

**Comportamiento de la Generación Eléctrica de Siete Fuentes
de Energía en Colombia (2006-2023).**

**Quien hace puede equivocarse, quien no hace ya está
equivocado.**

DANIEL KON

**Edwin Duque Grajales
Dayan Alexis Gaviria García
Nicolás Duque Aguirre
León Darío Bello Parias**

Instituciones

**Bootcamp 2025 - Ministerio de Tele Comunicaciones
Universidad de Antioquia (U de A)**

Febrero 2025

Introducción.

El comportamiento de la generación eléctrica es un aspecto crucial para el desarrollo sostenible de cualquier nación. En Colombia, la diversidad de fuentes de energía es un factor determinante que ha moldeado el crecimiento y la resiliencia del sector energético. Este informe tiene como objetivo identificar y analizar el comportamiento de la generación eléctrica a partir de siete diferentes fuentes de energía en Colombia durante el periodo 2006-2023.

La elección de este periodo responde a la necesidad de comprender las tendencias recientes y los cambios en la matriz energética del país, en un contexto global de transición hacia energías más limpias y sostenibles. Durante estos años, Colombia ha experimentado variaciones significativas en su capacidad instalada y en la participación de diversas tecnologías de generación, reflejando tanto los avances tecnológicos como las políticas energéticas implementadas.

Colombia, bendecida con abundantes recursos naturales, ha diversificado sus fuentes de energía eléctrica, incluyendo hidroeléctrica, térmica, eólica, solar, biomasa, geotérmica y nuclear. Cada una de estas fuentes presenta características específicas que impactan de distintas maneras la estabilidad, sostenibilidad y eficiencia del sistema eléctrico nacional. El análisis se centra en las siguientes fuentes de energía:

1. Hidroeléctrica: Tradicionalmente, la principal fuente de generación en Colombia, aprovechando la abundancia de recursos hídricos.
2. Térmica (Carbón y Gas Natural): Contribuye significativamente a la seguridad energética del país, especialmente en épocas de sequía.
3. Eólica: Un sector en crecimiento, impulsado por las condiciones favorables en ciertas regiones del país.
4. Solar: Ha ganado popularidad en los últimos años debido a la disminución de costos y la alta radiación solar en varias zonas.
5. Biocombustible: Representa una opción sostenible al aprovechar residuos orgánicos para la generación de energía.

Contexto y Relevancia del Estudio.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de comprender cómo cada fuente de energía ha contribuido al suministro eléctrico del país durante los últimos diecisiete años. Este análisis no solo permitirá evaluar la evolución de la capacidad instalada y la producción efectiva de cada fuente, sino que también proporcionará información valiosa para la formulación de políticas energéticas futuras.

En un mundo cada vez más consciente del impacto ambiental de la generación eléctrica, es esencial evaluar la transición hacia fuentes más limpias y renovables. Este informe busca ofrecer una visión detallada del comportamiento de la generación de siete fuentes de energía.

Metodología.

El análisis se basó en datos recopilados de fuentes oficiales encontradas en la Red y que se referencian en la sesión correspondiente. Se utilizaron librerías del programa estadístico Python y del software estadístico de libre distribución JASP usando métodos estadísticos para describir e identificar tendencias, patrones y variaciones en la generación de energía.

A través de este informe, se espera proporcionar una comprensión integral del panorama energético colombiano, destacando las contribuciones de cada fuente de energía y estableciendo un punto de referencia para futuras investigaciones y decisiones en el sector energético.

Objetivo General:

Identificar el comportamiento de la generación eléctrica de siete diferentes fuentes de energía en Colombia para el periodo 2006-2023.

Objetivos Específicos:

- Visualizar los indicadores descriptivos de las fuentes de energía definidas para el estudio en Colombia en el periodo de investigación.
- Identificar el grado de correlación de las fuentes de energía definidas para el estudio en Colombia en el periodo de investigación.
- Comparar la evolución de los porcentajes de generación eléctrica de los tipos de energía definidas para el estudio en Colombia en el periodo de investigación.
- Comparar la evolución de la generación eléctrica de los tipos de energía definidas para el estudio en Colombia en el periodo de investigación.

