

Contenido

Introducción	2
Variable dependiente - Expropiaciones petroleras	3
Variables independientes.....	5
Precio del petróleo.....	5
Producto Interno Bruto (PIB)	7
Tipo de cambio.....	9
Modelo 1 para las exportaciones petroleras	11
Análisis de Correlación.....	11
Modelo 1 Análisis de Regresión	11
Multicolinealidad	13
Normalidad en los residuos	13
Heterocedasticidad	14
Autocorrelación.....	16
Modelo 2 para exportaciones petroleras.....	17
Nuevas variables	17
Modelo 2	18
Modelo 3 para las exportaciones petroleras.	19
Modelo 4 para las exportaciones petroleras.	20
Multicolinealidad, Normalidad de Residuos, Heterocedasticidad y Autocorrelación para el Modelo 4	21
Modelo generalizado para las exportaciones petroleras.....	22
Análisis de estabilidad – Prueba de Chow	23
Pronostico para 4 periodos con el Modelo 4	27
Conclusión.....	30

Introducción

En el contexto económico actual, las exportaciones petroleras desempeñan un papel fundamental en la economía de muchos países productores, incluyendo México. La evolución de las exportaciones de petróleo no solo refleja la dinámica del mercado global de energía, sino también las condiciones económicas internas y las políticas energéticas implementadas. Este estudio tiene como objetivo analizar los factores determinantes de las exportaciones petroleras en México, enfocándose en variables clave como el precio del petróleo, el Producto Interno Bruto (PIB) y el tipo de cambio.

Utilizando datos trimestrales desde el año 2000 hasta el primer trimestre de 2024, se desarrollaron varios modelos de regresión para identificar las relaciones entre estas variables y las exportaciones petroleras. El análisis aborda aspectos cruciales como la multicolinealidad, la normalidad de los residuos, la heterocedasticidad y la autocorrelación, con el fin de asegurar la validez y robustez de los resultados obtenidos. En particular, se pone énfasis en la corrección de problemas estadísticos comunes mediante el uso de técnicas de regresión robusta y modelos de mínimos cuadrados generalizados (GLS).

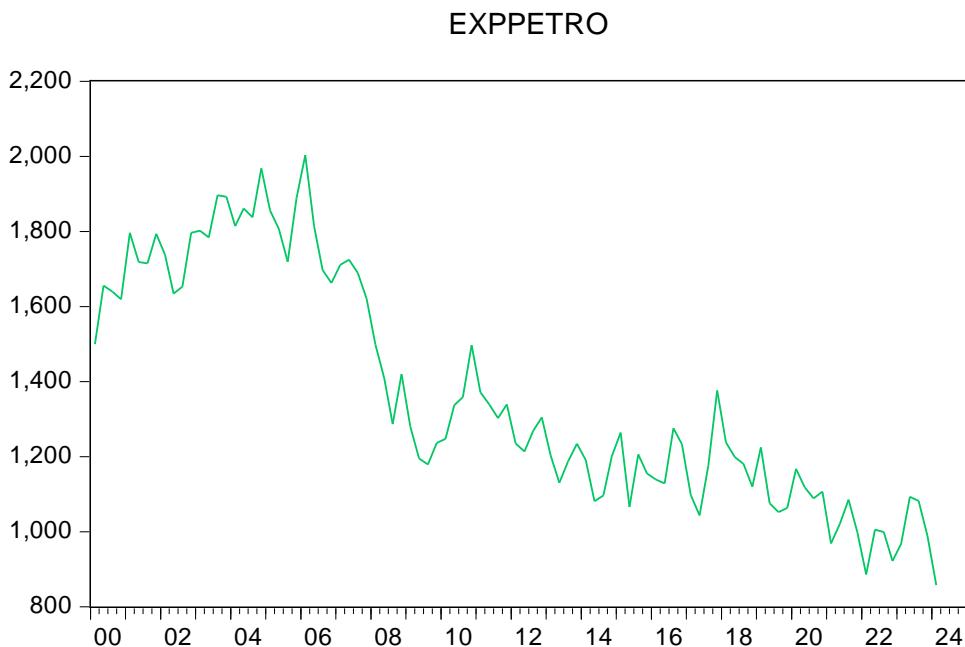
Variable dependiente - Expropiaciones petroleras

Las expropiaciones petroleras serán analizadas mediante variables independientes que pueden resultar como buenas predictoras de la misma, de esta forma buscará conocerse la relación existente entre las mismas.

La variable dependiente elegida son las expropiaciones petroleras, éstas se presentan a continuación en una serie temporal cuatrimestral que comienza en 2000 y termina en el primer trimestre de 2024, constando entonces de 93 observaciones. La serie se presenta a continuación en la Figura 1.

Figura 1

Evolución de las exportaciones petroleras en México. 2000 1T - 2023 1T. (Miles de barriles diarios).



Fuente: Elaboración propia con datos del portal de estadísticas de Petróleos Mexicanos.

En la Figura 1 puede encontrarse una pronunciada disminución de las ventas de petróleo que comienza a partir del año 2006, tiene leves períodos de recuperación en 2011 y después persiste en seguir disminuyendo oscilatoriamente hasta 2024.

Los resultados para los precios del petróleo contemplan un promedio de los tres tipos de barriles:

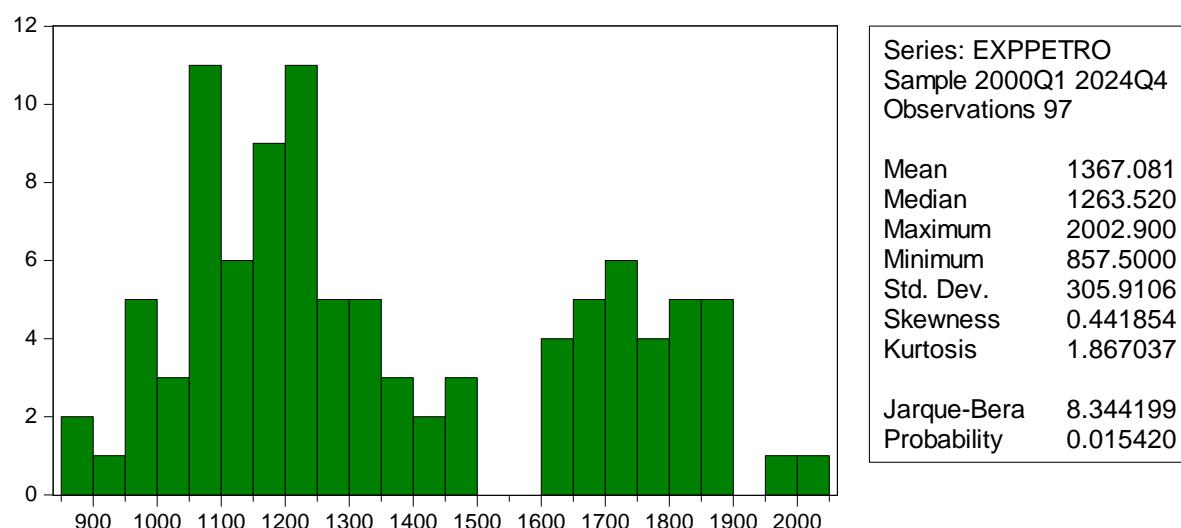
Istmo, Olmeca y Maya, los cuales se distinguen por su densidad.¹ En la figura anterior puede apreciarse como las ventas han oscilado desde 1500 barriles en el año 2000 hasta 857 en 2024, pasando por un máximo de 2000 barriles en el primer trimestre de 2006 hasta el mínimo de 857 del primer trimestre de 2024.

Entre las causas que intervienen en esta disminución de ventas puede encontrarse que, los precios del petróleo afectan directamente a los ingresos por exportaciones. En 2006 se alcanzó el máximo pico de producción en los parques petroleros, por lo que una vez llegado a este nivel la producción comenzó a descender, de 2 millones de barriles diarios se redujo un 25% hasta 1.5 millones de barriles. Esto afectó las ventas de petróleo para con los países compradores y requirió que México buscara formas alternativas de extracción, las cuales demandan mayor uso de tecnología.

A continuación en la Figura 2, se presentarán estadísticas descriptivas resumen para esta variable.

Figura 2

Estadística descriptiva para la serie Exportaciones petroleras.



Fuente: Elaboración propia con datos del portal de estadísticas de Petróleos Mexicanos.

Los resultados descriptivos arrojan un promedio de 1.367 millones de barriles diarios² con una mediana de 1.263. El valor máximo fue de 2.02 y el mínimo de 857 mil barriles.

