

Pronóstico de Producción de Petróleo y Gas en la Argentina

Mazzola Facundo, Caracoix Juan, Casas Facundo,
Adell Matías Fabián, Balda Javier Tomás

December 30, 2023

Abstract

En el presente informe se muestra el análisis del conjunto de datos de la producción del petróleo en la Argentina y su relación con la producción de gas. Para ello, se introducirá el contexto y la explicación de la elección de los autores con respecto al tópico, posteriormente, se analizarán las series de tiempo junto con sus factores estacionales, variación aleatoria, y por último, pronosticará hasta diciembre de 2024 la variable elegida en función de la secundaria.

1 Introducción

La producción de petróleo y gas natural es una actividad económica de gran importancia para Argentina, ya que representa una fuente de ingresos, empleo, divisas y energía. Sin embargo, la producción de petróleo en el país ha atravesado diferentes etapas de auge y declive en respuesta a cambios en la demanda interna y externa, las políticas energéticas, las condiciones geológicas y las crisis económicas y sociales. Comprender cómo estas dos fuentes de energía se influyen mutuamente y cómo los cambios en la producción de gas pueden afectar al sector del petróleo es esencial, ya que permitirá planificar presupuestos y estrategias; tomar decisiones acerca de inversiones en exploración, producción, expansión de operaciones y gestión; y determinar si hay que diversificar en otras fuentes de energía en caso de que esta predicción anuncia un mal augurio. En este informe, se analiza la evolución histórica de la producción de petróleo y gas natural en Argentina, se identifican los principales factores que han influido en su com-

portamiento, se evalúa el impacto de la producción de gas sobre la de petróleo y se proyecta el escenario futuro para ambos recursos. Para ello se analizará la tendencia, la estacionalidad y la variación aleatoria y examinación de la relación entre la producción de gas y la de petróleo, con el objetivo de realizar predicciones hasta diciembre de 2024.

2 Objetivos

Se evaluará cómo los cambios en la producción de gas pueden afectar la producción de petróleo. Además, se hará un pronóstico a mediano plazo de las producciones en 2024, utilizando herramientas de análisis de series de tiempo (como la estacionalidad, comportamiento aleatorio y tendencia).

3 Metodología

3.1 Los datos

El conjunto de datos fue extraído de la página de Internet "Datos.gob.ar" que provee la Secretaría de Energía de la Nación. De ahí, fueron obtenidos varios datasets correspondientes a diferentes décadas de tiempo y los concatenamos.

- Variable elegida: Producción de Petróleo (unidad de medida en metros cúbicos, M^3).
- Segunda variable relacionada: Producción de Gas Natural (unidad de medida en miles de metros cúbico, KM^3). Los metros cúbicos expresan

las concentraciones del producto químico en un volumen de aire.

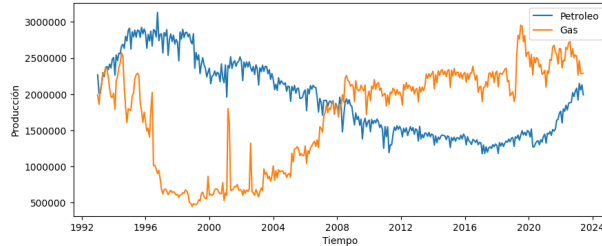


Figure 1: Serie de Tiempo Producción de Petróleo(M^3) y Gas Natural (KM^3)(1993-2023).

3.2 Análisis predictivo

Se realizaron series de tiempo de la producción de petróleo y de gas en la Argentina para evaluar sus comportamientos, patrones y tendencias a lo largo del período 1990-2023. Se aplicaron métodos de análisis descriptivo, gráfico y estadístico para identificar las características de las series, como la tendencia, la estacionalidad y el ruido. Luego, se compararon las series de tiempo para así identificar relaciones.

3.2.1 Tendencia

El cambio gradual de la serie de tiempo se conoce como tendencia, sin considerar las variaciones de corto plazo o aleatorias. La tendencia refleja el efecto de factores estructurales, económicos, sociales, tecnológicos, etc., que influyen en la producción de petróleo y de gas. El análisis de la tendencia permite identificar la dirección y la magnitud del cambio, así como predecir el comportamiento futuro de la serie.