Metodología Procesamiento de Datos.

Dados los objetivos del estudio, donde se requirió una búsqueda de bases de datos de fuentes secundarias y descubrir relaciones entre las variables objeto de estudio, se usó el modelo **KDD (Knowledge Discovery in Database)**, el cual es un proceso sistemático y metodológico diseñado para extraer conocimiento útil a partir de grandes volúmenes de datos, de manera gráfica (figura 1) se observan los pasos sugeridos en dicha metodología de procesamiento de datos.

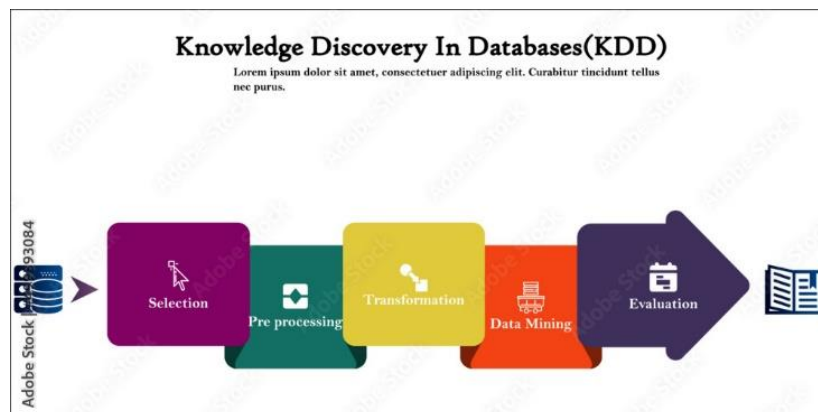


Figura 1: Pasos a desarrollar en el procesamiento de datos modelo KDD.

Es importante mencionar que cada estudio debe adaptarse sus necesidades, en este caso, se realizaron las siguientes acciones:

Fase 1: Recolección de Datos.

Apoyándose en buscadores online y herramientas de I.A (inteligencia artificial), se recopilaron y analizaron diversas fuentes de datos secundarias atinentes a la

transición energética de diferentes fuentes de energía en diversos países y años, en la búsqueda se encontraron entre otras las siguientes:

1. Datos sobre Emisiones y Cumplimiento de la Norma Euro

a. Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) (Acceso libre)

🔗 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>

b. European Commission – Transport Emissions

🔗 https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions_en

c. International Council on Clean Transportation (ICCT)

🔗 <https://theicct.org/data/>

2. Datos sobre Adopción de Vehículos Eléctricos

a. Global EV Outlook – IEA (Algunos datos son abiertos, pero los reportes más detallados pueden requerir suscripción)

🔗 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook>

b. Our World in Data – Transporte Energético

🔗 <https://ourworldindata.org/energy>

3. Datos sobre Infraestructura de Recarga

a. Open Charge Map (Base de datos mundial abierta sobre estaciones de carga eléctrica)

🔗 <https://openchargemap.org/site>

b. European Alternative Fuels Observatory (EAFO)

🔗 <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/>

4. Datos sobre Impacto en la Red Eléctrica

a. International Renewable Energy Agency (IRENA)

🔗 <https://www.irena.org/>

b. Datos sobre consumo eléctrico en transporte – IEA (Algunos datos son abiertos, pero otros requieren suscripción)

🔗 <https://www.iea.org/topics/transport/electric-vehicles>


5. Datos sobre Políticas Públicas y Normativa Ambiental

a. United Nations Environment Programme (UNEP)

 <https://www.unep.org/resources/report/global-overview-low-emission-zones>

b. Base de Datos de Políticas de Transporte y Medio Ambiente – OCDE (Algunos datos abiertos, otros requieren acceso institucional)

 <https://www.itf-oecd.org/statistics>

Luego del análisis de cada una de las fuentes secundarias se determinó, utilizar la data encontrada en: Our World in Data – Transporte Energético  <https://ourworldindata.org/energy>, donde además, se visualiza el ebook con el correspondiente metadato y el archivo .csv con los datos originales.

