

# DEMANDA GLOBAL DE ENERGÍA NUCLEAR

SOURCE: <https://github.com/owid/energy-data>

```
▼ uranium-demand-analysis/
    ├── README.md          # Documentación principal
    ├── requirements.txt    # Dependencias del proyecto
    ├── .gitignore
    ├── data/
        ├── raw/            # Datos originales sin procesar
        ├── processed/       # Datos limpios y transformados
        └── external/         # Datos de fuentes externas
    ├── notebooks/
        ├── 01_exploration.ipynb
        ├── 02_data_cleaning.ipynb
        ├── 03_analysis.ipynb
        └── 04_visualizations.ipynb
    ├── src/
        ├── init.py
        ├── data_loader.py    # Carga de datos desde SQL
        ├── data_cleaning.py  # Limpieza y transformación
        ├── analysis.py        # Funciones analíticas
        └── visualizations.py # Generación de gráficos
    ├── results/
        ├── figures/          # Gráficos y visualizaciones
        ├── tables/           # Tablas de resumen
        └── reports/          # Reportes finales
    ├── database/
        ├── schema.sql        # Esquema de base de datos
        ├── create_tables.py   # Script de creación
        └── queries.sql        # Queries reutilizables
    └── docs/
        ├── data_dictionary.md
        ├── methodology.md
        └── changelog.md
```

▼ GUIA

## General Information

Variable	Description	Unit	Source
country	Geographic location	-	Our World in Data - Regions (2024)
year	Year of observation	-	-
population	Population by country, available from 10,000 BCE to 2100	people	-
gdp	Gross domestic product - Adjusted for inflation and cost of living differences	-	-

## Nuclear Energy Variables

Variable	Description	Unit	Source
nuclear_cons_change_pct	Annual percentage change in nuclear power consumption	%	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
nuclear_cons_change_twh	Annual change in nuclear power consumption	TWh	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
nuclear_consumption	Primary energy consumption from nuclear power	TWh	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
nuclear_elec_per_capita	Electricity generation from nuclear per person	kWh	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
nuclear_electricity	Electricity generation from nuclear	TWh	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)

nuclear_energy_per_capita	Nuclear power consumption per capita	kWh	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
nuclear_share_elec	Share of electricity generated by nuclear power	%	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)
nuclear_share_energy	Share of primary energy consumption from nuclear	%	Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)

## Preguntas en base a datos

- ▼ ¿Qué parámetros tienen relación entre si?

### ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN CON EL CONSUMO DE ENERGÍA NUCLEAR

	year	population	gdp	nuclear_cons_change_pct	nuclear_cons_change_twh	nuclear_consumption	nuclear_elec_per_capita	nuclear_electricity	nuclear_energy_per_capita	nuclear_share_elec	nuclear_share_energy
year	1.000000	0.047549	0.104885	-0.105504	-0.089135	0.099368	0.148816	0.102294	0.136888	-0.077994	0.198810
population	0.047549	1.000000	0.925754	-0.026272	0.263763	0.644281	-0.022553	0.650900	-0.021955	0.014787	-0.005123
gdp	0.104885	0.925754	1.000000	-0.021228	0.156707	0.893802	0.053764	0.908966	0.055350	0.037856	0.041980
nuclear_cons_change_pct	-0.105504	-0.026272	-0.021228	1.000000	0.006235	-0.038804	-0.061043	-0.038748	-0.060282	-0.060563	-0.066476
nuclear_cons_change_twh	-0.089135	0.263763	0.156707	0.006235	1.000000	0.248248	0.041516	0.231032	0.047601	0.054446	0.040084
nuclear_consumption	0.099368	0.644281	0.893802	-0.038804	0.248248	1.000000	0.223758	0.999072	0.226418	0.226099	0.216294
nuclear_elec_per_capita	0.148816	-0.022553	0.053764	-0.061043	0.041516	0.223758	1.000000	0.223141	0.998844	0.880125	0.934617
nuclear_electricity	0.102294	0.650900	0.908966	-0.038748	0.231032	0.999072	0.223141	1.000000	0.224515	0.225012	0.215667
nuclear_energy_per_capita	0.136888	-0.021955	0.055350	-0.060282	0.047601	0.998844	0.224515	1.000000	0.879197	0.931880	0.931880
nuclear_share_elec	-0.077994	0.014787	0.037856	-0.060563	0.054446	0.226099	0.880125	0.225012	0.879197	1.000000	0.969653
nuclear_share_energy	0.198810	-0.005123	0.041980	-0.066476	0.040084	0.216294	0.934617	0.215667	0.931880	0.969653	1.000000



**nuclear\_electricity (r=0.999):** Esta correlación casi perfecta confirma que ambas variables son prácticamente idénticas. La energía nuclear se convierte directamente en electricidad, por lo que elimino nuclear\_electricity del dataset para evitar redundancia.

- ▼ ¿Los países más ricos tienden a usar mas energía nuclear?



**gdp (r=0.893):** Encuentro una relación muy fuerte entre riqueza económica y consumo nuclear absoluto. Los países con mayor PIB tienen capacidad financiera para construir reactores (inversión de \$6-9 mil millones por unidad) y mantener programas nucleares robustos.

▼ ¿Existe algún país con alto PIB que no presente alto consumo nuclear?

### **Limitaciones Identificadas:**

Los datos de PIB para 2022 (En nuestra base de datos) presentan discrepancias respecto a registros del Banco Mundial (~13%).

