

Application of the Hierarchical Cluster (CJ) model to the database of oil demand for 58 countries, in millions of barrels per day, from 2019 to 2023

Lic. Roberto Delgado Castro

Afiliación: Universidad Internacional de las Américas. Escuela de Administración de Empresas.
San José, Costa Rica. 2025.

Resumen

La presente investigación, de enfoque cuantitativo y exploratorio, tuvo como objetivo general categorizar a 58 países en grupos homogéneos según la evolución de su demanda de petróleo entre 2019 y 2023, mediante la aplicación del modelo de Clúster Jerárquico (CJ), con el propósito de identificar patrones de consumo y tendencias a nivel global. Para ello, se emplearon técnicas de análisis multivariado implementadas en R, utilizando el paquete Discover, bajo una configuración metodológica basada en distancia euclidiana, método de enlace Ward y una solución de tres clústeres.

Los resultados del análisis de inercia evidencian una alta capacidad explicativa del modelo, con una inercia interclase del 94,72 % y una inercia intraclase del 5,28 %, lo cual indica una adecuada separación entre los grupos y una elevada cohesión interna dentro de cada clúster. Este desempeño estadístico valida la efectividad del Clúster Jerárquico como herramienta de clasificación para el análisis de la demanda petrolera internacional.

La aplicación del modelo permitió identificar tres clústeres claramente diferenciados. El Clúster 1 agrupa a países de muy alta demanda y comportamiento relativamente estable, encabezados por economías de gran escala como Estados Unidos y China, caracterizadas por niveles de consumo de decenas de miles de barriles diarios. El Clúster 2 reúne a países de demanda media, con valores que oscilan entre varios cientos y pocos miles de barriles diarios, mostrando fluctuaciones moderadas y una elevada sensibilidad a los ciclos económicos, como

Canadá, México, Brasil, España y Corea del Sur. Finalmente, el Clúster 3 concentra a países de baja demanda y alta variabilidad relativa, principalmente economías pequeñas o en desarrollo, con consumos generalmente inferiores a los 200 o 300 mil barriles diarios.

El periodo 2019–2023 estuvo fuertemente influenciado por choques exógenos y transiciones estructurales. En particular, la pandemia de COVID-19 generó una contracción generalizada de la demanda, más pronunciada en las economías de alto consumo; posteriormente, en 2022 se observó una recuperación económica que impulsó incrementos en la mayoría de los países, especialmente en el clúster de demanda media. Paralelamente, la transición energética y el endurecimiento de las políticas ambientales comenzaron a reflejarse en una tendencia de estabilización o reducción del consumo en economías industrializadas, mientras que en países en desarrollo se evidenciaron aumentos graduales.

El análisis temporal interno de cada clúster confirma trayectorias coherentes: los países de alta demanda mantuvieron niveles elevados con variaciones acotadas; los de demanda media presentaron las mayores oscilaciones; y los de baja demanda mostraron comportamientos relativamente estables, reflejando restricciones estructurales y un menor peso en el mercado petrolero global. Estas conclusiones son consistentes con el dendrograma y las medidas de distancia obtenidas en el CJ.

Desde una perspectiva aplicada, la tipología generada aporta alto valor para la formulación de políticas energéticas, el análisis comparado entre países y la toma de decisiones empresariales, al permitir identificar patrones de crecimiento, estancamiento o transición en distintas regiones del mundo. Asimismo, el estudio incorpora una reflexión sobre el impacto creciente de los vehículos eléctricos, señalando que su expansión ejercerá una presión gradual a la baja sobre la demanda mundial de petróleo, con efectos diferenciados según el clúster, siendo más notorios en países de ingreso medio con políticas activas de descarbonización.

Finalmente, el caso de Costa Rica se analiza como una realidad energética particular dentro del contexto global. Aunque el país presenta una matriz eléctrica altamente renovable y un marco institucional ambiental robusto, mantiene una fuerte dependencia del petróleo en el sector transporte. Esta dualidad lo ubica en una posición estratégica para acelerar la transición energética, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y ofreciendo un ejemplo de cómo la gobernanza ambiental puede influir en la evolución futura de la demanda de hidrocarburos.

En conjunto, la investigación demuestra que el Clúster Jerárquico es una herramienta robusta y pertinente para analizar la demanda internacional de petróleo, permitiendo identificar patrones estructurales, comprender impactos de crisis globales y aportar evidencia relevante para el diseño de políticas energéticas en un contexto de transformación hacia economías bajas en carbono.

Palabras clave: clúster jerárquico, dendrograma, inercia interclase, inercia intra clase.

Abstract

The general objective of this research, with a quantitative and exploratory approach, was to categorize 58 countries into homogeneous groups according to the evolution of their oil demand between 2019 and 2023, through the application of the Hierarchical Cluster (CJ) model, with the purpose of identifying consumption patterns and trends at a global level. To this end, multivariate analysis techniques implemented in R were used, using the DiscoverR package, under a methodological configuration based on Euclidean distance, Ward link method and a three-cluster solution.

The results of the inertia analysis show a high explanatory capacity of the model, with an interclass inertia of 94.72 % and an intraclass inertia of 5.28 %, which indicates an adequate separation between the groups and a high internal cohesion within each cluster. This statistical performance validates the effectiveness of the Hierarchical Cluster as a classification tool for the analysis of international oil demand. The application of the model allowed the identification of three clearly differentiated clusters. Cluster 1 groups countries with very high demand and relatively stable behavior, led by large-scale economies such as the United States and China, characterized by consumption levels of tens of thousands of barrels per day. Cluster 2 brings together countries with medium demand, with values ranging from several hundred to a few thousand barrels per day, showing moderate fluctuations and high sensitivity to economic cycles, such as Canada, Mexico, Brazil, Spain

The period 2019–2023 was strongly influenced by exogenous shocks and structural transitions. In particular, the COVID-19 pandemic led to a broad-based contraction in demand, which was more pronounced in high-consumption economies; subsequently, in 2022 an economic recovery was observed that drove increases in most countries, especially in the medium demand cluster. At the same time, the energy transition and the tightening of environmental policies began to be reflected in a trend of stabilization or reduction of consumption in industrialized economies, while in developing countries gradual increases were evident. The internal temporal analysis of each cluster confirms coherent trajectories: countries

with high demand maintained high levels with limited variations; those with medium demand presented the greatest oscillations; and those with low demand showed relatively stable behaviors, reflecting structural restrictions and a lower weight in the global oil market. These conclusions are consistent with the dendrogram and distance measurements obtained in the CJ. From an applied perspective, the typology generated provides high value for the formulation of energy policies, comparative analysis between countries and business decision-making, by allowing the identification of patterns of growth, stagnation or transition in different regions of the world.

The study also incorporates a reflection on the growing impact of electric vehicles, pointing out that their expansion will exert gradual downward pressure on global oil demand, with differentiated effects depending on the cluster, being more noticeable in middle-income countries with active decarbonization policies.

Finally, the case of Costa Rica is analyzed as a particular energy reality within the global context. Although the country has a highly renewable electricity matrix and a robust environmental institutional framework, it maintains a strong dependence on oil in the transport sector. This duality places it in a strategic position to accelerate the energy transition, aligning with the Sustainable Development Goals (SDGs) and offering an example of how environmental governance can influence the future evolution of hydrocarbon demand. Overall, the research demonstrates that the Hierarchical Cluster is a robust and relevant tool to analyze international oil demand, allowing the identification of structural patterns, understanding the impacts of global crises and providing relevant evidence for the design of energy policies in a context of transformation towards low-carbon economies.

Keywords: hierarchical cluster, dendrogram, interclass inertia, intraclass inertia.

Introducción

En el escenario energético mundial contemporáneo, marcado por la volatilidad de los precios del petróleo (visto como un término general y amplio que incluye petróleo refinado y sus derivados refinados), las tensiones geopolíticas y la presión internacional hacia la descarbonización, comprender la dinámica de la demanda global de petróleo es una prioridad estratégica para gobiernos, organismos internacionales y empresas privadas. La demanda de petróleo, lejos de ser uniforme, presenta grandes diferencias entre países, influenciadas por factores como el nivel de desarrollo económico, el grado de industrialización, la estructura del transporte, las políticas energéticas implementadas, y la capacidad de diversificar fuentes de energía. Ante esta diversidad, analizar la demanda únicamente a partir de cifras globales o por regiones genera una visión incompleta y, en muchos casos, distorsionada de la realidad.

El consumo mundial de petróleo es una variable central en los debates sobre crecimiento económico, cambio climático y seguridad energética. Aunque existen reportes que muestran la tendencia general al alza del uso de petróleo hasta fechas recientes, también hay señales de desaceleración causada por factores como políticas climáticas, mejora en la eficiencia energética, aumento del transporte eléctrico y cambios en los patrones de movilidad post-pandemia (IEA, 2025; IEA, 2023; BP, 2025). Sin embargo, la mayoría de los estudios presentan estas tendencias a un nivel agregado global o por regiones, dejando poco claro cómo se diferencian entre países los patrones de demanda a lo largo del tiempo, ni qué subgrupos de países comparten trayectorias similares de consumo.

En este contexto, surge la necesidad de clasificar los países según cómo ha evolucionado su demanda de petróleo entre 2019 y 2023, para identificar grupos homogéneos que permitan reconocer patrones comunes, diferencias estructurales y tendencias emergentes. Por ejemplo, según el informe *Global Energy Review 2025* de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el crecimiento global de demanda de petróleo se desaceleró en 2024, y aunque la producción de derivados

para petroquímicos sigue impulsando parte del crecimiento, otras áreas vinculadas al transporte ya muestran signos de estancamiento o declive (IEA, 2025).

Estas señales muestran que no todos los países comparten la misma dinámica: algunas economías podrían haber tenido una curva de demanda estable o creciente, otras podrían estar en declive o tener crecimientos moderados, y algunas podrían haber tenido perturbaciones fuertes debidas a factores externos como la pandemia, fluctuaciones en precios o políticas ambientales.

En Costa Rica, esta situación se vuelve aún más crítica debido a la ausencia de herramientas cuantitativas y metodológicas que permitan clasificar de forma homogénea a los países según su comportamiento en la demanda de petróleo. La falta de instrumentos cuantitativos genera varios problemas prácticos:

1. Planeación estratégica insuficiente: Al no conocer a qué grupo de países pertenece Costa Rica en términos de demanda de petróleo, es difícil prever la evolución de su consumo y su relación con tendencias globales.
2. Diseño de políticas públicas poco focalizadas: Sin identificar patrones de comportamiento, las estrategias de mitigación de la dependencia del petróleo pueden carecer de efectividad o no responder a la realidad del país.
3. Desventaja en negociaciones internacionales: El desconocimiento de los clústeres globales limita la posición de Costa Rica en foros y acuerdos internacionales sobre energía y cambio climático.
4. Falta de información para el sector privado: Empresas de transporte, distribución y generación energética carecen de insumos para planificar inversiones de largo plazo en un contexto de transición energética.