Para estimar la tendencia de una serie de tiempo, se utiliza el método del ajuste de los puntos a una ecuación, que consiste en encontrar una función matemática que se adapte lo mejor posible a los valores observados de la serie. El objetivo de este método es minimizar la suma de los cuadrados de los errores, es decir, las diferencias entre los valores

observados y los valores estimados por la función. La ecuación que se uso para ajustar los puntos del petróleo es de tipo:

$$T(t) = m_1t + m_2t^2 + m_3t^3 + b \quad (1)$$

y para el gas:

$$T(t) = m_1t + m_2t^2 + m_3t^3 + m_4t^4 + b \quad (2)$$

Donde:

- m_1, m_2, m_3, m_4 son los coeficientes de cada regresión (tienen valor distinto en cada regresión).
- b es la intersección de la ecuación con el eje y .
- t es el índice de tiempo.

Una de las dificultades que presenta el análisis de series de tiempo es la presencia de fluctuaciones o ruido que pueden ocultar la tendencia. Para que se observe una tendencia de forma más sencilla, se utilizan técnicas de suavizado o filtrado que permiten eliminar o reducir las variaciones de corto plazo y resaltar las de largo plazo. La técnica que se utilizó es el promedio móvil centrado, que consiste en calcular el promedio de los valores de la serie en un intervalo determinado y ubicarlo en el centro del intervalo, la cual está dada por la siguiente fórmula:

$$PMC_i = \frac{1}{12} \left[\frac{1}{2}Y_{(i-12)} + \sum_{k=i-11}^{i-1} Y_k + \frac{1}{2}Y_i \right] \quad (3)$$

Donde:

- y_i es el valor de la serie de tiempo en el periodo i .
- PMC_i es el valor del promedio móvil centrado en el periodo i .

3.2.2 Estacionalidad

La estacionalidad es una característica de una serie de tiempo que se refiere a la variación periódica y predecible que se observa en los datos a lo largo de un ciclo. La estacionalidad puede influir en el análisis de la tendencia, el ciclo y la irregularidad de la serie, por lo que es conveniente identificarla y ajustarla para obtener una serie desestacionalizada. Para estimar el componente estacional se utiliza el ajuste de nube de puntos. Este método consiste en agrupar los datos de la serie según el período estacional al que pertenecen, por ejemplo, los meses del año, y calcular el promedio de cada grupo. Estos promedios se denominan índices estacionales y representan el efecto relativo de cada período sobre el nivel medio de la serie. Luego, se grafican los índices estacionales en función del tiempo y se ajusta una curva suave que pase por el centro de la nube de puntos. Esta curva se llama factor estacional y se utiliza para ajustar la serie original, dividiendo o multiplicando cada dato por el factor correspondiente a su período.

La fórmula para calcular el factor estacional para cada mes es la siguiente:

$$F_j = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^L Q_i}{\sum_{j=1}^{12} \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^L Q_i} \forall i \mid M_i = j \quad (4)$$

Donde:

- Q es la cantidad para cada mes.
- i es el índice de tiempo dentro del dataset.
- L es el largo del dataset.
- n es la cantidad de años de la serie de tiempo.
- j es el número de mes.
- M es el valor del mes que aparece en el dataset.

En terminos simples, la formula calcula el promedio del mes j , dividido el promedio de todos los meses; Si j es enero, es el cálculo del promedio de todos los eneros dividido el promedio de todos los meses.

El factor estacional indica el porcentaje en que el valor observado se desvía del promedio. Un factor mayor que 1 significa que el mes tiene una demanda superior a la media, mientras que un factor menor que 1 significa que el mes tiene una demanda inferior a la media.

