



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS, MEDIANTE EL MODELO VAR: CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL ECUADOR EN FUNCIÓN AL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB) Y LA EMISIÓN ATMOSFÉRICA DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), PERIODO 1973 – 2021.

Marco Omar Vizuite Montero (movizuetem@libertadores.edu.co)

Fundación Universitaria Los Libertadores

Especialista en estadística Aplicada, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.

RESUMEN

El crecimiento económico sostenido impulsa progreso, genera empleos y mejora la calidad de vida, bajo este contexto se desarrolló este trabajo investigativo, cuyo objetivo fue relacionar el crecimiento económico del Ecuador y los efectos ambientales que lo generan. Se utilizó la metodología del modelo econométrico VAR, este permitió analizar el impacto dinámico de una perturbación no anticipada en una de las variables. La data que se utilizó fue basada en la información que registra el Banco Mundial. El resultado relevante que se determinó que la relación Producto Interno Bruto (PBI) y Dióxido de Carbono (CO₂) se comporta tal cual menciona la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) a mayor crecimiento económico el deterioro ambiental es alto, pero a largo plazo se evidencia que va teniendo un efecto nulo.

PALABRAS CLAVE: Crecimiento económico, efecto ambiental, modelo VAR, Curva ambiental.

ABSTRACT

Sustained economic growth drives progress, generates jobs and improves the quality of life, under this context this research work was developed, whose objective was to relate the economic growth of Ecuador and the environmental effects that generate it. The VAR econometric model methodology was used, this allowed us to analyze the dynamic impact of an unanticipated disturbance in one of the variables. The data that was used was based on the information registered by the World Bank. The relevant result that it was determined that the relation Gross Domestic Product (GDP) and Carbon Dioxide (CO₂) behaves as mentioned by the hypothesis of the Kuznets Environmental Curve (CAK) to greater economic growth the environmental deterioration is high, but to In the long term it is evident that it is having a null effect.

KEYWORDS: Economic growth, environmental effect, VAR model, Environmental curve.

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que tiene el mundo es la contaminación, se presenta de forma silenciosa y amenazante a la vida; muchos lo relacionan con el crecimiento económico de los países y su relación con el ambiente, en efecto Ruiz (2020), Correa

(2004) afirman que es polémica desde hace tiempos, algunos economistas y científicos argumentan que el aumento del Producto Interno Bruto (PIB) afecta al ambiente natural; desde otra perspectiva (Gómez y otros, 2011) afirma que, a medida que la economía de un país crece, el Estado como tal crea gestiones de programas de preservación de los recursos naturales.

Enríquez (2020), Moreno & Peñaherrera (2018) afirman que la historia del Ecuador desde su independencia hasta la actualidad ha experimentado desequilibrios económicos, los más importantes está en el incremento de la brecha ente pobres y ricos, limitaciones en las fuentes de empleo; en el año de 1999 la economía ecuatoriana decreció en un 29,79%, la inflación alcanzó el 51,96 %, el índice de pobreza creció de 3,9 a 9,1 millones es decir del 34% al 71%. En contraste con el (Banco Mundial, 2022) Ecuador registra en el año 2000 un Producto Interno Bruto (PIB) de -7,8%, su mejor (PIB) lo registra en el año de 1973 con el 14% anual.

A este contexto, nace la hipótesis de evaluar la curva medio ambiental de Kuznets (CAK) en función a la realidad económica ecuatoriana desde el año de 1973 al 2021, la data para el análisis se obtuvo del (Banco Mundial, 2022). Las variables que se utilizó se dividen en variable independiente Crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) precios actuales (USD); y la variable dependiente son las emisiones de CO₂ en toneladas métricas per cápita. Todas estas variables son numéricas.

Se desarrolló esta investigación con el objetivo de relacionar el crecimiento económico del Ecuador y los efectos ambientales generados; esto permitirá contrastar resultados de investigaciones relacionados con el (CAK) de países en vías de desarrollo principalmente.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio de investigación se generó una data en base a la información del (Banco Mundial, 2022), ésta dispone de datos de carácter global que se relacionan a los Indicadores de Desarrollo Mundial (IDM), a este contexto, la data se constituyó de las toneladas per cápita de CO₂; PIB per cápita de precios actuales, y la población.