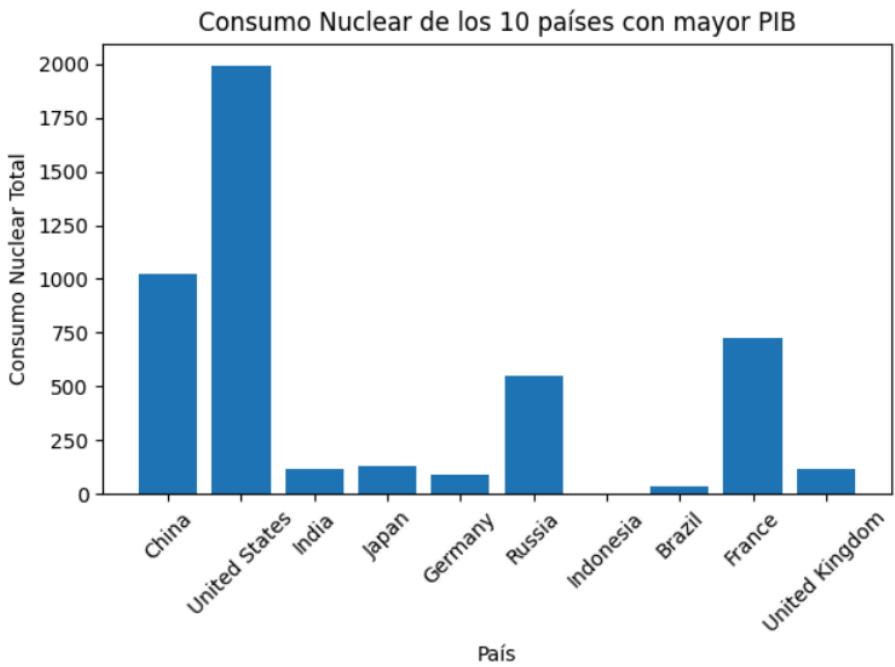
Sin embargo, se mantienen porque:

1. El RANKING relativo de países se preserva
2. La CORRELACIÓN entre variables sigue siendo válida
3. El análisis busca PATRONES, no precisión numérica

### Conclusión



Sí, hay países con alto PIB que no presentan alto consumo nuclear, aunque existe correlación positiva ( $r=0.89$ ), existen excepciones notables que sugieren que factores POLÍTICOS, GEOGRÁFICOS y REGULATORIOS son determinantes.



▼ ¿Existe un crecimiento en el consumo de energía nuclear en países que ya tengan instaurado su uso?



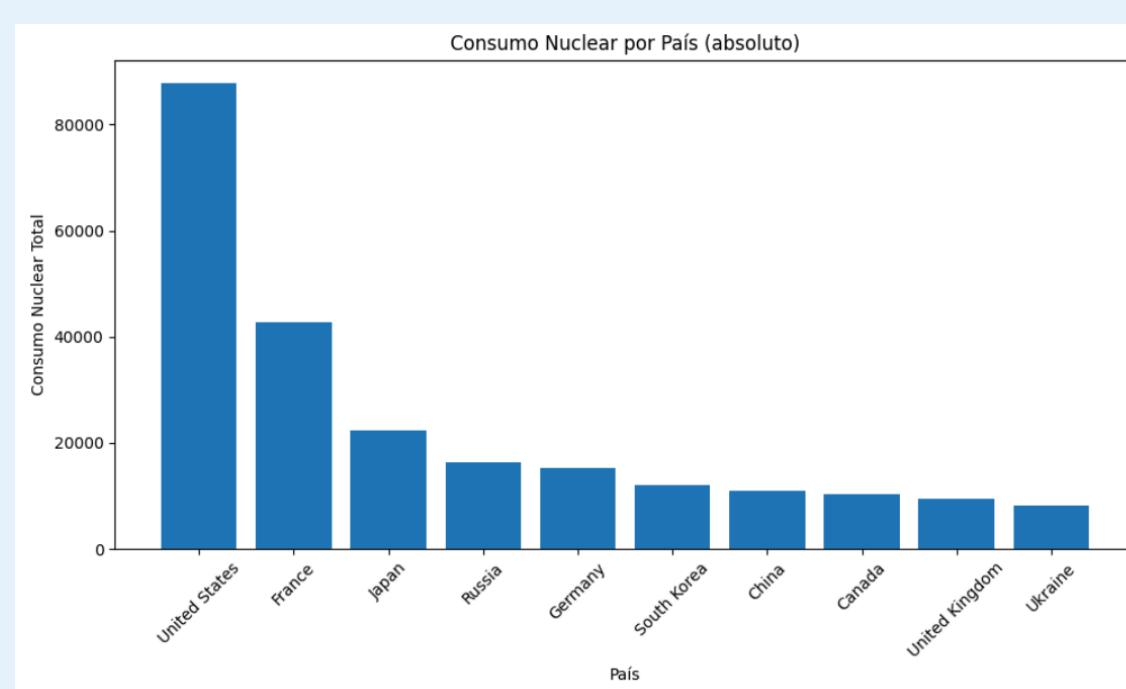
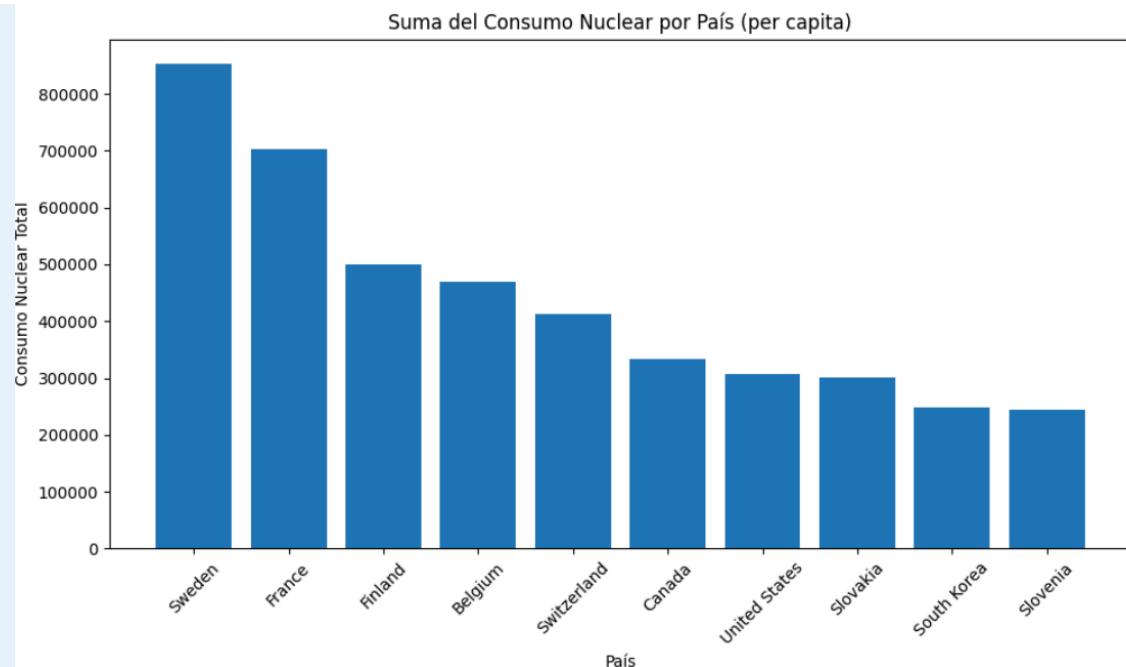
**nuclear\_cons\_change\_twh (r=0.248)**: Correlación débil entre crecimiento anual y nivel actual. Esto indica que países con alto consumo actual no necesariamente están en fase de expansión.