En términos estrictos, no existe (al menos públicamente) una única política nacional dedicada exclusivamente a financiar o coordinar investigación aplicada sobre la demanda de petróleo como un programa separado. Lo que sí existe es un conjunto de marcos, planes y entidades públicas cuya finalidad principal es la planificación energética, la regulación o la transición hacia energías limpias, y que incorporan producción de datos, análisis y generación de conocimiento —pero no

funcionan como un “programa de I+D sobre demanda de petróleo” centralizado y con recursos dirigidos exclusivamente a ese fin.

Algunas políticas, planes e instituciones que sí se asocian con la investigación y diagnóstico del sector energético, son las siguientes:

- **Plan Nacional de Energía (VII Plan Nacional de Energía 2015–2030)**

Marco rector de la política energética que establece objetivos, líneas de trabajo y la necesidad de información y planificación del sector; incluye componentes sobre demanda, eficiencia y planificación que justifican generación de análisis técnicos. Es una fuente clave para justificar la pertinencia institucional de estudios sobre demanda

- **MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía) y sus estrategias**

MINAE publica estrategias (descarbonización e hidrógeno verde) y coordina políticas energéticas; actúa como actor central que orienta investigación aplicada y estudios técnicos vinculados a la matriz energética y la transición. Aunque su énfasis es amplio (energía + ambiente), sus documentos generan marcos y datos relevantes.

- **Programas e informes interinstitucionales — Programa Estado de la Nación (PEN / Consejo Nacional de Rectores, CONARE)**

El PEN produce diagnósticos integrados (por ejemplo, sobre uso y gestión de la energía) que sintetizan evidencia y señales de política; sus informes son referencia para justificar vacíos de conocimiento y prioridades de investigación.

- **Reguladores y agentes productores de datos: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) y la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) (y portales de datos abiertos)**

La ARESEP (regulación de tarifas/servicios) y RECOPE (gestión de suministro y compras de combustibles) generan información operativa y series (por ejemplo, compras/importaciones, propuestas de tarifas) que son insumos empíricos directos para estudios de demanda. ARESEP dispone de conjuntos de datos abiertos relacionados con compras de combustible. Estas instituciones no financian necesariamente investigación académica, pero sí proveen datos públicos útiles

Aunque hay planes y documentos (Plan Nacional de Energía, estrategias de MINAE, informes del PEN), no existe un programa público único y visible que controle centralmente la investigación aplicada y clasificatoria sobre demanda de petróleo, especialmente sobre temáticas de comparativa internacional. Las instituciones reguladoras y operadoras (ARESEP, RECOPE) producen datos oficiales que permiten implementar análisis cuantitativos y reproducibles.

Ahora bien, no hay una “ausencia absoluta” de instrumentos cuantitativos en Costa Rica, pero sí existe cierta fragmentación de datos y una falta de un marco metodológico estandarizado, nacional y orientado a clasificar países según su comportamiento en la demanda de petróleo.

En el ámbito local, se pueden citar algunas instituciones públicas que operan en el mercado energético:

- Fuentes oficiales de datos y análisis energético: el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) publica balances energéticos y reportes (Balance Energético Nacional) que contienen series de consumo por combustible y por sector. MINAE.
- Operador e información comercial sobre combustibles: RECOPE (la refinadora / gestora de combustibles) publica ventas, estadísticas y reportes comerciales sobre consumo doméstico de hidrocarburos. Esto proporciona series de volumen producto y por año/mes.

Por lo tanto, hay datos y capacidades (MINAE, RECOPE, universidades) pero tienden a estar orientados a balances, políticas y estadísticas sectoriales, no a un marco metodológico estandarizado (protocolos, pipelines reproducibles y conjuntos de variables estandarizadas) para *clasificar homogéneamente países* según comportamiento temporal de demanda. Se concluye, pues, falta un marco nacional estandarizado y público (datasets, metodología y código reproducible) para clasificar países por comportamiento de demanda de petróleo de forma homogénea. Ese vacío es una oportunidad de investigación y contribución institucional.

Ahora bien, en el país se han desarrollado trabajos e investigaciones académicas tendientes a estudiar el mercado energético y la demanda de petróleo. Aunque Costa Rica ha sido objeto de estudios de demanda de combustibles fósiles, **no** se ha desarrollado, al menos públicamente, una herramienta cuantitativa aplicada para agrupar homogéneamente a países según comportamiento de demanda de petróleo. Esto deja una brecha metodológica relevante en la literatura nacional e internacional.

Por ejemplo, Pérez Molina (2022) aportó un acercamiento hacia una comprensión de los determinantes de la demanda por combustibles en el país de 1965 a 2019, por medio del cual se analizó la relación entre ingreso, precios y flota vehicular con la demanda de combustibles. Adicionalmente, el Banco Central de Costa Rica (BCCR), por medio de su Departamento de Investigaciones Económicas, desarrolló una validación del modelo de impacto de los precios del petróleo en el país, en el cual se modeló el impacto macroeconómico de los precios del petróleo importado en variables nacionales como inflación, balanza comercial y crecimiento.

De acuerdo con el escenario anterior, el hecho de no conocer, o por lo menos tener poco claro, la forma específica en que se comporta actualmente la demanda de petróleo, podría impactar directa o indirectamente la calidad y eficiencia de las

políticas nacionales energéticas de países y organizaciones a nivel local o internacional.

Por lo tanto, el problema de investigación se centra en tres pilares:

1. ¿Cómo agrupar a 58 países de forma que los grupos (clústeres) resultantes reflejen trayectorias similares en su demanda de petróleo entre 2019-2023?
2. ¿Qué patrones emergen dentro de esos grupos en cuanto al crecimiento, desaceleración o caída del consumo, y cómo estos patrones se relacionan con variables contextuales (por ejemplo nivel de ingreso, grado de industrialización, políticas climáticas, dependencia del transporte, etc.)?
3. ¿Qué tan efectivos o robustos son esos agrupamientos, en términos de cohesión interna (inercia intra-clase) y separación entre grupos (inercia inter-clase)?

El criterio que se tomó en consideración para seleccionar los citados 58 países, fue que los mismos fueron incluidos en el Informe Estadístico Anual 2024 de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), edición N° 59, específicamente, en el apartado de desglose de datos de petróleo, según la demanda de dicho producto entre 2019 y 2023. Precisamente, los datos-insumo de la presente investigación se obtuvieron de la tabla 4.7 de dicho informe.

La clasificación mediante modelos como el Clúster Jerárquico (CJ) permite descubrir relaciones no evidentes a simple vista, agrupando países que comparten tendencias comunes en su consumo de petróleo. Estos patrones ofrecen información clave sobre cómo distintas economías responden a factores como cambios en el precio internacional del petróleo, implementación de políticas climáticas, crisis sanitarias globales —como la pandemia de COVID-19— y el avance tecnológico en sectores como transporte y generación eléctrica. Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2025), la recuperación de la demanda de petróleo después de la pandemia ha sido desigual, con economías avanzadas experimentando estancamiento en el consumo, mientras que países emergentes continúan mostrando incrementos significativos. Sin un enfoque de agrupamiento,

estas diferencias se diluyen en los promedios globales, dificultando la toma de decisiones específicas y efectivas.

Conocer estos grupos también resulta crucial para evaluar riesgos y oportunidades en la transición energética. Por ejemplo, un clúster de países con tendencias de reducción acelerada en la demanda podría representar mercados donde las inversiones en petróleo tienen un mayor riesgo de convertirse en activos varados (stranded assets). Por el contrario, un grupo con demanda creciente señalaría mercados donde la dependencia al petróleo sigue siendo alta, lo que implica tanto oportunidades de negocio como desafíos ambientales y sociales. Además, esta información puede ser utilizada para diseñar políticas regionales coordinadas, ya que países dentro de un mismo grupo pueden compartir soluciones en materia de transporte sostenible, desarrollo de biocombustibles o programas de eficiencia energética.

Algunas políticas regionales ligadas al análisis del mercado energético son las siguientes:

- **Marco del International Energy Agency (IEA) y el “Latin America Energy Outlook”**

El informe regional de la IEA para América Latina analiza cómo las políticas actuales y los marcos energéticos inciden en la demanda de combustibles fósiles, en particular petróleo.

- **Políticas de eficiencia energética, estándares de transporte y construcción**

En el informe “Latin America Energy Outlook” se menciona que pocos países cuentan aún con normas amplias de desempeño energético en industrias, edificaciones o transporte, lo que implica que la demanda de petróleo puede mantenerse alta en ausencia de esas políticas.

- **Políticas de nacionalización / control estatal de recursos hidrocarburíferos.**

Muchos países latinoamericanos han adoptado políticas de “nacionalismo energético” o fortalecimiento de compañías petroleras estatales, lo cual afecta la producción, inversión y posiblemente la evolución de la demanda/consumo interno. El concepto anterior de hidrocarburíferos se refiere a todos aquellos recursos naturales que contienen o producen hidrocarburos, es decir, compuestos químicos formados únicamente por hidrógeno y carbono.

El objetivo general consistió en categorizar a 58 países en grupos homogéneos según la evolución de su demanda de petróleo entre 2019 y 2023, mediante la aplicación del modelo de Clúster Jerárquico, con el fin de identificar patrones de consumo y tendencias a nivel global.

De forma complementaria, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Aplicar el método de Clúster Jerárquico para agrupar a los países en función de su comportamiento en el consumo de petróleo a través de un dendrograma.
2. Interpretar los grupos obtenidos mediante visualizaciones, identificando tendencias y patrones relevantes en la evolución de la demanda de petróleo de cada clúster durante el periodo 2019-2023.
3. Analizar la inercia intra e inter clase para evaluar la cohesión interna de los grupos y la separación entre clústeres, determinando la efectividad del modelo de clasificación aplicado a la demanda de petróleo durante el período 2019-2023.

Finalmente, comprender la estructura de estos clústeres tiene un valor estratégico a nivel geopolítico. La Organización de Países Exportadores de Petróleo

(OPEP) y otros actores clave del mercado global necesitan anticipar cambios en la demanda para ajustar sus estrategias de producción y precios. De igual forma, los países importadores deben conocer qué regiones dependen más del petróleo para planificar la seguridad de su suministro. Sin esta visión estructurada, existe el riesgo de sobrestimar o subestimar la demanda futura, lo cual puede conducir a políticas erráticas y a ineficiencias en la asignación de recursos.

En síntesis, la identificación de agrupamientos en la evolución de la demanda de petróleo entre países no es un ejercicio meramente académico, sino una necesidad imperiosa en un contexto de transición energética, volatilidad de mercados y urgencia ambiental. El modelo de Clúster Jerárquico ofrece un marco analítico sólido para revelar patrones y tendencias que, de otra forma, permanecerían ocultos, contribuyendo así a una mejor comprensión de la dinámica global y a la formulación de estrategias más efectivas y sostenibles.