La variable dependiente que se utilizó fue la producción de CO₂, estas emisiones provienen de fuentes fijas y fuentes móviles, mismas que son generadas por la combustión de fósiles, esta se encuentra medida en toneladas métricas per cápita.

La variable independiente que se tomó en cuenta es el (PIB) per cápita a precios actuales, se considera por diversos factores, entre los principales está los cambios de la matriz productiva, misma que se enfoca a la disminución de los niveles de contaminación; la protección ambiental, se respalda por la normativa ambiental vigente dentro del territorio nacional ecuatoriano, otro factor es la población, su incremento, está relacionada de forma positiva con el ingreso, a medida que la población aumenta, la economía, se incrementan las empresas y con ellas bienes y/o servicios.

2.1 MODELO

El modelo econométrico que se utilizó es el modelo VAR, que se especifica:

$$Y_t = \alpha + \beta_1 Y_{t-1} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \epsilon_t$$

Y_t: Es un vector de variable endógena de dimensión nx.

α: Es un vector de términos constantes de dimensión nx1

β_i: Es una matriz de coeficientes de dimensiones nxn, donde i = 1,2,3,.....,p

p: Número de rezagos incluido en el modelo VAR.

ε_t: Es en factor de innovaciones, o choques no anticipados, de dimensión nx1; exentos de

correlación serial y heteroscedasticidad.

Se asumen que los elementos del vector ϵ_t cumplen los supuestos de ruido blanco, es decir tienen media cero, varianza constante y están exentos de correlación serial.

$$E(\epsilon_t) = 0$$

$$E(\epsilon_t^2) = \sigma^2$$

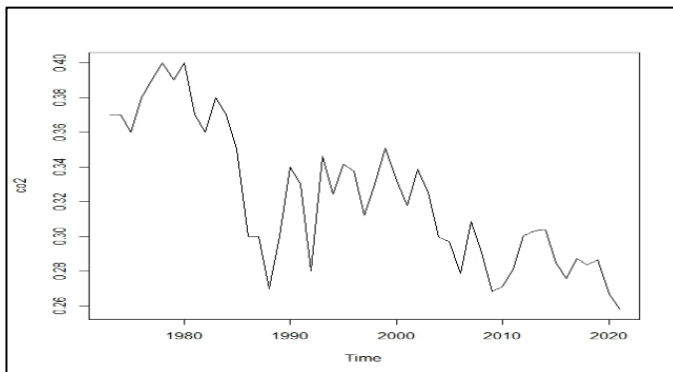
$$E(\epsilon_s \epsilon_t) = 0 \quad \forall s \neq t$$

3 RESULTADOS

La (Figura 1) muestra el comportamiento del CO₂ a través de los años, donde su punto máximo es de 40 toneladas métricas per cápita, en los años de 1978 y 1980 respectivamente, mientras tanto su generación más baja de CO₂ es de 0,26 toneladas métricas per cápita ocurrida en el año de 2021; el promedio de generación del CO₂ es de 0,32 toneladas métricas per cápita.

Figura 1

Generación del CO₂ periodo (1973- 2021)

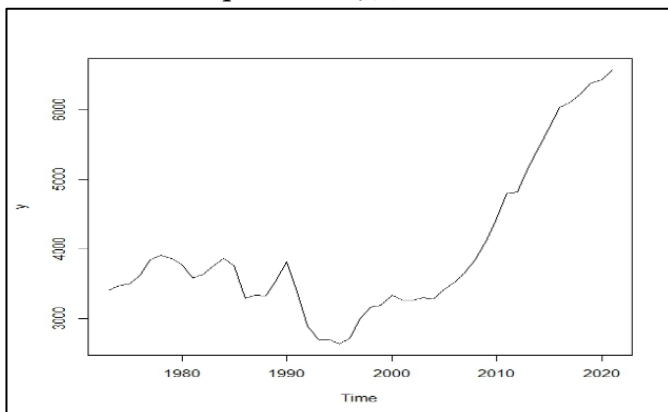


Nota: El gráfico representa la generación del CO₂ del Ecuador (1973 al 2021). *Datos Banco Mundial*

De acuerdo con la representación de la (Figura 2) se aprecia la variabilidad que tiene el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, con precios actuales, dónde el máximo valor alcanza en el año 2021 con 6574 en millones de dólares, por otro lado, el PIB más bajo que ha experimentado la economía ecuatoriana es de 2637,99 millones de dólares, fue en el año 1995; y el promedio del PIB es de 3980,48 millones de dólares.