Fase 2: Limpieza de los datos.

Utilizando las librerías de Python llamadas: Pandas y Numpy se eliminaron variables que contenían valores perdidos, de igual manera, considerando los objetivos del estudio, se eliminaron las variables que no son útiles para el mismo y las que estaban duplicadas por su forma de cálculo original, en las imágenes siguientes se presentan los códigos utilizados.

- Leer base de datos en bruto

```
[ ] import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import numpy as np
import matplotlib.ticker as ticker

[ ] # conectamos con las carpetas alojadas en el Drive
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

# Cargamos el dataset Modificado
data_energy = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/Data_Analytic_TalentoTECH/Proyecto_Energetico/data_energy_2.csv", index_col=None)
```

- Filtrado de país.

```
#Generamos un dataframe sin la demanda energetica
data_tip = data_energy.drop(columns=['electricity_demand', 'electricity_generation',
                                     'net_elec_imports', 'greenhouse_gas_emissions'])

# Solo Colombia
data_col = data_energy[data_energy['country'] == 'Colombia']
```

- Filtrado de variables y rango temporal.

```
# selecciono solo la columna de year y las de share_elec
data_col1 = data_col.filter(regex="year|share|electricity", axis=1)
data_col1 = data_col1[data_col1["year"] >= 2006]
```

- Ajuste de variables no deseadas.

```
[ ] palabras_a_eliminar = ["cons_change_twh", "consumption", "elec_per_capita", "share_energy", "cons_per_capita", "intensity_elec",
                           "cons_change_pct", "prod_change_pct", "prod_change_twh", "prod_per_capita", "production", "demand_per_capita",
                           "per_capita", "per_gdp", "imports_share_demand"]
for palabra in palabras_a_eliminar:
    # Usar el método filter para seleccionar columnas que no contengan la palabra
    data_energy = data_energy.loc[:, ~data_energy.columns.str.contains(palabra)]
```

```
▶ # Eliminamos algunas columnas que se repiten y que contienn datos de otras.
data_energy = data_energy.drop(columns=['low_carbon_electricity', 'low_carbon_share_elec',
                                       'renewables_electricity', 'fossil_electricity',
                                       'fossil_share_elec', 'renewables_share_elec',
                                       'other_renewable_electricity', 'other_renewable_exc_biofuel_electricity',
                                       'other_renewables_share_elec', 'other_renewables_share_elec_exc_biofuel'])
```

```
# Elimino algunas columnas que se me saltaron al filtro
data_col2 = data_col2.drop(columns=['electricity_demand', 'electricity_generation'])
```

- Generación de data set final.

```
[ ] # Guardamos el dataset filtrado en el drive
data_energy.to_csv("/content/drive/MyDrive/Data_Analytic_TalentoTECH/Proyecto_Energetico/data_energy_2.csv", index = False)
```

Se realizó un análisis exploratorio de datos, con el fin de detectar errores de digitación, valores atípicos y/o extremos según la regla de Yates que se plasma en el gráfico de bigotes, presentado en la figura ***. Se encontraron valores atípicos y/o extremos en cuatro fuentes de energía (solar electricity, solar share elec, wind electricity y wind share elec.), no obstante, se decidió su no eliminación, dado que se comenzó la operación de los proyectos guajira 1, celsia guajira, y la ampliación de jiparachi desde 2019 para la generación eólica, también entraron en operación los parques eólicos de yumbo, el paso y zelesra; aumentando considerablemente la cantidad de generación eléctrica para 2019 en adelante.

