



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

La curva de Kuznets para el CO₂ y otras variables
en el caso de Brasil

Autor

Ángel Visiedo Lafuente

Director

María Rosa Duarte Pac

Facultad de Economía y Empresa
Año 2021

Autor del trabajo: Ángel Visiedo Lafuente

Director del trabajo: María Rosa Duarte Pac

Titulación: Economía

Título del trabajo: La curva de Kuznets para el CO₂ y otras variables de control en el caso Brasil / The Kuznets curve for CO₂ and other control variables in Brazilian's case.

RESUMEN:

Vamos a analizar la relación entre la degradación medioambiental y el crecimiento económico ya que este tema se ha vuelto cada vez más importante hasta el punto en el que han surgido numerosos trabajos en la licenciatura dedicados a tratar con profundidad este problema, como podría ser la economía circular.

Nuestro estudio se centra en la obtención y la interpretación de un modelo econométrico que explique el comportamiento y la evolución de las emisiones de CO₂ de Brasil con un conjunto variables de control de series de datos de 1960 a 2020; este último con una gran relevancia debido a la pandemia del COVID-19.

Partiendo del enfoque que proporciona la Curva Ambiental de Kuznets estudiaremos la relación entre estas emisiones de CO₂ y otras variables como el PIB, estructura económica y la generación y consumo de electricidad, contrastando si el la hipótesis de la CAK es válida para La República Federativa de Brasil.

ABSTRACT:

We are going to analyse the relevance between the environmental degradation and the economic growth because it has become into an important theme until the fact that it has generate new subject areas in the bachelor's degree that are deeply focussed.

Our study is focussed on the obtaining and interpretation of an econometric model which can be able to explain the behaviour and development of these C02 emissions in Brazil with a set of control variables for the period from 1960 until 2020; the last one with a lot of relevance because of COVID-19.

Starting from Environmental Kuznets Curve we will observe the relation between the C02 emissions and the other variables like GDP, economic structure and electricity generation and consumption, contrasting if this hypothesis of EKC is valid in Brazilian's case.

ÍNDICE

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Índice.....	4
Índice de figuras.....	5
Índice de tablas.....	5
1. Introducción.....	6
2. Caso de estudio: Brasil.....	8
2.1 Estructura económica.....	8
2.2 Estructura energética.....	11
3. Análisis empírico.....	14
3.1 Datos y variables (PIB, CO2).....	14
3.2 Modelo econométrico.....	17
3.3 Resultados.....	18
3.3.1 Modelo 1.....	18
3.3.2 Modelo 2.....	21
4. Conclusiones.....	25
5. Bibliografía.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva ambiental de Kuznets

Figura 2. Evolución del consumo energético en Brasil

Figura 3. Participación en la generación eléctrica (2020)

Figura 4. Evolución histórica del Producto Interior Bruto per cápita (1960- 2020)

Figura 5. Evolución histórica de las emisiones de CO2 per cápita (1960-2020)

Figura 6. Correlograma de los residuos modelo 1

Figura 7. Predicciones emisiones CO2 para los próximos 3 años

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Países del mundo por PIB nominal (en millones de USD; 2019)

Cuadro 2. Variación de la estructura económica de Brasil

Cuadro 3. Definición de variables utilizadas en el trabajo

Cuadro 4. El Modelo 1 estimado por MCO

Cuadro 5. Contrastes modelo 1

Cuadro 6. El Modelo 2 estimado por MCO

Cuadro 7. Contrastes modelo 2

1. Introducción

El deterioro ambiental es uno de los principales problemas en la actualidad. Lo podemos comprobar a través de la creciente preocupación y concienciación en gran parte de la población. Además, la globalización ha influido directamente en este problema, tanto negativa como positivamente.

Sabemos que la deslocalización de numerosas multinacionales en busca de una legislación menos restrictiva en cuanto a las emisiones de CO₂ y desechos ha dado lugar a emisiones desmesuradas de residuos que no ayudan al objetivo de auto sostenibilidad del medioambiente (El confidencial, 2021); por otro lado, también ha permitido llegar a acuerdos y tratados entre grandes países para la organización de protocolos de protección ambiental como la Carta mundial a la naturaleza (1982), el Protocolo de Kioto (1997) o la Cumbre de París (2015).

Esta creciente preocupación está fundamentada en estudios científicos que demuestran la existencia de un deterioro medioambiental y en una serie de impactos cuantificables basados en la acidificación y contaminación del agua, deshielos, cambios en la biosfera y fenómenos meteorológicos devastadores como huracanes, inundaciones o sequías.

Diariamente podemos informarnos a través de noticias y webs de las numerosas medidas que, aparentemente pueden y van a realizar los representantes políticos, seguidas de otra serie de medidas enfocadas en lo contrario o, simplemente, sin tener en cuenta ninguna de las preocupaciones anteriormente nombradas. Estas medidas no buscan deteriorar el medioambiente de una forma directa, pero la finalidad de estas se encuentra en la economía actual; producción, empleo y crecimiento.

Creemos que la relación entre crecimiento económico y medioambiente es evidente y que un buen indicador se encuentra en las emisiones de CO₂, a pesar de haber muchos otros indicadores válidos, como podrían ser los residuos plásticos no reciclados o la deforestación de los bosques.

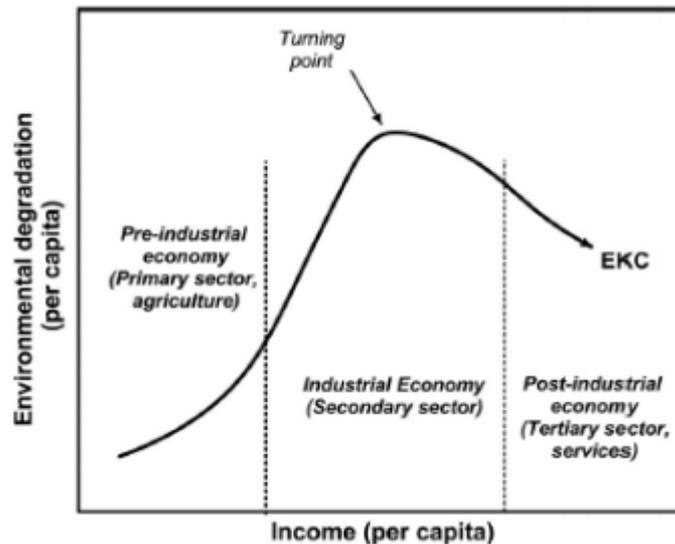
Vamos a utilizar la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (KAC) basada en la relación entre el crecimiento económico y la desigualdad en la distribución de la renta con una forma de U invertida. Si aplicamos esta relación a nuestro caso obtenemos una curva la cual sostiene que existe una relación funcional entre el crecimiento económico y la degradación ambiental en forma de U invertida; es decir, hay una primera etapa en cuya función es creciente, pero, llegados a un determinado nivel económico se produce un de inflexión que determina el nivel de renta en la que se produce un retorno y los niveles de renta se asocian con situaciones de mayor calidad ambiental.