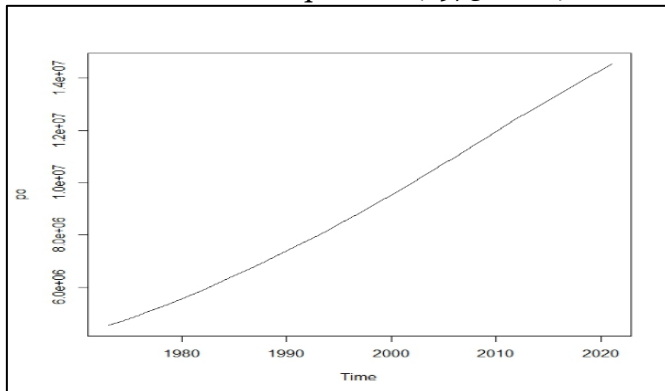
Figura 2

PIB del Ecuador periodo (1973-2021)



Nota: El gráfico representa el PIB de Ecuador (1973 al 2021). *Datos Banco Mundial*

Figura 3
Población del Ecuador periodo (1973-2021)



Nota: El gráfico representa la población de Ecuador (1973 al 2021). *Datos Banco Mundial.*

La valoración de estacionalidad de las series mediante la prueba de ADF, se determinó tres escenarios (Dfinivel, Diflog y tasa de crecimiento) son series estacionarias (0,01) (significativo), tal como se muestra en la (Tabla 1)

Tabla 1
Prueba de ADF de variables

VARIABLES	ADF	
		p-value
CO ₂	nivel	0,37
	Dif nivel	0,01
	logaritmo	0,37
	Dif log	0,01
	Tasa de crecimiento	0,01
PIB	nivel	0,98
	Dif nivel	0,01
	logaritmo	0,96
	Dif log	0,01
	Tasa de crecimiento	0,01
POBLACIÓN	nivel	0,01
	Difnivel	0,45
	logaritmo	0,31
	Diflog	0,68
	Tasa de crecimiento	0,58

Nota: Esta tabla muestra las series estacionales

Dado que existe estacionalidad en tres indicadores del ADF en las variables (CO₂ y PIB) y apenas un indicador en población que cumplen como series estacionarias, se evaluó la elección de los rezagos de las dos primeras variables.

MODELO 1 EN PRIMERA DIFERENCIA EN NIVELES.

Tabla 2
Elección del rezago óptimo del VAR (1)

	Lag(1)	Lag (2)	Lag (3)	Lag (4)	Lag (5)	Lag (6)	Lag (7)	Lag (8)
AIC(n)	2,94	2,99	3,17	3,32	3,36	3,52	3,37	3,52
HQ(n)	3,03	3,14	3,38	3,59	3,69	3,92	3,83	4,04
SC(n)	3,19	3,41	3,76	4,08	4,29	4,62	4,63	4,95
FPE(n)	18,96	20,00	24,0	28,0	29,6	35,7	31,4	38,0

Nota: Esta tabla, se relaciona al modelo 1 en primera diferencia en niveles.

De acuerdo con la (tabla 2) de elección de rezago óptimo del VAR (1), este modelo se estimó con un solo rezago, con un VAR (1).

Tabla 3
Estimación del Modelo (VAR) primera diferencia en niveles de elección.