3.2.3 Función de Pronóstico

Para realizar el pronóstico para 2024, al asumir que la estacionalidad es multiplicativa al nivel de la serie, es decir, que la amplitud de la variación estacional se incrementa junto con los valores de los datos; el modelo implementado para el siguiente pronóstico está dada por la siguiente fórmula:

$$\hat{Y}_t = F_e(t) * T(t) \quad (5)$$

Donde:

- \hat{Y}_t es el valor ajustado de la serie de tiempo en el período t .
- $F_e(t)$ es el componente estacional agregado en el período t .
- $T(t)$ es el valor de la tendencia de la serie de tiempo en el período t .

3.2.4 Variación Aleatoria

El componente irregular de las series de tiempo es varianza residual que incluye las desviaciones de los valores de serie de tiempo reales de aquellos esperados según los efectos del componente cíclico, de tendencia y estacional. Las estimaciones basadas en muestras están sujetas a un cierto grado de error o incertidumbre, debido a que las muestras no son representativas de toda la población. Debido a ello, para medir la

precisión de las estimaciones se utiliza el concepto de error estándar de una estimación, que indica la desviación típica de los valores estimados respecto a los valores reales. El error estándar de una estimación se puede utilizar para construir intervalos de confianza para el valor real de la variable, así como para realizar pruebas de hipótesis sobre los parámetros del modelo. El error estándar de una estimación está dada por la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}} \quad (6)$$

Donde:

- y_t es el valor observado de la variable en el período t .
- \hat{y}_t es el valor estimado de la variable en el período t (o sea, $F_e(t) \cdot T(t)$).
- n es el número total de observaciones.

4 Producción Petróleo

4.1 Análisis Serie de Tiempo

En la Figura 2 se puede observar la evolución de la producción de petróleo en la Argentina desde el año 1980 hasta el 2023. La producción de petróleo se mide en metros cúbicos. En 1990, Argentina experimentó un aumento en la producción de petróleo debido a la segunda gran ola petrolera, un período caracterizado por el gran incremento en la producción de petróleo a nivel mundial, impulsado por la apertura de nuevos yacimientos, el desarrollo de nuevas tecnologías y la liberalización de los mercados. En los 2000, la producción de petróleo en Argentina experimentó una notable caída. Esta disminución puede atribuirse a la falta de inversión en este sector, debido a la inestabilidad política, la regulación de precios, los conflictos laborales y la baja rentabilidad. En el año 2020, la pandemia de COVID-19 provocó una caída en la producción de petróleo en Argentina

debido a la disminución de la demanda y los precios internacionales, así como a las restricciones sanitarias y operativas. Actualmente, la producción de petróleo en Argentina muestra señales de recuperación. Esta recuperación está relacionada con la crisis global de hidrocarburos, que ha aumentado la demanda y los precios del petróleo, así como con el desarrollo de los recursos no convencionales de la formación Vaca Muerta, que representan el 25% de la producción nacional.

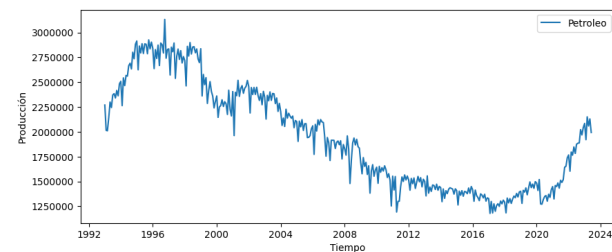


Figure 2: Serie de Tiempo Producción de Petróleo en M^3 (1993-2023).

4.2 Tendencia

El primer paso para estimar la tendencia, fue utilizar el método de la media móvil. Se utilizó una media móvil de 12 períodos para estimar la tendencia de la serie desde 1992 hasta 2024. La media móvil suavizó los datos y eliminó el ruido, permitiendo identificar más fácilmente los patrones y las variaciones de la serie.

El análisis de la tendencia es útil para comprender los fenómenos históricos, detectar los factores que influyen en las fluctuaciones de la variable y proyectar su comportamiento futuro.