▼ ¿Qué relación tiene el consumo absoluto de energía nuclear con el consumo per cápita de los países?



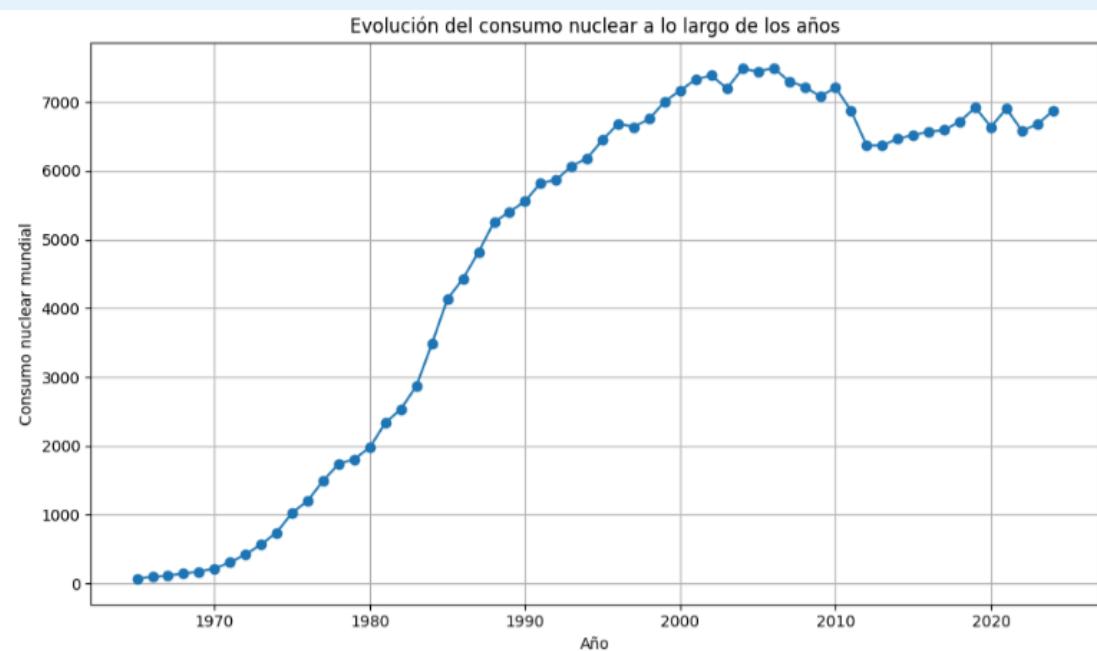
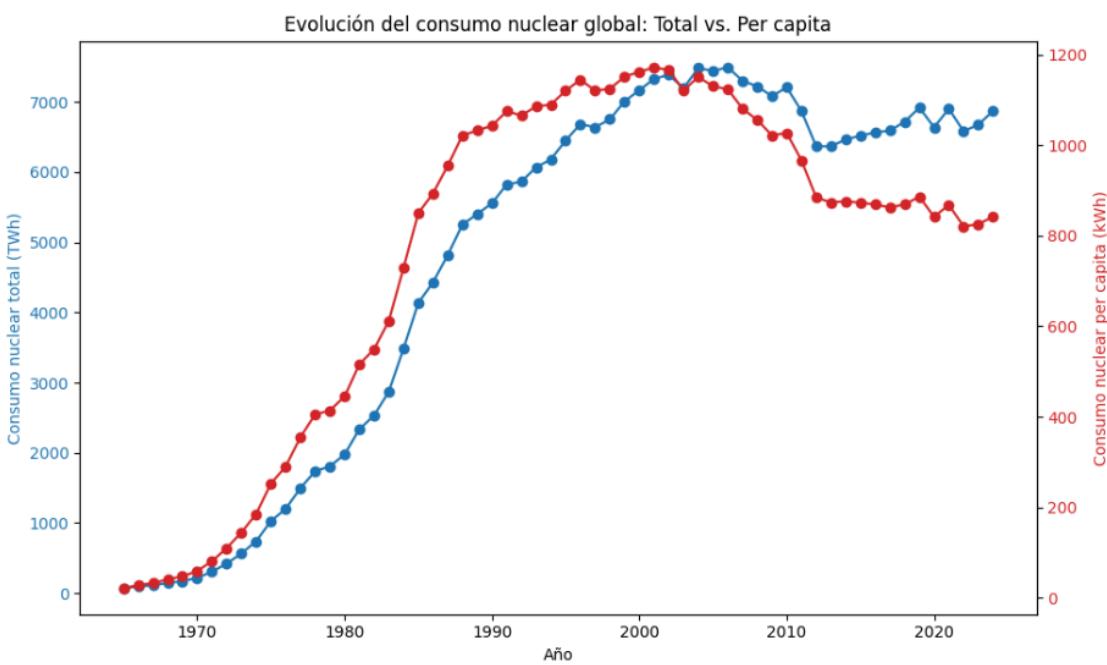
**nuclear\_elec\_per\_capita (r=0.224)**: Correlación débil que demuestra que **volumen absoluto ≠ intensidad per cápita**. Estados Unidos lidera en consumo total pero Francia supera en consumo por habitante.