¹ Para más información sobre los tipos de barriles puede consultar la siguiente nota <https://expansion.mx/empresas/2023/12/21/que-tipos-de-crudo-exporta-pemex>

² El dato se multiplicó por 1000

El dato más reciente implicaría que en la actualidad se produce un 42% del valor máximo alcanzado a finales de 2005 y comienzos de 2006.

Los ingresos petroleros representan una parte importante de la economía mexicana, éstos forman parte importante del Producto Interno Bruto (PIB) y para 2024 podrían llegar a cerca de 3.3% del mismo (CEFP, 2024). Es importante entonces considerar que, encontrar factores que puedan vincularse a estos ingresos mediante las ventas podría contribuir a mejorar las estimaciones realizadas y convertir los resultados en propuestas de política pública importantes para el país.

Variables independientes

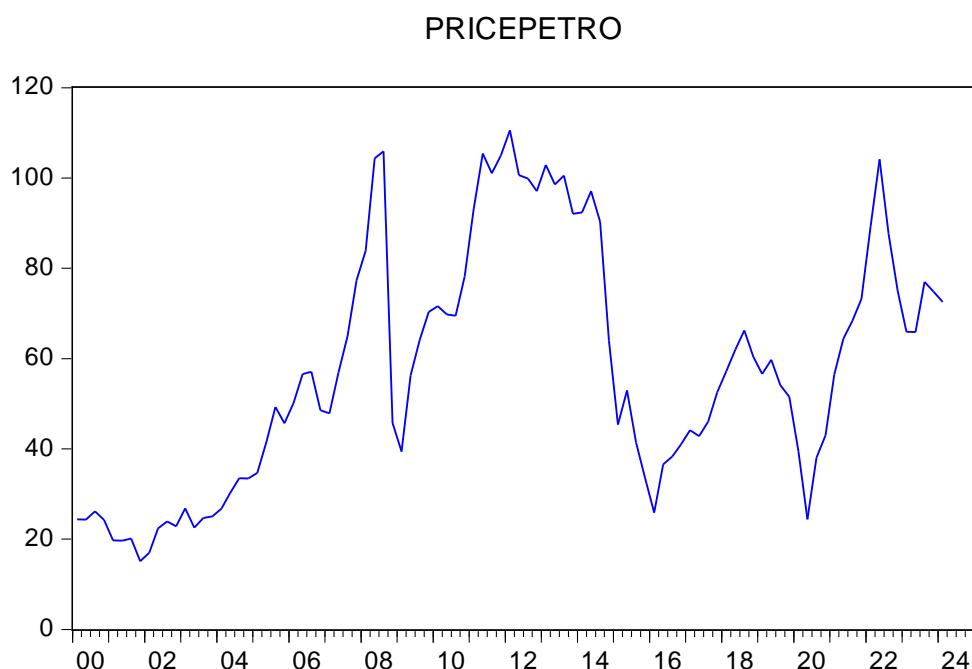
Precio del petróleo

Desde luego las exportaciones petroleras tienen relación con el precio de venta del petróleo, sin embargo esta relación no únicamente se vincula por oferta y demanda, sino también mantiene relación con los pactos para la venta del insumo a nivel internacional, por lo que la relación no se únicamente lineal.

Se analizará entonces en la Figura 3 el resultado gráfico para la serie del precio del petróleo mexicano.

Figura 3

Evolución del precio del petróleo en México. 2000 1T - 2023 1T. (Dólares por barril).



Fuente: Elaboración propia con datos del portal de estadísticas de Petróleos Mexicanos.

El precio del petróleo cambio de aproximadamente 20 dólares por barril hasta cerca de 70, esto analizando desde el año 2000 hasta el primer trimestre de 2024.

En la figura 3 se observa un aumento consistente desde 2001 hasta 2008 que le antecede a una fuerte caída en 2008 hasta precios de menos del 50% del comienzo del año. Mas adelante el precio se recupera hasta 2012 y vuelve a caer abruptamente en 2016 hasta niveles cercanos a 2004. Incrementa el precio para caer nuevamente en 2020 al mismo nivel de 2016. En un último movimiento sube hasta 2022 y tiene una caída leve en 2023 con señales de recuperación en 2024.

Esta amplia fluctuación tiene relación con diversos acontecimientos históricos en México. Primero podemos encontrar el declive ya mencionado de la producción en 2006 una vez alcanzado el pico de producción. En 2013 la reforma energética permitía que privados participaran en el sector, aumentando la producción y exportación.

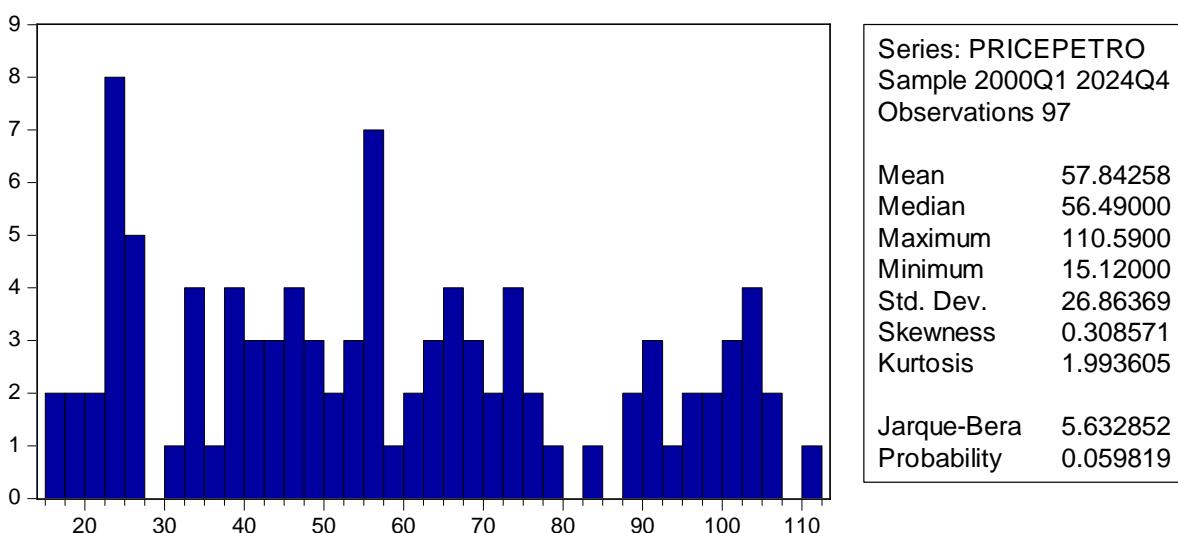
Las crisis económicas de 2008 y 2020 también contribuyeron a cambios en la demanda global, por lo tanto los precios se fueron ajustando.

Otro factor es el auge del *fracking* en estados unidos que ha afectado la oferta global en las últimas décadas.

A continuación, la Figura 4 muestra la estadística descriptiva para esta variable.

Figura 4

Estadística descriptiva para la serie precio del petróleo.



Fuente: Elaboración propia con datos del portal de estadísticas de Petróleos Mexicanos.

La mediana del precio del petróleo era de 56 dólares por barril y la media de 57. Se llegó a un máximo de 110 dólares por barril en el primer trimestre de 2012 y un mínimo de 15 en el cuarto trimestre de 2001.

La distribución de esta variable tiene algunos picos debido a que no ha sido muy constante en el tiempo, los valores han fluctuado bastante y el histograma representa estos cambios.