La Figura 3 muestra la evolución de los datos históricos y actuales suavizados por el promedio móvil (línea azul) y la tendencia proyectada (línea naranja). A partir del año 2016, se observa un cambio en la tendencia con una recuperación gradual y un aumento proyectado en la producción hacia el año 2024. Este cambio indica que hubo factores posi-

tivos que favorecieron el incremento de la producción, como nuevas políticas o inversiones que impulsaron el desarrollo del sector.

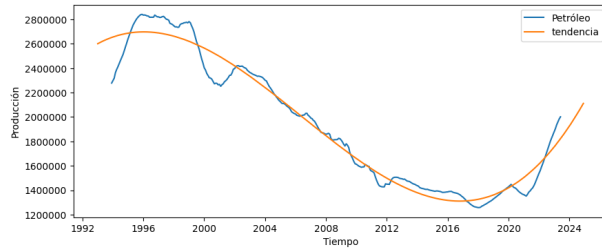


Figure 3: Serie de Tiempo Producción de Petróleo y la tendencia en $M^3(1993-2024)$.

4.3 Estacionalidad

En el siguiente paso, se calcularon los factores estacionales, utilizando un modelo aditivo. En la Tabla 4.3 se observa los valores de los factores estacionales calculados para cada mes, para estos cálculos se utilizó la fórmula 4. Estos valores indican el porcentaje en que la producción de petróleo se desvía del promedio anual. Por ejemplo, un f_e de 1.064742 para enero significa que la producción de petróleo en ese mes es un 6.4742% mayor que el promedio anual.

Los resultados obtenidos muestran que la producción de petróleo en la Argentina tiene una estacionalidad marcada, con picos en los meses de enero, marzo y octubre, y bajas en los meses de febrero, abril y junio. Esto puede deberse a diversos factores, como las condiciones climáticas, la demanda interna y externa, etc.

4.4 Variación Aleatoria

Para medir la precisión de las estimaciones se utilizó el concepto de error estándar de una estimación, dada por la fórmula 6, el cual indica la desviación típica de los valores estimados respecto a los valores reales.

Meses	Factor Estacional
Enero	1.064742
Febrero	0.834380
Marzo	1.060333
Abril	0.950228
Mayo	1.021752
Junio	0.938300
Julio	1.045510
Agosto	1.047361
Septiembre	0.995175
Octubre	1.074248
Noviembre	0.964662
Diciembre	1.031885

Table 1: Factores estacionales de la Producción de Petróleo.

4.5 Predicción

En la siguiente figura 3, se observa la función de los datos de la producción de petróleo y superpuesta, la función de los valores predichos que se obtuvieron con la fórmula 5. En cuanto a el factor estacional, se ve bien reflejado los puntos más bajos correspondientes al mes de febrero.

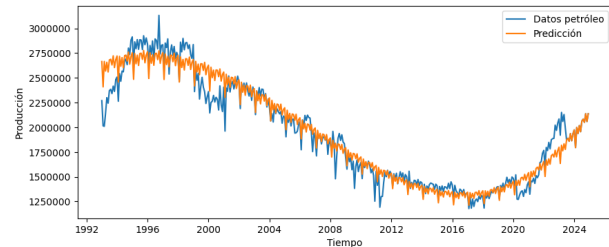


Figure 4: Serie de Tiempo Producción de Petróleo y su función predicción (en M^3).

5 Producción de gas

5.1 Análisis Serie de Tiempo

En la Figura 5 podemos observar la evolución de la producción de gas natural en Argentina desde el año

2000 hasta el 2023. La producción de gas natural se mide en miles de metros cúbicos. Mientras que en los años 2000, la producción de petróleo bajó en 2017, en el período de 2004 a 2007 aumentó la producción de gas, debido a medidas gubernamentales que promovían la exploración y elaboración de gas natural, además de un aumento interno de la demanda por el crecimiento económico. Sin embargo, desde 2008 a 2015, hubo una baja en la producción de ambos hidrocarburos, debido a diversos factores, como el congelamiento de tarifas de gas, la baja en la producción de pozos maduros, y la falta de inversiones de la industria energética. En 2018, se sufrió otra gran depresión en la producción de gas, pero esta vez fue por un factor ambiental, ya que la sequía disminuyó la cantidad de agua disponible para la fracturación hidráulica usada en la extracción de gas no convencional en Vaca Muerta. A partir de 2019 se observó otra tendencia en la producción de gas, debido a la creación de incentivos de explotación de Vaca Muerta, una formación geológica rica en shale gas y shale oil que posiciona a Argentina como el segundo país con más recursos de gas no convencional y el cuarto con más recursos de petróleo no convencional del mundo.