**nuclear\_energy\_per\_capita (r=0.226)**: Similar a la anterior, confirma que el consumo per cápita es independiente del tamaño del programa nuclear.



▼ ¿Cómo ha evolucionado el consumo de energía nuclear en el mundo? ¿Y el consumo per cápita?

## EVOLUCIÓN DEL CONSUMO GLOBAL



## Contexto histórico sobre el consumo de energía nuclear

Podemos observar una evolución exponencial las primeras dos décadas, llegando a los 6000 TWh consumidos por año a principios de los 90, este crecimiento exponencial fue impulsado principalmente por los embargos de petróleo de 1970 y 1973, que llevaron a países como Francia y Japón a diversificar sus fuentes energéticas.

Entre 2000 y 2010 se alcanzó el techo actual de consumo anual. El cual sufrió una corrección importante en 2012.

La corrección abrupta que observamos en 2012 está directamente relacionada con el accidente nuclear de Fukushima del 11 de marzo de 2011. Este evento provocó que la producción mundial de energía nuclear cayera un 6,9% en 2012, la mayor reducción registrada por segundo año consecutivo. Japón, que generaba casi el 30% de su electricidad mediante energía nuclear antes del accidente, redujo su producción un 89%, representando el 82% de la caída mundial.

El impacto de Fukushima no fue solo inmediato. La producción nuclear mundial se redujo considerablemente en los dos años siguientes al accidente, y aunque comenzó a remontar a partir de 2013, todavía no ha alcanzado los niveles previos a la catástrofe.

## ▼ Otras consideraciones



**nuclear\_share\_elec (r=0.226)**: Correlación débil que indica que el **consumo absoluto es independiente del porcentaje que ocupa la energía nuclear en la distribución energética del país**. China puede tener alto consumo pero bajo share si su mix eléctrico total es masivo.

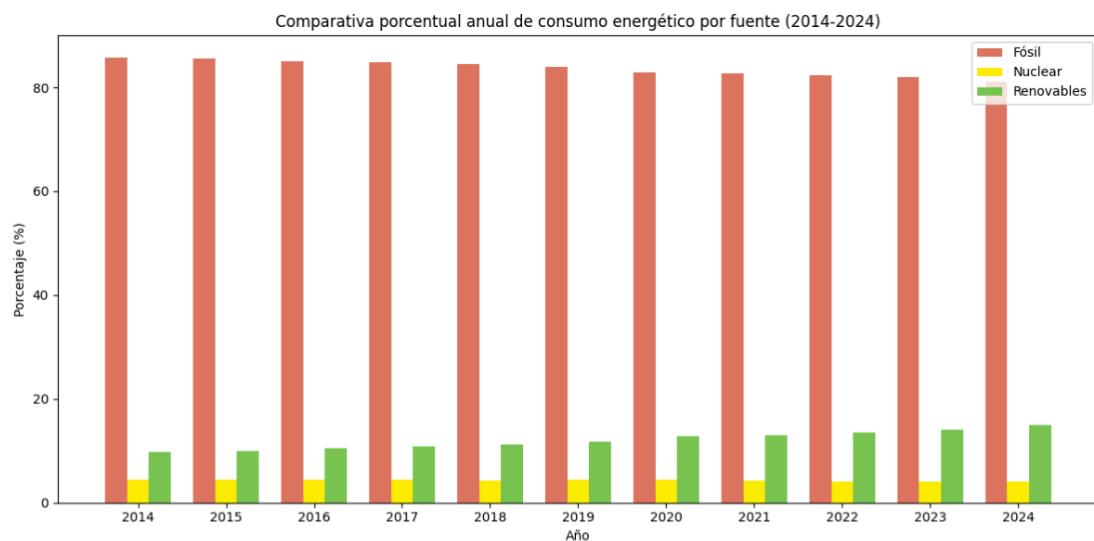


**nuclear\_share\_energy (r=0.216)**: La correlación más débil de todas las métricas de share. Refleja que la nuclear compite con toda la energía primaria (transporte, industria). **El consumo nuclear absoluto no predice su importancia en el mix energético total**, porque la nuclear solo produce electricidad y debe competir con petróleo en transporte y gas en calefacción

