

ANÁLISIS MULTICRITERIO DE LA JUSTICIA ENERGÉTICA EN LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY

Autores: Benítez, Giannina; giannbenit@fpuna.edu.py

Mora, Andrea; mora99andrea@fpuna.edu.py

Orientador/a: González, Arturo; arturogonzalez@pol.una.py

Facultad Politécnica

Resumen

En un contexto donde el acceso equitativo a la energía se vuelve indispensable para garantizar el desarrollo sostenible, la Justicia Energética (JE) emerge como una herramienta clave para evaluar cómo se distribuyen los beneficios y las cargas del sistema energético en un país. Paraguay, a pesar de su abundante generación hidroeléctrica y de su crecimiento económico en las últimas décadas, sigue enfrentando profundas desigualdades territoriales en el acceso, asequibilidad y participación en los procesos energéticos. Este estudio analiza el nivel de Justicia Energética en Paraguay para el año 2022, utilizando el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), una herramienta de apoyo multicriterio que permite jerarquizar variables complejas y establecer prioridades entre distintos departamentos. A partir de criterios como lo económico, la seguridad energética, la equidad territorial y la gobernanza, se construyó un modelo jerárquico basado en datos oficiales que permite cuantificar el grado de justicia energética a nivel subnacional. Los resultados indican que los mayores niveles de justicia energética se concentran en departamentos con fuerte infraestructura y dinamismo económico, como Central, Asunción y Alto Paraná, mientras que regiones como Boquerón, Amambay y Concepción presentan mayores niveles de vulnerabilidad energética. Este estudio no sólo visibiliza las asimetrías territoriales del sistema energético paraguayo, sino que ofrece una base metodológica replicable para el diseño de políticas públicas más equitativas y sostenibles.

Palabras clave: Justicia Energética, Paraguay, AHP

Introducción

A lo largo de los últimos años, la relación entre justicia y energía ha cobrado creciente relevancia en el debate académico y político, impulsada por los desafíos estructurales del sector energético contemporáneo. La persistente desigualdad

en el acceso, las variaciones en los costos del servicio y los efectos socioambientales de la producción y distribución de energía han puesto de manifiesto la necesidad de repensar los sistemas energéticos bajo un enfoque más equitativo, sostenible e inclusivo (Sovacool, 2013).

En este contexto, emerge el concepto de Justicia Energética, entendido como un enfoque integral que examina cómo se distribuye los beneficios y costos del sistema energético, quien participa en la toma de decisiones y que grupos sociales son reconocidos en dichos procesos. Esta visión se sustenta en tres dimensiones fundamentales de la justicia: distributiva, procedural y de reconocimiento. (Sovacool, 2013) (Araya et al., 2023). La justicia distributiva se enfoca en el reparto equitativo de los recursos y servicios energéticos; la justicia procedural aborda la participación, la transparencia e imparcialidad en la formulación de políticas; y la justicia de reconocimiento busca visibilizar y atender las necesidades de los sectores históricamente marginados.

Aunque se trata de un concepto relativamente reciente en la literatura jurídica y política, la justicia energética ha cobrado fuerza como herramienta analítica para entender las tensiones entre tecnología, desarrollo y equidad, así como para orientar políticas que reduzcan las brechas energéticas existentes. Este marco no solo permite analizar la estructura y dinámica del sistema energético, sino identificar oportunidades para garantizar la transición energética justa, especialmente en contexto de alta vulnerabilidad social y ambiental.

En el Paraguay, si bien es reconocido por su liderazgo en la producción de energía

eléctrica renovable, el aprovechamiento de esta ventaja energética no se ha traducido necesariamente en una mejora equitativa de las condiciones de vida para toda la población. A pesar del excedente de energía eléctrica que exporta a países vecinos y de los ingresos económicos generados de esta comercialización, persisten desigualdades regionales en el acceso, la calidad del suministro y la infraestructura energética, especialmente en los departamentos más alejados de los centros urbanos.