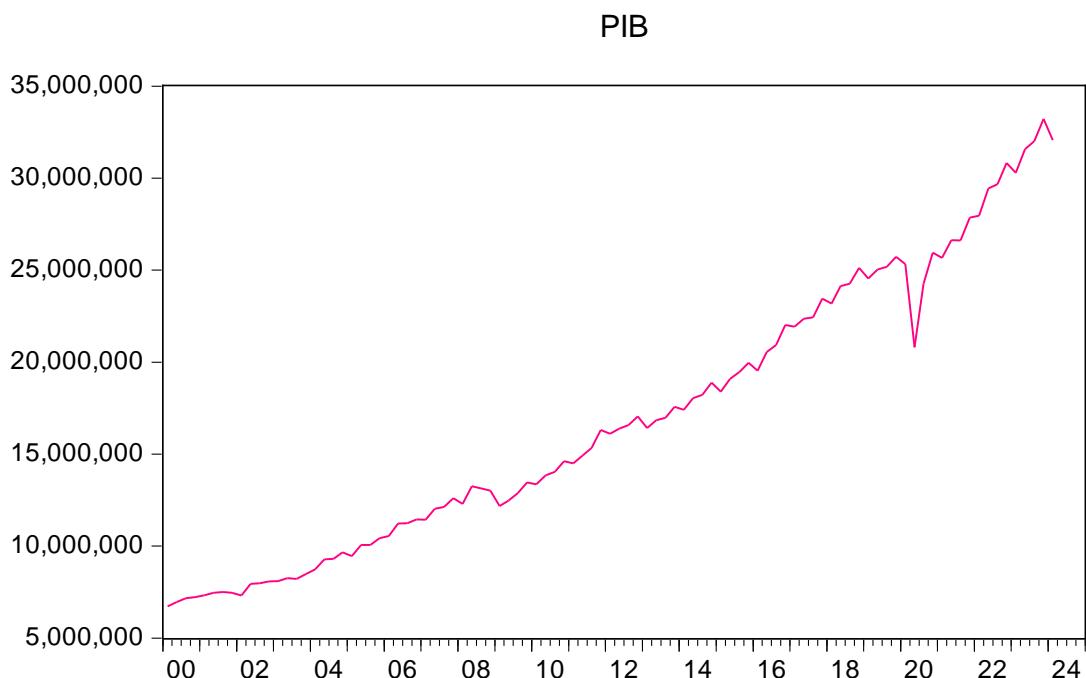
Producto Interno Bruto (PIB)

Otra variable con alta relación para las exportaciones petroleras es sin duda el PIB nacional. Las ventas forman parte de una pequeña pero significativa proporción del PIB, por lo que pensar a la inversa esta relación también podría ayudar a encontrar una relación que determine la magnitud del impacto de una variable sobre otra.

La Figura 5 mostrará la evolución trimestral del PIB en México a precios corrientes.

Figura 5

Evolución del PIB en México. 2000 1T - 2023 1T. (Millones de pesos a precios corrientes).



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de Información Económica de INEGI.

Puede observarse como el PIB mexicano ha estado en un constante crecimiento trimestral a precios corrientes, el cuál únicamente se vio afectado por el segundo trimestre de 2020 cuando la pandemia por covid-19 afectó al país.

Los datos han sido trabajados con el dato oficial del INEGI y no se han deflactado debido a que los valores para los precios del petróleo se mantienen de forma internacional, por lo que las afectaciones a la canasta básica y por ende la inflación no están afectando directamente la compra de petróleo ni las ventas del mismo.

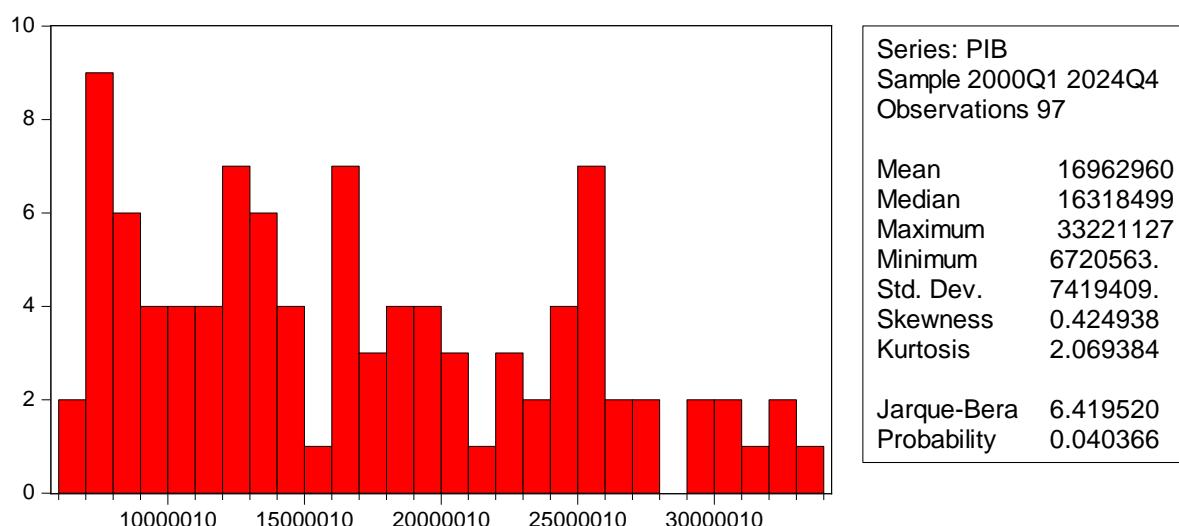
El PIB mexicano ha sido afectado por diversos factores, principalmente sus componentes: consumo, gasto, inversión y exportaciones.

Un apartado importante que merece la pena comentar es la creciente de las inversiones extranjeras directas en el país (IED), dato que incentiva al mercado de trabajo y por lo tanto dinamiza el consumo local e internacional. Esto tiene como resultado el crecimiento del producto interno bruto, el cual precisa incrementar también mediante recaudaciones fiscales y exportaciones, es en este punto donde se vuelve relevante el nivel de exportaciones petroleras.

A continuación en la Figura 6 se presentará la estadística descriptiva para el PIB mexicano.

Figura 6

Estadística descriptiva el PIB mexicano.



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de Información Económica de INEGI.

El PIB mexicano obtuvo resultados de una media de 16.96 billones de pesos con una mediana de 16.31 billones de pesos. El máximo histórico para el PIB fue de 33.22 billones en el cuarto trimestre de 2023 y el mínimo de 6.7 billones a comienzos del año 2000³.

Tipo de cambio

El tipo de cambio es un indicador que tiene mucha relación con la balanza comercial mexicana. Las exportaciones petroleras pueden aumentar los ingresos en pesos si la entrada de ingresos se produce en dólares, si el peso mexicano se mantiene fuerte los ingresos serán menores.

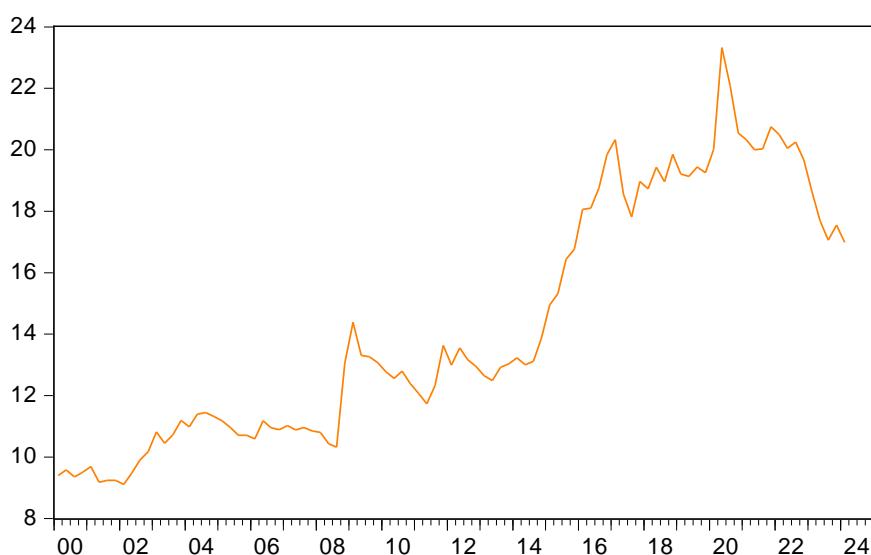
Un tipo de cambio favorable entonces podría aumentar los ingresos en moneda nacional, así mismo la influencia de las exportaciones en la balanza de pagos mejorará la cuenta corriente con precios altos y un tipo de cambio favorable, contribuyendo a la acumulación de reservas.

A continuación se presentará en la Figura 7 el resultado para el tipo de cambio en México en promedios trimestrales a precio promedio diario desde el año 2000 hasta el primer trimestre de 2024.

Figura 7

Evolución del Tipo de cambio peso/dólar en México. 2000 1T - 2023 1T. (promedio trimestral).

EXCHANGE



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México.