A través de esta teoría deducimos que la renta es el problema y la vez la solución de la calidad del medioambiente en un país determinado, por lo tanto, un país depende del progreso tecnológico para alcanzar el 'turning point' y si se encuentra en una trampa de pobreza no será capaz de revertir la situación y, aun siendo capaz, debería realizar un big push que debería ser acompañado de unas instituciones competentes y una tecnología capaz de generar cambios más profundos (Mariana I. Zilio, 2012); es decir, aun estando en una situación propicia para comenzar el descenso de la curva, podría sumirse en una situación irreversible que ni siquiera le dejara realizar la reducción de contaminación denominada trampa ambiental la cual se basa en estructuras económicas intensivas que tienen mayores crecimientos en emisiones que en producción (Secretario General de la OCDE, 2019).

El razonamiento de este proceso se puede observar en la gran mayoría de economías a lo largo de su historia. En un inicio, se produce una industrialización del país de forma que se comienzan a utilizar energía de combustibles fósiles y se disparan tanto el crecimiento del PIB como el crecimiento de las emisiones contaminantes. En una segunda fase encontramos una apertura del país que comienza a globalizarse y tiene la capacidad de encontrar nuevas fuentes energéticas menos contaminantes, en este caso se observa una ralentización en la pendiente positiva de la curva. Más tarde, cuando el país deja de denominarse en crecimiento, sino que está en un punto de madurez, se acerca al punto crítico en el que la contaminación es estable. Después de este punto comenzamos a encontrar otros factores que inician el descenso de la curva, como podrían ser la concienciación de la sociedad, las políticas de protección ambiental y la integración dentro de tratados internacionales. También existe un proceso de cambio estructural que

genera un descenso en los sectores más contaminantes, sobretodo de la industria y un crecimiento del sector servicios que permite descender las emisiones.

Figura 1. Curva ambiental de Kuznets



Fuente: Fuente. Kaika y Zervas (2013)

A continuación, vamos a analizar si este razonamiento teórico se cumple en el caso de Brasil e intentaremos conocer si las diferencias institucionales, culturales, económicas y shocks de oferta y de demanda pueden condicionar algún tipo de comportamiento característico relevante. Para ello nos fijaremos unos objetivos que nos ayuden progresivamente a conocer la estructura económica, demográfica e institucional y más tarde intentaremos responder algunas preguntas iniciales que nos permitan llegar a alguna conclusión factible.

2. Caso de estudio: Brasil

2.1 Estructura económica

El país que vamos a analizar es La República Federativa de Brasil, que denominaremos como comúnmente se conoce, Brasil. Esto se debe a que Brasil es la primera potencia

latinoamericana, a pesar de las recesiones y de las crisis que ha estado afrontando a lo largo de su historia (Xinhua, 2015) y, además, es una de las potencias que más está invirtiendo en energías renovables de la última década gracias, principalmente, al programa de Aceleración del Crecimiento (PAC) de inversión en infraestructuras, medio ambiente y energía, lanzado el 28 de enero de 2007 (Nicolás Mayorga, 2019).

Antes de buscar un modelo econométrico que se adecúe a este país, tenemos que conocer la evolución brasileña y el contexto histórico respecto a su economía y su estructura energética.

Según los datos del FMI de 2019, Brasil es la 9ª potencia mundial a nivel de PIB después de haber conseguido estar entre las siete principales potencias del mundo; como adelantaba el artículo “Brasil podría descender a novena posición en lista mundial de economías, superado por India e Italia” de América Economía, *la recesión que sufre el país sudamericano es el motivo por el cual se ha visto superado por India e Italia*.

Cuadro 1. Países del mundo por PIB nominal (en millones de USD; 2019)

PAÍS	PIB NOMINAL
Estados Unidos	21 480
China	14 170
Japón	5 220
Alemania	4 120
India	2 960
Francia	2 840
Reino Unido	2 810
Italia	2 110
Brasil	1 930

Fuente. Datos FMI publicados en Expansión.

Brasil se encuentra entre los 25 exportadores más grandes del mundo, cabe recalcar que sus principales exportaciones son la soja, el azúcar, petróleo en crudo y carne, teniendo como principales socios comerciales a China, Estados Unidos, Países Bajos, Argentina y Japón.

A su vez, Brasil está también entre los 23 mayores importadores pero sus preferencias importadoras son diferentes a sus preferencias exportadores, encontrando minerales bituminosos, aceites crudos, plataformas de perforación y explotación, circuitos integrados y tubos flexibles, como principales materiales importados; a parte de sus socios comerciales nombrados anteriormente, cabe nombrar también a Alemania en este caso.

La balanza de pagos de Brasil ha sido muy fluctuante a lo largo de los últimos 50 años, recalcando una caída de casi el 6% del PIB en 1974 y una recuperación de hasta el 5,6% en 1984. Actualmente se encuentra en una situación positiva de 1,4 % del PIB (OEC, 2021).

La evolución sectorial ha sido muy notoria a lo largo de los últimos sesenta años. En nuestro caso se aprecian dos etapas muy bien diferenciadas, una primera perteneciente a la industrialización del país, caracterizada por un fuerte crecimiento industrial durante las décadas de 1960 y 1970, hasta que en 1980 alcanzase una economía moderna diversificada. Una segunda que se caracteriza por una transición hacia el sector servicios, desde la salida de la dictadura de 1980 hasta la actualidad.

Este movimiento demográfico de unos sectores a otros nos podría ayudar a conocer la cuantía y relevancia del crecimiento económico en primeras etapas (industrialización) o en etapas más maduras (terciarización).

Según el tejido industrial, la modalidad de servicios, la intensidad productiva de los tres sectores, la regulación en cada uno de estos y las normativas, tanto en producción de bienes como en servicios, o la propia estructura económica pueden ser positivos o negativos para que un crecimiento económico ayude o no a mejorar la situación medioambiental de un país y, por ende, la situación global para la sostenibilidad.