En este sentido, la falta de estudios que analicen de manera formal y sistemática el nivel de justicia energética en Paraguay representa una importante brecha de conocimiento.

Por esta razón, la presente investigación propone analizar la justicia energética en Paraguay a través del método del Procesos Analítico Jerárquico (AHP), una técnica de apoyo multicriterio a la toma de decisiones que permite descomponer un problema complejo en jerarquías de criterios y subcriterios. A través de este enfoque, se busca contribuir en una comprensión más precisa de las brechas territoriales existentes y ofrecer insumos valiosos para el diseño de políticas públicas orientadas a una transición energética justa e inclusiva en el Paraguay.

Objetivos

A. Objetivo General:

Analizar la Justicia Energética en la República del Paraguay basado en el método de Proceso Analítico Jerárquico para el año 2022.

B. Objetivos Específicos:

- Determinar criterios de estudios de la Justicia Energética para el caso de la República del Paraguay.
- Construir un modelo basado en el Proceso Analítico Jerárquico para medir la Justicia Energética en la República del Paraguay en el año 2022.
- Medir el nivel de Justicia Energética en la República del Paraguay en el año 2022

Materiales y Métodos

A. Aspectos Teóricos de la herramienta Utilizada

i. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés *The Analytic Hierarchy Process*) es una metodología desarrollada por Thomas Saaty en la década de los 70, concebida para abordar problemas complejos de toma de decisiones mediante la estructuración jerárquica de sus componentes y la comparación sistemática de estos a través juicios de expertos (Toscano, 2005). Esta técnica permite descomponer un problema en niveles,

facilitando la evaluación relativa de sus elementos con base en criterios definidos.

Una de las características distintivas del AHP es el uso de comparaciones por pares para asignar pesos relativos a los distintos criterios y alternativas. Si se consideran n criterios con pesos conocidos w_1, w_2, \dots, w_n , se construye una matriz de comparación $A = (a_{ij})$, donde cada elemento $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$, representa la relación entre el peso de un criterio respecto al otro. Esta matriz tiene la propiedad de ser recíproca, es decir $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, y es considerada constante cuando se cumple que $a_{ij} = a_{ij} * a_{ik}$

La matriz puede expresarse en términos matriciales como:

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} = n * W$$

Donde W es el autovector asociado al valor propio n de la matriz A . Este vector representa las prioridades relativas y debe ser normalizado, dividiendo cada entrada entre la suma total de los elementos, de manera que sus componentes sumen uno.

El procedimiento del AHP inicia con la definición del objetivo general, seguido por la identificación de los criterios de evaluación y las alternativas a ser analizadas. Esta estructura se organiza jerárquicamente: el objetivo se sitúa en el nivel superior, los criterios en niveles

intermedios y las alternativas en la base. Luego, se procede a la comparación por pares de los elementos dentro de cada nivel respecto al nivel superior inmediato. Las comparaciones se realizan mediante una escala de nueve puntos propuesta por Saaty (2008), donde el valor 1 representa igual importancia entre dos elementos, y el 9 indica que uno de ellos es extremadamente más importante que el otro. Tras obtener los pesos relativos para los criterios y para cada alternativa bajo cada criterio, se calcula una ponderación global. Este valor resulta del producto matricial entre el vector de pesos de los criterios y la matriz que contiene las ponderaciones de las alternativas. El resultado es un vector columna que refleja la prioridad global de cada alternativa. Finalmente, para determinar el valor de cada alternativa en función del objetivo principal, se calcula un cociente entre la ponderación global y la suma ponderada de los valores de las alternativas comparadas. Este cociente, al multiplicarse por el peso correspondiente de la alternativa evaluada, permite estimar su valor dentro del conjunto total de opciones disponibles.

B. Metodología

La metodología presentada en el estudio fue elaborada por fases, dividiendo el proceso en tres etapas fundamentales. La primera etapa se centra en la estructuración y el desarrollo metodológico. La segunda corresponde a la identificación y selección

de fuentes de datos pertinentes para la evaluación. Por último, el análisis de los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo. La Figura 1 representa el proceso llevado a cabo.