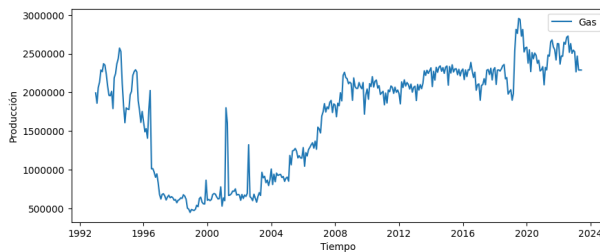


Figure 5: Serie de Tiempo Producción de Gas Natural en KM^3 (1993-2023).

5.2 Tendencia

De nuevo, al presentarse las fluctuaciones a lo largo del tiempo en la producción de gas, se analizó la tendencia de esta para detectar los factores que influyen en las fluctuaciones y proyectar el comportamiento futuro.

Para estimar esa tendencia, se utilizó una regresión no lineal, que consiste en ajustar una función matemática que depende de uno o más parámetros a los datos observados. La regresión no lineal permite modelar relaciones complejas y no lineales entre las variables. En este caso, se utilizó una función del cuarto grado.

La Figura 6 grafica la serie de tiempo de los datos de gas suavizados por el promedio móvil, y la tendencia marcada. A diferencia del petróleo, esta tendencia tuvo un decrecimiento al final de la década 2010-2019. Debido a esto, la tendencia sigue marcando que la producción bajará durante el siguiente año 2024.

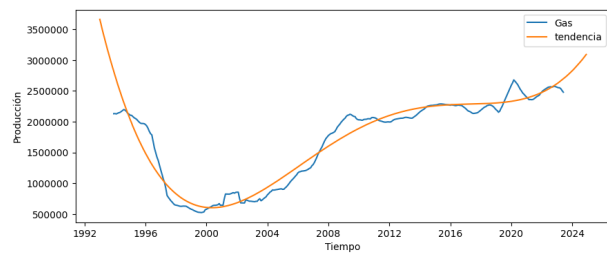


Figure 6: Serie de Tiempo Producción de Gas y la tendencia en KM^3 (1993-2024).

5.3 Estacionalidad

En el siguiente paso, se calculan los factores estacionales. En la Tabla 5.3 se observa los valores de los factores estacionales calculados para cada mes, para estos cálculos se utilizó la fórmula 4. Estos valores indican el porcentaje en que la producción de gas se desvía del promedio anual. Por ejemplo, un f_e de 0.924816 para enero significa que la producción de gas en ese mes es un 7.5184% menor que el promedio anual.

Los resultados obtenidos muestran que la producción de gas en Argentina tiene una estacionalidad marcada, con picos en los meses de julio y agosto, y valles en los meses de febrero y noviembre. Esto nuevamente puede deberse a los factores antes men-

cionados (condiciones climáticas, demanda, políticas o conflictos laborales).

Meses	Factor Estacional
Enero	0.924816
Febrero	0.753671
Marzo	1.048081
Abril	1.006877
Mayo	1.091489
Junio	1.092701
Julio	1.139013
Agosto	1.203980
Septiembre	1.002535
Octubre	0.995566
Noviembre	0.874721
Diciembre	0.952103

Table 2: Factores estacionales de la Producción de Gas Natural.

5.4 Variación Aleatoria

Para medir la precisión de las estimaciones se utilizó el concepto de error estándar de una estimación, dada por la fórmula 6, el cual indica la desviación típica de los valores estimados respecto a los valores reales.