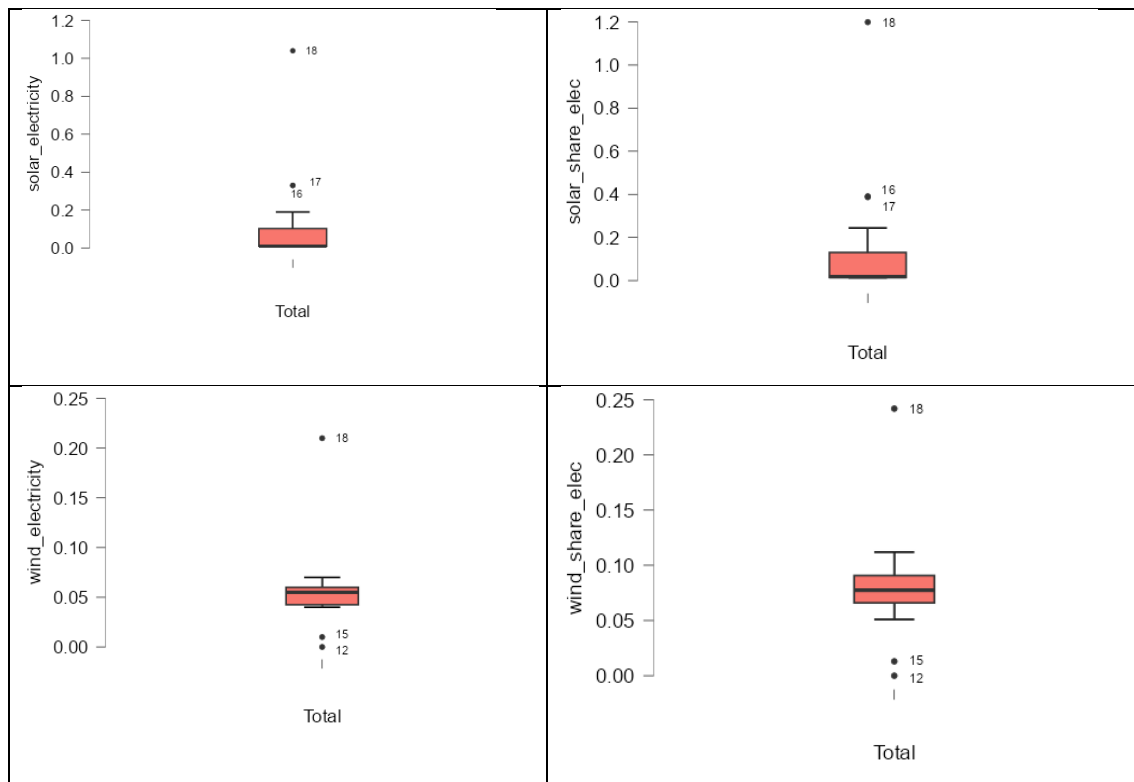


Figura ***: Caja y sesgo de las energías solar electricity, solar share elec, wind electricity y wind share elec.

Fase 3: Transformación de datos.

Es fundamental en cualquier técnica estadística validar los supuestos que se deben cumplir para satisfacer los objetivos de la investigación, cuando se trata de variables cuantitativas es útil conocer la forma de la distribución de ellas, donde se prueba la normalidad (datos acampanados), para ello, se utilizó la prueba de Shapiro Willks implementada en programa JASP¹ de distribución libre, encontrado que para la mayoría de variables tuvieron valores P mayores de 0,05, indicando la normalidad de ellas, solamente *solar electricity*, *solar share elec*, *wind electricity* y *wind share elec* no se comportaron normales, debido a lo ya descrito al tener algunos valores extremos.

Fase 4: Técnicas estadísticas.

Considerando los objetivos, se definieron los siguientes procedimientos y/o técnicas estadísticas para su cumplimiento.

¹ <https://jasp-stats.org/download/>

- Para visualizar los indicadores descriptivos se usó el software JASP v.19.0 en su módulo de estadística descriptiva.
- Cálculo de correlaciones de Pearson y su gráfico de calor para el segundo objetivo específico.
- Construcción de gráfico de barras apiladas con el fin de comparar la evolución de los porcentajes de los tipos de energía.
- Construcción de gráfico de segmentos para comparar la evolución de las generación eléctrica de los tipos de energía.

Fase 5: Análisis e interpretación de resultados.