Cuadro 2. Variación de la estructura económica de Brasil

Sector	1980	2019
Primario	10,8%	5,1%
Secundario	43,7%	21,6%
Terciario	46,6%	73,3%

Fuente. Elaboración propia a partir de Fundación CIDOB

Tenemos que tener en cuenta que casi todos los negocios del país son PYMES, estaríamos hablando de que aproximadamente el 98,5% del tejido empresarial brasileño estaría compuesto de pequeñas y de medianas empresas. Este gran número de negocios alcanzó poco más del 27 % en la participación al PIB, por lo que podemos deducir que la producción está distribuida de forma poco equitativa entre el conjunto de la población.

Si miramos algunos indicadores de desigualdad podremos resaltar un índice de Gini de 0,513 en el año 2015, excesivamente alto. En 2018 alcanzó su máximo como menciona el artículo “La desigualdad de ingresos alcanza un nivel récord en Brasil” de la Agencia EFE, *los datos muestran que la concentración de renta volvió a crecer en la mayor economía de Suramérica.*

2.2 Estructura energética

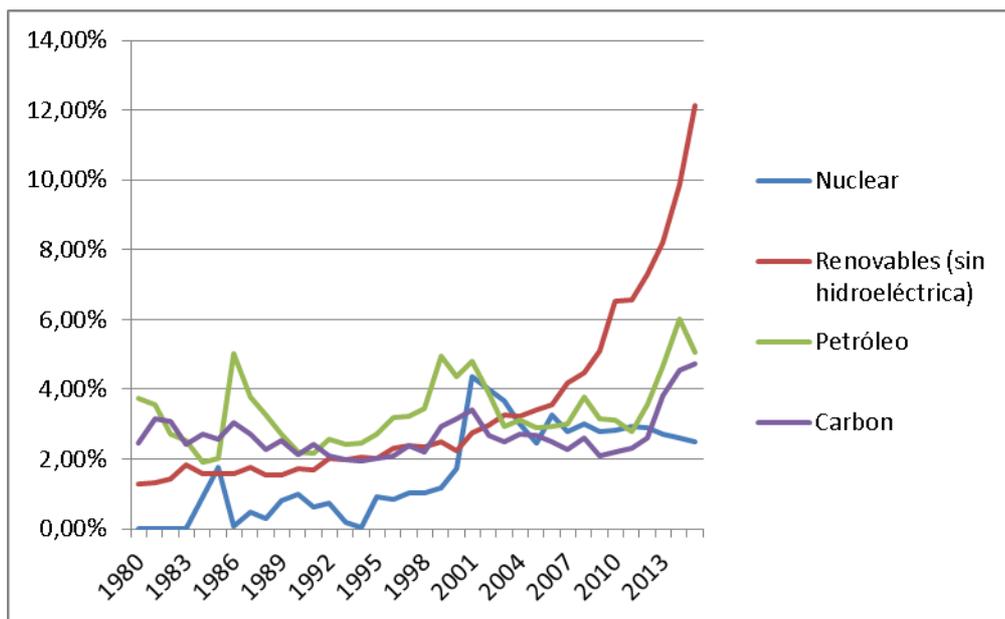
El consumo de energético ha aumentado durante todo el periodo hasta multiplicar por 5 el consumo inicial en 1980 desde 121.784 GWh hasta los 597.235 GWh de consumo en 2019.

La estructura energética ha variado constantemente debido a las diferentes políticas que se han llevado. En 2019 la participación de las energías renovables alcanzaron el 45%, muy superior a otros países, ya que la media está en un 14%; el petróleo y todos sus derivados constituyeron en torno al 34,3% del consumo total de energía, la energía hidráulica participó un 18%, el gas natural un 12,2%, el carbón vegetal y la leña un

8,8%, las energías como la solar y la eólica en torno al 7%, el carbón mineral un 5,3%, la energía nuclear un 1,4% y el resto de energías no renovables el restante, un 0,6%.

Por otro lado, si nos centramos en la participación de cada una de las fuentes anteriormente nombradas respecto de la energía eléctrica, tenemos un claro desmarque de Brasil frente del resto del mundo, ya que obtiene el 83% de su electricidad gracias a fuentes renovables. Así, la matriz eléctrica está compuesta por un 65,9% de energía hidráulica, un 8,6% de energía eólica, un 8,4% de biomasa y un 1% de energía solar y las energías no renovables compondrían el restante 17%, con un 9,3 % de gas natural, un 3,3% de carbón y derivados, un 2,5% de energía nuclear y un 2% derivados del petróleo.

Figura 2. Evolución del consumo energético en Brasil



Fuente: Elaboración propia a través del Grupo Banco Mundial

A la hora de observar el uso de las fuentes energéticas y su eficiencia tenemos que tener en cuenta que nos encontramos en un país muy cíclico, con unas grandes presiones inflacionistas. El uso y la inversión en fuentes renovables aumentan cuando las condiciones económicas son favorables y podemos observar un aumento de combustibles fósiles y otras fuentes no renovables cuando esta se deteriora ya que se vuelve más difícil invertir en nuevas energías cuando la liquidez y solvencia no lo

permiten, como en los años 2000 y 2012 (Banco Mundial, 2019). Sin embargo, la tendencia sí parece indicarnos que el aumento del peso de energías renovables es claro, como veremos más adelante.

Esta información es relevante para tener en cuenta que los ciclos positivos necesitan poder compensar estos ciclos negativos para poder doblar la curva, es decir, además de tener la capacidad de mejorar la situación en épocas de crecimiento, deberían ser capaces de compensar las emisiones del uso de energías no renovables en crisis para que, en valor absoluto,

Brasil es la primera potencia hidroeléctrica del mundo, en 2019 alcanzó los 4919 MW instalados, muy lejos de la segunda potencia China, con 4170 MW. El porcentaje de participación en la matriz eléctrica ha descendido a lo largo de la historia; podemos observar como en 1960 más del 92% de la energía eléctrica era generada gracias a este tipo de fuentes, pero dos factores hicieron que fuese sustituida por otras fuentes; las restricciones de 2000 y 2001 que, tanto por un régimen generador desfavorable como una ineficiencia en las líneas de transmisión hicieron que cayese casi 30 puntos porcentuales a favor de otras como la eólica y la solar.