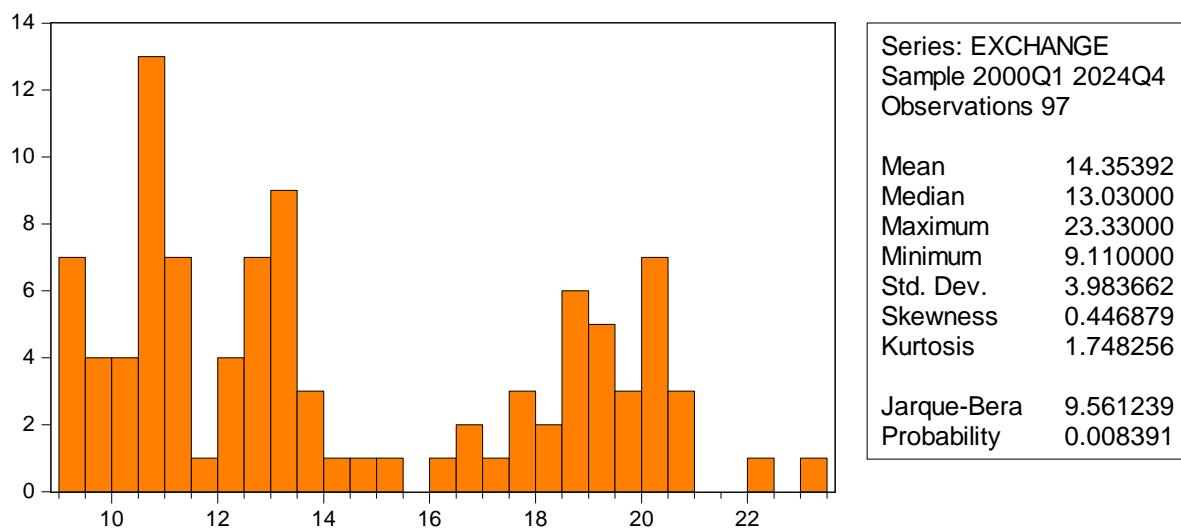
³ Al no considerarse la inflación, esta comparación se encuentra mayoritariamente bajo el efecto de los incrementos en el tiempo que sobre incrementos en términos reales que afecten a la población mexicana.

Puede apreciarse en la figura que la paridad peso/dólar ha ido en incremento constante, teniendo periodos de mayor depreciación del peso en 2008 y un constante en 2014. Desde 2020 el peso mexicano se ha fortalecido.

La Figura 8 mostrará la estadística descriptiva para el tipo de cambio peso/dólar americano.

Figura 8

Estadística descriptiva el Tipo de cambio mexicano peso mexicano /dólar americano.



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México.

La Figura 8 indica una media salarial de 14.35 pesos sobre dólar con una mediana de 13.03 pesos sobre dólar. El máximo fue de 23.33 alcanzado en 2020 y el mínimo es de 9.11 a comienzos del milenio.

Modelo 1 para las exportaciones petroleras

Análisis de Correlación

Una vez revisadas las variables, se analizará la correlación existente entre las mismas a manera de dar un vistazo a cómo podría comportarse el modelo explicativo que se realizará para modelar las exportaciones petroleras. Estos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Correlación entre las variables seleccionadas para el modelo.

VARIABLE/ VARIABLE	EXCHANGE	EXPPETRO	PIB	PRICEPETRO
EXCHANGE	100%	-79.11%	90.10%	13.88%
EXPPETRO	-79.11%	100%	-85.99%	-50.57%
PIB	90.10%	-85.99%	100%	38.61%
PRICEPETRO	13.88%	-50.57%	38.61%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Las correlaciones mas fuertes se han dado entre el PIB y el tipo de cambio con una relación positiva del 90%, seguido de una relación entre el PIB y las exportaciones petroleras con -85.99%. Esto indicaría una relación entre el PIB y el tipo de cambio en donde la afectación es positiva y alta, por lo que deberá prestarse atención mas adelante a la posibilidad de colinealidad entre las variables.

Otro resultado alto es el de las exportaciones petroleras con el tipo de cambio, relación negativa en 79.11%. A esta le sigue una relación negativa de 50.57% entre el precio del petróleo y las exportaciones, indicando que cuando baja el precio también lo hacen las importaciones y viceversa, relación un tanto evidente debido a las respuestas de la oferta del mercado petrolero.

Las relaciones mas bajas se dan entre el PIB y el precio del petróleo con un 38% positivo y entre el precio del petróleo y el tipo de cambio con un 13.88%. Este ultimo indicador haría referencia a que, el precio del petróleo incrementa cuando la paridad peso dólar también lo hace, lo cual podría revelar una estrategia de compensación de precios para nivelar la balanza comercial.

Modelo 1 Análisis de Regresión

A continuación en la Tabla 2 se muestran los resultados para el modelo de exportaciones petroleras a través de el tipo de cambio, precio del petróleo y el PIB.

Tabla 2

Modelo 1 para las exportaciones petroleras en México (2000 1T - 2024 1T)

Dependent Variable: EXPPETRO				
Method: Least Squares				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2292.464	81.78661	28.02981	0.0000
EXCHANGE	-33.09878	9.622823	-3.439612	0.0009
PIB	-1.45E-05	5.55E-06	-2.615297	0.0104
PRICEPETRO	-3.530480	0.670968	-5.261774	0.0000
R-squared	0.800283	Mean dependent var	1367.081	
Adjusted R-squared	0.793841	S.D. dependent var	305.9106	
S.E. of regression	138.8980	Akaike info criterion	12.74572	
Sum squared resid	1794217.	Schwarz criterion	12.85189	
Log likelihood	-614.1674	Hannan-Quinn criter.	12.78865	
F-statistic	124.2198	Durbin-Watson stat	0.441103	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia.

El anterior resultado indica un R cuadrado de 80% y un estadístico f con una probabilidad menor a 0.05, rechazando la hipótesis nula y mostrando que, en conjunto, las variables del modelo son significativas y con alto nivel de correlación.

Se comienza con una intercepción de 2292 miles de barriles diarios, para lo cual cada incremento de un punto en el tipo de cambio traería una disminución de -33.09 barriles de petróleo diarios, indicando que a medida que más incrementa la paridad peso-dólar, menor es la venta de barriles por la reducción en la competitividad de las exportaciones.

El producto interno disminuye en una medida muy pequeña y negativa, indicando entonces la relación negativa entre el incremento del PIB y las exportaciones petroleras, el resultado parece indicar que la economía incrementa más por el consumo interno que dirige las ventas hacia el interior que por la venta de petróleo al extranjero.

El precio del petróleo también mantiene un signo negativo en 3.53 unidades, por lo tanto el incremento en el precio disminuye el total de exportaciones, resultado que hace sentido con la teoría económica de oferta y demanda.

Los tres resultados anteriores son significativos al 95% de confianza según los resultados obtenidos en las pruebas de hipótesis de cada variable.

Multicolinealidad

Se realizará la prueba de multicolinealidad observando el resultado del factor de inflación de varianza (VIF).

Este resultado se presenta a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3

Prueba de multicolinealidad VIF para el Modelo 1

Variable	Coefficient	Uncentered	Centered
	Variance	VIF	VIF
C	6689.050	33.63134	NA
EXCHANGE	92.59873	103.2359	7.312219
PIB	3.08E-11	52.93847	8.427551
PRICEPETRO	0.450198	9.189822	1.616642

Fuente: Elaboración propia.

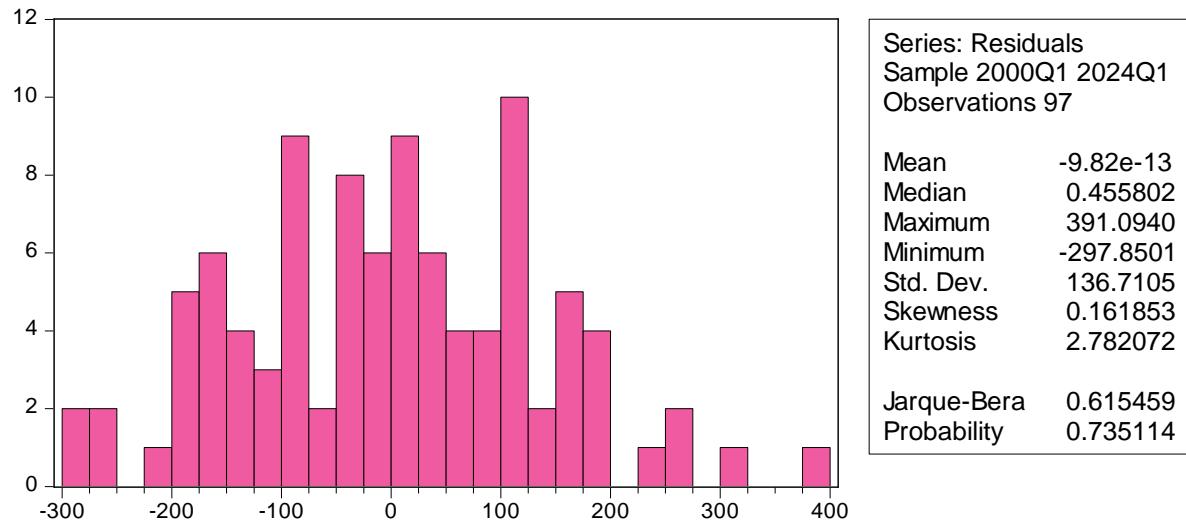
Los valores para la multicolinealidad no deben exceder el límite de 10 en el VIF centrado. En este caso, no hay evidencia de variables que estén afectando al modelo por efecto de colinealidad, al tener valores menores a 10 en los 3 casos.