En este apartado se mostrarán los resultados encontrados en los procedimientos y técnicas utilizadas para satisfacer los objetivos propuestos en la investigación. En primer lugar, se presentan los resultados descriptivos de las siete fuentes de energía, para seguir con la comparación de energía por fuente en Colombia en el periodo 2006-2023, En tercer lugar, se presenta la evolución del Mix energético en Colombia, para finalizar con el análisis de correlación de las siete fuentes de energía.

Análisis Descriptivo.

La media muestra coherencia con la generación del país, siendo la energía hidroeléctrica la que más aporta con un promedio de 49,762 TWH y una variabilidad del 13.10%, considerando entonces que es una variable homogénea en los años de estudio; luego se visualizan las fuentes termoeléctrica (gas) y carbón como con promedios de 12.322 TWH y 5.06 TWH y una variabilidad similar alrededor del 43%, esto también se considera coherente con la realidad del país dado que son fuentes de energía complementaria a la hidroeléctrica y no siempre operan a plena capacidad.

El promedio anual de la energía solar es de 0.120 THW con una variabilidad del 211,50%, indicando cambios significativos año a año, sin embargo, esto es comprensible debido a que en la primera parte del análisis la generación fue pequeña y tuvo un incremento sustancial luego de 2019 cuando entraron en operación nuevos parques solares.

Al visualizar un 75% de los años una producción de 0,060 THW para energía eólica, dato que está cercano a la producción media y además una alta variabilidad debido a la falta de constancia de generación y retardo en la entrada de operación de parques eólicos, se ratifica el rezago que mantiene el país respecto a esta fuente de generación.

Tabla **: Estadísticas resumen descriptivas de las siete fuentes de energía en Colombia, periodo 2006 al 2023.

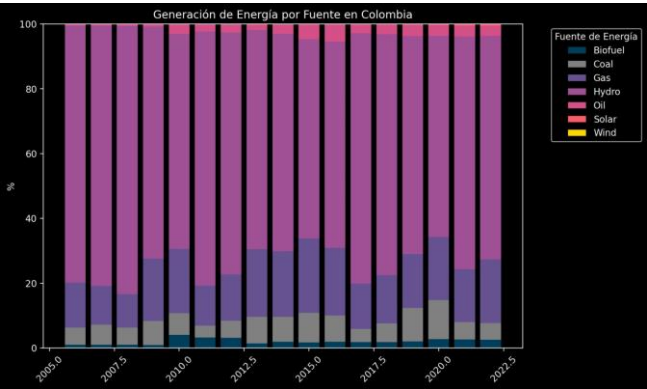
Estadísticos Descriptivos ▼

	Media	Desviación Típica	Coefficiente de variación	Primer cuartil	Segundo cuartil (mediana)	Tercer cuartil
biofuel_electricity	1.496	0.650	0.434	1.125	1.455	2.112
coal_electricity	5.016	2.112	0.421	3.368	4.450	6.145
gas_electricity	12.322	3.864	0.314	9.477	12.565	15.317
hydro_electricity	49.762	6.524	0.131	46.233	48.415	53.925
oil_electricity	1.964	1.173	0.597	1.265	2.160	2.750
solar_electricity	0.120	0.254	2.115	0.010	0.010	0.103
wind_electricity	0.058	0.042	0.731	0.042	0.055	0.060

Comparación porcentual de energía por fuente en Colombia en el periodo 2006-2023.

Se puede apreciar una mayoría de participación hidroeléctrica en general, no obstante, en los últimos cuatro años se presentó una disminución debido al aumento de otras fuentes, especialmente la termoeléctrica(gas), también se aprecia en los últimos 2 años una disminución de la energía producida por carbón que ha sido suplida por gas y en menor medida fuentes renovables.