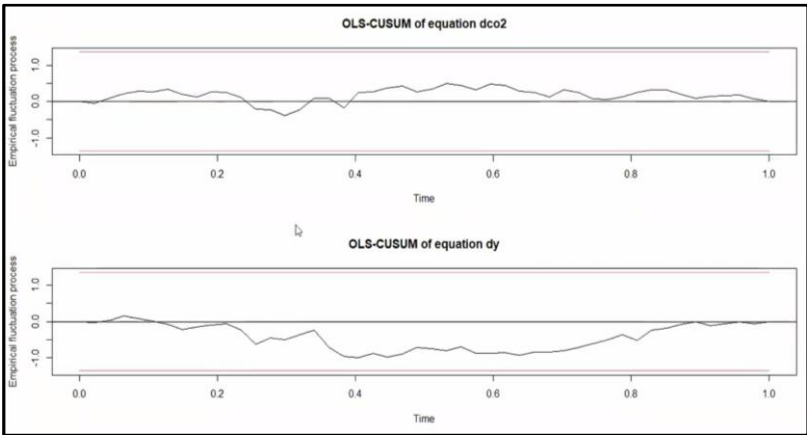
	Ecuación CO₂	Ecuación PIB
D _{CO₂} .l1	-0.260*	-967,163
D _{PIB} .l1	0,00002	0.522***
const	-0,004	30,33
Observations	47	47
R2	0,067	0,249
Adjusted R2	0,024	0,215
Residual Std. Error	0,022	171,966
F Statistic	1,573	7.297***
Breusch-Godfrey -LM (1)	0,1945	
ARCH (8)	0,1473	
JB	0,003	

Nota: Esta tabla, muestra la estimación del modelo VAR en primera diferencia

Según los resultados descritos en la (Tabla 3), muestra la evaluación residual del modelo, mismo que no tiene problema de estabilidad, según su autocorrelación (no tiene autocorrelación) Breusch-Godfrey -LM (1) dado que (0,1945) está por encima del (0,05 $\approx$ 5%); la homocedasticidad a través de la prueba (ARCH), con 8 rezagos tiene un p – value de (0,1473), la normalidad de los errores, si tiene problemas de normalidad, dado que JB tiene un valor de (0,003), razón por la cual si tiene problemas de normalidad.

Dentro de la estabilidad del modelo (VAR) se tiene:

Figura 4
La estabilidad del modelo

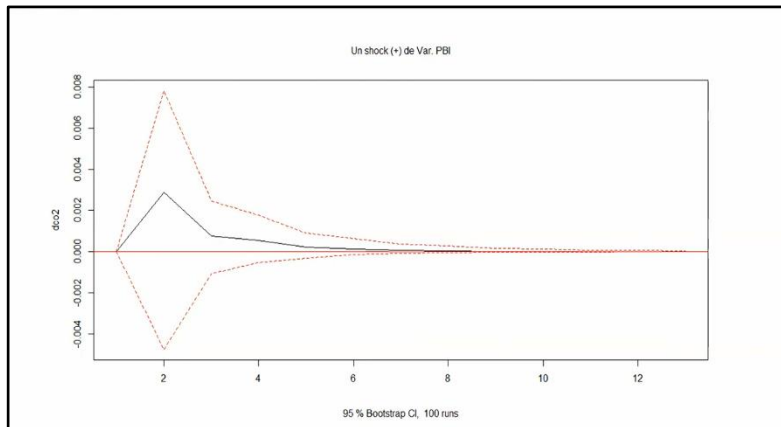


Nota: El gráfico representa la estacionalidad del modelo

Según la (Figura 3) el modelo es estable, está dentro de los rangos establecidos.

Figura 5

Traectoria de la Curva Ambiental de Kuznets (KAK) en diferencia de niveles



Nota: El gráfico representa la estacionalidad del modelo

De acuerdo con la (Figura 4) se aprecia que ante un shock positivo de VAR del PIB en el CO₂ hace que la concentración del Dióxido de Carbono (CO₂) aumente; pero se observa que a largo plazo el shock, se va a ir reduciendo. Es decir que, si la economía ecuatoriana crece a corto plazo, la emisión del CO₂ aumente, afectando de forma negativa la calidad del aire; a largo plazo tiene este problema ambiental a reducirse, debido a que las economías crecen (hay riqueza), con ello, se generan reformas de políticas ambientales.

MODELO 2 EN PRIMERA DIFERENCIA EN LOGARITMOS.