Normalidad en los residuos

La siguiente prueba consiste en analizar la normalidad en los residuos del modelo, para esto se realizará la prueba Jarque-Bera sobre los mismos. El resultado se presentará a continuación en la Figura 9.

Figura 9

Histograma para los residuos del Modelo 1 y Test Jaque-Bera.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado muestra que, al ser mayor a 0.05 el valor p calculado para la prueba no se puede rechazar la hipótesis nula y por lo tanto existe normalidad en los residuos para el primer modelo.

Heterocedasticidad

Será realizada a continuación la prueba de heterocedasticidad Breusch-Pagan para saber el comportamiento de los residuos y si la varianza es constante en el modelo.

Tabla 4

Prueba de heterocedasticidad de White para el Modelo 1.

Heteroskedasticity Test: White				
F-statistic	3.501185	Prob. F(9,87)	0.0010	
Obs*R-squared	25.79122	Prob. Chi-Square(9)	0.0022	
Scaled explained SS	21.12465	Prob. Chi-Square(9)	0.0121	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 06/27/24 Time: 00:03				
Sample: 2000Q1 2024Q1				
Included observations: 97				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-157556.3	96503.38	-1.632651	0.1062
EXCHANGE^2	-847.0379	855.6083	-0.989983	0.3249
EXCHANGE*PIB	0.000367	0.000875	0.419372	0.6760
EXCHANGE*PRICEPETR...	-172.4655	177.4181	-0.972085	0.3337
EXCHANGE	31883.93	20718.26	1.538929	0.1275
PIB^2	-4.36E-11	2.41E-10	-0.180784	0.8570
PIB*PRICEPETRO	0.000129	0.000104	1.238975	0.2187
PIB	-0.014810	0.011609	-1.275778	0.2054
PRICEPETRO^2	-19.65859	6.476583	-3.035333	0.0032
PRICEPETRO	2801.128	1504.552	1.861769	0.0660
R-squared	0.265889	Mean dependent var	18497.08	
Adjusted R-squared	0.189946	S.D. dependent var	24820.81	
S.E. of regression	22339.47	Akaike info criterion	22.96348	
Sum squared resid	4.34E+10	Schwarz criterion	23.22891	
Log likelihood	-1103.729	Hannan-Quinn criter.	23.07081	
F-statistic	3.501185	Durbin-Watson stat	1.460159	
Prob(F-statistic)	0.000978			

Fuente: Elaboración propia.

El resultado indica que, con una probabilidad para el f-statistic menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se confirma la presencia de heterocedasticidad en el modelo. Esta se puede encontrar analizando las variables en sus términos cuadráticos en donde, el precio del petróleo al cuadrado indica una relación con la heterocedasticidad. Se sugiere hacer correcciones logarítmicas en las variables.

Autocorrelación

A continuación se analizará si el modelo cuenta o no con autocorrelación de sus errores, es decir si existe relación de la variable con su propio pasado y, estos términos deben añadirse al modelo.

El resultado se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Prueba de autocorrelación Breusch-Godfrey para el Modelo 1.

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:				
F-statistic	60.69274	Prob. F(2,91)	0.0000	
Obs*R-squared	55.43878	Prob. Chi-Square(2)	0.0000	
 Test Equation:				
Dependent Variable: RESID				
Method: Least Squares				
Date: 06/27/24 Time: 00:07				
Sample: 2000Q1 2024Q1				
Included observations: 97				
Presample missing value lagged residuals set to zero.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3.828687	54.21317	-0.070623	0.9439
EXCHANGE	2.456781	6.400517	0.383841	0.7020
PIB	-1.18E-06	3.68E-06	-0.320369	0.7494
PRICEPETRO	-0.218044	0.444591	-0.490437	0.6250
RESID(-1)	0.737158	0.106449	6.925011	0.0000
RESID(-2)	0.034375	0.107225	0.320585	0.7493
R-squared	0.571534	Mean dependent var	-9.82E-13	
Adjusted R-squared	0.547992	S.D. dependent var	136.7105	
S.E. of regression	91.91260	Akaike info criterion	11.93941	
Sum squared resid	768761.2	Schwarz criterion	12.09867	
Log likelihood	-573.0615	Hannan-Quinn criter.	12.00381	
F-statistic	24.27710	Durbin-Watson stat	1.870924	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la prueba muestra que, a un nivel de significancia del 95%, se rechaza la hipótesis nula en la prueba y se confirma la presencia de autocorrelación, por lo que resultará importante añadir rezagos y transformar a logaritmos el modelo.

Modelo 2 para exportaciones petroleras.

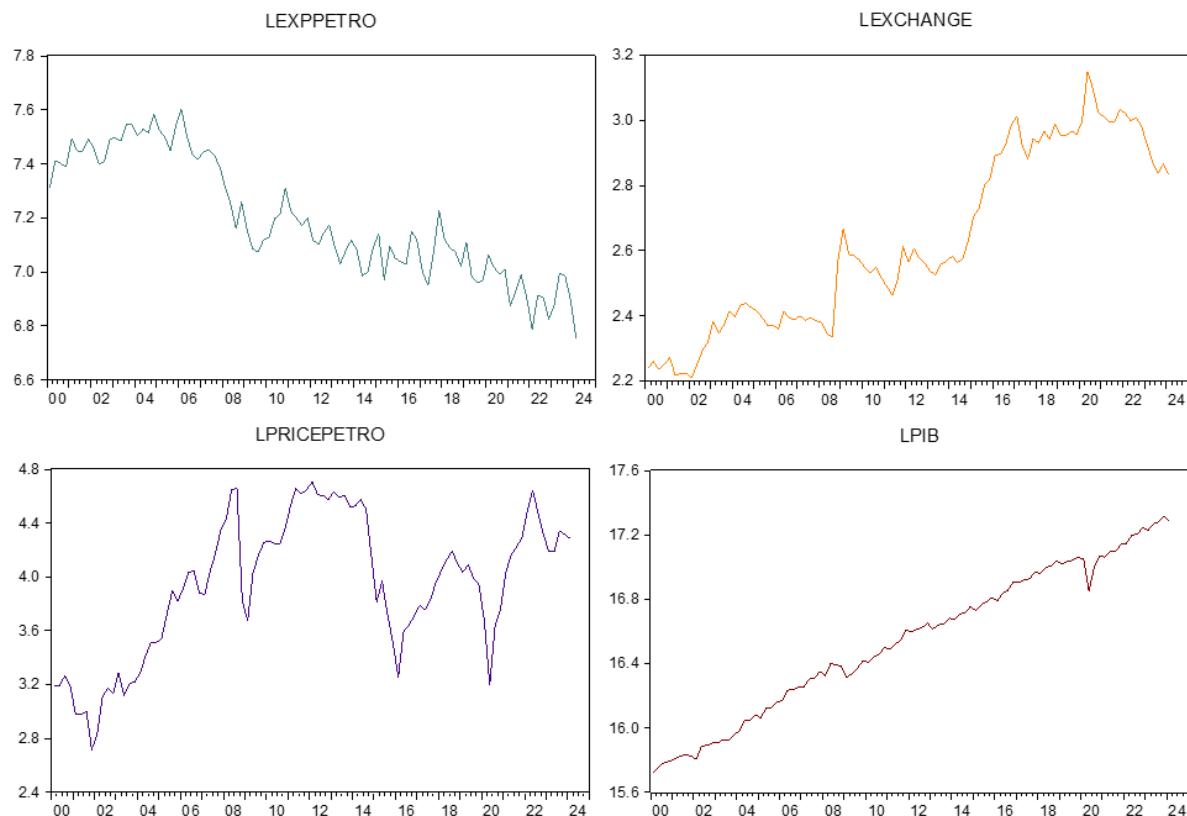
Nuevas variables

Se han realizado transformaciones logarítmicas en las variables, de esta forma la escala se reduce y la relación entre las mismas puede verse beneficiada.

A continuación la Figura 10 muestra la forma funcional de estas nuevas variables resaltadas con el efecto del logaritmo.