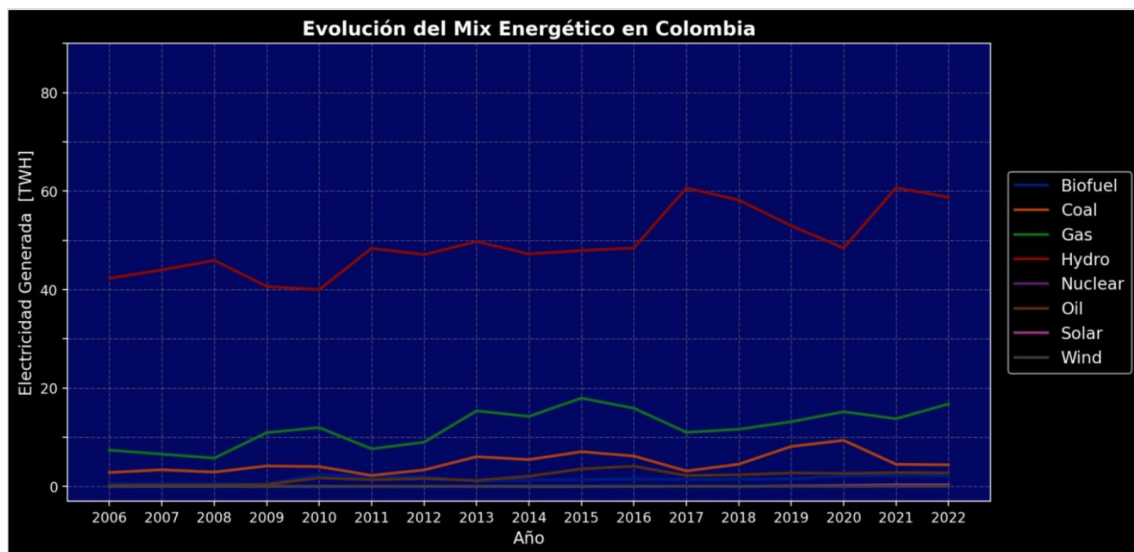
Por último, se aprecia un comportamiento estable, pero de baja incidencia en la generación por biocombustibles.



Evolución de generación del Mix energético en Colombia

Se corrobora desde la perspectiva de la generación el mayor aporte hidroeléctrico y su tendencia lineal ascendente por su aumento de aproximadamente 40 TWH en 2006 hasta 60 THW en 2023, con un incremento en 2017.

En general, en el mix energético se aprecia una leve tendencia lineal ascendente, entonces, si bien ha aumentado la generación en general, se hizo de manera leve.



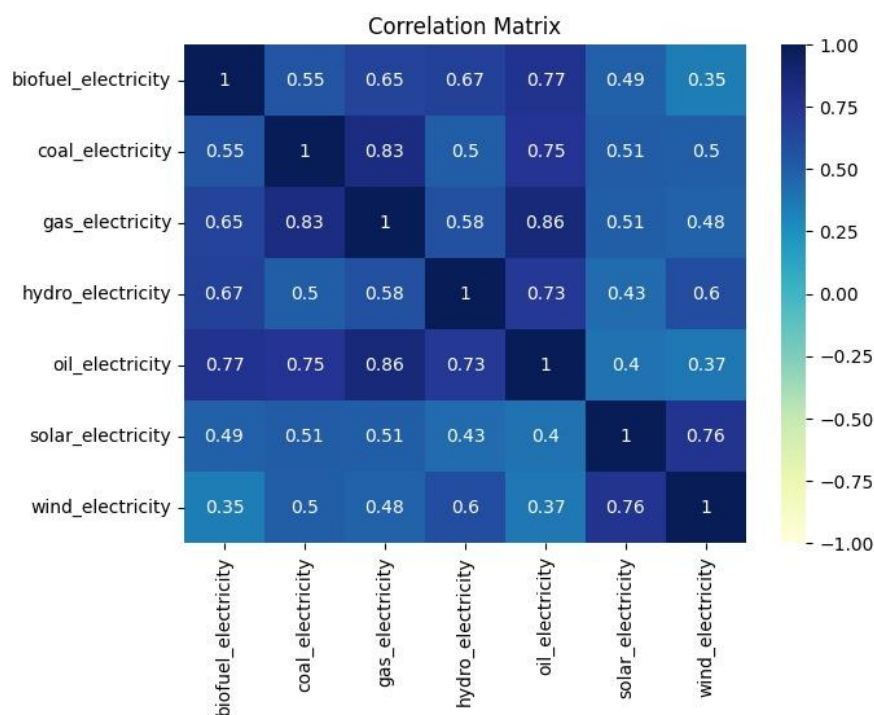
Análisis de correlaciones para las fuentes de energía.