El presente trabajo propone una metodología de evaluación basada en los principios de la Justicia Energética, aplicada al caso de la República del Paraguay en el año 2022. Se adopta como herramienta principal el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), permitiendo una evaluación multicriterio estructurada y jerarquizada, esta aplicación representa una innovación metodológica en el estudio de la Justicia Energética en el país, ya que no se han encontrado antecedentes del uso completo de AHP para este fin en la literatura actual.

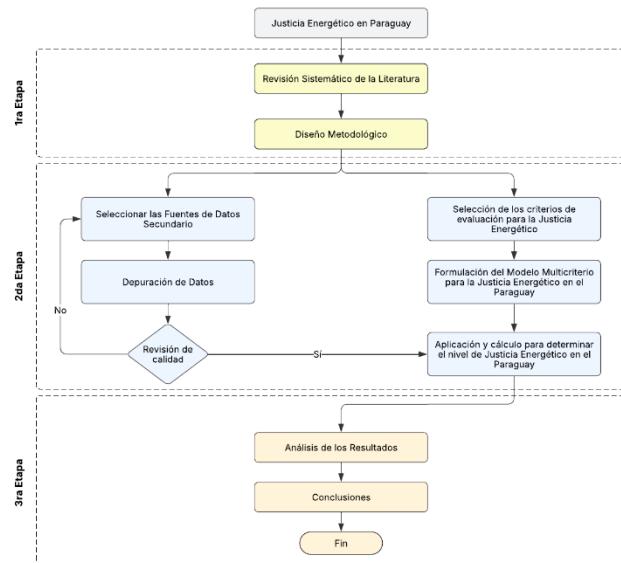


Figura 1. Metodología Propuesta

Primera Etapa: Se estructura la metodología mediante una revisión sistemática de la literatura sobre justicia energética, estableciendo el marco teórico. Se define el diseño metodológico y se

adopta el método AHP. Además, se determinan los criterios, subcriterios y alternativas, asegurando su pertinencia al contexto paraguayo.

Segunda Etapa: Se identifican y seleccionan fuentes de datos relevantes, que luego son depuradas y validadas. Se formulan los criterios de evaluación y se construye el modelo multicriterio basado en AHP. Finalmente, se aplican los cálculos para medir la justicia energética en Paraguay.

Tercera Etapa: Se analizan los resultados obtenidos del modelo, identificando tendencias y patrones. Se interpretan los niveles de justicia energética y se presentan conclusiones y recomendaciones. Así, se cierran los hallazgos del estudio y se proponen líneas para futuras investigaciones.

i. *Estructuración del Modelo AHP*

El objetivo de la aplicación del AHP a la problemática del caso es analizar la Justicia Energética en la República del Paraguay basado en el método de Proceso Analítico Jerárquico para el año 2022, integrando múltiples criterios e indicadores que representen las dimensiones técnicas, económicas, sociales, geográficas y políticas del sistema energético. Esta evaluación permitirá determinar el nivel relativo de justicia energética en los 17 departamentos, así como en la capital, contribuyendo a la identificación de desigualdades territoriales y a la

formulación de políticas públicas más equitativas y sostenibles.