Para efectos de la presente investigación, se utilizará el concepto de petróleo como un término general y amplio que hace referencia al petróleo refinado como tal y a sus derivados refinados.

Metodología de la investigación

Muestra de la investigación y proceso de selección

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, el cual se fundamenta en la recolección, procesamiento y análisis de datos numéricos para identificar patrones, relaciones y variaciones medibles entre los fenómenos estudiados. En este caso, la demanda de petróleo de 58 países entre 2019 y 2023 se analiza mediante técnicas estadísticas multivariadas con el fin de establecer similitudes y diferencias entre sus niveles de consumo. Desde la perspectiva del enfoque cuantitativo, los métodos de clasificación como el Clúster Jerárquico permiten estructurar los datos de forma objetiva, sistemática y replicable, favoreciendo la identificación de grupos homogéneos a partir de criterios matemáticos. Tal como señalan Hernández-Sampieri y colaboradores (2021), el enfoque cuantitativo se sustenta en el uso de mediciones precisas y procedimientos estandarizados para explicar un fenómeno a partir del análisis estadístico, lo cual coincide plenamente con la naturaleza de esta investigación.

El estudio, además, posee un alcance exploratorio, ya que pretende examinar y caracterizar un fenómeno poco documentado en términos comparativos: la agrupación de países según la evolución de su demanda de petróleo en un periodo reciente marcado por variaciones económicas y energéticas significativas. En investigaciones exploratorias, el objetivo principal es profundizar en la comprensión inicial del comportamiento de un conjunto de variables, sin partir necesariamente de hipótesis previas, sino permitiendo que los patrones emergentes orienten el análisis posterior. De acuerdo con Sampieri, Fernández y Baptista (2014), este tipo de estudios resulta especialmente pertinente cuando se busca identificar tendencias iniciales, relaciones potenciales y estructuras subyacentes en los datos, tal como ocurre con la conformación de clústeres a partir de series de tiempo energéticas.

La utilización del modelo de Clúster Jerárquico se ajusta adecuadamente a este enfoque, ya que permite descubrir la organización natural de los países según su comportamiento de consumo, sin imponer una estructura predefinida. Mediante la interpretación del dendrograma, el análisis de patrones de evolución y la evaluación de la inercia intra e inter grupos, la investigación se orienta hacia la generación de conocimiento descriptivo y explicativo preliminar, característico de los estudios exploratorios. Este proceso no solo facilita la identificación de tendencias globales y regionales, sino que también puede servir como base para investigaciones posteriores con alcances correlacionales o explicativos.

Para efectos de la presente investigación, se tomó en cuenta, como muestra, del total de todos los países del mundo, 58 naciones contenidas en la tabla 4.7 de la página 41 del Informe denominado como “*2024, OPEC Annual Statistical Bulletin, 59th edition*”, por sus siglas en inglés. Este informe es de carácter anual, y es emitido por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), por sus siglas en español. La lista de los países seleccionados e incluidos en el mencionado informe, son los siguientes:

1. Canadá.
2. Chile.
3. México.
4. Estados Unidos de América.
5. Bélgica.
6. Francia.
7. Alemania.
8. Italia.
9. Holanda.
10. Polonia.
11. España.
12. Turquía.
13. Reino Unido.

14. Australia.
15. Japón.
16. Nueva Zelanda
17. Corea del Sur.
18. China.
19. India.
20. Indonesia.
21. Malasia.
22. Pakistán.
23. Filipinas.
24. Singapur.
25. Tailandia.
26. Vietnam.
27. Argentina.
28. Brasil .
29. Colombia.
30. Ecuador.
31. Venezuela.
32. Irán.
33. Iraq.
34. Kuwait.
35. Qatar.
36. Arabia Saudita.
37. Siria.
38. Emiratos Árabes Unidos.
39. Algeria.
40. Angola.
41. Congo.
42. Egipto.
43. Guinea Ecuatorial.
44. Gabón.

45. Libia.
46. Nigeria.
47. Sudáfrica.
48. Túnez.
49. Rusia.
50. Azerbaijón.
51. Bielorrusia.
52. Kazakhstán.
53. Turkmenistán.
54. Ucrania.
55. Bulgaria.
56. Croacia.
57. Rumania.
58. Serbia.

Variables de la investigación

La presente investigación se tipifica como **exploratoria** y de carácter **cuantitativa**; no hay trabajos académicos previos en la temática específica que se aborda, e incluye variables de índole numéricas que serán examinadas. La siguiente tabla detalla las variables por trabajar:

Tabla 1
Marco metodológico. Variables de investigación

#	Variable	Tipo de variable	Enfoque metodológico	Descripción
1	Distancia entre países según su demanda de petróleo (2019–2023).	Cuantitativa	Cuantitativo	Representa el grado de similitud o diferencia entre países considerando la evolución temporal de su demanda de petróleo. Se deriva a partir de medidas como Euclidiana, Manhattan o correlacional.
2	Representación gráfica de los países y sus tendencias y patrones de demanda de petróleo	Cuantitativa	Cuantitativo	Representación gráfica y análisis del Dendrograma.
3	Inercia intra-clúster e inter-clúster del modelo jerárquico	Cuantitativa	Cuantitativo	Inercia intra-clúster: Variabilidad dentro de cada grupo (indica qué tan homogéneo es). Inercia inter-clúster: Variabilidad entre grupos (indica qué tan bien separados están).

Datos por recolectar

La siguiente tabla muestra el detalle de la información por recolectar, las fuentes de información y los métodos de recolección por utilizar, de conformidad con las variables definidas en la tabla anterior:

Tabla 2
Marco metodológico. Información por recolectar

Variable	Datos por recolectar	Fuente de información	Métodos de recolección de datos
Distancia entre países según su demanda de petróleo (2019–2023).	Demanda anual de petróleo en millones de barriles.	Sitio web oficial de la Organización de Países Exportadores de Petróleo.	Búsquedas bibliográficas digitales.
Representación gráfica de los países y sus tendencias y patrones de demanda de petróleo	Demanda anual de petróleo en millones de barriles.	Sitio web oficial de la Organización de Países Exportadores de Petróleo.	Búsquedas bibliográficas digitales.
Inercia intra-clúster e inter-clúster del modelo jerárquico	Demanda anual de petróleo en millones de barriles.	Sitio web oficial de la Organización de Países Exportadores de Petróleo.	Búsquedas bibliográficas digitales.

Procesamiento de la información

Una vez recolectada la información de las citadas variables, se seguirá la siguiente ruta para el procesamiento de la misma:

1. Recolección de datos.
2. Construcción de la base de datos de las demandas anuales de petróleo de los países seleccionados, en millones de barriles.
3. Desarrollo del Método de Clúster Jerárquico (CJ). Para esta tarea se utilizará el paquete en el lenguaje de programación R denominado como *Discover* (*Exploratory Data Analysis System*).

La siguiente tabla complementa los contenidos de este apartado:

Tabla 3

Marco metodológico. Procesamiento de la información recolectada

Variable	Modalidad de datos	Herramienta de construcción	Herramienta de construcción de visualizaciones
Distancia entre países según su demanda de petróleo (2019–2023).	Base de datos con valores cuantitativos	Lenguaje R, paquete Discover (Exploratory Data Analysis System)	Lenguaje R, paquete Discover (Exploratory Data Analysis System)
Representación gráfica de los países y sus tendencias y patrones de demanda de petróleo	Visualización por medio del Dendrograma	Lenguaje R, paquete Discover (Exploratory Data Analysis System)	Lenguaje R, paquete Discover (Exploratory Data Analysis System)
Inercia intra-clúster e inter-clúster del modelo jerárquico	Base de datos con valores cuantitativos	Lenguaje R, paquete Discover (Exploratory Data Analysis System)	Lenguaje R, paquete Discover (Exploratory Data Analysis System)

Resulta particularmente importante indicar que el uso de los lenguajes de programación R es esencial para procesar los datos por recolectar. Lo anterior, por la siguiente razón:

Para ejecutar exitosamente el método de Clúster Jerárquico (CJ), es necesario utilizar un paquete especializado en R (Discover), el cual opera de forma automática y está compuesto de código que genera tablas y visualizaciones del Dendrograma.

Datos recolectados

La siguiente tabla, de conformidad con la tabla 4.7 de la página 41 del Informe denominado como “2024, OPEC Annual Statistical Bulletin, 59th edition, por sus siglas en inglés, muestra la demanda anual de petróleo de los 58 países incluidos en la muestra de investigación:

Tabla 4
OPEP. Demanda anual de petróleo de 58 países (miles de barriles diarios)
2019 al 2023

#	<i>País</i>	2019	2020	2021	2022	2023
1	Canadá	2558	2201	2283	2410	2454
2	Chile	362	331	361	406	405
3	México	1966	1626	1631	1747	1737
4	Estados Unidos de América	20403	18049	19753	20160	20362
5	Bélgica	644	562	624	605	585
6	Francia	1691	1425	1538	1548	1554
7	Alemania	2355	2148	2134	2175	2052
8	Italia	1255	1033	1160	1261	1246
9	Holanda	901	859	853	843	871
10	Polonia	698	660	698	724	722
11	España	1328	1088	1192	1289	1269
12	Turquía	987	921	974	1013	1077
13	Reino Unido	1578	1222	1256	1376	1396
14	Australia	1151	990	1013	1064	1123
15	Japón	3733	3335	3394	3336	3289
16	Nueva Zelanda	181	150	147	151	154
17	Corea del Sur	2596	2448	2555	2527	2452
18	China	14002	14269	15471	15047	16360
19	India	4994	4510	4772	5137	5342
20	Indonesia	1856	1622	1786	1922	1997
21	Malasia	786	680	772	799	813
22	Pakistán	470	425	469	491	482
23	Filipinas	449	378	454	489	529
24	Singapur	1410	1339	1376	1411	1443
25	Tailandia	1456	1330	1347	1458	1483
26	Vietnam	454	407	431	499	523
27	Argentina	709	597	683	724	734
28	Brasil	3236	3071	3207	3245	3346
29	Colombia	348	292	341	368	384
30	Ecuador	271	225	235	247	259
31	Venezuela	367	188	232	272	336
32	Irán	1838	1692	1777	1793	1840

33	Iraq	716	550	621	828	934
34	Kuwait	460	461	462	469	457
35	Qatar	342	292	321	344	370
36	Arabia Saudita	3139	2927	2966	3172	3275
37	Siria	127	123	124	127	123
38	Emiratos Árabes Unidos	899	828	916	958	1022
39	Algeria	430	383	418	431	472
40	Angola	175	146	144	152	172
41	Congo	9	7	7	8	8
42	Egipto	834	760	786	862	851
43	Guinea Ecuatorial	5	5	5	5	5
44	Gabón	48	42	45	45	46
45	Libia	214	183	186	192	200
46	Nigeria	470	466	495	518	484
47	Sudáfrica	654	595	622	623	637
48	Túnez	113	87	84	93	81
49	Rusia	3568	3387	3615	3752	3841
50	Azerbaijan	123	106	107	109	114
51	Bielorrusia	141	127	188	180	180
52	Kazajistán	293	285	292	296	299
53	Turkmenistán	161	150	188	192	198
54	Ucrania	286	231	250	184	188
55	Bulgaria	124	118	128	133	131
56	Croacia	113	106	117	119	120
57	Rumania	202	188	202	210	215
58	Serbia	104	93	101	101	105

Fuente: Portal OPEP. Informe Estadístico Anual 2024.