5.5 Predicción

En la siguiente figura 7, se observa la función de los datos de la producción de gas y superpuesta, la función de los valores predichos que se obtuvieron con la fórmula 5.

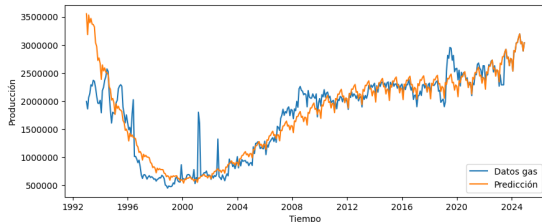


Figure 7: Serie de Tiempo Producción de Gas y su función predicción (en KM^3).

6 Regresion y predicción

Una vez pronosticadas las series de tiempo utilizando la fórmula 5, se realizo un ajuste de regresión lineal para realizar una mejor predicción sobre los datos predichos por el modelo de pronóstico para el gas. En el siguiente gráfico (Figura 8) se observa la nube de puntos donde cada punto corresponde a una cantidad de producción de petroleo en el eje x respecto de una cantidad de producción de gas en el eje y , para todos los instantes t . además, se muestra la linea de regresión y los puntos que esta predice hasta diciembre de 2024.

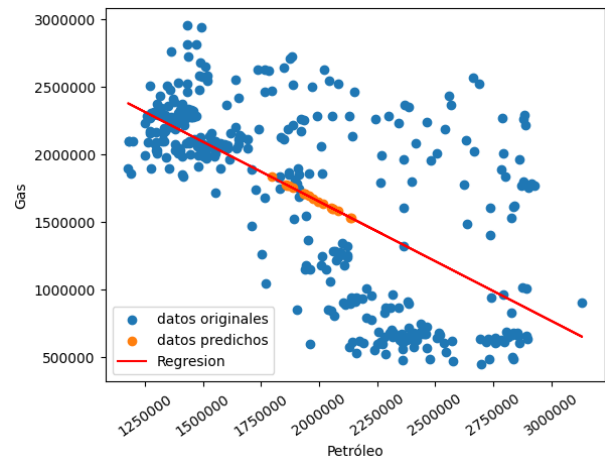


Figure 8:

Como se puede ver, no existe una relación lineal marcada, por lo que la regresión lineal no resulta útil para la predicción de los datos de gas.

7 Intervalos de confianza

Un intervalo de confianza es un rango de valores que contiene con cierta probabilidad el verdadero valor del parámetro de interés. Como se desconoce la desviación estándar de la población y el tamaño de la muestra es mayor a 30, la fórmula utilizada para calcular los límites del intervalo de confianza es:

$$\bar{y}_t \pm Z_{\alpha/2} * S \quad (7)$$

Donde:

- \bar{y}_t es el valor predicho por el modelo para el período t .
- $z_{\alpha/2}$ es el valor crítico de la distribución normal estándar que deja a su derecha un área igual a $\alpha/2$, donde α es el nivel de significación, que es el complemento del nivel de confianza.
- S es la desviación estándar de los residuos, que indica la variabilidad típica de los errores alrededor de la línea de ajuste de la función de predicción respecto de los valores reales.

El error estándar de las estimaciones se utilizó para calcular los límites de los intervalos con un nivel de confianza del 95% para el valor esperado de la producción de los datos en el último período de la serie. Para calcular los límites se utilizó la fórmula 7. Los resultados de los límites en el caso del petróleo fueron los siguientes:

- Límite inferior del intervalo: 1,869,761.34
- Límite superior del intervalo: 2,403,564.08

Lo significa que, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que el valor esperado de la producción de petróleo en el último período de la serie está entre 1,869,761.34 y 2,403,564.08. Esto también se puede expresar como:

$$P(1,869,761.34 < x < 2,403,564.08) = 0.95 \quad (8)$$

Donde "x" es el valor esperado de la producción de gas en el último período.