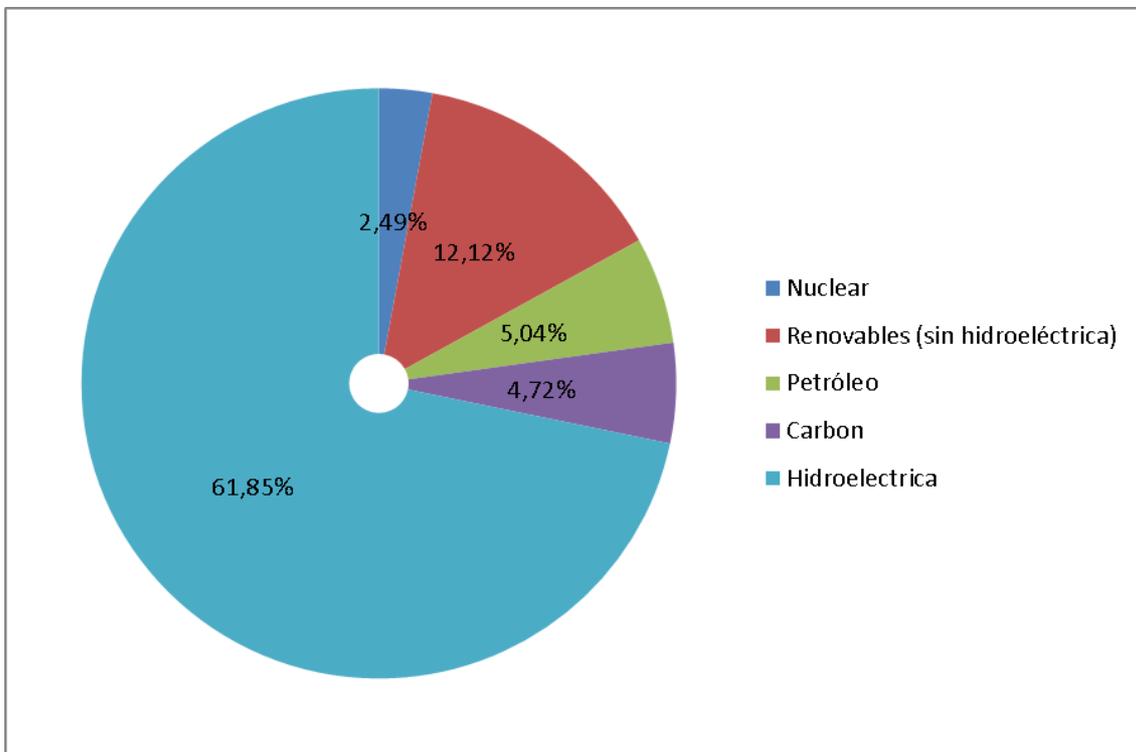
Así, se comenzó a introducir otro tipo de energías como la eólica gracias al PROINFA en 2002 y el comienzo de subastas de energía eólica en 2009, correspondiendo a 71 parques eólicos en esta última. Desde 2019 es la segunda fuente de la matriz energética del país, siendo el séptimo país que más energía produce con este método.

Aunque la energía solar aún no está teniendo un impacto directo como las dos primeras fuentes energéticas del país, ha crecido gracias a la instalación a pequeña escala en las zonas rurales, esto se debe al abaratamiento de los paneles solares y la gran inversión que están realizando algunos agentes privados. Solamente el impuesto al Sol estaría impidiendo que crezca aún más la participación de los paneles en la matriz brasileña (Carlos Guimarães Filho, 2021).

Si tenemos en cuenta todos los factores anteriormente nombrados entenderemos cómo Brasil es la tercera potencia generadora de energía renovable del mundo en términos

absolutos y la primera en términos relativos. Si queremos analizar si es posible que Brasil se convierta en una potencia autosostenible, tendremos que tener en cuenta tanto las emisiones de las empresas como las de los hogares. A pesar de que los recursos hidroeléctricos disminuyan, la instalación a pequeña escala de paneles fotovoltaicos puede hacer que los hogares no necesiten ningún tipo de energía e incluso que sean capaces de generar un flujo positivo de energía hacia empresas o entidades públicas, sería un fuerte pilar en el que se puede apoyar para reducir progresivamente estas emisiones básicas de los hogares.

Figura 3. Participación en la generación eléctrica (2020)



Fuente: Elaboración propia a través del Grupo Banco Mundial

3. Análisis empírico

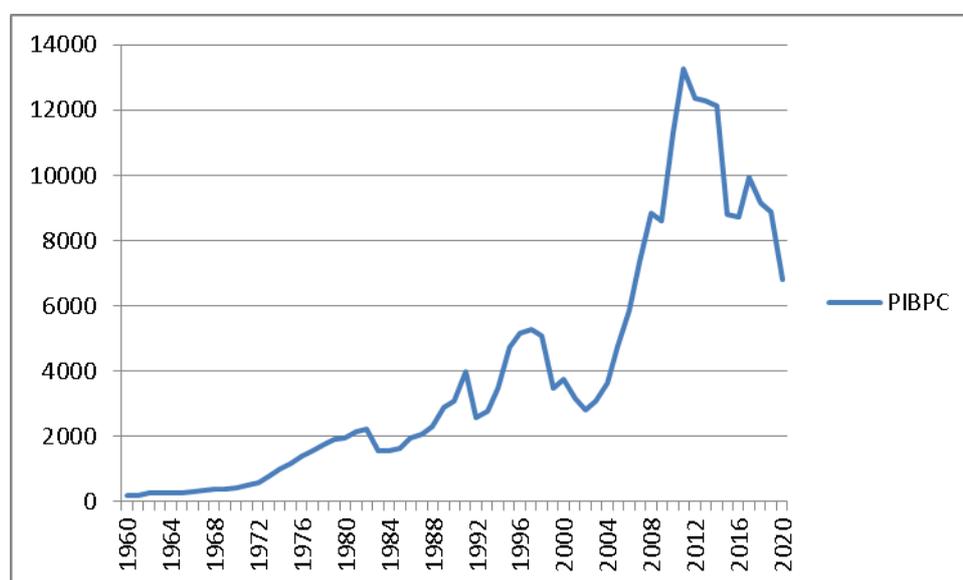
3.1 Datos y variables

Las fuentes de datos que vamos a utilizar se encuentran en los anexos de este documento. Hemos tomado todas las variables teniendo en cuenta las bases teóricas de

la Curva de Kuznets y conforme a la sospecha del cumplimiento de nuestro modelo y su repercusión ya que *“Tal como se ha puesto de manifiesto en numerosas investigaciones, las emisiones encuentran su origen en múltiples factores, tales como la población, el crecimiento económico, la estructura económica o la intensidad energética entre otros”* (Balsarrobe, Álvarez, Olaya y Cantos, 2016).