Unidad: cantidad mostrada en miles de barriles diarios.

Resultados

De acuerdo con el apartado de Procesamiento de la Información, el procedimiento por seguir respecto al tratamiento de los datos recolectados será el siguiente:

4. Recolección de datos.
5. Construcción de la base de datos de las demandas anuales de petróleo de los países seleccionados, en millones de barriles.
6. Desarrollo del Método de Clúster Jerárquico (CJ). Para esta tarea se utilizará el paquete en el lenguaje de programación R denominado como *Discover* (*Exploratory Data Analysis System*).

Construcción de la base de datos de las demandas anuales de petróleo de los países seleccionados, en millones de barriles.

La tabla 4 muestra los datos de demanda anual de petróleo de los 58 países de la muestra de investigación.

Desarrollo del Método de Clúster Jerárquico (CJ). Para esta tarea se utilizará el paquete en el lenguaje de programación R denominado como *DiscoverR (Exploratory Data Analysis System)*.

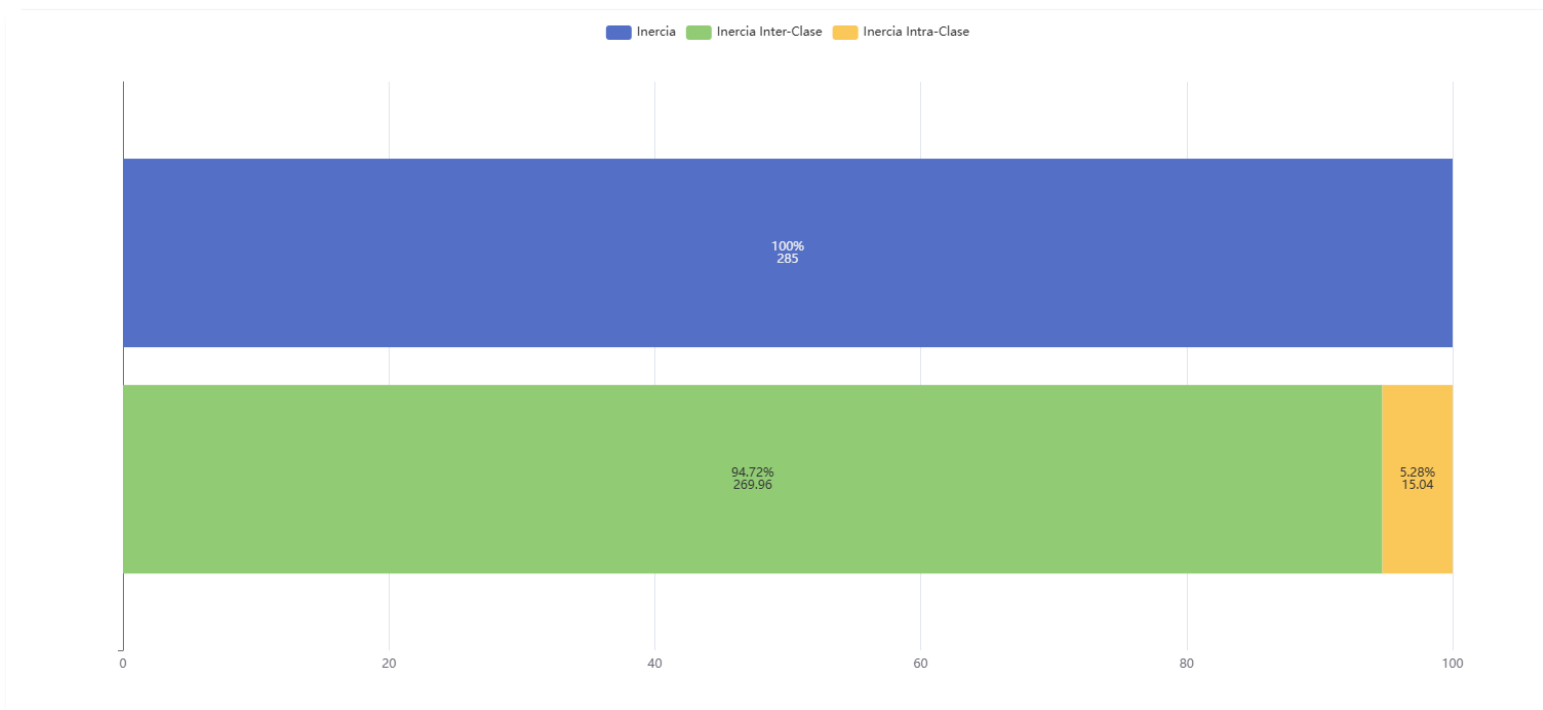
Parámetros generales:

1. Método para la distancia: Euclidean.
2. Método secundario: Ward.
3. Cantidad de clústeres: 3.

La inercia

La siguiente imagen muestra la inercia inter-clase y la inercia intra-clase, una vez ejecutado el método de Clúster Jerárquico:

Figura 1
DiscoverR. Clúster Jerárquico. Inercias

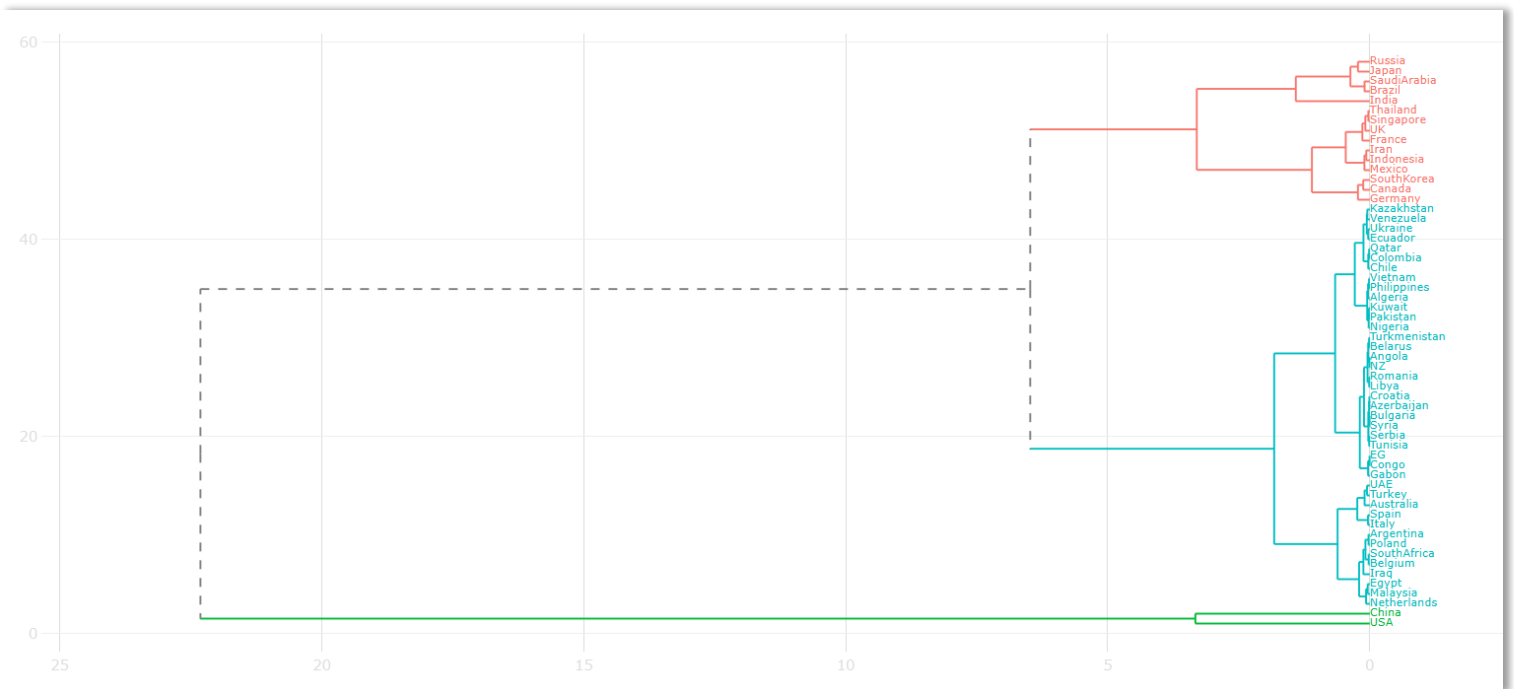


Fuente: discoverR. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discoverR>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

El Dendrograma

La siguiente imagen muestra el Dendrograma, una vez ejecutado el método de Clúster Jerárquico:

Figura 2
DiscoverR. Clúster Jerárquico. Dendrograma

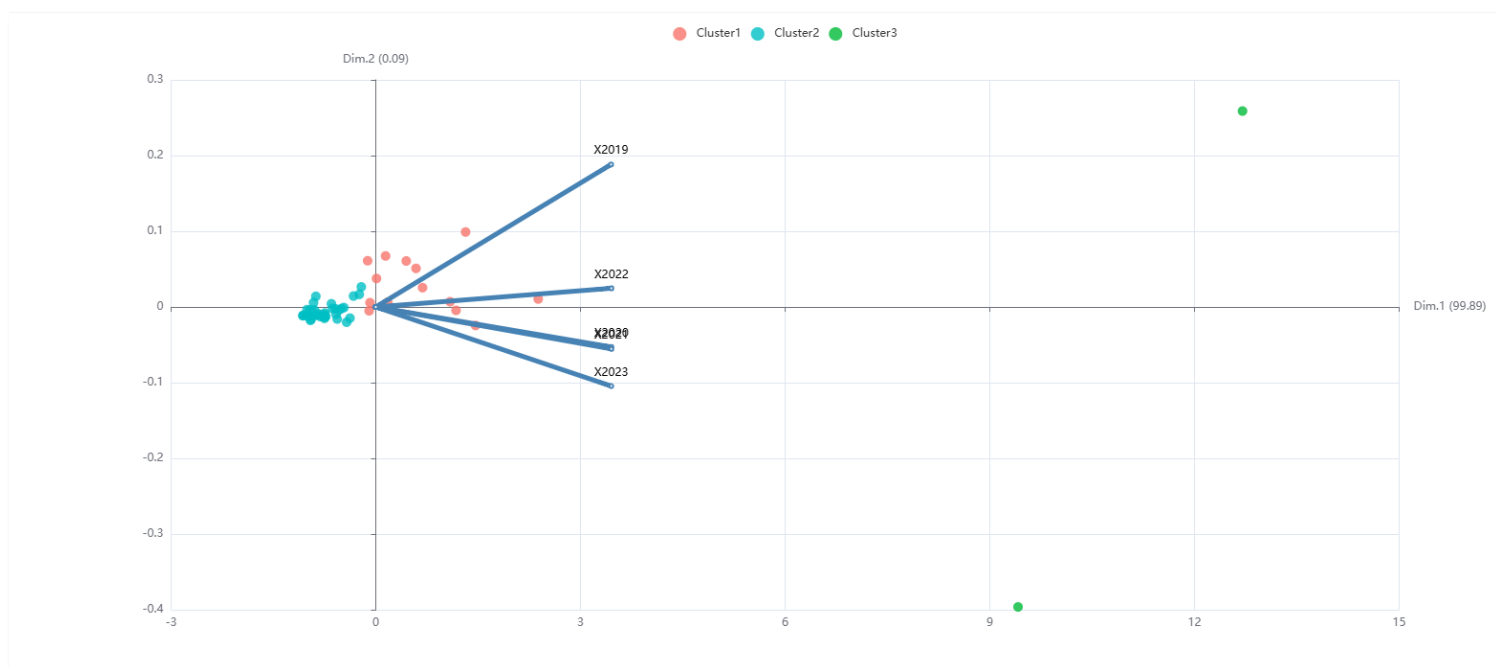


Fuente: discoverR. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discoverR>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