Definición de Alternativas

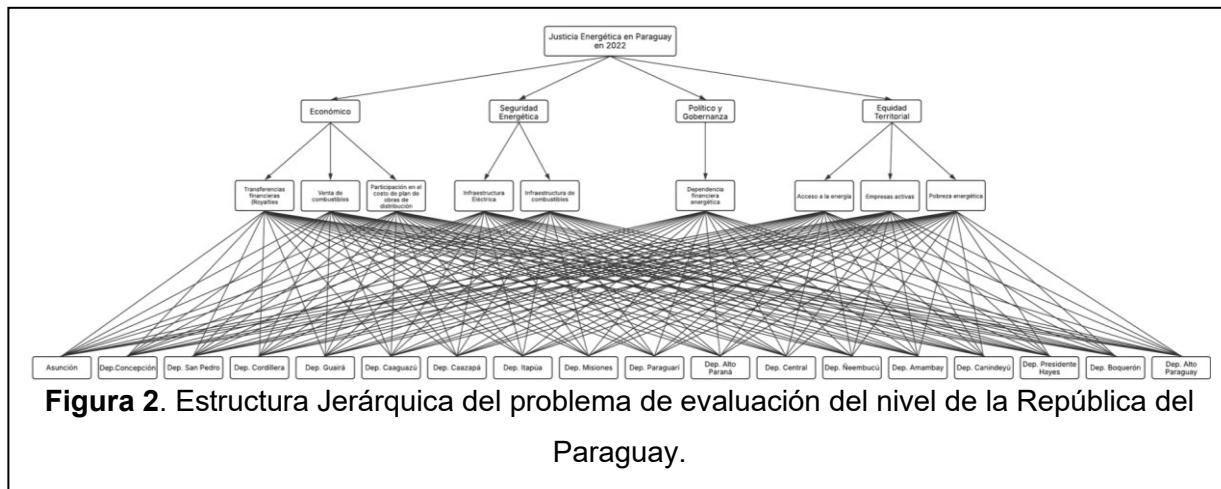
Se establecieron como alternativas los 17 departamentos de la República del Paraguay, y la capital, Asunción.

Definición de Criterios

Económico: Desde la perspectiva de la justicia energética, se analiza si las inversiones e ingresos públicos vinculados al sector energético se distribuyen de manera equitativa entre los departamentos. (Sovacool & Dworkin, 2015). Para el caso de estudio indicadores como la transferencia financiera proveniente de los Royalties, la venta de combustibles, y la participación en el costo de obras de distribución reflejan la dinámica económica relacionada con el consumo y la distribución de los recursos energéticos

Seguridad Energética: Hace referencia a la disponibilidad constante de recursos energéticos en cantidad y calidad suficientes para sostener la vida cotidiana, el desarrollo económico y el funcionamiento del Estado. (World Energy, 2022). Para su evaluación, se consideran como indicadores la infraestructura eléctrica y la infraestructura de combustibles, con el objetivo de evaluar la robustez del sistema energético frente a posibles riesgos o desigualdades territoriales.

Político y Gobernanza: Garantiza que las decisiones se tomen de forma transparente,



justa y sin corrupción, considerando también problemas como la inestabilidad política. (Sovacool, 2015). Para este estudio, se consideró como indicador la dependencia financiera energética, entendida como la relación entre los ingresos energéticos y el ingreso financiero total de cada departamento.

Equidad Territorial: La equidad territorial en la justicia energética busca una distribución justa. Las zonas rurales, con menos poder político, enfrentan mayores cargas y menor acceso a electricidad, lo que agrava apagones y demoras. (Sovacool et al., 2024). Para este estudio, se consideraron como indicadores el acceso a la electricidad, el número de empresas activas y el índice de la pobreza energética.

Resultados y Discusión

En el presente estudio se incluye una representación espacial del índice de Justicia Energética, aplicada a los departamentos del Paraguay y al distrito capital para el año 2022. Esta ilustración permite visualizar con mayor claridad las

diferencias regionales en cuanto a la provisión, el acceso y el aprovechamiento de los recursos energéticos, integrando dimensiones como la infraestructura existente, la participación económica en el sistema y las condiciones sociales que influyen en su uso y distribución.

Los resultados obtenidos surgen a partir de la aplicación del método AHP, en el cual se establecieron preferencias entre criterios con respecto al objetivo general del estudio. Dado que en esta etapa inicial todos los criterios fueron considerados con igual importancia relativa, el vector propio (autovector) resultante asignó un valor de 0,25 a cada uno de ellos. Esta ponderación uniforme sirvió de base para la posterior evaluación de desempeño de cada alternativa territorial respecto a los distintos subcriterios definidos.