Por lo tanto, las variables que vamos utilizar son el PIB pc y el CO2 pc. Precisaremos del análisis de la evolución histórica y tendencial de nuestras variables, previa a la generación de un modelo. Gracias a nuestra base de datos elaboraremos los siguientes gráficos:

Figura 4. Evolución histórica del Producto Interior Bruto per cápita 1960- 2020

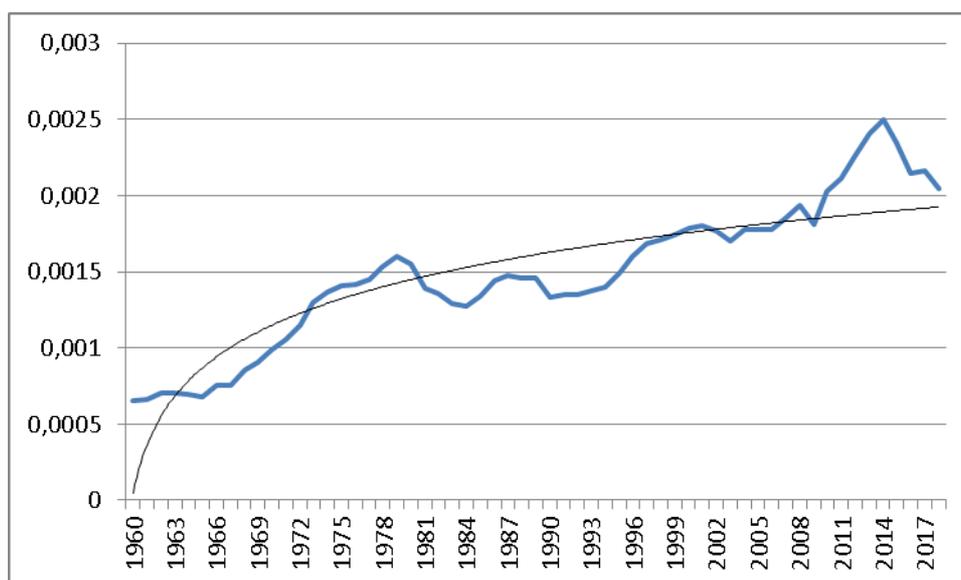


Fuente: Elaboración propia a través del Grupo Banco Mundial

Observando el comportamiento del PIB pc podemos observar una tendencia creciente con unas grandes fluctuaciones debidas a las crisis, golpes militares y las fuertes inflaciones que hemos comentado anteriormente.

A pesar de este hecho, es evidente que la situación nos permitirá observar una relación entre el crecimiento económico y el punto en el que se encuentra el país respecto del punto de inflexión y si lo ha superado o no.

Figura 5. Evolución histórica de las emisiones de CO2 per cápita 1960-2020



Fuente: Elaboración propia a través del Grupo Banco Mundial

En cuanto a la evolución de las emisiones de CO2 pc podemos observar que tiene una evolución similar a la del PIB pc pero con menos variación. Si nos fijamos en la tendencia logarítmica de este podemos ver que se está frenando el proceso de incrementos de emisiones, pero aún podemos estar en el tramo ascendente de la KAC, es decir, aún no habríamos alcanzado el “Turning Point”.

Esta suposición concuerda con nuestras explicaciones anteriores. La República Federativa de Brasil sigue siendo un país subdesarrollado, donde los sectores industriales aún tienen el suficiente peso como para no permitir que las industrias menos contaminantes y el sector servicios permitan disminuir las emisiones.

Cuadro 3. Definición de variables utilizadas en el trabajo

Variable	Definición	Unidad de medida	Fuente
C02 pc	Toneladas de C02 por habitante	Toneladas/cápita	Banco mundial
GDP pc	PIB por habitante	Miles de millones/cápita	Banco mundial
Ele pc	Electricidad consumida por habitante	KWh/cápita	Banco mundial
Agri	Facturación del sector agrícola	Miles de millones	Banco mundial
Man	Facturación del sector industrial	Miles de millones	Banco mundial
Serv	Facturación del sector servicios	Miles de millones	Banco mundial

Fuente. Elaboración propia.

3.2 El modelo econométrico

Como hemos dicho, hay numerosas formas ya que no podemos generalizar con la forma de U invertida de la curva ambiental. Hay muchos autores que han llegado a diferentes conclusiones; desde el caso de no encontrar resultados evidentes en la liberalización económica mexicana por parte de Egli (2002) o como el estudio de los países de la OCDE por parte de Pauli (2003), hasta otras formas como la de N de Moomaw y Unruh (1997) en su estudio la de contraria (U invertida) en el estudio de la intensidad de carbono y el estudio de 16 países que ya se habían desarrollado de 1962 a 1991 de Roberts y Grimers.

Como observamos en todos estos estudios, el cambio de los países, ya sea por su desarrollo, por su relevancia o incluso por sus instituciones; el cambio de variables, tanto el C02, como el metano o residuos plásticos; y, el periodo, nos pueden dar lugar a resultados muy variados y deberemos comprobar nuestro caso particular.

Vamos a trabajar con un modelo econométrico en términos logarítmicos:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln X_t + \beta_2 \ln X_t^2 + \beta_3 \ln X_t^3 + u_t$$

Con $t=1960, \dots, 2020$, y u término de error del modelo que representa otras variables que no aparecen de forma explícita en el modelo, pero pueden tener efectos sobre él.

La variable Y representa el CO2 per cápita y la exógena X la renta per cápita, β representa los coeficientes de las variables que influyen sobre Y, y β_0 es el término constante.

Así, las opciones dependerán de la proporcionalidad que tengan las variables exógenas dados los parámetros dados.

A partir del programa econométrico “Gretl” estimaremos el modelo especificado y cambiaremos en función de nuestros resultados para observar una forma definida.

3.3 Resultados

3.3.1. Modelo 1

El primer modelo que hemos estimado es el siguiente:

$$l_CO2pc = -2,580 + 2,037*l_GDPpc - 0,097*l_GDPpc^2 + 0,096*l_elepc + ut$$

Las variables que hemos utilizado son:

l_CO2pc : logaritmo neperiano de CO2 per cápita.

l_GDPpc : logaritmo neperiano de PIB per cápita

l_GDPpc^2 : Logaritmo neperiano de PIB per cápita al cuadrado.

l_elepc : Logaritmo neperiano de electricidad consumida per cápita.

Además, como hemos mencionado antes, tenemos en cuenta el término error u.

Así, en principio, nuestro modelo podría explicar el C02 pc que se produce en Brasil a través del PIB pc y de la electricidad pc que produce el país ya que según su R cuadrado y R cuadrado corregido permiten explicar más del 90% del modelo a través de estas variables.