Por otro lado, en el caso del gas los resultados fueron:

- Límite inferior del intervalo: 2,468,573.88
- Límite superior del intervalo: 3,606,461.04

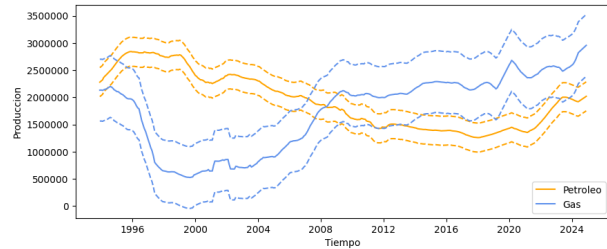


Figure 9: Serie de Tiempo Producción de Petróleo (M^3) y Gas Natural (KM^3)Proyectada con los intervalos de confianza (1993-2024).

Con esto, se puede afirmar que el valor esperado de la producción de gas en el último período de la serie está entre 2,468,573.88 y 3,606,461.04. Esto también se puede expresar como:

$$P(2,468,573.88 < x < 3,606,461.04) = 0.95 \quad (9)$$

Donde "x" es el valor esperado de la producción de gas en el último período. Este último comprende un intervalo mucho mayor que el de petróleo, por lo que su valor es más propenso a variar.

8 Resultados

Los datos iniciales se muestran en la Figura 1, que representa las series históricas de la producción de petróleo y gas, respectivamente. A partir de estas figuras se pueden extraer las siguientes relaciones:

La producción de petróleo y gas en Argentina ha experimentado fluctuaciones significativas a lo largo de los años, como se evidencia en las gráficas presentadas. La tendencia histórica muestra una disminución inicial seguida de un aumento notable en la producción de gas.

Como resultado se obtuvo que ambas variables no presentan una relación directa entre sí. Aún así, se obtuvieron pronósticos extendiendo las series y calculando una ecuación de tendencia y los factores esta-

cionales. Luego, se definieron los intervalos de confianza propuestos en el apartado 7.

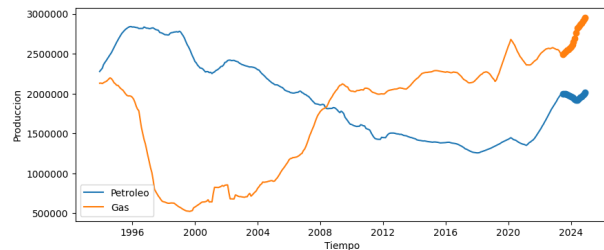


Figure 10: Serie de Tiempo Producción de Petróleo (M^3) y Gas Natural (KM^3) Proyectada (1993-2024).

9 Conclusión

El presente estudio analizó la producción de gas y petróleo en Argentina desde 1993 hasta 2023, y su relación entre sí. Los resultados mostraron que la producción de gas y petróleo ha tenido fluctuaciones significativas a lo largo de los años, evidenciando una tendencia histórica decreciente seguida de un aumento notable en la producción de gas. Asimismo, se observó que la producción de gas y petróleo no tiene una relación definida, lo que significa que no se pueden hacer suposiciones de una variable respecto de la otra.

En la Figura 10, la línea punteada indica la predicción de los datos a futuro del próximo año 2024. El pronóstico futuro basado en las tendencias modeladas indicó que la producción de gas aumentará hasta el año 2024, al igual que la producción de petróleo.

Concluyendo el trabajo, a partir del pronóstico realizado y según los datos obtenidos, se puede decir con un 95% de confianza que en diciembre de 2024 la producción de gas rondará entre 2,468,573.88 y 3,606,461.04 miles de metros cúbicos, mientras que el petróleo aumentará su producción y alcanzará valores entre 1,869,761.34 y 2,403,564.08 metros cúbicos.

Referencias

- [1] Datos.gob.ar. Producción de petróleo y gas. 2023. *Producción de Gas y Petróleo porpozo*
- [2] Idesa. 2022. *Producción de petróleo cayó al nivel de hace 20 años atrás.*
- [3] La Capital. Lucía Salvalaggio. 2023. *Boom petrolero en América Latina.*
- [4] Datos.gob.ar Producción de Petróleo y Gas. 2023. *Producción de petróleo y gas.*