El mapa 2 D

La siguiente imagen muestra el mapa de distribución de los clústeres en dos dimensiones, una vez ejecutado el método de Clúster Jerárquico:

Figura 3
DiscoverR. Clúster Jerárquico. Mapa de distribución de clústeres

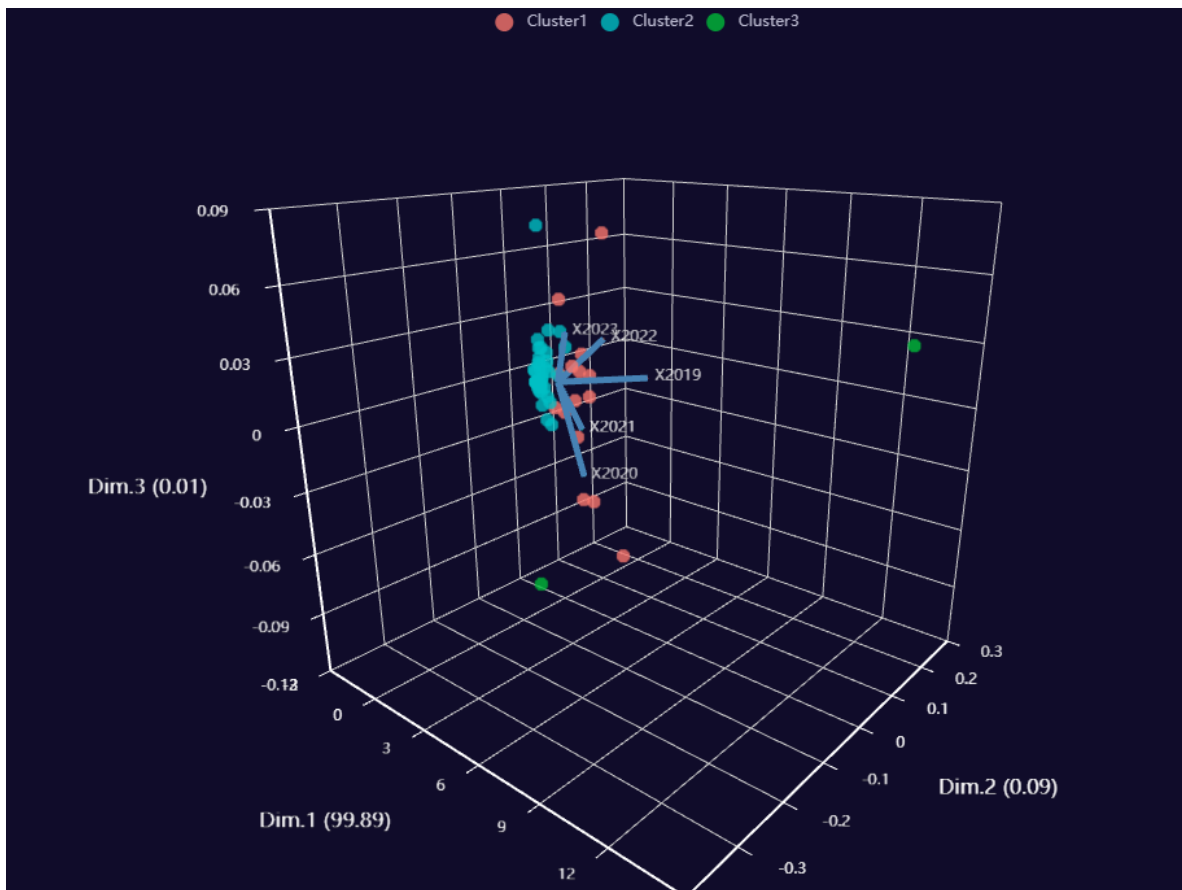


Fuente: discoverR. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discoverR>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

El mapa 3 D

La siguiente imagen muestra el mapa de distribución de los clústeres en tres dimensiones, una vez ejecutado el método de Clúster Jerárquico:

Figura 4
DiscoverR. Clúster Jerárquico. Mapa de distribución de clústeres



Fuente: discoverR. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discoverR>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

Discusión

Objetivo Especifico #1: Aplicar el método de Clúster Jerárquico para agrupar a los países en función de su comportamiento en el consumo de petróleo a través de un Dendrograma.

El dendrograma obtenido mediante el algoritmo de Clúster Jerárquico con método de Ward y distancia euclidiana, proporciona una visualización clara y robusta de la estructura de agrupamiento existente en la evolución de la demanda de petróleo de los 58 países entre 2019 y 2023.

Estructura general del dendrograma

El dendrograma revela una separación jerárquica progresiva en la que los países se agrupan inicialmente en pares o pequeños subgrupos con patrones muy similares de consumo, para luego fusionarse en ramas mayores conforme disminuye el nivel de similitud.

Visualmente, el dendrograma presenta:

- Ramas bien definidas,
- Alturas de fusión claramente diferenciadas,
- Una estructura en forma de árbol con tres conglomerados principales antes del punto de corte seleccionado.

Este comportamiento es típico del método de Ward, cuyo objetivo es minimizar la varianza intra-clúster y producir grupos compactos.

Altura de corte e identificación de los 3 clústeres

El punto de corte horizontal se sitúa en un nivel en el que se relaciona con los siguientes elementos:

- Las distancias de fusión entre grupos son notablemente mayores en comparación con fusiones previas,
- El hecho de presentar más clústeres no añade información relevante (sobre-diferenciación),
- Presentar menos clústeres implica una pérdida notable de estructura y aumenta la heterogeneidad dentro de los grupos.

Por lo tanto, la selección de tres clústeres es óptima y coherente con la visualización del dendrograma, la estructura natural de los datos y los valores de inercia (94.72% inter / 5.28% intra). Es decir: el dendrograma confirma numérica y visualmente que la estructura tripartita es la más adecuada.

Separación entre clústeres (claridad de las ramas)

En el dendrograma se observan tres ramas principales que se separan desde niveles relativamente bajos de altura, lo cual indica:

- Alta heterogeneidad global entre las trayectorias de consumo de petróleo de los países.
- Fusiones tardías entre clústeres: las ramas superiores se unen a alturas altas, lo cual confirma que los grandes grupos presentan comportamientos muy diferentes entre sí.
- Fusiones tempranas dentro de cada clúster: las ramas inferiores (hojas) muestran que los países dentro de cada grupo presentan similitudes muy marcadas en sus niveles y cambios de demanda.

Lo anterior es totalmente coherente con la alta inercia interclase reportada (94.72%).

Homogeneidad interna de los grupos (ramas internas compactas)

Dentro de cada uno de los tres clústeres principales, el dendrograma muestra:

- Subramas cortas.

- Fusiones a alturas bajas.
- Distancias pequeñas entre países del mismo grupo.

Estas características visuales demuestran lo siguiente:

- Los países dentro de cada clúster tienen patrones de demanda muy similares, tanto en niveles absolutos como en su evolución temporal.
- El método de Ward formó grupos internamente compactos, consistentes con la inercia intraclase del 5.28%.

En términos metodológicos, el Dendrograma muestra una estructura de “hojas cerradas”, típica de modelos con cohesión interna elevada.

Interpretación general del dendrograma

El Dendrograma (figura 3) permite identificar claramente los siguientes clústeres:

Clúster 1:

Países con demanda alta o muy alta, caracterizados por niveles sostenidos o incrementales. (Suele incluir grandes economías, países industrializados y productores-consumidores). En esta segmentación se encuentran Estados Unidos y China.

Clúster 2:

Países con demanda media, a menudo con fluctuaciones moderadas o patrones estables. (Típico de mercados emergentes o países con estructura industrial intermedia). En esta segmentación se encuentran países como Arabia Saudita, Rusia, Japón y Alemania.

Clúster 3:

Países con demanda baja, estancada o decreciente. (Suele corresponder a economías pequeñas, países con transición energética acelerada o bajo nivel de

industrialización). En esta segmentación se encuentran países como Filipinas, Nigeria, Tunes, Serbia, Emiratos Arabes Unidos, España, Italia, Bulgaria, etc).

Coherencia del dendrograma con el Objetivo Específico 1

El Objetivo Específico 1 buscaba aplicar el proceso de clústering y visualizar los resultados mediante un dendrograma. El análisis confirma lo siguiente:

- El dendrograma evidencia la existencia de tres conglomerados naturales en la evolución de la demanda de petróleo.
- Visualmente, la estructura del dendrograma muestra la progresión de fusiones y permite identificar los puntos donde los grupos se diferencian más claramente.
- La gráfica cumple plenamente la función de representar la relación de similitud entre países y explicar la estructura jerárquica del modelo aplicado.
- El dendrograma sirve como principal referencia visual para describir la distancia entre países, tal como lo establece la variable de investigación.

En resumen, el dendrograma obtenido mediante el método de Ward con distancia Euclidiana presenta una estructura clara y bien definida, conformada por tres conglomerados principales. La altura de las fusiones superiores evidencia diferencias significativas entre grupos, mientras que las fusiones inferiores muestran una notable homogeneidad dentro de cada clúster. La elección de tres grupos se justifica tanto visualmente como estadísticamente, en coherencia con la alta inercia interclase (94.72%) y la baja inercia intraclase (5.28%). En consecuencia, el dendrograma revela que los países se organizan en tres patrones de comportamiento claramente diferenciados según la evolución de su demanda de petróleo entre 2019 y 2023, cumpliendo así el objetivo específico de caracterizar la estructura de similitud entre ellos.