Cuadro 4. El Modelo 1 estimado por MCO

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
Const	-2.58038	1.58580	-1.627	0.1116
l_GDPpc	2.03781	0.364208	5.595	1.75e-06
l_GDPpc2	-0.0971097	0.0231091	-4.202	0.0001
l_elepc	0.0961063	0.238432	0.4031	0.6890
R2	0.919822			

(Datos extraídos del modelo a partir de Gretl)

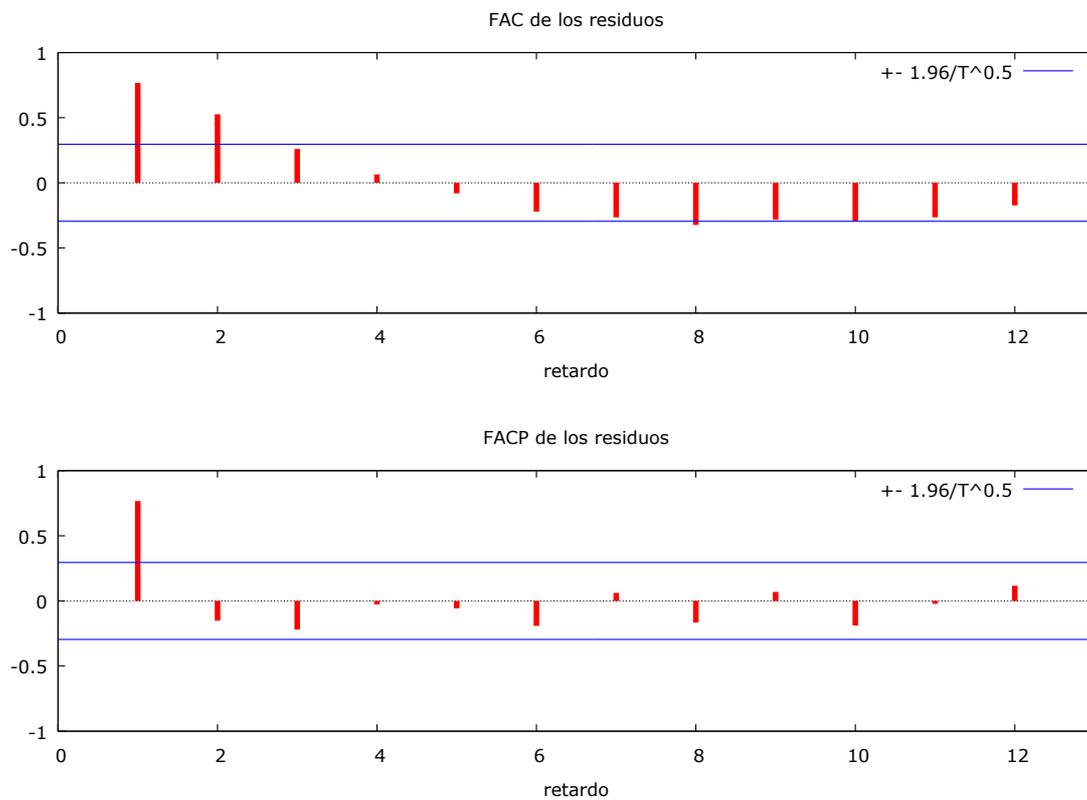
Realizamos algunos contrastes para observar si el modelo que vamos a estudiar es correcto. En este caso observamos que el modelo es bastante malo ya que tiene problemas de homocedasticidad y su especificación no es adecuada. Por otro lado, sí que no presenta cambios estructurales en algunos puntos en los que podría existir. Sin embargo, vamos a desechar este caso y vamos a introducir otras variables que nos ayuden a que el modelo sea más consistente y no presente este tipo de problemas.

Cuadro 5. Contrastes modelo 1

Contraste	Valor estadístico	P-Valor	Valor crítico 5%
Forma funcional – RESET			
H0: La especificación es adecuada	F(2, 38)	0.0460998	3.34011
HA: La especificación es inadecuada			
Contraste heterocedasticidad – White			
H0: Modelo homocedástico	LM	0.000275064	29.3515
HA: Existe heterocedasticidad			
Contraste heterocedasticidad - Breusch-Pagan			
H0: Modelo homocedástico	LM	0.021303	9.6993
HA: Existe heterocedasticidad			
Contraste de Chow de cambio estructural			
H0: No hay cambio estructural	F(4, 36)	0.0232349	3.22374
HA: Hay cambio estructural			

Fuente. Elaboración propia Excel y datos Gretl.

Figura 6. Correlograma de los residuos modelo 1



Fuente. Programa Gretl.

3.3.2 Modelo 2

Si tenemos en cuenta los resultados del modelo anterior, podemos analizar el modelo desde el punto de vista del cambio sectorial, de forma que la industrialización y posterior terciarización del país puedan explicar el comportamiento de las emisiones de CO₂ y conocer si realmente ha existido un descenso de estas o una ralentización de su crecimiento.

Como podemos ver en la forma funcional lineal, existe una relación decreciente entre las emisiones y el peso de la industria y de servicios, pero realmente no están tan desarrollados por el momento como para compensar los incrementos del total de la

economía por lo que la forma sería creciente, como le sucedió a Roberts y Grimes con el modelos entre los países ricos y los no tan ricos o pobres (1997 de forma que podemos decir que Brasil no ha alcanzado la madurez económica por motivos que hemos ido analizando, institucionales, equitativos, de desarrollo, de salud y educativos para poder sobrepasar el “Turning Poing” y ni siquiera sabemos si podrá superar el punto crítico, aunque la gran inversión y las medidas gubernamentales apuntan a que seguirán descendiendo las emisiones gracias a las energías renovables en las que se apoyará más de dos tercios en unos cinco o diez años.

$$l_CO2pc = -8,71 + 1,38 * l_GDPpc - 0,056 * l_GDPpc + 0,19 l_Agri - 0,35 * l_Ind - 0,027 * l_Serv$$

Así, para que esto sea posible en este segundo modelo, deberíamos derivar la función respecto del crecimiento económico; obtenemos la siguiente ecuación:

$$(dl_CO2 pc/dl_GDP pc) = \beta_1 + 2\beta_2 l_GDPpc$$

Si despejamos y sustituimos los parámetros por los valores de nuestro modelo obtenemos el óptimo en $l_GDP pc^* = 24,64$.

Comprobamos también la segunda derivada y obtenemos el valor $-0,12 < 0$ luego sí y solo sí, $l_GDPpc = 24,64$ es máximo de la función.

