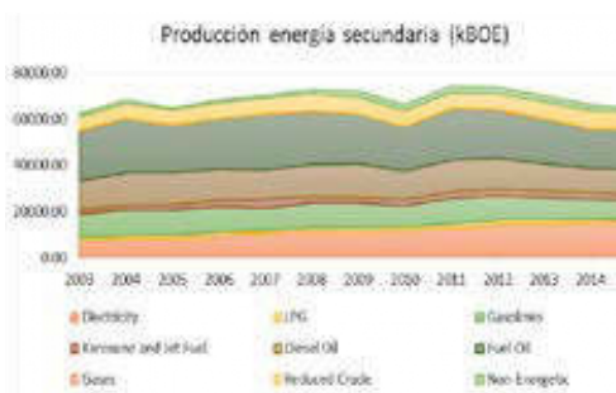


Figura 3. Evolución producción de energía secundaria

Fuente: [16]

En el Ecuador se pueden identificar seis sectores económicos en los que se distribuye el consumo final de energía como se muestra en la figura. 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 [15].

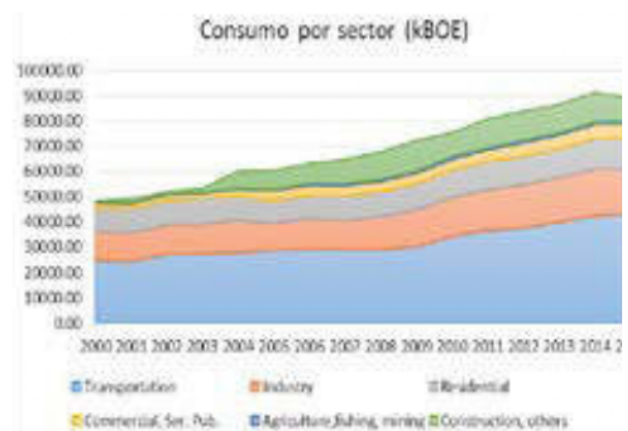


Figura 4. Evolución producción de energía secundaria

Fuente: [16]

Para la presente investigación se plantearon tres escenarios: BAU (abreviatura de bussiness as usual) este escenario hace referencia a la forma actual con que se están desarrollando los sistemas y que pasaría si continuamos bajo las mismas condiciones. El escenario 1, consideran todas las políticas propuestas por el gobierno nacional para proyecciones a futuro. El escenario 2, es un escenario regional o mundial, se toman en cuenta las tendencias de países industrializados.

En la figura 5, se muestra el modelo simplificado, se observan las diferentes variables que interactúan en la simulación. Se utilizan como entradas el consumo energético de los diferentes sectores del Ecuador. Posteriormente el consumo de energía es multiplicado por el factor de conversión de emisiones de cada una de las energías que se utilizan en el país. El modelamiento permite evaluar cada uno de los escenarios propuestos y cuantas emisiones se producirán al 2040.