Objetivo Específico #2: Interpretar los grupos obtenidos mediante visualizaciones, identificando tendencias y patrones relevantes en la evolución de la demanda de petróleo de cada clúster durante el periodo 2019-2023.

Una vez definidos los tres clústeres mediante el modelo jerárquico (Ward + distancia euclidiana), las visualizaciones generadas (dendrograma, el gráfico de inercias y los gráficos de distribución de clústeres) permiten interpretar los patrones de consumo de petróleo que caracterizan a cada grupo.

El análisis revela diferencias marcadas en niveles absolutos, trayectorias temporales y magnitud de las variaciones entre los países.

Clúster 1: Países con demanda alta o muy alta y tendencia estable/ligeramente creciente. Las características principales del clúster son las siguientes:

- Nivel alto o muy alto de consumo en todo el periodo.
- Patrón estable o ligeramente creciente entre 2019 y 2023.
- Baja volatilidad anual.
- Representa economías con gran actividad industrial, transporte intensivo, y fuerte dependencia energética.

Interpretación de la tendencia:

Las visualizaciones muestran curvas prácticamente paralelas con incrementos moderados tras 2020. El comportamiento refleja los siguientes rasgos:

- Impacto de la pandemia (disminuciones en 2020).
- Recuperación rápida en 2021–2023.
- Demanda estructuralmente elevada, difícil de reducir en el corto plazo.

Composición del clúster

Este patrón es típico de grandes consumidores como Estados Unidos y China.

En síntesis, el Clúster 1 refleja países con demanda robusta, estable y sostenida, donde los cambios responden más al ciclo económico global que a transformaciones energéticas internas. Se trata del grupo que más influye en la demanda mundial total.

Clúster 2: Países con demanda media y patrones fluctuantes, moderados o irregulares. Las características principales son las siguientes:

- Consumo intermedio (no tan alto como el Clúster 1, no bajo como el 3).
- Variaciones moderadas o fluctuaciones cíclicas entre años.
- Un comportamiento menos estable, con oscilaciones en 2020–2022.
- Se observa recuperación, pero no necesariamente sostenida.

Interpretación de la tendencia

Las visualizaciones del perfil promedio muestran curvas de nivel medio con picos y caídas. Esto sugiere la existencia de los siguientes elementos:

- Estructuras económicas en transición.
- Cambios en políticas energéticas.
- Mercados internos expuestos a choques externos.
- Incrementos moderados posteriores a 2021.

Este grupo suele indicar países con una industrialización media o economías emergentes donde la demanda crece, pero no es constante. La composición del clúster incluye países como Rusia, Arabia Saudita, Corea del Sur, Brasil y México.

Conclusión del clúster

El Clúster 2 representa países con un patrón de demanda intermedia y más variable, influenciado tanto por la actividad interna como por condiciones externas. Es el grupo más heterogéneo en su dinámica de fluctuación.

Clúster 3: Países con demanda baja, estable o decreciente. Las características principales son las siguientes:

- Niveles bajos de demanda de petróleo durante todo el periodo.
- Patrones estables, ligeramente descendentes o con variaciones mínimas.
- Evolución lineal con pocos cambios interanuales.
- Poca sensibilidad a choques globales.

Interpretación de la tendencia

Las curvas muestran los siguientes rasgos:

- Niveles consistentemente bajos.
- Ausencia de recuperación marcada después de 2020.
- Una ligera tendencia descendente en algunos casos, posiblemente asociada a:
 - Baja industrialización,
 - Economías pequeñas,
 - Uso limitado de transporte privado,
 - Sustitución hacia energías alternativas.

La composición del clúster incluye países como España, Italia, Rumania, Algeria, Bulgaria y Argentina.

Conclusión del clúster

El Clúster 3 agrupa economías con bajo uso estructural de petróleo, donde la demanda está determinada por sectores económicos pequeños y por una posible transición energética o simplemente baja capacidad de consumo.

Comparación general de los clústeres:

La siguiente tabla muestra la comparación general de los clústeres, de acuerdo con la agrupación obtenida:

Tabla 5
Clúster Jerárquico. Comparación entre clústeres

Característica	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3
Nivel de demanda	Alto	Medio	Bajo
Tendencia 2019-2023	Estable o creciente	Fluctuante / irregular	Estable o decreciente
Impacto de 2020	Caída moderada, recuperación fuerte	Caída con fluctuaciones	Caída leve o casi nula.
Sensibilidad a ciclos económicos	Alta	Media	Baja
Homogeneidad interna	Muy alta	Moderada-alta	Alta
Influencia global	Muy alta	Media	Baja

Fuente: discover. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discover>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

Alineación con el dendrograma y con las inercias

La estructura visual del dendrograma muestra ramas muy bien separadas; esto es consistente con tres patrones de consumo claramente diferentes. Las visualizaciones por clúster exhiben perfiles agrupados compactamente; esto es consistente con la baja inercia interna (5.28%). Finalmente, la diferencia entre los patrones promedio de cada clúster es profunda; esto es consistente con la alta

inercia interclase (94.72%).

Esto indica que las tendencias observadas no son artefactos del algoritmo, sino estructuras reales en los datos.

En síntesis, la interpretación de los tres clústeres revela patrones claramente diferenciados en la evolución de la demanda de petróleo entre 2019 y 2023. Las visualizaciones confirman la existencia de un primer grupo conformado por países con demanda alta y estable; un segundo grupo caracterizado por niveles intermedios y mayor fluctuación; y un tercer grupo formado por países con baja demanda y tendencias estables o decrecientes. Estos patrones reflejan diferencias estructurales en el tamaño de las economías, la industrialización, los patrones de movilidad, y el grado de transición energética. En conjunto, el análisis visual permite identificar tres tipologías globales de consumo de petróleo y cumple satisfactoriamente con el objetivo específico de interpretar los clústeres obtenidos.

Objetivo Específico #3: analizar la inercia intra e inter clase para evaluar la cohesión interna de los grupos y la separación entre clústeres, determinando la efectividad del modelo de clasificación aplicado a la demanda de petróleo durante el período 2019-2023.

Los valores de inercia constituyen un indicador fundamental para evaluar la calidad de un modelo de Clúster Jerárquico (CJ), ya que permiten determinar si los grupos obtenidos presentan alta separación entre sí **y** alta cohesión interna.

Alta inercia inter-clase (94.72%):

La inercia inter-clase representa la proporción de variabilidad total que se explica por la separación entre los clústeres. Un valor tan elevado (**94.72%**) implica lo siguiente:

- Los tres clústeres formados están claramente diferenciados entre sí.
- Existe una alta heterogeneidad global en los patrones de consumo de petróleo de los 58 países, y esta heterogeneidad se logra capturar eficazmente mediante la estructura jerárquica.
- El método de Ward + distancia euclidiana generó una partición que maximiza la distancia entre grupos, lo cual es consistente con los objetivos del método.

En términos prácticos:

- Los países no sólo difieren en sus niveles absolutos de consumo, sino también en sus tendencias temporales (incrementos, disminuciones, estabilidad, volatilidad).
- El modelo pudo detectar patrones macroestructurales que dividen claramente al mundo en ciertos perfiles de demanda energéticos.

Baja inercia intraclase (5.28%):

La inercia intraclase mide la variabilidad dentro de cada grupo, es decir, cuánto se parecen entre sí los países que pertenecen al mismo clúster. El valor obtenido (**5.28%**) es extremadamente bajo, lo que implica lo siguiente:

- Los países dentro de cada grupo son muy homogéneos en su evolución del consumo de petróleo.
- Cada clúster presenta cohesión interna elevada, es decir, los perfiles de consumo dentro de cada grupo comparten características muy similares.
- El número de 3 clústeres fue apropiado, ya que agregar más grupos probablemente produciría clústeres redundantes o simplemente subdividiría estructuras ya homogéneas.

Evaluación global del modelo:

Los resultados sugieren que el modelo jerárquico aplicado es **muy efectivo** para este conjunto de datos. La siguiente tabla muestra los tres criterios principales de evaluación del modelo:

Tabla 6
Clúster Jerárquico. Evaluación general del modelo

Indicador	Valor	Interpretación
Inercia inter-clase	94.72%	Alta separación entre grupos.
Inercia intraclase	5.28%	Alta cohesión dentro de cada grupo.
Número de clústeres	3	Adecuado para explicar casi toda la variabilidad.

Fuente: discover. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discover>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

Implicaciones para el estudio de la demanda de petróleo:

De acuerdo con los resultados obtenidos, se pueden extraer los siguientes elementos:

- El comportamiento del consumo de petróleo entre 2019 y 2023 no es aleatorio ni uniforme entre los países, sino que sigue patrones bien definidos.
- Existen claramente tres tipologías energéticas globales. Típicamente podrían representar:
 - Países con demanda alta y estable o creciente.
 - Países con demanda media o fluctuante.
 - Países con demanda baja o en descenso.
- Las anteriores tipologías reflejan la segregación energética del mundo actual, representado por los citados 58 países evaluados. En primera instancia, economías grandes con altos niveles de consumo de petróleo dada un elevado ritmo de necesidad de energía. En segunda instancia, países de tamaño intermedio con demandas altas de energía pero no a niveles de los países que ocupan la primera segregación. Por último, economías pequeñas con bajos niveles comparativos de consumo energético y demandas de petróleo.
- El modelo ofrece una base empírica sólida para realizar interpretaciones cualitativas dentro de cada clúster:
 - Características económicas,
 - Estructura energética,
 - Niveles de industrialización,
 - Políticas energéticas,

- Efectos de la pandemia (2019–2021),
- Recuperación o desaceleración posterior (2022–2023).

En síntesis, los valores de inercia inter e intraclase indican que el modelo de Clúster Jerárquico aplicado presenta una excelente capacidad de clasificación. La inercia inter-clase del 94.72% evidencia que la mayor parte de la variabilidad en la demanda de petróleo entre 2019 y 2023 se explica por las diferencias entre los clústeres, lo que confirma la existencia de patrones claramente diferenciados de consumo energético entre los países. Asimismo, la inercia intraclase del 5.28% muestra que los países dentro de cada grupo presentan comportamientos homogéneos, lo que valida la cohesión interna de los clústeres identificados y respalda la pertinencia de la solución de tres grupos.

Análisis general de los resultados

El análisis de la demanda de petróleo de 58 países durante el periodo 2019–2023, expresada en miles de barriles diarios, permitió identificar patrones globales mediante la aplicación del modelo de Clúster Jerárquico (CJ) con distancia euclidiana y método de Ward. La estructura estadística revelada por el dendrograma, junto con los valores de inercia inter e intraclase, evidenció la existencia de tres grupos claramente diferenciados, que reflejan comportamientos energéticos específicos y consistentes.