Figura 10

Variables seleccionadas para el modelo transformadas con logaritmos.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las trasformaciones, se hará un segundo modelo que explique las exportaciones petroleras através de las mismas variables, buscando una mejora en los resultados. Se añadirá también un rezago para la serie.

Modelo 2

Tabla 6

Modelo 2 para las exportaciones petroleras en México (2000 1T - 2024 1T)

Dependent Variable: LEXPETRO				
Method: Least Squares				
Date: 06/27/24 Time: 00:21				
Sample (adjusted): 2000Q2 2024Q1				
Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.777981	1.236062	3.056465	0.0029
LEXCHANGE	-0.051344	0.091701	-0.559911	0.5769
LPIB	-0.087352	0.069628	-1.254559	0.2129
LPRICEPETRO	-0.031902	0.022698	-1.405513	0.1633
LEXPETRO(-1)	0.711590	0.069869	10.18466	0.0000
R-squared	0.915365	Mean dependent var	7.195004	
Adjusted R-squared	0.911645	S.D. dependent var	0.220959	
S.E. of regression	0.065679	Akaike info criterion	-2.557393	
Sum squared resid	0.392551	Schwarz criterion	-2.423833	
Log likelihood	127.7548	Hannan-Quinn criter.	-2.503406	
F-statistic	246.0518	Durbin-Watson stat	1.960612	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para este segundo modelo indican un R2 mas alto que llega a 91% y que el modelo global es significativo dado el resultado de la prueba F, sin embargo las variables han dejado de ser significativas. Se procederá a quitar la variable menos significativa, en este caso el logaritmo del tipo de cambio. Se presentará un tercer modelo.

Modelo 3 para las exportaciones petroleras.

Se realizará un tercer modelo quitando el logaritmo del tipo de cambio, el cual se presentará en la Tabla 7.

Tabla 7

Modelo 3 para las exportaciones petroleras en México (2000 1T - 2024 1T)

Dependent Variable: LEXPETRO				
Method: Least Squares				
Date: 06/27/24 Time: 00:31				
Sample (adjusted): 2000Q2 2024Q1				
Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.156209	1.031278	4.030156	0.0001
LPIB	-0.121020	0.034974	-3.460267	0.0008
LPRICEPETRO	-0.022831	0.015837	-1.441590	0.1528
LEXPETRO(-1)	0.712740	0.069577	10.24384	0.0000
R-squared	0.915074	Mean dependent var	7.195004	
Adjusted R-squared	0.912304	S.D. dependent var	0.220959	
S.E. of regression	0.065434	Akaike info criterion	-2.574787	
Sum squared resid	0.393904	Schwarz criterion	-2.467939	
Log likelihood	127.5898	Hannan-Quinn criter.	-2.531597	
F-statistic	330.4302	Durbin-Watson stat	1.978339	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia.

El resultado continúa mostrando poca significancia con la variable precio del petróleo, por lo que será retirada también esta variable del modelo y presentada en un cuarto modelo.

Modelo 4 para las exportaciones petroleras.

Se realizó el cuarto modelo donde únicamente se tiene el logaritmo del pib y el rezago de las exportaciones petroleras.

Tabla 8

Modelo 4 para las exportaciones petroleras en México (2000 1T - 2024 1T)

Dependent Variable: LEXPETRO				
Method: Least Squares				
Date: 06/27/24 Time: 00:34				
Sample (adjusted): 2000Q2 2024Q1				
Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.348186	1.028554	4.227475	0.0001
LPIB	-0.136872	0.033392	-4.098891	0.0001
LEXPETRO(-1)	0.710020	0.069954	10.14983	0.0000
R-squared	0.913155	Mean dependent var	7.195004	
Adjusted R-squared	0.911288	S.D. dependent var	0.220959	
S.E. of regression	0.065812	Akaike info criterion	-2.573283	
Sum squared resid	0.402801	Schwarz criterion	-2.493147	
Log likelihood	126.5176	Hannan-Quinn criter.	-2.540890	
F-statistic	488.9378	Durbin-Watson stat	1.964878	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia.

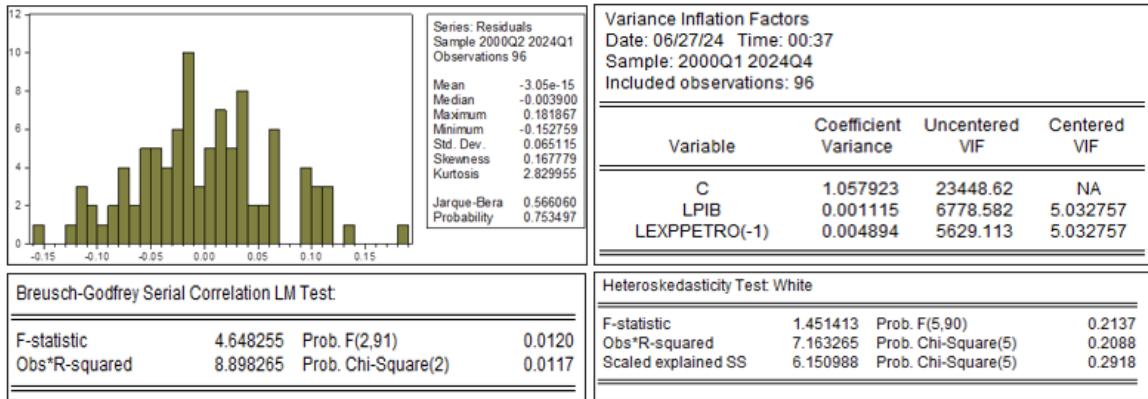
El resultado muestra una mejora en los coeficientes siendo significativa la prueba f, las pruebas t individuales y con un R cuadrado alto. Se mostrarán a continuación en la Figura 11 los resultados para las pruebas de hipótesis de este modelo.

Multicolinealidad, Normalidad de Residuos, Heterocedasticidad y Autocorrelación para el Modelo 4

Se analizarán en la Figura 11 los resultados para los supuestos de este cuarto modelo.

Figura 11

Análisis de supuestos econométricos para el Modelo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de normalidad, heterocedasticidad y multicolinealidad tienen resultados favorables, sin embargo el modelo incluye una D de Durbin de 1.96, valor que es cercano a 2 y validaría la inexistencia de autocorrelación pero la prueba Breusch-Godfrey indica que si existe autocorrelación, ante esta controversia la solución es usar un modelo que tenga errores robustos para autocorrelación.

Se presentará un modelo final.

Modelo generalizado para las exportaciones petroleras.

Se realizó un modelo final con mínimos cuadrados generalizados para el Modelo 4 de tal manera que la autocorrelación no sea un factor de peso para la obtención de coeficientes.

Figura 12

Modelo Generalizado para las exportaciones petroleras en México (2000 1T - 2024 1T)

Dependent Variable: LEXPETRO				
Method: Generalized Linear Model (Newton-Raphson / Marquardt steps)				
Date: 06/27/24 Time: 01:00				
Sample (adjusted): 2000Q2 2024Q1				
Included observations: 96 after adjustments				
Family: Normal				
Link: Identity				
Dispersion computed using Pearson Chi-Square				
Convergence achieved after 0 iterations				
Coefficient covariance computed using observed Hessian				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	4.348186	1.028554	4.227475	0.0000
LPIB	-0.136872	0.033392	-4.098891	0.0000
LEXPETRO(-1)	0.710020	0.069954	10.14983	0.0000
Mean dependent var	7.195004	S.D. dependent var	0.220959	
Sum squared resid	0.402801	Log likelihood	126.4936	
Akaike info criterion	-2.572784	Schwarz criterion	-2.492648	
Hannan-Quinn criter.	-2.540392	Deviance	0.402801	
Deviance statistic	0.004331	Restr. deviance	4.638175	
LR statistic	977.8756	Prob(LR statistic)	0.000000	
Pearson SSR	0.402801	Pearson statistic	0.004331	
Dispersion	0.004331			

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculado el modelo con mínimos cuadrados con errores estándar generalizados, se tiene una ecuación definitiva.