Tabla 4

Elección del rezago óptimo del VAR (1)

	Lag(1)	Lag(2)	Lag(3)	Lag(4)	Lag(5)	Lag(6)	Lag(7)	Lag(8)
AIC(n)	-11,11	-11,08	-10,91	-10,77	-10,67	-10,50	-10,75	-10,60
HQ(n)	-11,01	-10,93	-10,70	-10,49	-10,33	-10,10	-10,29	-10,09
SC(n)	-10,85	-10,66	-10,32	-10,01	-9,74	-9,40	-9,48	-9,173
FPE(n)	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Esta tabla, se relaciona al modelo 1 en primera diferencia en logaritmo.

Tabla 5

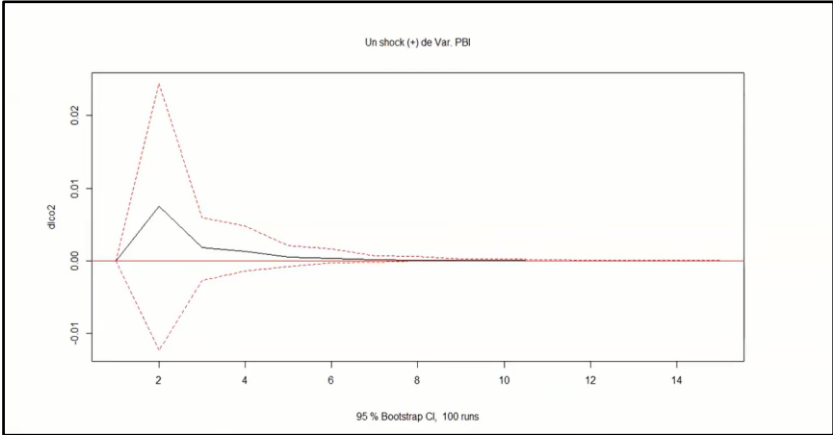
Estimación del Modelo (VAR) primera diferencia en logaritmos

	Ecuación CO ₂	Ecuación PIB
D _{CO₂} .l1	-0,254	-0,068
d _{PIB} .l1	0,165	0.496***
const	-0,012	0,006
Observations	47	47
R ²	0,062	0,228
Adjusted R ²	0,019	0,193
Residual Std.		
Error	0,07	0,047
F Statistic	1,443	6.505***
Breusch-Godfrey		
-LM(1)	0,1178	
ARCH(8)	0,05993	
JB	0,002	

Nota: Esta tabla, se relaciona al modelo 1 en primera diferencia en tasa de crecimiento.

Los resultados descritos en la (Tabla 5), muestra la evaluación residual del modelo, mimos que no tiene problema de estabilidad, según su autocorrelación (no tiene autocorrelación) Breusch-Godfrey -LM (1) dado que (0,1178) está por encima del (0,05 $\approx$ 5%); la homocedasticidad a través de la prueba (ARCH), con 8 rezagos tiene un p – value de (0,002), la normalidad de los errores, si tiene problemas de normalidad, dado que JB tiene un valor de (0,002), razón por la cual si tiene problemas de normalidad.

Figura 6
Trayectoria de la Curva Ambiental de Kuznets



Nota: El gráfico representa la estacionalidad del modelo

De acuerdo con la (figura 5), se aprecia shock positivo de VAR en diferencia de logaritmos, donde se evidencia un crecimiento de la concentración del CO₂ a medida que aumenta el valor del PBI a corto plazo; pero a largo plazo esa concentración se disminuye es decir tiene un efecto nulo, confirmando lo que dice la teoría en la CAK, a medida que el crecimiento económico (PBI) aumenta, también la emisión del CO₂ aumenta. Así lo afirma (Catalán, 2014), la CAK, tiene una relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental, demostrando que a corto plazo el crecimiento económico genera un mayor deterioro ambiental, pero en el largo plazo, donde las economías tienen recursos (utilidades), se plantea que el crecimiento económico es beneficioso para el ambiente, esto es, la calidad ambiental mejora con el incremento del ingreso económico medido en el PIB.