El análisis territorial pone en evidencia la existencia de desigualdades marcadas entre regiones urbanas y rurales, así como entre las zonas norte y sur del país. Departamentos como Central y Asunción

presentan niveles relativamente más altos de justicia energética, atribuibles a su mayor densidad de infraestructura, acceso al servicio y actividad económica. En contraste, regiones como Boquerón, Alto Paraguay o San Pedro presentan indicadores más bajos, reflejando una mayor vulnerabilidad energética.



Figura 3. Representación espacial de la distribución del nivel de Justicia Energética en la República del Paraguay.

Estas diferencias reflejan disparidades históricas y estructurales en la planificación energética, y refuerzan la necesidad de políticas públicas diferenciadas que promuevan una distribución más equitativa de los servicios energéticos a nivel nacional.

Como parte del proceso de validación del modelo propuesto, se aplicó un análisis de sensibilidad con el objetivo de evaluar la robustez de los resultados obtenidos a través del método AHP. Este análisis

permite examinar cómo varía la posición relativa de cada alternativa ante modificaciones en las ponderaciones asignadas a los criterios principales: C1 (Económico), C2 (Seguridad Energética), C3 (Político y Gobernanza) y C4 (Equidad Territorial).

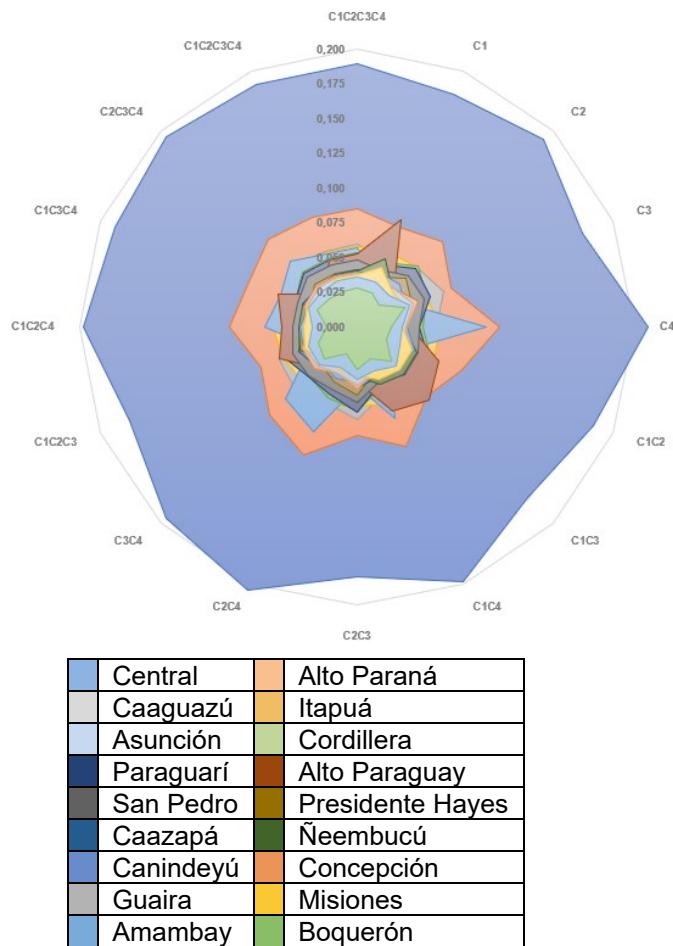


Figura 4. Comparación del desempeño departamental en criterios de Justicia Energética a través de un gráfico de radar (2022).

Al introducir cambios en la importancia relativa de cada criterio, se puede observar el grado de estabilidad del ranking departamental y la sensibilidad del modelo frente a escenarios

alternativos de priorización.

Estos resultados confirman que el modelo AHP posee un grado razonable de robustez, ya que las jerarquías principales no se ven significativamente alteradas ante cambios en los pesos de los criterios. Esto fortalece la confiabilidad del análisis de justicia energética interdepartamental.