Los valores de inercia obtenidos, 94.72% de inercia inter-clase y 5.28% de inercia intraclase, indican que la mayor parte de la variabilidad total en la demanda de petróleo puede explicarse por las diferencias entre los clústeres, mientras que la variabilidad dentro de cada grupo es mínima. Esto confirma que el modelo produjo una clasificación altamente efectiva, con clústeres bien separados y homogéneos, coherente con la estructura observada en el dendrograma.

El análisis de los perfiles de consumo extraídos de la base de datos evidencia que la distribución global presenta una fuerte asimetría: países como Estados Unidos (20.403 millones de barriles diarios en 2019), China, India, Japón y Rusia concentran una proporción significativa del consumo mundial, mientras que un número considerable de países mantiene niveles de uso bajos o muy bajos, frecuentemente inferiores a 300 millones de barriles diarios. Este contraste está directamente relacionado con la formación de los tres clústeres identificados.

Clúster 1: Países de demanda alta y estable/creciente

Este grupo reúne a los países con los niveles de consumo más elevados, y cuya demanda muestra estabilidad o crecimiento moderado entre 2019 y 2023. **Estados Unidos** constituye el caso más representativo, con un descenso notable en 2020 (efecto pandemia), pero con recuperación sostenida posterior. Las visualizaciones muestran curvas consistentes, con variaciones relativamente suaves, lo cual refleja economías altamente industrializadas, con grandes sectores de transporte e infraestructura que dependen estructuralmente del petróleo. Este clúster ejerce una influencia determinante sobre la dinámica energética mundial.

Clúster 2: Países con demanda media y fluctuaciones moderadas.

Los países de demanda intermedia exhiben curvas con oscilaciones más marcadas entre años, especialmente entre 2020 y 2022. Ejemplos típicos incluyen **México, Brasil, Bélgica, España, Italia** y economías emergentes con niveles industriales diversificados. Este clúster representa economías en transición que experimentan variaciones más sensibles a factores económicos, políticos o logísticos, lo que se refleja en movimientos ascendentes y descendentes a lo largo del periodo analizado. Aunque en promedio muestran recuperación pospandemia, esta no es tan uniforme como la del Clúster 1.

Clúster 3: Países con demanda baja y tendencia estable o decreciente

Este grupo agrupa a países cuyos niveles de consumo son bajos de forma estructural, como **Costa Rica, Guatemala, Paraguay**, economías caribeñas o africanas, y otros países pequeños o con menor grado de industrialización. Sus curvas presentan muy poca variación interanual y, en algunos casos, incluso ligeras disminuciones después de 2021. Este patrón puede asociarse tanto a economías pequeñas, como a procesos de transición energética temprana o simplemente una baja dependencia del petróleo dentro de su estructura económica.

Tendencias globales 2019–2023

El análisis temporal muestra tres fenómenos consistentes entre los 58 países:

1. **Descenso generalizado en 2020**, asociado al impacto económico de la pandemia de COVID-19.
2. **Recuperación entre 2021 y 2023**, aunque con magnitudes diferenciadas según clúster.
3. **Persistencia de brechas estructurales**, donde los países de alto consumo mantienen niveles muy superiores al resto, independientemente de las variaciones interanuales.

La integración del dendrograma, los valores de inercia y las visualizaciones por clúster confirman la existencia de tres tipologías globales de consumo de petróleo:

- Economías con demanda alta y estable.
- Economías con demanda intermedia y fluctuante.
- Economías con demanda baja y estable o decreciente.

Este patrón tripartito refleja diferencias profundas en el grado de industrialización, el tamaño de las economías, las políticas energéticas y el nivel de dependencia del petróleo. En conjunto, los resultados cumplen plenamente los tres objetivos específicos planteados, mostrando que la metodología de Clúster Jerárquico permite identificar

patrones globales robustos en la evolución de la demanda de petróleo durante el periodo 2019–2023.

La evolución de la demanda de petróleo entre 2019 y 2023 evidencia un patrón común entre la mayoría de países analizados, fuertemente influenciado por factores globales como la pandemia de COVID-19, la recuperación económica posterior, y las tensiones geopolíticas que afectaron los mercados energéticos internacionales.

En 2019, la demanda de petróleo se mantenía en niveles históricamente elevados, reflejando un contexto de crecimiento económico global moderado y una estructura energética aún dependiente de combustibles fósiles. La mayor parte de los países exhibía valores altos y estables, especialmente las economías industrializadas y los grandes productores-consumidores.

En 2020, el impacto de la pandemia generó una caída abrupta y generalizada en la demanda. Las restricciones a la movilidad, la paralización parcial del transporte aéreo y terrestre, la desaceleración de la industria y el comercio internacional condujeron a una reducción sin precedentes. En prácticamente todos los países del conjunto, el descenso fue claro y significativo. Esta caída constituye el punto más bajo del quinquenio.

A partir de 2021, la demanda comenzó a recuperarse progresivamente conforme se levantaron restricciones y se reactivó la actividad económica. El repunte no fue uniforme: algunos países regresaron a niveles cercanos a los de 2019, mientras que otros mostraron recuperaciones más lentas debido a factores como nuevas olas de contagio, menor dinamismo industrial o cambios en patrones de consumo energético.

Durante 2022, la recuperación se consolidó. El crecimiento de la movilidad internacional, la normalización de las cadenas globales de valor y la reactivación de los sectores productivos impulsaron una mayor demanda de combustibles. Sin embargo, este año también estuvo influenciado por tensiones geopolíticas,

especialmente el conflicto en Europa del Este, que provocó volatilidad en los precios del petróleo y ajustes en los patrones de demanda dependiendo de cada región.

Finalmente, en 2023, la mayoría de los países alcanzó o incluso superó los niveles previos a la pandemia. El incremento estuvo asociado al crecimiento económico, la demanda del sector transporte y la persistente dependencia estructural del petróleo como fuente primaria de energía. No obstante, algunos países mostraron comportamientos más moderados, ya sea por avances en políticas de transición energética, mejoras en eficiencia, o menor elasticidad de la demanda ante precios elevados.

En conjunto, el periodo 2019–2023 revela una trayectoria en forma de “U”:

- Altos niveles en 2019,
- Fuerte caída en 2020,
- Recuperación sostenida entre 2021 y 2023.

Este comportamiento coincide con la dinámica global del mercado petrolero y demuestra la sensibilidad de la demanda a choques económicos y sanitarios, así como su posterior resiliencia en contextos de recuperación. Aunque algunos países comienzan a mostrar señales de transición hacia energías más limpias, los datos confirman que el petróleo continúa siendo un insumo energético fundamental en la mayoría de economías del mundo.

Hallazgos y recomendaciones

Los principales hallazgos de la investigación son los siguientes:

Existencia de patrones de consumo diferenciados entre los países

El modelo de Clúster Jerárquico identificó agrupamientos claramente diferenciados, lo que confirma que los países no evolucionan de manera homogénea en términos de demanda de petróleo. Los clústeres definidos reflejan:

- Economías altamente consumidoras y estables: países donde el nivel de demanda es elevado y muestra poca variación interanual.
- Economías de consumo medio y fluctuante: consumo moderado, con incrementos o reducciones vinculados a factores coyunturales (recuperación económica, pandemia, políticas energéticas).
- Economías de consumo bajo: países con niveles mínimos de demanda, con cambios poco significativos en el tiempo.

Esta diferenciación confirma que la estructura del mercado petrolero global continúa fuertemente segmentada.

Conformación clara de clústeres

La ejecución del modelo de Clúster Jerárquico generó la conformación de tres clústeres claramente definidos:

Clúster 1: Países de muy alta demanda y dinámica estable.

Este grupo lo conforman los países que registran los mayores niveles absolutos de consumo de petróleo (decenas de miles de barriles diarios), entre ellos Estados Unidos y China.

Clúster 2: Países de demanda media con fluctuaciones moderadas.

El segundo grupo reúne a economías con una demanda intermedia, típicamente entre varios cientos y pocos miles de barriles diarios. Aquí se ubican países como Canadá, México, Brasil, España, Corea del Sur y otros de similar nivel de consumo.

Clúster 3: Países de baja demanda y alta variabilidad relativa.

El tercer clúster agrupa a países con niveles de consumo bajos (frecuentemente por debajo de 200 o 300 mil barriles diarios). Incluye economías pequeñas, países en desarrollo y naciones con menor industrialización o menor dependencia del petróleo.

El periodo 2019–2023 estuvo marcado por shocks y transiciones

Los resultados muestran que la evolución de la demanda de petróleo durante este periodo estuvo influenciada por tres grandes fenómenos:

- Pandemia de COVID-19 (2020–2021): se observa una reducción generalizada, más pronunciada en economías de alto consumo.
- Recuperación económica 2022: incrementos importantes en la mayoría de clústeres, especialmente los de consumo medio.
- Transición energética y políticas ambientales: las economías industrializadas presentan una tendencia a la estabilización o reducción, mientras que países en desarrollo muestran aumentos paulatinos.

Los clústeres muestran trayectorias temporales coherentes. Este contexto explica parte de las similitudes internas de cada clúster.

El análisis de las tendencias internas de cada grupo confirma lo siguiente:

- Clúster de alta demanda: mantiene niveles elevados de consumo, con ligeras variaciones atribuibles a restricciones productivas y movilidad durante la pandemia.
- Clúster de demanda media: presenta las mayores fluctuaciones, evidenciando sensibilidad económica y energética.
- Clúster de baja demanda: se mantiene prácticamente constante, lo que refleja limitaciones estructurales y menor peso en el mercado global.

Esta interpretación coincide con el dendrogramas y medidas de distancia obtenidas en el CJ.

La tipología generada puede apoyar decisiones en política energética

La categorización resultante ofrece valor aplicado de alto valor para diferentes instancias:

- Gobiernos y organismos pueden identificar pares comparables para diseñar o evaluar políticas de transición energética.
- El análisis temporal facilita comprender el impacto de crisis globales en el consumo.
- Las empresas del sector energético pueden detectar patrones de crecimiento o estancamiento en regiones específicas.

Esta utilidad práctica refuerza la pertinencia del método utilizado.

Impacto de la demanda mundial de vehículos eléctricos en el mercado del petróleo

El crecimiento acelerado de la demanda mundial de vehículos eléctricos constituye uno de los factores estructurales que más influirá en la evolución del mercado petrolero en las próximas décadas. Aunque el análisis realizado en esta

investigación se centra en la demanda histórica de petróleo entre 2019 y 2023, la incorporación de la tendencia global hacia la electrificación del transporte permite proyectar escenarios donde el consumo de combustibles fósiles muestra señales de desaceleración, especialmente en economías de alto ingreso.