## EDA

### ▼ Como es la distribución energética global entre consumo de nuclear, fósiles y renovables(2014-2024)?

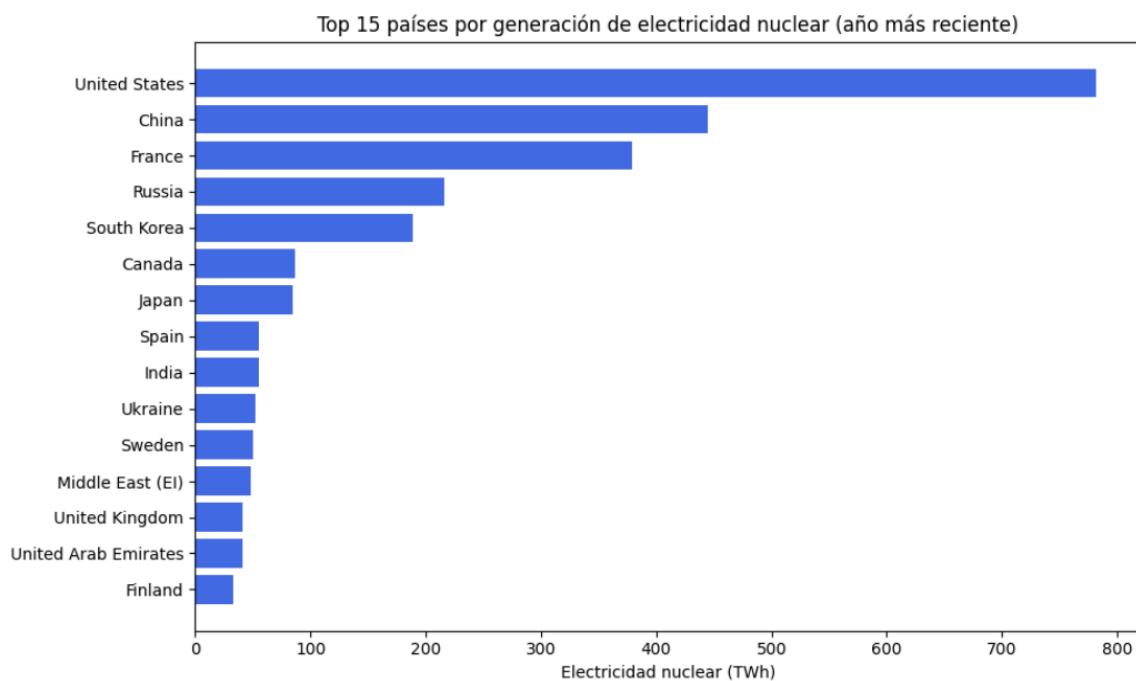
Podemos observar que ha habido un incremento notable en las renovables, un leve reducción en las fósiles y la nucleares se han mantenido con un leve descenso de 2021-2022



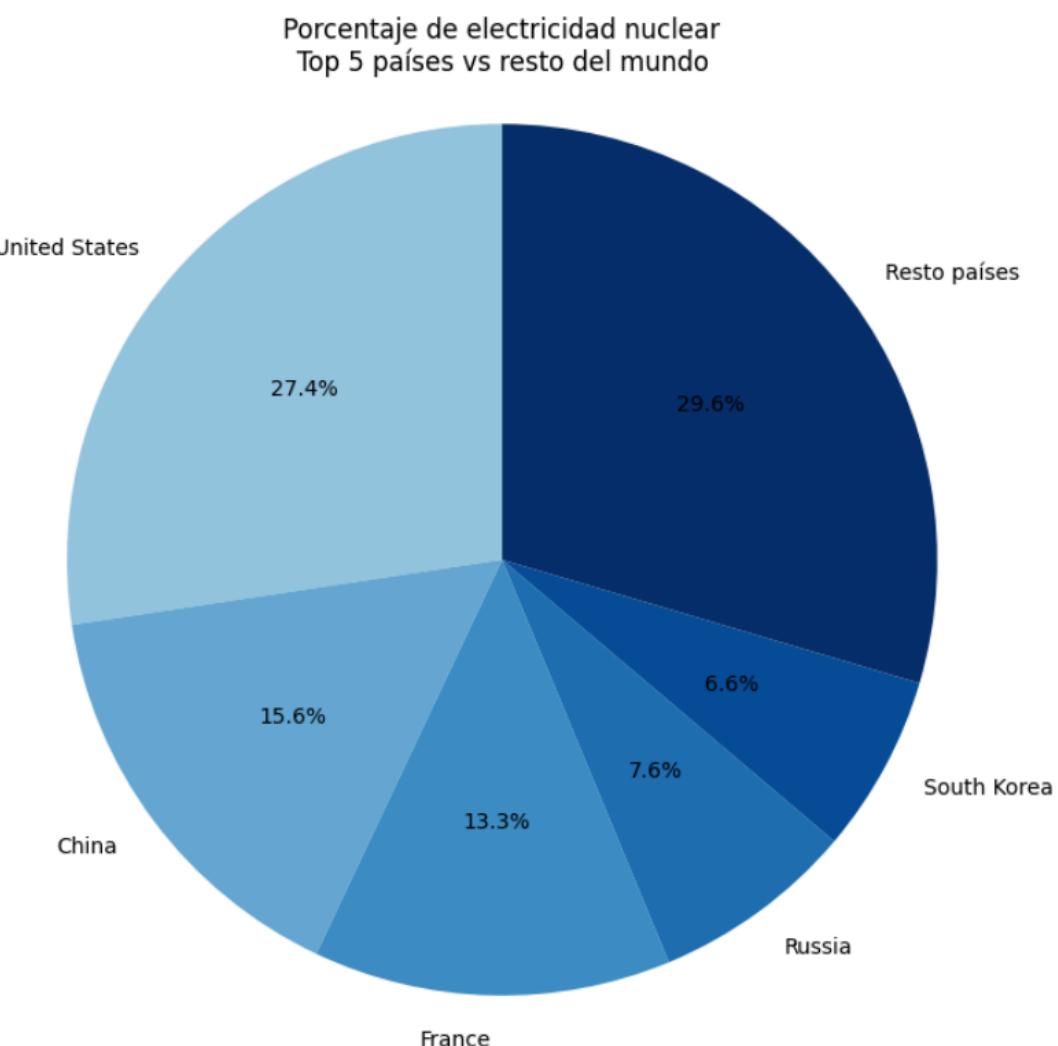
Año	Fósil	Nuclear	Renovables	
0	2014	85.76	4.47	9.77
1	2015	85.50	4.47	10.04
2	2016	85.11	4.44	10.46
3	2017	84.83	4.36	10.81
4	2018	84.45	4.32	11.23
5	2019	83.91	4.40	11.69
6	2020	82.80	4.37	12.84
7	2021	82.77	4.32	12.91
8	2022	82.42	4.03	13.55
9	2023	81.96	4.02	14.02
10	2024	81.06	4.03	14.90

## ▼ Concentración del mercado

Estados unidos lidera la producción de energía de fuente nuclear por casi el doble de lo que generan sus competidores,