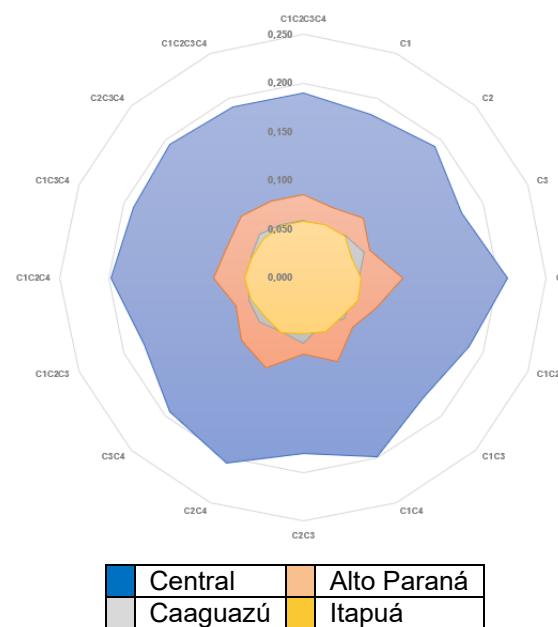


Figura 5. Comparación del desempeño de los departamentos con mayor nivel en los criterios evaluados mediante el gráfico de radar (2022).

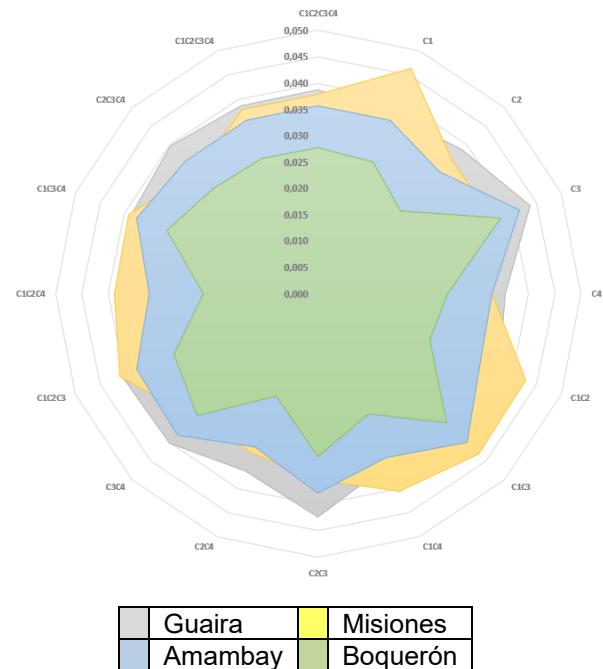


Figura 6. Comparación del desempeño de los departamentos con menor nivel en los criterios evaluados mediante el gráfico de radar (2022).

Conclusiones

Analizar el nivel de Justicia Energética en la República del Paraguay para el año 2022 representó un desafío metodológico, especialmente por la escasa disponibilidad de datos actualizados a nivel departamental, situación ya señalada por la literatura especializada. En este estudio se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como herramienta para estructurar y jerarquizar criterios clave, adaptando principios y métricas internacionales de justicia energética al contexto nacional.

Se definieron cuatro criterios fundamentales: económico, seguridad energética, político y gobernanza, y equidad territorial, desarrollados a partir de

subcriterios e indicadores específicos. Esto permitió construir un marco integral para comprender la complejidad del acceso, uso y provisión de energía en los distintos territorios del país.

Los resultados revelan disparidades territoriales significativas, en las que ciertas regiones concentran los mayores beneficios del sistema energético, mientras que otras enfrentan rezagos estructurales que limitan su desarrollo. Factores como la dependencia financiera de los ingresos energéticos, la insuficiencia de infraestructura y la vinculación entre pobreza energética y baja densidad empresarial fueron identificados como determinantes del nivel de justicia energética en cada departamento.