La expansión de los vehículos eléctricos ejerce presión a la baja sobre la demanda de petróleo por varias vías:

- Reducción directa en el consumo de gasolina y diésel, dado que el sector transporte representa más del 55% del uso mundial de petróleo.
- Diversificación de matrices energéticas, donde un mayor uso de fuentes renovables sustituye la combustión fósil en movilidad.
- Políticas ambientales más estrictas, que impulsan incentivos para el uso de vehículos eléctricos y desincentivos para vehículos térmicos.
- Economías de escala y avances tecnológicos, que reducen el costo total de propiedad de los vehículos eléctricos, acelerando su adopción.

Sin embargo, el impacto no será uniforme. Los países agrupados en clústeres de alta demanda petrolera podrían experimentar una transición más lenta debido a su infraestructura, tamaño de flotas y dependencia del petróleo. En contraste, muchos países del clúster de demanda media, especialmente aquellos con políticas agresivas de descarbonización, podrían registrar reducciones marcadas en los próximos 10 a 15 años. Los países de baja demanda verán efectos marginales, dado su peso reducido en el mercado global.

En síntesis, el auge de los vehículos eléctricos no implica un colapso inmediato del mercado petrolero, pero sí un cambio estructural que transformará gradualmente la curva de demanda mundial. Esto sugiere que, en el mediano plazo, la industria petrolera enfrentará un escenario de crecimiento ralentizado, estabilización o reducción, dependiendo de la velocidad de adopción de tecnologías limpias y de la capacidad de los países para adaptarse al nuevo paradigma energético. Para los tomadores de decisiones, este cambio representa tanto un riesgo como una oportunidad para diversificar, modernizar y reorientar su política energética.

La realidad energética de Costa Rica frente a la demanda mundial de petróleo

La realidad energética de Costa Rica presenta particularidades que la distinguen significativamente del contexto mundial, especialmente en lo relativo al consumo y la dependencia del petróleo. Mientras que la tendencia global, incluyendo las tres tipologías de países identificadas en el análisis de clústeres de la presente investigación, se caracteriza por una fuerte dependencia de los combustibles fósiles para el transporte, la industria y la generación eléctrica, Costa Rica destaca por su matriz eléctrica altamente renovable, donde más del 98% de la electricidad proviene históricamente de fuentes limpias como la hidroeléctrica, eólica, geotérmica y solar.

Sin embargo, esta fortaleza coexiste con una dependencia casi absoluta del petróleo en el sector transporte, responsable de más del 65% del consumo energético nacional. Esta contradicción, electricidad limpia pero movilidad fósil, ubica a Costa Rica en una posición intermedia dentro del panorama global: no pertenece al grupo de países con fuerte demanda petrolera, pero tampoco en el de aquellos que han logrado reducir sustancialmente su consumo mediante electrificación acelerada del transporte.

Comparado con la realidad mundial, donde muchos países enfrentan compromisos climáticos crecientes y presiones para diversificar sus matrices energéticas, Costa Rica posee ventajas estratégicas:

1. Base eléctrica renovable consolidada, lo que facilita una transición hacia la movilidad eléctrica con menores costos marginales.
2. Marco institucional robusto en materia ambiental, que le permite adoptar políticas agresivas de descarbonización.
3. Menor vulnerabilidad ante volatilidades globales del precio del petróleo, en comparación con economías altamente dependientes.

No obstante, su dependencia del petróleo para transporte lo mantiene expuesto a las tendencias globales, donde factores como la electrificación mundial del parque vehicular, las tensiones geopolíticas y las dinámicas de oferta y demanda impactan directa e inmediatamente en la factura energética nacional.

En síntesis, Costa Rica posee las condiciones estructurales para convertirse en un referente de transición energética en América Latina, pero para ello deberá acelerar la adopción de vehículos eléctricos, modernizar su infraestructura de recarga y reducir la dependencia del petróleo en sectores clave. En comparación con el contexto mundial, Costa Rica no se caracteriza por una alta demanda de petróleo, pero sí por una vulnerabilidad específica en transporte que puede mitigarse mediante políticas sostenidas de electrificación, eficiencia y movilidad sostenible. El país se encuentra, por tanto, en una posición privilegiada, aunque aún desafiante, dentro del proceso global de transformación energética.

Vinculación del marco institucional ambiental de Costa Rica con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Costa Rica cuenta con un marco institucional robusto en materia ambiental, caracterizado por la creación temprana de entidades especializadas, la existencia de legislación avanzada y la implementación sostenida de políticas públicas orientadas a la conservación de los recursos naturales y a la mitigación del cambio climático. Este entramado institucional ha permitido al país adoptar estrategias agresivas de descarbonización, posicionándolo como un referente global en materia de sostenibilidad ambiental.

En este contexto, la experiencia de Costa Rica evidencia cómo un marco institucional sólido y coherente puede incidir de manera significativa en la transformación de los patrones de consumo energético, impactando indirectamente en la dinámica global de la demanda de petróleo. Este modelo demuestra que la

transición hacia economías bajas en carbono no depende únicamente de avances tecnológicos, sino también de una gobernanza ambiental efectiva, capaz de articular políticas públicas, incentivos económicos y cambios en el comportamiento social.

Desde la perspectiva de esta investigación, el caso costarricense constituye un ejemplo relevante para comprender cómo las decisiones institucionales y políticas pueden reflejarse, en el mediano y largo plazo, en los resultados observados dentro de los clústeres de demanda de petróleo, especialmente en aquellos países que muestran tendencias de estancamiento o reducción del consumo de hidrocarburos.

Conclusión general

En conjunto, la investigación logró **categorizar de forma robusta y significativa** a los países según su consumo de petróleo entre 2019 y 2023, identificar tendencias internas en cada grupo y revelar patrones globales influenciados por factores económicos, sanitarios y energéticos.

Recomendaciones

Recomendaciones sobre los aportes y límites de las herramientas de análisis de datos utilizadas (entorno R)

El uso del lenguaje de programación R en el desarrollo de esta investigación representó un aporte fundamental para el análisis de datos de la demanda de petróleo de 58 países durante el período 2019–2023, especialmente en la aplicación del modelo de clúster jerárquico y en la generación de visualizaciones que permitieron interpretar los patrones de consumo energético. Las bibliotecas especializadas, tales como *stats*, *factoextra*, *cluster*, *dendextend* y *ggplot2*, facilitaron la implementación de técnicas avanzadas de análisis multivariado, el cálculo de matrices de distancia, la construcción del dendrograma y la evaluación de la inercia intra-clúster e inter-clúster, lo que fortaleció el rigor metodológico y la robustez de los resultados obtenidos.

Entre los principales aportes de estas herramientas se destaca su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, su flexibilidad para aplicar distintos métodos de agrupamiento (como Ward, enlace completo o enlace promedio), y su precisión en la medición de similitudes o diferencias entre los países analizados. Asimismo, R permitió una reproducibilidad completa del análisis, aspecto crucial en la investigación científica, ya que los procedimientos pueden ser replicados, validados o extendidos en estudios posteriores. La generación de gráficos dinámicos y personalizables también contribuyó de forma significativa a la interpretación visual de los datos, facilitando la identificación de patrones, tendencias y rupturas en la evolución de la demanda petrolera.

No obstante, estas herramientas también presentan ciertos límites que deben ser considerados. En primer lugar, los resultados del modelo de clúster jerárquico dependen en gran medida de la elección de la medida de distancia y del método de vinculación, lo que puede generar diferentes configuraciones de clústeres para un

mismo conjunto de datos. Además, el modelo jerárquico no permite la reasignación de observaciones una vez que estas han sido agrupadas, lo cual limita su flexibilidad frente a otros métodos como el *k-means*. Otro aspecto a considerar es que R, aunque potente, requiere un alto nivel de conocimiento técnico, tanto en programación como en estadística, por lo que la interpretación de resultados puede ser más compleja para usuarios no especializados. Por último, la calidad de los resultados siempre estará condicionada por la calidad, consistencia y disponibilidad de los datos de entrada.

En consecuencia, se recomienda que futuras investigaciones complementen el análisis realizado con otros métodos de agrupamiento y técnicas predictivas, tales como *k-means*, o modelos de series de tiempo, a fin de comparar resultados y validar la estabilidad de los clústeres obtenidos. Asimismo, se sugiere incluir variables adicionales de tipo económico, tecnológico o ambiental, que permitan enriquecer la comprensión de los factores que influyen en la demanda de petróleo a nivel internacional.

Referencias

Agencia Internacional de Energía. (2023). World Energy Outlook 2023. International Energy Agency. <https://www.iea.org>

Agencia Internacional de la Energía. (2023). Oil 2023: Medium-Term Market Report. IEA.

Agencia Internacional de la Energía. (2025). Global Energy Review 2025. IEA.

Agencia Internacional de la Energía. (2025). Oil 2025: Executive Summary. IEA.

Anderson, T. W. (2017). An Introduction to Multivariate Statistical Analysis (3rd ed.). Wiley.

Banco Central de Costa Rica (BCCR). (2008). Validación del modelo: Impacto de los precios del petróleo en Costa Rica. Departamento de Investigaciones Económicas.

<https://repositorioinvestigaciones.bccr.fi.cr/items/ac60b5ee-f998-4a1d-ba73-d4b5dd01076a>

Banco Mundial. (2022). World Development Indicators 2022. The World Bank Group. <https://databank.worldbank.org>

Bjørnland, H. C., Cross, J., & Hölz, J. (2025). Re-visiting the relationship between oil prices and monetary policy (No. 4/2025). Working Paper. <https://www.econstor.eu/handle/10419/322339>

Dahl, C., & Sterner, T. (1991). Analyzing gasoline demand elasticities: A survey. Springer.

discoverR. Exploratory Data Analysis System. R package version 3.1.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=discoverR>>, con datos oficiales de la página de OPEP.

Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). Clúster Analysis (5th ed.). Wiley.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate Data Analysis (8th ed.). Cengage Learning.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate Data Analysis (8th ed.). Cengage Learning.

Hamilton, J. D. (2011). Oil and the Macroeconomy. Princeton University Press.

Hernández-Sampieri, R., Mendoza, C., & Torres, C. (2021). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023. OECD Publishing.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). Applied Multivariate Statistical Analysis (6th ed.). Pearson Education.

Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2005). Finding Groups in Data: An Introduction to Clúster Analysis. Wiley.

Lebart, L., Morineau, A., & Piron, M. (2000). Statistique exploratoire multidimensionnelle (3e éd.). Dunod.

OPEC. (2020). Annual Statistical Bulletin 2020. Organization of the Petroleum Exporting Countries.

Pérez Molina, A. (2022). Hacia una mejor comprensión de los determinantes de la demanda por combustibles en Costa Rica, 1965-2019: precio, ingreso y flota vehicular.

Revista Ingeniería, 32(2), 43-60. Universidad de Costa Rica.
<https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/50910>

Rencher, A. C., & Christensen, W. F. (2012). *Methods of Multivariate Analysis* (3rd ed.). Wiley.

Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Yergin, D. (2011). *The Quest: Energy, Security, and the Remaking of the Modern World*. Penguin Press.