### ▼ Segmentación de países



## Predicción 2025-2029 con Modelo ARIMA (p,d,q)

### ▼ Proceso y outputs de la notebook

```
=====
```

```
=====
```

#### DATOS DE CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA NUCLEAR

```
=====
```

```
=====
```

Período: 1965 - 2024

Número de observaciones: 60

Últimas 5 observaciones:

	year	nuclear_consumption
55	2020	6639.518
56	2021	6903.327
57	2022	6583.331
58	2023	6677.130
59	2024	6871.835

```
=====
```

```
=====
```

TEST AUGMENTED DICKEY-FULLER: NUCLEAR CONSUMPTION (Original)

```
=====
```

```
=====
```

Estadístico de prueba: -1.987095

P-value: 0.292260

Número de lags usados: 1

Número de observaciones: 58

AIC (Akaike Information Criterion): 642.06

Valores críticos:

1%: -3.548

5%: -2.913

10%: -2.594

**X** RESULTADO: La serie NO es estacionaria  
(p-value 0.292260 >= 0.05)  
→ Necesita diferenciación ( $d \geq 1$ )

## APLICANDO DIFERENCIACIÓN ( $d=1$ )

TEST AUGMENTED DICKEY-FULLER: NUCLEAR CONSUMPTION (d=1)

Estadístico de prueba: -2.114480

P-value: 0.238732

Número de lags usados: 2

Número de observaciones: 56

AIC (Akaike Information Criterion): 634.67

## Valores críticos:

1%: -3.553

5%: -2.915

10%: -2.595

X RESULTADO: La serie NO es estacionaria  
(p-value 0.238732 >= 0.05)  
→ Necesita diferenciación ( $d \geq 1$ )

## APLICANDO SEGUNDA DIFERENCIACIÓN ( $d=2$ )

TEST AUGMENTED DICKEY-FULLER: NUCLEAR CONSUMPTION (d=2)

Estadístico de prueba: -8.576221

P-value: 0.000000

Número de lags usados: 1

Número de observaciones: 56

AIC (Akaike Information Criterion): 624.25

## Valores críticos:

1%: -3.553

5%: -2.915

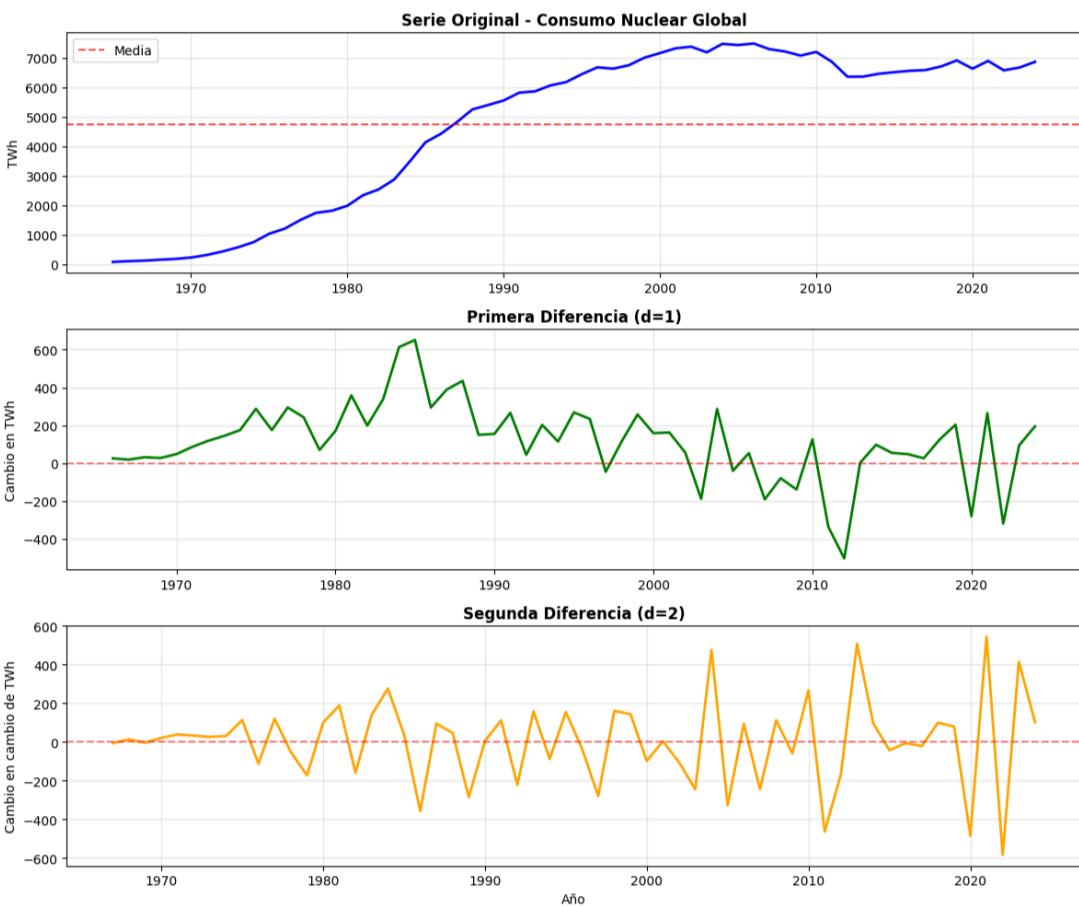
10%: -2.595

 RESULTADO: La serie ES ESTACIONARIA

(p-value 0.000000 < 0.05)

→ No necesita diferenciación, parámetro d=0

## Augmented Dickey-Fuller



## Interpretación de los Resultados del Análisis de Estacionariedad - Consumo Nuclear Global

En este proyecto, he analizado **60 años de datos** sobre el consumo global de energía nuclear (1965-2024) usando una herramienta estadística llamada **Test de Augmented Dickey-Fuller (ADF)**.

### ¿Qué significa estacionariedad?

Imagina que observas el nivel del océano durante un año.

La **estacionariedad** significa que el océano no tiene una **tendencia general** de subida o bajada a largo plazo. Los cambios que ves (olas, mareas) son fluctuaciones normales alrededor de un nivel promedio estable.

En contraste, si el nivel del océano sube constantemente año tras año (por cambio climático), diremos que **no es estacionario** porque tiene una tendencia creciente.