MODELO 3 EN TASA DE CRECIMIENTO

A través del modelo VAR, se realizó la elección del rezago óptimo del VAR (1); se muestra:

Tabla 6
Elección del rezago óptimo del VAR (1)

	Lag (1)	Lag (2)	Lag (3)	Lag (4)	Lag (5)	Lag (6)	Lag (7)	Lag (8)
AIC(n)	7,32	7,34	7,520	7,66	7,76	7,93	7,67	7,82
HQ(n)	7,41	7,49	7,734	7,93	8,10	8,32	8,13	8,33
SC(n)	7,57	7,76	8,112	8,421	8,69	9,02	8,94	9,25
FPE(n)	1517,2	1552,98	1858,85	2157,82	2426,54	2920,89	2336,47	2794,84

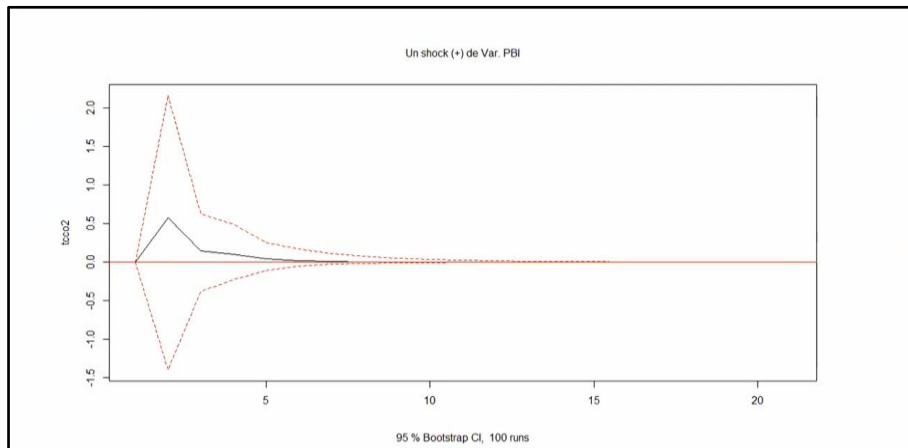
Nota: Esta tabla, se relaciona al modelo 1 en primera deferencia en tasa de crecimiento.

Tabla 7*Estimación del Modelo (VAR) primera diferencia en tasa de crecimiento*

	Ecuación Co2	Ecuación PIB
$D_{CO_2.l1}$	-0,243	-0,056
$d_{PIB.l1}$	0,129	0.488***
const	-0,815	0,749
Observations	47	47
R2	0,056	0,225
Adjusted R2	0,013	0,19
Residual Std. Error	7,161	4,651
F Statistic	1,305	6.379***
Breusch-Godfrey -LM(1)	0,1141	
ARCH(8)	0,05964	
JB	0,001	

Nota: Esta tabla, muestra la estabilización del modelo VAR, en tasa de crecimiento.

Según la (Tabla 7), la evaluación residual del modelo no tiene problema de estabilidad, no tiene autocorrelación Breusch-Godfrey -LM (1) dado que (0,1141) está por encima del (0,05); la homocedasticidad a través de la prueba (ARCH), con 8 rezagos tiene un p – value (0,05964), si tiene problemas de normalidad, dado que JB tiene un valor de (0,001), por tanto, si tiene problemas de normalidad.

Figura 7*Trayectoria de la Curva Ambiental de Kuznets (KAK) en diferencia en tasa de crecimiento*

Nota: El gráfico representa la estacionalidad del modelo

De acuerdo con la (figura 6), se tiene un shock positivo de VAR en tasa de crecimiento, donde hay un crecimiento de la concentración del CO_2 a medida que aumenta el valor del PIB; pero a largo plazo se tiene un efecto nulo, confirmando lo que dice la teoría en la CAK.

4 DISCUSIÓN

En los resultados de este análisis, se aprecia que el análisis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) lo utilizan con frecuencia para valorar la hipótesis de la relación que tiene entre el crecimiento económico y la calidad ambiental, que coincide con la apreciación de (Olivares & Hernández, 2021) y (Catalán, 2014). Por parte, la metodología que

utilizan para valorar la (CAK) son los datos de panel estático y análisis de panel y cointegración, también está el método VAR, así lo afirman (Gómez y otros, 2021); (Parra, 2016); (Correa, 2004); (Catalán, 2014).