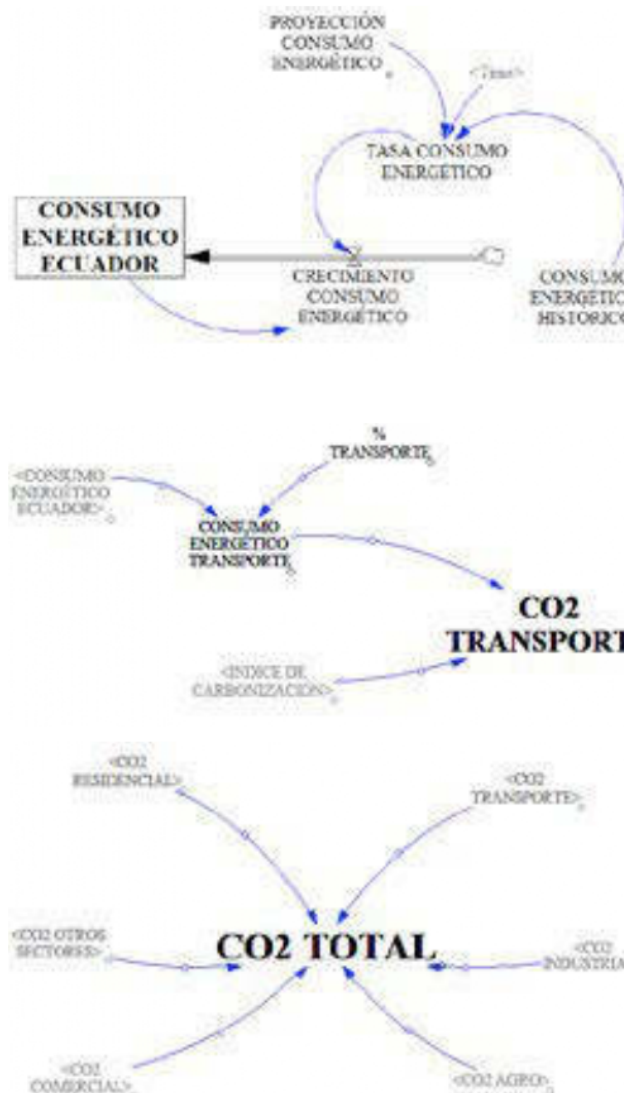


Figura 5. Modelo simplificado

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Ecuador ha mantenido un mix energético basado en fuentes de origen fósil como se muestra en la tabla 1. 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 han sido la principal fuente de generación de electricidad en el Ecuador. 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.

Tabla 1. Evolución de la estructura porcentual del consumo por fuentes (%)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Petróleo	1,6	1,5	1,4	1,2	0,9	1	1	0,9
Gas Natural	0	0	0	0	0	0	0	0
Leña	6,1	5,8	5,2	4,8	4,2	4,1	3,8	3,7
Productos de caña	4,7	4,3	3,8	3,5	4,6	0,3	1,8	0,9
Electricidad	9,8	9,8	10,3	10,7	10,8	11,9	12,6	13,5
Gas licuado de petróleo	10	10,3	10,1	10,4	10,4	10,7	10,6	11
Gasolinas	21,3	21,7	21,3	20,2	19,1	21,3	21,1	22
Kerosene y Turbo	2,3	2,7	3,3	3,3	3,3	3,7	3,8	4
Diesel	29,3	29,8	28,9	30,7	30,2	31,4	30,7	29,9
Fuel Oil	13	11,7	13,4	14,6	13,9	13,3	12	11,9
Solar / Eólico	0	0	0	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Asfaltos, lubricantes	1,9	2,4	2,3	0	2	1,8	1,9	1,9

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Petróleo	1	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8
Gas Natural	0	0	0	0	0,2	0,3	0,3
Leña	3,4	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2
Productos de caña	1,5	2,3	2,2	2,1	2,3	2,1	1,9
Electricidad	13,4	12,7	13,3	13,5	13,9	14,2	13,5
Gas licuado de petróleo	10,6	9,9	9,7	9,8	9	9	8,5
Gasolinas	21,6	22,6	23,7	24,9	25	25,1	28,1
Kerosene y Turbo	3,9	3,5	3,4	3,2	3,1	3,2	2,9
Diesel	29,8	29,6	30,3	29,8	30,7	31,4	30,9
Fuel Oil	11,9	11,3	10,1	9,6	8,8	8	8,1
Solar / Eólico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5
Asfaltos, lubricantes	2,4	3,5	3,1	3,1	3,2	3,1	2,6

Fuente: [16]

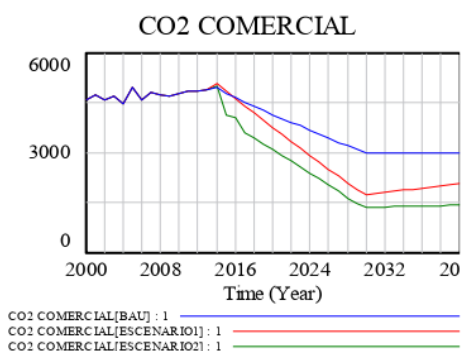
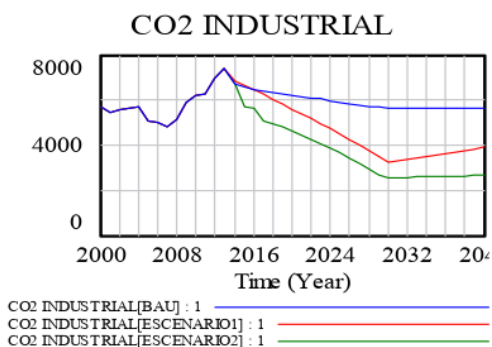
Los factores de conversión para emisiones de CO₂ de las diferentes fuentes de energía se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Factores conversión emisión CO₂