La aplicación del modelo AHP no solo permitió visualizar estas brechas, sino también validar la robustez de la metodología en escenarios de sensibilidad, manteniéndose estables las jerarquías departamentales ante variaciones en las ponderaciones de los criterios.

Este estudio constituye un aporte novedoso, al proponer un modelo cuantificable que permite evaluar la justicia energética desde una perspectiva regional. Además, ofrece una herramienta útil para la formulación de políticas públicas orientadas a la equidad, inclusión y sostenibilidad energética, sentando las bases para futuras investigaciones en la materia.

Referencias Bibliográficas

Amarilla Morales, R. E. (2014). *Análisis de los excedentes hidroenergéticos del Paraguay basado en el Proceso Analítico en Red (ANP)* [Tesis de maestría, Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción].

Aznar Bellver, J., & Guijarro Martínez, F. (2012). *Nuevos métodos de valoración: Modelos multicriterio* (2^a ed.). Editorial Universitat Politècnica de València.

Centro de Análisis y Difusión de la Economía Paraguaya (CADEP). (2016). *Cartilla fiscal: Royalties y compensaciones*. Asunción, Paraguay. Recuperado de <https://www.cadep.org.py>

Gillard, R., Snell, C., & Bevan, M. (2017). Advancing an energy justice perspective of fuel poverty: Household vulnerability and domestic retrofit policy in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, 29, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.012>

Grupo de Investigación en el Manejo Eficiente de la Energía GIMEL. (2023). *La justicia en el sector energético colombiano: Una mirada holística*. Sede de Investigación Universitaria, Universidad de Antioquia.

Itaipu Binacional. (2020). *Itaipu Binacional y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de*

la Agenda 2030: Informe de síntesis.
Dirección de Coordinación Ejecutiva,
Dirección de Coordinación Central
Hidroeléctrica de Itaipu: Itaipu
Binacional.

Jenkins, K., McCauley, D. A., Heffron, R., Stephan, H., & Rehner, R. (2016). Justicia energética: una revisión conceptual. *Energy Research & Social Science*, 11, 174-182.

Lee, J., & Byrne, J. (2019). Expanding the conceptual and analytical basis of energy justice: Beyond the three-tenet framework.

Nussbaumer, P., Bazilian, M., & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: Focusing on what matters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 231–243.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>

Observatorio Fiscal (OFIP). (2022). *Royalties y Compensaciones (Cartilla Fiscal N.º 3)*. Centro de Análisis y Difusión de la Economía Paraguaya, Embajada de España en Paraguay. Recuperado de <https://www.cadep.org.py/uploads/2022/05/Cartilla-Fiscal-N-3.-Royalties.pdf>

Ramasar, V., Busch, H., Brandstedt, E., & Rudus, K. (2022). When energy justice is contested: A systematic review of a decade of research on Sweden's

conflicted energy landscape. *Energy Research & Social Science*, 94, 102862.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102862>

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Estados Unidos: Springer.

Sovacool, B. K., Carley, S., & Kiesling, L. (2024). Energy justice beyond the wire: Exploring the multidimensional inequities of the electrical power grid in the United States. *Energy Research & Social Science*, 111, 103474.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103474>

Sovacool, B. K., Heffron, R. J., McCauley, D., & Goldthau, A. (2016). Energy decisions reframed as justice and ethical concerns. *Nature Energy*, 1(5), 16024.

Toscano Hurtado, G. B. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Académico-Profesional de Investigación Operativa].

Urteaga, J. A., Aiello, R. G., Lucantonio, F., Añazco, G., Aguilera, N., & Sosa, J. (2022). *Breve reseña del sector de energía en Paraguay*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Viceministerio de Minas y Energía. (2024). *Balance Energético Nacional 2023: Informe y resumen estadístico*. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).

World Energy Council. (2022). *World Energy Trilemma Index 2022*. In partnership with Oliver Wyman. Recuperado de

<https://www.worldenergy.org/publications>

Yepes Piqueras, V. (2018, 27 de noviembre). Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Blog de la Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>