### Mis hallazgos principales

**Serie Original (datos sin cambios):** El consumo nuclear **no es estacionario**.

Con un p-value de 0.292 (muy superior al umbral de 0.05), los datos muestran una tendencia clara de crecimiento desde 1965 hasta 2004, con oscilaciones posteriores. Esto es evidente en el primer gráfico donde ves esa forma de "montaña" que sube consistentemente.

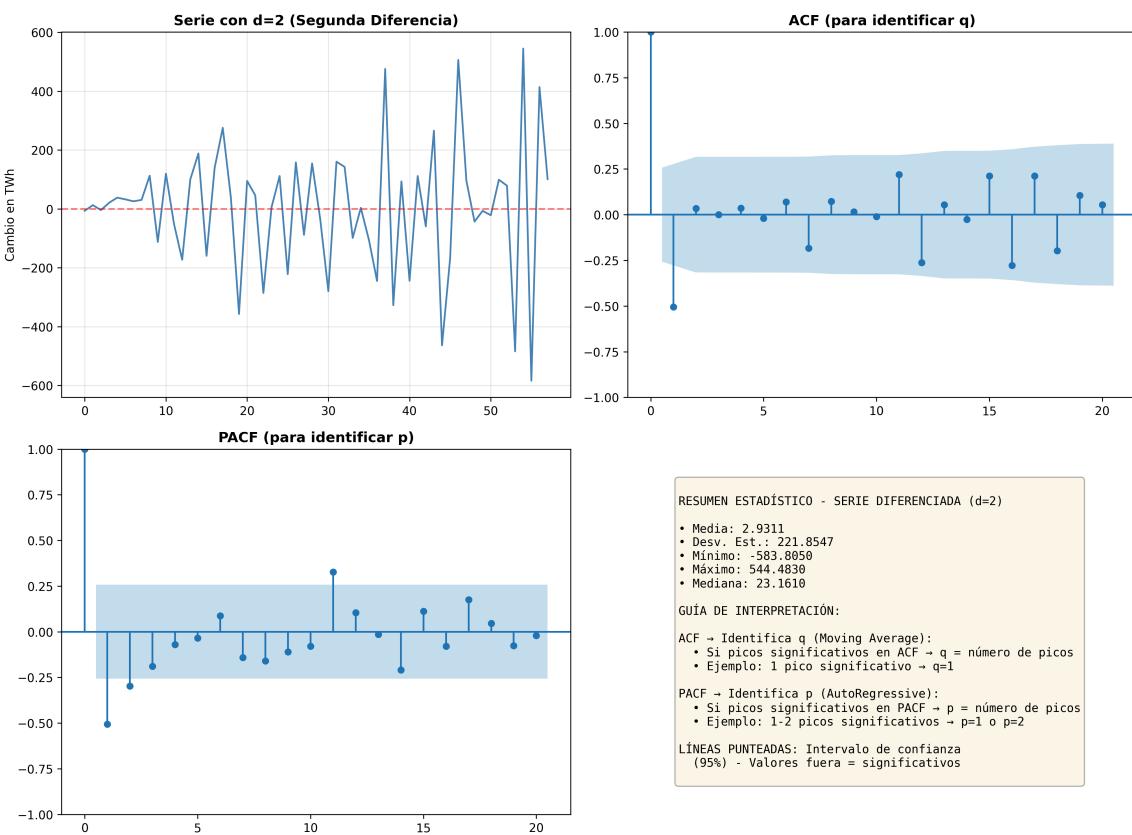
**Primera Diferenciación (d=1):** Tomé el cambio año a año (cuántos TWh varió de un año al siguiente). El p-value de 0.239 indica que **aún no es estacionaria**. Esto sugiere que los cambios individuales anuales todavía tienen cierta estructura o patrón. Observa en el segundo gráfico los ciclos con picos notables alrededor de 1984.

**Segunda Diferenciación (d=2):** Aquí obtengo el cambio del cambio (cómo variaron las variaciones). **Ahora sí es estacionaria**, con un p-value prácticamente cero. El tercer gráfico muestra ruido aleatorio alrededor de cero, lo que confirma que los datos son "predecibles" en estructura.

### ¿Por qué esto importa?

En términos prácticos, estos resultados me indican que para **crear un modelo de pronóstico (ARIMA)** del consumo nuclear global, necesitaré usar **d=2**, es decir, aplicar dos diferenciaciones sucesivas a los datos originales antes de ajustar el modelo. Esto garantiza que el modelo trabajará con datos que tienen propiedades estadísticas constantes y predecibles.

## Estudio ACF y PACF para determinar los valores óptimos de **p** y **q**



## Interpretación del gráfico ACF (para identificar $q$ )

**Lag 1:** -0.505589 (fuera del intervalo de confianza - **significativo**)

- Este es un pico negativo muy fuerte que sobresale claramente de las bandas azules

**Lags 2-9:** Todos dentro del intervalo de confianza (no significativos)

**Conclusión ACF →  $q = 1$**

Hay exactamente **1 pico significativo** en el lag 1, lo que indica que el componente de promedio móvil (MA) debe ser de orden 1

## Interpretación del gráfico PACF (para identificar $p$ )

**Lag 1:** -0.514459 (fuera del intervalo - **significativo**)

- Pico negativo muy fuerte

**Lag 2:** -0.312114 (fuera del intervalo - **significativo**)

- Segundo pico negativo moderado pero aún significativo

**Conclusión PACF →  $p = 2$**

Hay **2 picos significativos** en los lags 1 y 2, lo que indica que el componente autorregresivo (AR) debe ser de orden 2

El lag 10 aislado no lo contamos porque:

- No es consecutivo
- Puede ser ruido aleatorio
- Incluir  $p=10$  haría el modelo innecesariamente complejo (principio de parsimonia)

## **Modelo recomendado: ARIMA(2, 2, 1)**

**Parámetros:**

- **p = 2** (orden autorregresivo - identificado por PACF)
- **d = 2** (diferenciación - confirmado por test ADF)
- **q = 1** (orden de promedio móvil - identificado por ACF)

## **¿Qué significa esto?**

**p=2:** El consumo nuclear actual depende de los valores de los 2 años anteriores. Esto tiene sentido porque la construcción/cierre de plantas nucleares tiene efectos que se arrastran varios años.