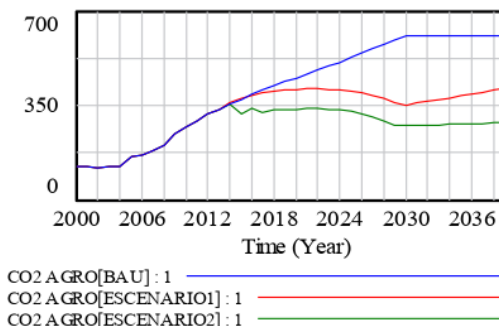
FACTORES CONVERSIÓN EMISIÓN DE CO ₂	(Kg CO ₂ /BOE)	(Kg CO ₂ /TJ)
Petróleo	448.54	73300
Gas Natural	343.29	56100
Leña	685.36	112000
Productos de Caña	433.24	70800
Electricidad	-	-
Gas licuado de petróleo	386.13	63100
Gasolinas	424.06	69300
Kerosene y Turbo	439.97	71900
Diesel	453.44	74100
Fuel Oil	473.63	77400
Solar / Eólica	-	-
Asfaltos y lubricantes	448.54	73300

Fuente: [17]

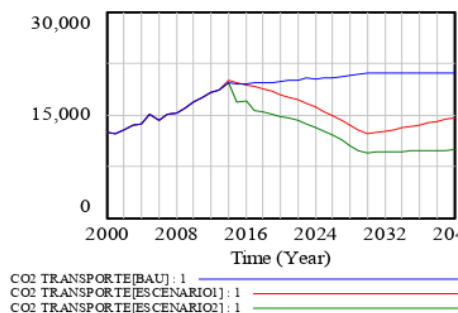
Como podemos observar en la figura 6, al proyectar los dos escenarios planteados podemos darnos cuenta de que al mantener la participación de las fuentes de energía actuales los sectores del transporte y del agro incrementarían las emisiones de CO₂ al año 2040, mientras que los otros sectores tenderían a reducir las emisiones de CO₂. Tomando en cuenta los escenarios planteados con un mix energético con mayor participación de energías renovables, las emisiones de todos los sectores disminuirían notablemente alcanzando niveles bajos de emisiones en el Ecuador.



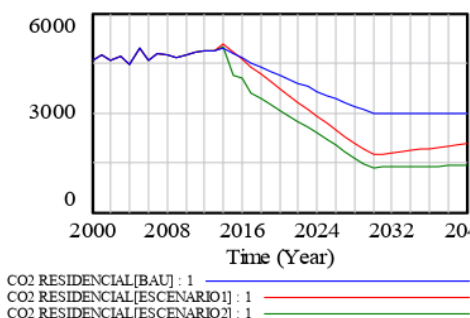
CO2 AGRO



CO2 TRANSPORTE



CO2 RESIDENCIAL



CO2 OTROS SECTORES

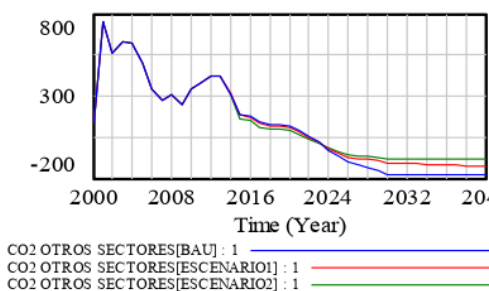


Figura 6. Evolución producción de energía secundaria por sector de consumo

En la figura 7, se observa la evolución y proyección del total de emisiones de CO₂ por el consumo de energía final en el Ecuador durante el período 2000 – 2040. En el período 2008 – 2014, la producción de emisiones alcanzó los niveles más altos del período evaluado, mientras que desde el año 2015 empiezan a disminuir los valores de emisiones totales, esto se debe principalmente a las políticas de cambio de matriz energética que se planteó el gobierno nacional.