La matriz de correlaciones analiza las relaciones entre fuentes de energía, y permite identificar los patrones y variaciones conjuntas, adicionalmente, optimizar la matriz energética para mitigar los riesgos climáticos, de generación y para una gestión eficiente y sostenible de la energía.

El gráfico que se analiza está construido de tal manera que los tonos de azul más oscuros muestran mayores correlaciones, es decir, cuando suceden cambios en una de las variables origina igualmente cambios en la otra variable.

En el siguiente gráfico, se encontró:

- Se evidencia una alta correlación entre la energía generada por gas y por combustibles, dado que provienen de materias primas similares ($r=0,86$).
- Se evidencia también alta correlación entre la energía generada por gas y carbón, esto se puede ser porque parte de la energía del carbón es aprovechada en forma de gas.
- Si bien la correlación entre energía por biocombustibles y energía eólica es la menor de las relaciones, se evidencia como de tipo moderado, identificando así cierto grado de asociación, es decir, aumentan de forma conjunta.



Conclusiones.

- Se concluye un comportamiento estable para generación hidroeléctrica y muy variable para las fuentes solar y eólica en Colombia para el periodo analizado.
- Se concluye que otras fuentes de energía han reemplazado parte de la generación hidroeléctrica y de carbón, especialmente el gas y en menor medida la energía eólica y solar.

- Se concluye un comportamiento lineal ascendente y de pendiente leve para todas las fuentes de energía.
- Se concluye una correlación directa y positiva en todas las fuentes de energía, siendo las más altas entre energía por gas, combustibles y carbón.

Bibliografía en Normas APA 7.... LO QUE LLEVAMOS HASTA AHORA_____

1. Datos sobre Emisiones y Cumplimiento de la Norma Euro

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (s.f.). *Data and Maps*. European Environment Agency. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>
- Comisión Europea. (s.f.). *Transport emissions: EU action*. European Commission. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions_en
- International Council on Clean Transportation. (s.f.). *Data & Tools*. ICCT. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://theicct.org/data/>

2. Datos sobre Adopción de Vehículos Eléctricos

- Agencia Internacional de Energía. (2023). *Global EV Outlook 2023*. IEA. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook>
- Ritchie, H., & Roser, M. (s.f.). *Energy*. Our World in Data. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://ourworldindata.org/energy>

3. Datos sobre Infraestructura de Recarga

- Open Charge Map. (s.f.). *Global public charging station database*. Open Charge Map. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://openchargemap.org/site>
- European Alternative Fuels Observatory. (s.f.). *Alternative Fuels Infrastructure*. European Commission. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/>

4. Datos sobre Impacto en la Red Eléctrica

- International Renewable Energy Agency. (s.f.). *IRENA Database*. IRENA. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://www.irena.org/>
- Agencia Internacional de Energía. (s.f.). *Electric Vehicles and Energy Demand*. IEA. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://www.iea.org/topics/transport/electric-vehicles>

5. Datos sobre Políticas Públicas y Normativa Ambiental

- United Nations Environment Programme. (s.f.). *Global overview of low-emission zones*. UNEP. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://www.unep.org/resources/report/global-overview-low-emission-zones>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (s.f.). *ITF Transport Statistics*. OECD. Recuperado el 5 de febrero de 2025, de <https://www.itf-oecd.org/statistics>

<https://apnews.com/article/wind-energy-colombia-wayuu-indigenous-resistance-clash-cemetery-renewable-e55077418352f19349dc27b09f1eee18>

<https://www.larepublica.co/energia/celsia-inicio-la-operacion-de-su-primer-parque-eolico-en-la-guajira-2021-3071292>

<https://www.elheraldo.co/region/cesar/el-parque-solar-el-paso-en-cesar-entra-en-operacion-758062>

<https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/spains-zelestra-opens-200-million-solar-park-colombia-2024-09-27/>