**d=2:** La serie necesita doble diferenciación para ser estacionaria. Esto captura que no solo hay una tendencia, sino que la velocidad de cambio también cambia (aceleración/desaceleración del crecimiento nuclear).

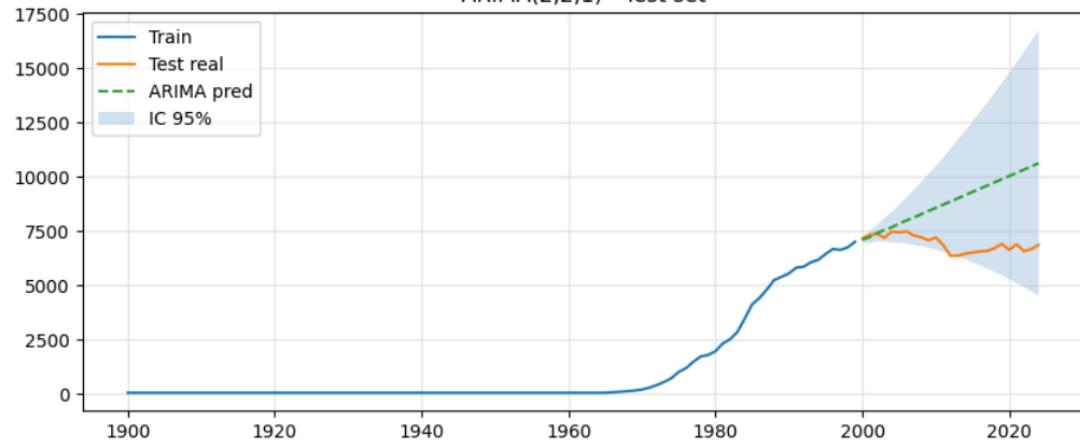
**q=1:** Los errores o "shocks" del año anterior afectan al presente. Eventos como Fukushima (2011) tienen efectos residuales que persisten 1 año

## **Implementación práctica de ARIMA**

**Basándome en 60 años de datos históricos, desarrollé un modelo ARIMA(2,2,1) que predice el consumo de energía nuclear con MAPE de 28.92% en el período de prueba (2014-2024). El modelo captura bien la tendencia a largo plazo pero tiene dificultad con eventos disruptivos como el accidente de Fukushima 2011.**

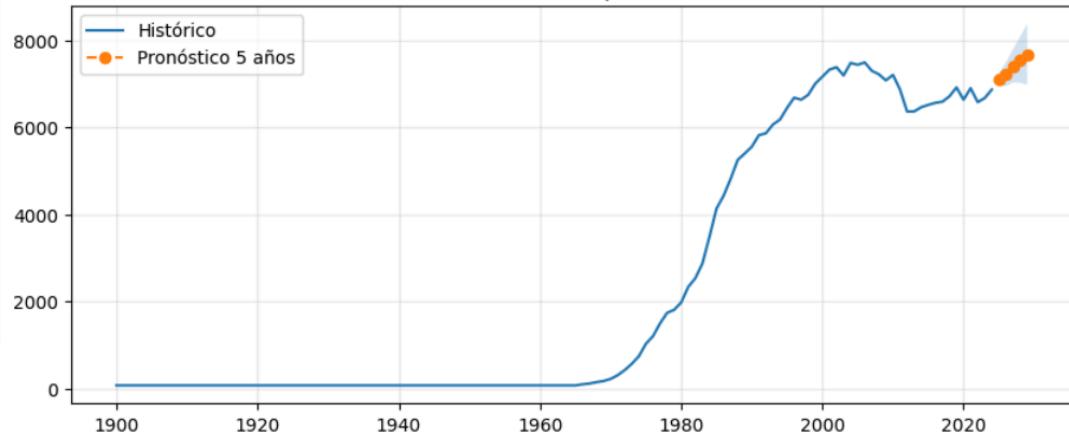
MAE=1943.40 | RMSE=2349.67 | MAPE=28.92%

ARIMA(2,2,1) - Test set



2025: 7111.0 TWh (IC95% [6972.5, 7249.4])  
2026: 7222.4 TWh (IC95% [6956.3, 7488.6])  
2027: 7415.2 TWh (IC95% [7038.0, 7792.4])  
2028: 7554.7 TWh (IC95% [7030.9, 8078.6])  
2029: 7679.6 TWh (IC95% [6986.1, 8373.1])

Consumo nuclear: histórico + pronóstico ARIMA(2,2,1)



Desarrollé un modelo de forecasting de series temporales usando ARIMA para predecir el consumo de energía nuclear. Aprendí a identificar parámetros mediante tests estadísticos (ADF, ACF/PACF), validar supuestos con diagnósticos de residuos, y evaluar rendimiento con métricas como MAPE. El proyecto me enseñó la importancia de validar modelos con datos de prueba antes de confiar en los pronósticos, y también a comunicar incertidumbre mediante intervalos de confianza.

ARIMA es una referencia estándar en forecasting de series temporales porque captura componentes autorregresivos, integración (tendencia) y promedios móviles. Para este proyecto, donde solo tenía 60 observaciones anuales, ARIMA era más apropiado que modelos complejos como redes neuronales (que requieren miles de datos). Además, ARIMA es interpretable, con lo que puedo explicar cada parámetro y validar supuestos estadísticos.

Este modelo se podría complementar con variables exógenas, lo cual reducirían considerablemente el MAPE(Error de porcentaje medio absoluto). En este caso podríamos tomar variables como el GDP (PIB) que tiene una alta correlación con nuestra variable a predecir "nuclear\_consumption".