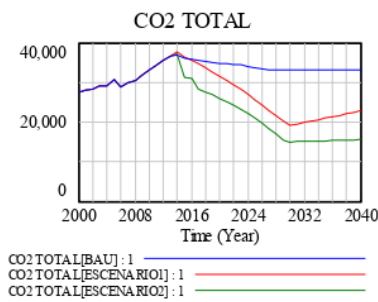


Figura 7. CO2 emissions (KT CO2)

Al analizar cada uno de los escenarios podemos observar en la figura 7, que el mejor escenario sería el escenario 2 que considera políticas de países industrializados o desarrollados. Las proyecciones de producción de emisiones de CO₂ en los tres escenarios son las siguientes BAU: 33150 (KtCO₂), ESCENARIO 1: 22910 (KtCO₂) y ESCENARIO 2: 15590 (KtCO₂).

4. CONCLUSIONES

Con el fin de proyectar la producción de emisiones de CO₂ en el Ecuador durante el período 2000-2040, se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas integrado basado en un marco de software Vensim.

Mediante la dinámica de sistemas se desarrolló un modelo que permite simular escenarios de producción de las emisiones de CO₂ al 2040, los resultados obtenidos servirán de base a propuestas de políticas energéticas futuras encaminadas a la mitigación de emisiones.

Sectores como el transporte o el agro mantienen una tendencia a consumir más energía que al ser de origen fósil producen una mayor cantidad de emisiones.

Al incrementar la participación de energías de fuentes naturales se observa cómo se reduce la producción de emisión de CO₂.

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.

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, se hace necesario una producción y consumo de energía de fuentes naturales.

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.

5. REFERENCIAS

- [1] PNUMA. (2016). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO-6): Evaluaciones Regionales. Nairobi: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- [2] 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/d/2016/01/18/569bba3d268e3ea1548b45e4.html>
- [3] Lu, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 297-301.
- [4] Mirzaei, M., & Bekri, M. (2017). Energy consumption and CO2 emissions in Iran, 2025. *Environmental Research*, 354-351.
- [5] BP. (2017). *Statistical Review of World Energy*. Londres: BP.
- [6] UNED. (2016 de Marzo de 2016). Emergencia y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <http://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm>
- [7] Tang, V., & Vijay, S. (2001). System Dynamics. Origins, development, and future prospects of a method. *Research Seminar in Engineering Systems*, 1-12.
- [8] Dyson, B., & Chang, N.-B. (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, 669-679.

- [9] Sterman, J. D. (2000). Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- [10] 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.
- [11] CEPAL. (2013). La economía del cambio climático en el Ecuador 2012. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- [12] 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.
- [13] Cárdenas Herrera, J. (2014). Estudio de la reducción de emisiones de carbono en el Ecuador (Tesis Maestría). Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- [14] Lin, B., Omoju, O. E., & Okonkwo, J. (2015). Impact of industrialisation on CO₂ emissions in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1228-1239.
- [15] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2017). Balance energético nacional 2016. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- [16] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). Balance energético nacional 2013. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- [17] Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Ginebra: IPCC.

6. BIOGRAFÍAS



¹Flavio Roberto Arroyo Morocho, Ingeniero de Ejecución en Mecánica Automotriz, Ingeniero Industrial, Magíster en Gestión de la Calidad y Productividad. Director de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Central del Ecuador. Candidato a Ph.D por la Universidad de Valladolid. Consultor de sistemas de gestión y cuidado medioambiental.



² Luis Javier Bravo Alvarracín, estudiante de la carrera de Ingeniería Matemática por la Escuela Politécnica Nacional, se desempeña como capacitador de herramientas matemáticas, asesor de proyectos de análisis estadísticos y desarrollo organizacional.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	23 octubre 2017
Fecha aceptación	28 noviembre 2017