Esta investigación también concluyó que la calidad ambiental decreció a medida que el ingreso per cápita del (PIB) aumentó de forma significativa y a largo plazo hay una tendencia de disminución de la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂), conclusión que concuerda con los autores (Catalán, 2014); (Enríquez, 2020); (Moreno & Peñaherrera, 2018); (Gómez y otros, 2021), ellos aportan que hay una relación del crecimiento económico, pero también existe brechas entre la población de bajos ingresos económicos y los de ingresos altos, escenarios típicos que se dan en los países en vías de desarrollo; pero, en los países desarrollados existen escenarios diferentes, es decir los ingresos per cápita generan cambios positivos en la transformación productiva a través de implantación de la tecnología y medidas ambientales estrictas que ponen los gobiernos para proteger los recursos naturales.

5 CONCLUSIONES

La economía ecuatoriana a través del Producto Interno Bruto (PIB), a partir del año 2020 muestra un crecimiento importante, llegando a su punto más alto en el año 2021 con un PIB de 10617 millones de dólares, mientras tanto su (PIB) más bajo lo registró en el año 1988 con 13,05 millones de dólares, Ecuador aún disponía de moneda propia que fue el (Sucre), donde se evidencia una mejora en la economía ecuatoriana es a partir de la dolarización que fue en el año 2000.

A través del Indicador Económico PIB per cápita (precios actuales) y emisión de CO₂ (toneladas métricas per cápita) desde el año 1973 al 2021, alcanza un promedio de 0,32 toneladas métricas per cápita y un promedio de 3980.48 PIB per cápita (precios actuales) según los datos del Banco Mundial, y con la aplicación del modelo VAR, se comprobó la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK), donde menciona que existe una relación entre el crecimiento económico y la calidad ambiental; según los resultados determinados, se concluye que cuando la economía crece según el (PIB) la contaminación atmosférica a través de la emisión del (CO₂) pero a largo plazo, esa concentración va decreciendo, esto se atribuye a las políticas ambientales que ha implementado el gobierno.

6 BIBLIOGRAFÍA

Banco Mundial. (2022). *Crecimiento del PIB (% anual) - Ecuador*. Banco Mundial . <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=EC>

Catalán, H. (2014). Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía informa*(389), 19 - 37. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(14\)72172-3](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)72172-3)

Correa, F. (2004). Crecimiento económico y medio ambiente: una revisión analítica de las hipótesis de la curva ambiental de Kuznets. *Semestre Económico*, 7(14), 73-104. <https://www.redalyc.org/pdf/1650/165013658003.pdf>

Enríquez, J. (2020). La curva de Kuznets como medidor de crecimiento y desigualdad para el Ecuador. *Sapientiae*, 3(5). <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/sapientiae/article/view/46>

Gómez, C., Barrón, K., & Moreno, L. (2011). Crecimiento económico y medio ambiente en México. *El trimestre económico*, 78(301), 547-582. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2011000300547&lng=es&tlng=es

- Gómez , C., Cerquera , Ó., & Acero, E. (2021). La curva medioambiental de Kuznets y el crecimiento económico sostenible en Colombia. *Apuntes del CENNES*, 40(71), 165-188.
<https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n71.2021.11387>
- Moreno , F., & Peñaherrera , D. (2018). Panorama de la Economía de Ecuador desde 1994 hasta 2014. *Revista Ciencia Unemi*, 11(26), 38 - 50.
<https://www.redalyc.org/journal/5826/582661257004/582661257004.pdf>
- Olivares , J., & Hernández, C. (2021). ¿La curva ambiental de kuznets sigue siendo válida para explicar la degradación? Una revisión teórica. *Economía Coyuntural*, 6(3), 1 - 51. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222021000300003
- Parra , M. (2016). *La Curva de Kuznets Ambiental para los países de la OCDE a través de un modelo de datos panel*. Universidad Veracruzana , México DF.
<https://www.uv.mx/meae/files/2019/11/La-Curva-de-Kuznets-Ambiental-para-los-paises-de-la-OCDE.pdf>
- Ruiz , M. A. (2020). Estado actual de la contaminación ambiental presente en la Mixteca Oaxaqueña. *Journal*, 5(5), 535-553.
<https://doi.org/https://doi.org/10.19230/jonnpr.3257>