Si observamos los valores a lo largo del periodo, observamos que está lejos de alcanzar el punto de inflexión, aunque sigue aumentando, con más de 9,2 en 2017. Es decir, necesita aún un gran “Push” para conseguir doblegar esa curva.

Así, podemos deducir que, si Brasil sigue creciendo, generará mayores niveles de CO2, con incrementos cada vez menores hasta conseguir el objetivo de reducir las emisiones con nuevos niveles de crecimiento, ya que los coeficientes que permiten la reducción de estas podrían llegar a revertir la situación.

Este factor implicaría que dejaría de presentar aumentos en las emisiones, lo que conllevaría a reducciones, aunque de baja cuantía, que permitirían doblegar la curva. En

la situación actual no sería posible ya que el las variables como la industria o los servicios no tienen suficiente peso respecto del tejido productivo o las características necesarias que le permitan contrarrestar las emisiones que existen de base.

Cuadro 6. El Modelo 2 estimado por MCO

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
const	-8.71784	3.22833	-2.700	0.0093
l_GDP pc	1.37930	0.385185	3.581	0.0008
l_GDP pc2	-0.0562030	0.0131851	-4.263	8.53e-05
l_Agri	0.193738	0.131239	1.476	0.1459
l_Ind	-0.355568	0.128720	-2.762	0.0079
l_Serv	-0.0276244	0.105772	-0.2612	0.7950
R-cuadrado	0.933098			

(Datos extraídos del modelo a partir de Gretl)

Observamos en el Cuadro 7 que cumple todos los contrastes al 95% y por lo tanto podemos decir que la especificación del modelo es correcta gracias al contraste de RESET ya que el P-Valor es. Tampoco observamos que pueda haber problemas de homocedasticidad gracias a los contrastes de White y de Breusch-Pagan. Como algunos casos puntuales pueden provocar un cambio estructural alrededor del año 2001, comprobamos su existencia gracias al contraste de Chow, pero tampoco parece existir ningún problema con este factor.

También resaltan los p-valores cercanos a 0 de las variables, por lo que entendemos que son significativas individualmente.

Cuadro 7. Contrastes modelo 2

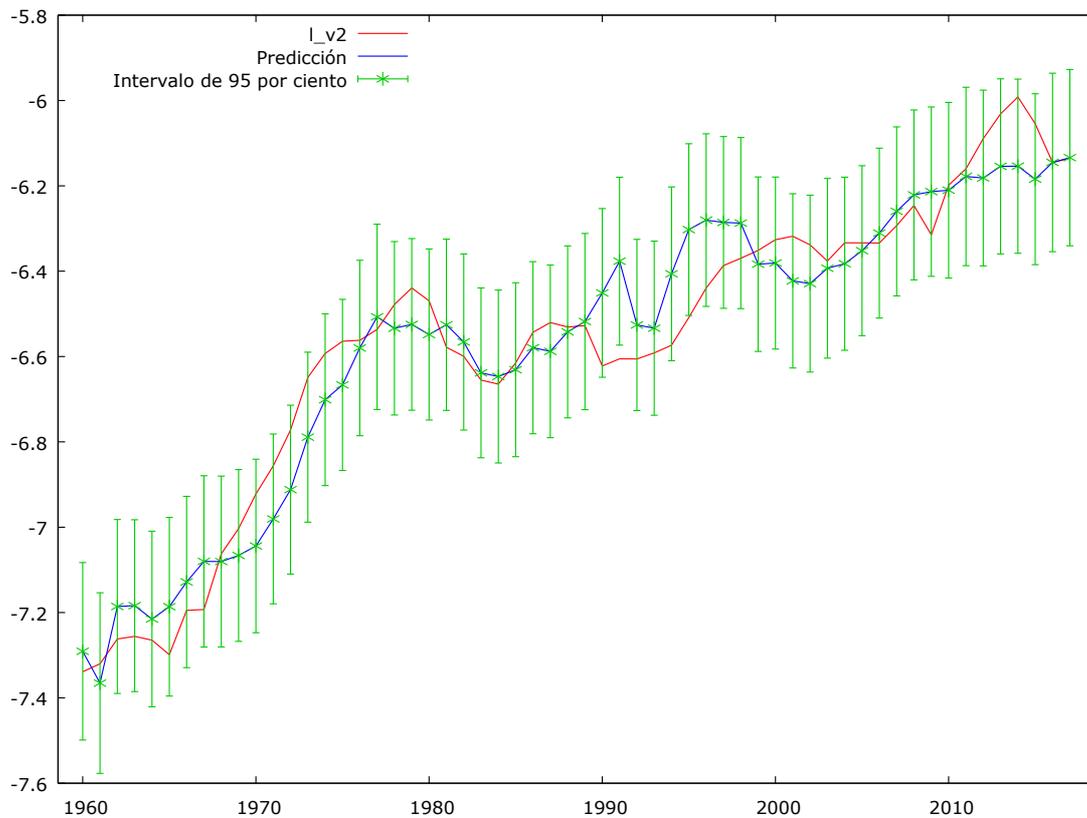
Contraste	Valor estadístico	P-Valor	Valor crítico 5%
Forma funcional – RESET			
H0: La especificación es adecuada	F(2, 38)	0.149492	3.34011
HA: La especificación es inadecuada			
Contraste heterocedasticidad – White			
H0: Modelo homocedástico	LM	0.495829	29.3515
HA: Existe heterocedasticidad			
Contraste heterocedasticidad - Breusch-Pagan			
H0: Modelo homocedástico	LM	0.349473	9.6993
HA: Existe heterocedasticidad			
Contraste de Chow de cambio estructural			
H0: No hay cambio estructural	F(4, 36)	0.849472	3.22374
HA: Hay cambio estructural			

Fuente. Programa Gretl.

Podemos observar que a partir de 2016 hay una reducción de las emisiones, pero también hay un descenso del PIB, por lo que la relación no descende y no podemos confirmar la forma de U invertida propia del modelo, de hecho, la figura que parece dibujar es lineal y creciente como hemos nombrado anteriormente.

Esto se debe a que Latinoamérica pasó una grave crisis en 2014, si sumamos que Brasil tuvo el peor desempeño económico a nivel regional, solo por detrás de Venezuela, podemos entender por qué tuvo esta pequeña recesión de casi el 3,5%. (BBC, 2016).

Figura 7. Predicciones emisiones C02 para los próximos 3 años



Fuente. Programa Gretl.