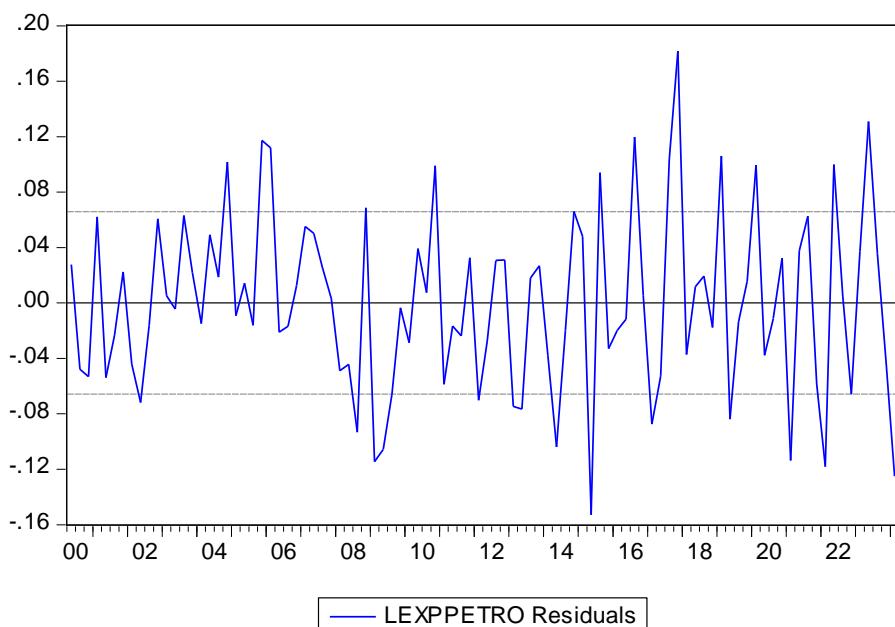
$$\text{Log(Exportaciones petroleras)} = 4.34 - 0.13 \text{ Log(PIB)} + 0.71 \text{ Log(Rezago de Exportaciones petroleras)}$$

Análisis de estabilidad – Prueba de Chow

A continuación se analizará la estabilidad del modelo mediante una prueba de Chow, este será realizado con el modelo sin métodos generalizados, es decir el Modelo 4, así se permitirá comparar las regresiones en dos períodos de tiempo distintos. Se presenta a continuación el gráfico para los residuos del Modelo 4 en la Figura 13.

Figura 13

Gráfico residual del Modelo 4.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado para el punto más bajo se encuentra en el segundo trimestre de 2015 y el punto más alto en el cuarto trimestre de 2017. Éste último dato coincide también con el último aumento prolongado que tuvo la serie en su nivel original. En cuanto a la serie original, su pico máximo fue en el primer trimestre de 2006 cuando el pozo de Cantarell alcanzó su pico máximo y fue disminuyendo⁴, por lo que este sería el cambio estructural más grande para la economía petrolera mexicana.

⁴ <https://www.crisisenergetica.org/article.php?story=20070130170642508>

Tabla 9

Test Chow para el cambio estructural en 2006Q1 para el Modelo 4

Chow Breakpoint Test: 2006Q1			
Null Hypothesis: No breaks at specified breakpoints			
Varying regressors: All equation variables			
Equation Sample: 2000Q2 2024Q1			
F-statistic	2.026187	Prob. F(3,90)	0.1158
Log likelihood ratio	6.274226	Prob. Chi-Square(3)	0.0990
Wald Statistic	6.078561	Prob. Chi-Square(3)	0.1079

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el primer cuatrimestre de 2006, el resultado para la prueba de Chow es de 0.10, lo cual no permite rechazar la hipótesis nula e indicando que en este periodo no hay un cambio estructural, por lo tanto no es necesario realizar correcciones usando este periodo como referencia.

Se procederá a realizar la prueba utilizando como referencia el pico mostrado por el gráfico de residuales de la Figura 13, es decir el segundo trimestre de 2015. Este resultado se mostrará en la Tabla 10.

Tabla 10

Test Chow para el cambio estructural en 2015Q1 para el Modelo 4

Chow Breakpoint Test: 2015Q1			
Null Hypothesis: No breaks at specified breakpoints			
Varying regressors: All equation variables			
Equation Sample: 2000Q2 2024Q1			
F-statistic	2.918423	Prob. F(3,90)	0.0384
Log likelihood ratio	8.912168	Prob. Chi-Square(3)	0.0305
Wald Statistic	8.755269	Prob. Chi-Square(3)	0.0327

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del test de Chow para esta fecha indica que sí hay un quiebre estructural, tal como se analizó en el gráfico de residuales, por lo tanto las regresiones individuales a realizar entre los dos periodos presentarán coeficientes diferentes debido a las distintas tendencias.

Esto se arreglará añadiendo la medición del efecto de cambio con variables dummy, las cuales se crearán a partir del periodo propuesto indicando con un 1 cuando se tiene presencia de este cambio y 0 cuando no.

El modelo final se presentará en la Tabla 11

Tabla 11

Modelo 4 con incorporación de variable dummy

Dependent Variable: LEXPETRO				
Method: Least Squares				
Date: 06/27/24 Time: 10:12				
Sample (adjusted): 2000Q2 2024Q1				
Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.754370	1.117261	4.255379	0.0001
LPIB	-0.159528	0.041283	-3.864249	0.0002
LEXPETRO(-1)	0.704476	0.070252	10.02778	0.0000
DUMMY	0.022838	0.024438	0.934541	0.3525
R-squared	0.913972	Mean dependent var	7.195004	
Adjusted R-squared	0.911167	S.D. dependent var	0.220959	
S.E. of regression	0.065857	Akaike info criterion	-2.561898	
Sum squared resid	0.399014	Schwarz criterion	-2.455050	
Log likelihood	126.9711	Hannan-Quinn criter.	-2.518708	
F-statistic	325.8058	Durbin-Watson stat	1.985148	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: Elaboración propia.

El modelo final ha tenido el siguiente resultado:

$$\text{Log(Exportaciones petroleras)} = 4.75 - 0.15 \text{ Log(PIB)} + 0.70 \text{ Log(Rezago de Exportaciones petroleras)} + 0.02 \text{ (Dummy 2015 Q1)}$$

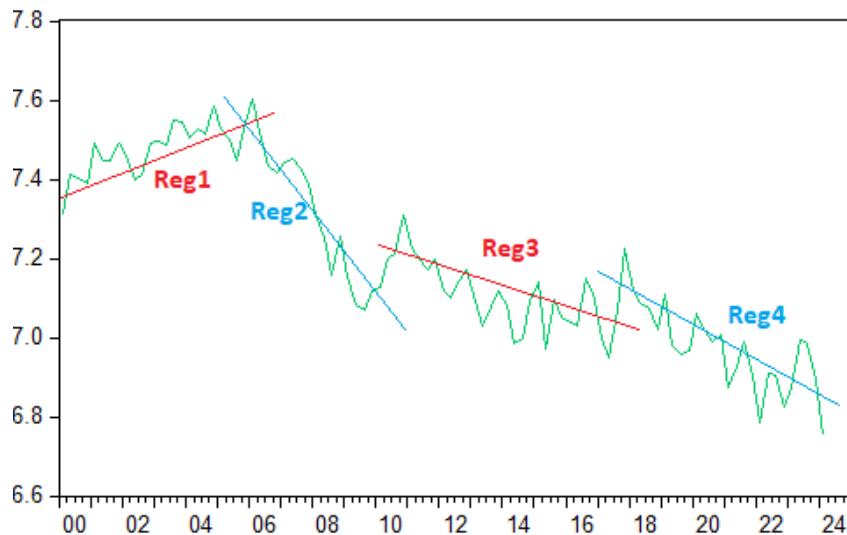
El R cuadrado ha sido de 91.39% y la probabilidad conjunta de la prueba F ha sido significativa.

Las probabilidades individuales medidas con el p-valor de la prueba t indican que las variables son significativas a excepción de la dummy.

Esto tiene explicación en que, de manera visual, puede notarse que hay más de una tendencia en los últimos 23 años del logaritmo de las exportaciones.

Figura 14

Posibles regresiones derivadas de los cambios estructurales en el logaritmo de las Exportaciones petroleras.



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se ha encontrado que la incorporación de la variable dummy no sería suficiente para mejorar la estabilidad del modelo, sería necesario incorporar mas variables o analizar las submuestras de forma independiente, lo cual precisaría de explicaciones diferenciadas según el tipo de periodo a analizar, por lo que el cambio en las exportaciones podría diferenciarse en etapas.

Una primera etapa hasta 2006 de expansión;

La segunda etapa tiene una caída pronunciada debido al debilitamiento de la producción;

La tercera etapa es una disminución sostenida relacionada a los cambios en los precios internacionales del petróleo e incremento del fracking en los Estados Unidos y;

La cuarta etapa mantiene relación con una baja de la dependencia internacional del petróleo y la promoción de nuevas energías.

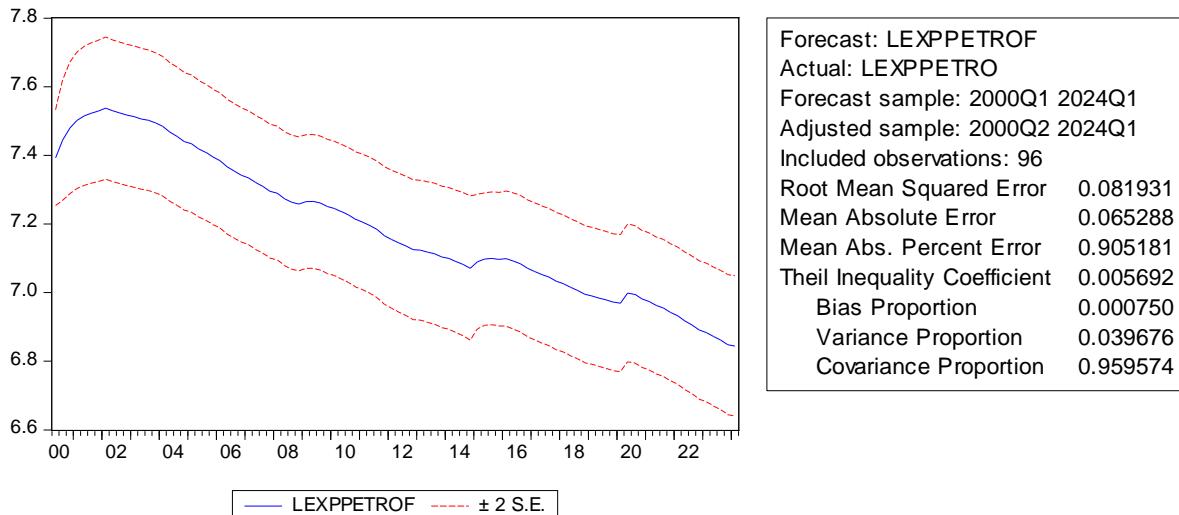
México estaría entonces incrementando su producción petrolera pero, derivado del signo negativo encontrado en el coeficiente del logaritmo del PIB, podría concluirse parcialmente que el consumo interno estaría precisando de mas uso de reservas petroleras, por lo que el crecimiento de México será el principal factor para continuar produciendo petróleo, hecho que coincide con las políticas del actual sexenio que se caracterizan por la búsqueda de dinamizar la economía mexicana impulsando el consumo interno y el mercado de trabajo local.

Pronostico para 4 periodos con el Modelo 4

Se realizará un pronostico con el modelo de regresión tal como se obtuvo en el Modelo 4. Este se presentará a continuación en la Figura 15.

Figura 15

Pronostico para los próximos periodos del Logaritmo de las exportaciones



Fuente: Elaboración propia.

Este pronostico muestra una tendencia a la baja con 2 desviaciones estándar por encima y debajo. Tiene un error cuadrático medio de 8%.

Se hará entonces un segundo pronostico únicamente con la serie temporal *logaritmo de las exportaciones petroleras* de tal forma que se modele la serie através de sus componentes autorregresivos, por lo cual se haré un pronóstico ARMA automático. La Tabla 12 representará este resultado.

Tabla 12

Resultado del Pronostico ARMA automático para la serie Diferencia de Logaritmo de las Exportaciones petroleras.

Automatic ARIMA Forecasting
Selected dependent variable: DLOG(LEXPETRO)
Date: 06/27/24 Time: 10:49
Sample: 2000Q1 2023Q4
Included observations: 95
Forecast length: 4

Number of estimated ARMA models: 25
Number of non-converged estimations: 0
Selected ARMA model: (4,2)(0,0)
AIC value: -6.46171299282

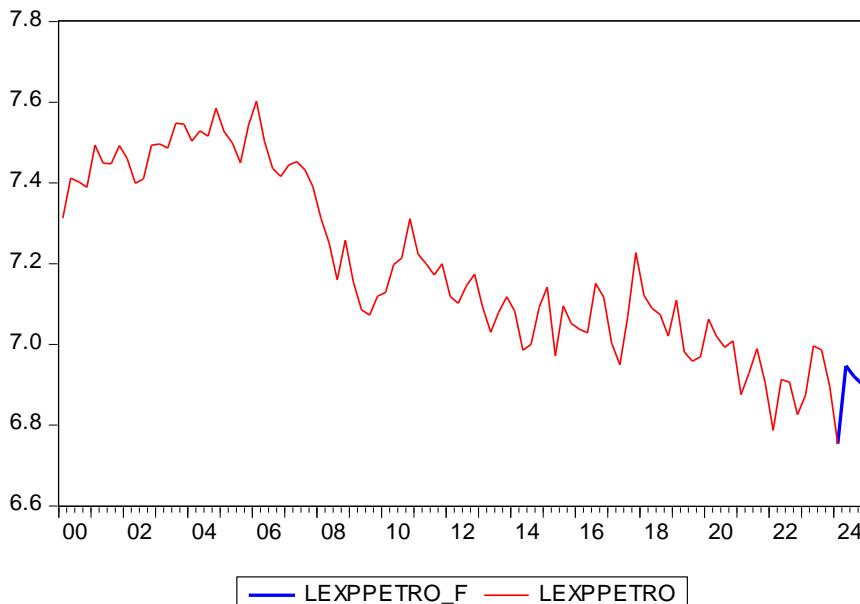
Fuente: Elaboración propia.

El pronostico indica que la mejor forma funcional es un modelo ARIMA (4,1,0) es decir usar 4 componentes autorregresivos (4 periodos pasados) una diferenciación y ninguna media móvil.

Una vez realizado esto, se realiza el pronostico para el modelo con los siguientes 4 trimestres, es decir se pronosticarán las exportaciones en 2024. Este resultado se presentará en la Figura 16.

Figura 16

Pronostico ARMA para el Logaritmo de las Exportaciones petroleras en México para el año 2024



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el resultado anterior, puede aplicarse un exponencial para devolver el logaritmo a su valor original y así conocer el resultado pronosticado para las exportaciones de 2024 en México. Este resultado se presentará en la Tabla 13.

Tabla 13

Pronóstico para 2024 de las exportaciones petroleras en México

2024 Q1	857.5
2024 Q2	1039.66879
2024 Q3	1013.13173
2024 Q4	993.747071

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para los pronósticos no difieren mucho de los valores en que se encuentran las exportaciones oscilando, por lo que podrían considerarse como confiables en un margen para identificar las tendencias futuras de las exportaciones petroleras y del sector energético.

Si bien las exportaciones dependen de una serie de factores mas allá de los analizados en este modelo, contar con pronósticos a futuro ayudará a tomar mejores decisiones de política publica y a mantener a los indicadores económicos como el consumo y la producción en márgenes adecuados que permitan estabilidad económica en el largo plazo en México y sus entidades.

Conclusión

El análisis de los modelos de regresión para las exportaciones petroleras en México ha revelado varias relaciones significativas y ha resaltado la importancia de corregir problemas econométricos para obtener resultados fiables. Inicialmente, se identificó que variables como el precio del petróleo, el PIB y el tipo de cambio tienen un impacto significativo en las exportaciones petroleras. Sin embargo, la presencia de heterocedasticidad y autocorrelación en los residuos del modelo inicial requirió ajustes adicionales.

Al emplear un modelo de regresión robusta, se logró mitigar la heterocedasticidad, mejorando la precisión de los coeficientes estimados. Posteriormente, la implementación de un modelo de mínimos cuadrados generalizados (GLS) permitió abordar la autocorrelación en los residuos, resultando en un modelo final más robusto y fiable.

El modelo final, que incluye el logaritmo del PIB y el rezago de las exportaciones petroleras, mostró que un aumento del PIB tiene una relación inversa con las exportaciones petroleras, mientras que el rezago de las exportaciones tiene un efecto positivo significativo. Estos hallazgos sugieren que las políticas económicas que fomenten el consumo interno y la diversificación de la economía podrían reducir la dependencia de las exportaciones petroleras.

En conclusión, este estudio no solo proporciona una comprensión más profunda de los factores que afectan las exportaciones petroleras en México, sino que también destaca la importancia de utilizar técnicas econométricas avanzadas para obtener resultados precisos y aplicables en la formulación de políticas públicas.

Referencias

Petróleos Mexicanos (PEMEX). *Indicadores Petroleros*. Recuperado el [26/06/2024], de <https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/IndicadoresPetroleros.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Indicadores*. Recuperado el [26/06/2024], de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/>

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2024). *Indicadores Económicos y Sociales*. Recuperado de <https://www.cefep.gob.mx/indicadores/gaceta/2024/iescefp0132024.pdf>