Podemos prever un incremento en los siguientes años como indica nuestro modelo. A no ser que el país cambie sus instituciones y regulaciones ambientales respecto al control de emisiones como han hecho numerosos países desarrollados.

4. Conclusiones e implicaciones

Para La República Federativa de Brasil, los modelos calculados parecen no confirmar nuestras hipótesis iniciales. Nuestro caso aún no ha conseguido superar el punto crítico con el cual podría iniciar un descenso de sus emisiones gracias a incrementos de su producto interior bruto, a pesar de contar con una participación muy elevada de energías renovables en su red de suministro eléctrico.

Hemos observado que la mayor participación del sector servicios está haciendo posible que las emisiones sufran incrementos un poco menores y puede ser un primer paso en el proceso teórico que puede sufrir. Teniendo en cuenta que al inicio del periodo apenas alcanzaba el 50% y al final de este, supera el 70% (Reuters, 2021) y que según nuestro modelo el crecimiento del sector servicios genera una reducción en torno al 3% de las emisiones, esta terciarización estaría permitiendo disminuir el número de emisiones.

Para nuestro modelo 1 (con muestra de 1960-2018) no hay indicios de formas funcionales parabólicas y convexas; además, no es muy representativo y no podemos afirmar su representatividad. Existen errores debidos a que no se distribuye de forma normal.

Para nuestro segundo modelo es diferente. Esto se debe a que hemos utilizado diferentes datos. Brasil tiene una relación entre PIB y CO₂ creciente, de manera que empeora su situación medioambiental cuando mejora su crecimiento. Esta relación es lineal, sin que esto signifique que en un futuro la forma de la función pueda llegar a generar puntos de giro donde se maximice o minimice la contaminación; ya que el cambio de otros factores, como el tecnológico o el institucional podrían generar un cambio en esta relación y que nuestra función pasara a dejar de ser lineal, hecho que a corto plazo parece imposible, por los altos coeficientes que acompañan a nuestras variables.

Es posible que haya otras series de datos que tengan mayor amplitud e incluso sean más válidos que los representados aquí.

Por lo tanto, como hemos ido analizando a lo largo de todo el trabajo, en nuestro caso con Brasil, no encontraríamos un comportamiento de U invertida en nuestro caso. Esto significa que Brasil tiene un crecimiento económico acompañado de crecimientos de las emisiones, en contraposición a otros casos, como el de los países de la OCDE, que sí presentan este comportamiento de U invertida generando mejores situaciones medioambientales, pero no podemos generalizar la CAK. Cada país y economía dependen de factores y variables que lo condicionan y su correspondiente curva tendrá una función econométrica y forma diferentes.

Por otro lado, vemos que Brasil tiene mucho potencial para formar parte de este conjunto de países ya que su elevada inversión y sus nuevas políticas, están haciendo que sea uno de los países con más porcentaje de electricidad generada a través de energías renovables. Todo esto acompañado de terciarización y de una posible recuperación de los recursos hídricos que han estado minados por grandes sequías nos da a entender que, aunque la situación actual del país es bastante negativa, este podría recuperarse en la próxima década y ayudar al objetivo de sostenibilidad.

5. Bibliografía y webgrafía.

Mariana I. Zilio (2012) “*Curva de Kuznets ambiental, la validez de sus fundamentos en países en desarrollo*” Extraído el 23 de junio de 2021 desde: <https://www.elsevier.es/es-revista-cuadernos-economia-329-articulo-curva-kuznets-ambiental-validez-sus-X0210026612536311>

Banco mundial (2021) Numerosas consultas hasta 18 de agosto de 2021, (CO₂, PIB, PIBpc, demografía, generación de electricidad y fuentes, peso por sector) extraído el 23 de junio de: <https://datos.bancomundial.org/>

Mayorga Patarroyo, N (2019) “*Brasil es el país que más consume energías renovables, según el Banco Mundial*” Extraído el 4 de julio de 2021 de: <https://www.review-energy.com/solar/crisis-energetica-en-brasil-encamina-al-pais-hacia-la-evolucion-de-su-matriz-energetica>

World Bank (2019) “*CIFRAS DEL COMERCIO EXTERIOR EN BRASIL*” Extraído el 8 de julio de: <https://santandertrade.com/es/portal/analizar-mercados/brasil/cifras-comercio-exterior>

Mopyme (2019) “*El poder de las pymes brasileñas*” Extraído el 23 de agosto de 2021 de: <https://mopyme.org/el-poder-de-las-pymes-brasilenas/>

Xinhua (2015) “*Brasil podría descender a novena posición en lista mundial de economías, superado por India e Italia*” Extraído el 23 de agosto de 2021 de: <https://www.americaeconomia.com/economia-mercados/finanzas/brasil-podria-descender-novena-posicion-en-lista-mundial-de-economias-sup>

Piacente, P. J. (2010) “*El descenso del caudal de los ríos amenaza a la energía hidroeléctrica*” Extraído el 30 de agosto de 2021 de: <https://mopyme.org/el-poder-de-las-pymes-brasilenas/>

Datos Macro (2010) “*PIB de Brasil*” Extraído el 30 de agosto de 2021 de: <https://datosmacro.expansion.com/pib/brasil?anio=2010>

OECD (2021) “*Brasil*” Extraído el 7 de septiembre de 2021 de:
<https://oec.world/es/profile/country/bra/>

Banco Mundial (2019) “*RESUMEN DEL COMERCIO BRASIL 2019*” Extraído el 7 de septiembre de 2021 de:
<https://wits.worldbank.org/CountryProfile/es/Country/BRA/Year/LTST/Summarytext>

Balsalobre Lorente, D., Álvarez Herranz, A., Olaya Iniesta, A., Cantos Cantos, J.M. (2016) “*La curva medioambiental de Kuznets y la innovación energética en países de la OCDE*” Extraído el 14 de septiembre de 2021 de:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5696478>

Galeottia, M Lanzab, A Paulic, F (2006) “*Reassessing the environmental Kuznets curve for CO2 emissions: A robustness exercise*” Extraído el 7 de septiembre de 2021 de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800905001680>

Lissardy, G (2016) “*Brasil: las 4 causas del desplome de la mayor economía de América Latina*” Extraído el 7 de septiembre de 2021 de:
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160303_brasil_causas_del_desplome_economico_gl

Reuters (2021) “*Actividad en el sector servicios de Brasil muestra el crecimiento más acelerado desde 2013*” Extraído el 10 de septiembre de 2021 de:
<https://www.americaeconomia.com/economia-mercados/finanzas/actividad-en-el-sector-servicios-de-brasil-muestra-el-crecimiento-mas>