

La Justicia en el Sector Energético Colombiano: Una Mirada Holística

Equipo de Trabajo

Auxiliar de investigación 1 (estudiante de pregrado en Antropología)

Daniela Moreno Ayala

Auxiliar de investigación 2 (estudiante de Maestría en Ingeniería)

Juan Camilo Camargo Berrueco

Auxiliar de investigación 3 (Economista)

Elkin Tabares Orozco

Ingeniero electricista

MSc., MBA. Noé Alejandro Mesa Quintero

Ingeniero electricista

PhD. Johnatan Mauricio Rodríguez Serna

Economista

PhD. Jorge Humberto Barrientos

Líder del proyecto

PhD. Diego Mejía Giraldo

Contenido

Contenido.....	3
Lista de Figuras.....	4
Lista de Tablas.....	5
1. Resumen Ejecutivo.....	6
2. Objetivos.....	8
2.1. Objetivo General.....	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
3. Introducción.....	9
4. Justicia.....	11
5. La Justicia Energética.....	14
5.1. Democracia Energética.....	17
5.2. Dimensiones de la Justicia Energética.....	21
5.3. Desafíos y Barreras.....	24
6. Medición de la Justicia Energética.....	27
6.1. De la Justicia Ambiental: una breve conceptualización.....	30
6.2. Definiciones y marco conceptual.....	32
6.3. Mediciones de la justicia energética en la literatura.....	39
6.3.1. Coeficiente de Gini.....	55
6.3.2. Energy Justice Metric –EJM–.....	58
7. Metodologías para la Expansión Energética con Criterios de Justicia Energética.....	80
8. Implicaciones y recomendaciones de política energética.....	86
8.1. Implicaciones de política energética.....	88
Apéndice A: Modelos de Optimización.....	104
A.1. Modelo de Optimización (Trotter et al., 2019).....	104
A.2. Modelo de Optimización (Nock et al., 2020).....	110
A.3. Ajuste a los precios por pobreza (Menghwani et al., 2020).....	112
Bibliografía.....	113

Lista de Figuras

Fig. 1: Definiciones sobre pobreza energética propuesta en (Soares et al., 2023)	27
Fig. 2: Acceso a la energía en zonas rurales de Colombia severa (Soares et al., 2023).	28
Fig. 3: mapa de relacionamiento entre palabras clave relacionadas con la justicia energética. Obtenido usando VOSviewer.	33
Fig. 4: Conceptos de equidad que deben considerarse desde un enfoque de equidad sistémica, tomado de (E. Baker et al., 2023).	38
Fig. 5: Cálculo del índice GINI (Pedersen et al., 2021).....	56
Fig. 6: Comparación entre eficiencia, equidad y cantidad de energía eólica provista en función de la equidad	57
Fig. 7: Representación Gráfica del EMJ (Heffron et al., 2015a)	60
Fig. 8: Resultado del análisis de vulnerabilidad usando la herramienta CEJST para la ciudad de Atlanta, Ga.	67
Fig. 9: Índice del Trilema para el caso de Colombia, (World Energy Trilemma Index, 2023)....	68
Fig. 10: Diagrama para evaluación de la sostenibilidad de proyectos con bajas emisiones de carbono.....	76
Fig. 11: Representación de la función objetivo de maximización de utilidad en (Nock et al., 2020)	81
Fig. 12: Dimensiones, impactos y desafíos de la justicia energética	86

Lista de Tablas

Tabla 1: Algunas diferencias entre justicia y democracia energética	18
Tabla 2: <i>Terminología usada frecuentemente en la Justicia Energética, tomado de Baker et al. (2019)</i>	38
Tabla 3: Clasificación de indicadores propuestos (Volodzkiene & Streimikiene, 2023a)	41
Tabla 4. Índices y medidas usadas en (Perez-Sindin et al., 2022) para la estimación de la justicia energética.....	47
Tabla 5: Índices y medidas de justicia empleados en (Dong et al., 2023) para la estimación de la justicia energética.....	48
Tabla 6: Métricas de equidad energética por parte de las partes interesadas responsables de su creación, cumplimiento y/o implementación (Barlow et al, 2022).....	52
Tabla 7: Métricas para la toma de decisiones considerando la Justicia Energética, adaptado de (E. Baker et al., 2023)	70
Tabla 8: Resumen de índices y métricas para la evaluación del impacto en la justicia energética de un proyecto en una comunidad	77
Tabla 9: Implicaciones y recomendaciones en el marco de justicia energética restaurativa	88
Tabla 10: Implicaciones y recomendaciones en el marco de justicia energética procedimental	92
Tabla 11: Implicaciones y recomendaciones en el marco de justicia energética distributiva	96

1. Resumen Ejecutivo

Esta consultoría se ha enfocado en presentar una exhaustiva revisión de literatura sobre el concepto de la justicia energética y las metodologías para la evaluación y gestión de la justicia energética en el marco de una transición energética. El informe inicia presentando brevemente la idea básica de la justicia en términos generales, que se preocupa por ofrecer un trato justo e imparcial a todas las personas. A partir de ahí, se ilustran las ideas más representativas del objeto de estudio de la justicia energética. El concepto de justicia energética es holístico, involucra no solo al sistema energético de un país, sino también la economía, la sociedad y el medio ambiente. La justicia energética es un concepto que se ha derivado de la definición amplia de justicia. De tal manera que la justicia energética se preocupa por la repartición justa de beneficios y de carga de la energía (Sovacool & Dworkin, 2015). Además, se involucra el acceso a energía asequible, confiable y sostenible; pero también se enfoca en la reducción de los impactos negativos de la producción y el consumo. También, allí se presentan las dimensiones de la justicia energética que la mayoría de las publicaciones analizadas han propuesto: i) justicia energética distributiva, relacionada al concepto de equidad a lo largo de la geografía de un país, ii) justicia energética procedimental, que se preocupa por la representación de las comunidades en los procesos de transición, y iii) justicia energética reconocitiva, que se enfoca en el reconocimiento, a través de las normas y leyes, de todos los actores involucrados en los procesos de transición y transformación energética. Adicionalmente, dado que el componente ambiental es vital para analizar la justicia energética, también se han considerado las relaciones con la justicia ambiental.

Luego, el informe presenta diferentes perspectivas de cómo se puede medir la justicia energética de una región o país. Se han descrito métricas e indicadores que reflejan la equidad (o inequidad), el acceso a la energía, la injusticia energética, pobreza energética, entre otros.

Posteriormente, se ha presentado una revisión de literatura enfocada en las metodologías más recientes propuestas por diferentes autores para llevar a cabo procesos de planeación y transición energética considerando elementos de justicia energética. Se ha encontrado que los modelos

tradicionales basados en minimización de costos no recogen las preocupaciones de la justicia energética; y, por tanto, se han planteado funciones matemáticas que apuntan a que los planes de expansión maximicen el bienestar social relacionado con el acceso a la electricidad de manera confiable y asequible.

La parte final de este documento se ha enfocado en plantear implicaciones de política energética para el caso de Colombia separadas en las tres dimensiones de justicia energética. Adicionalmente, para cada implicación, se han desarrollado diversas recomendaciones que el equipo de trabajo ha identificado como estratégicas para el país.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

- Identificar y analizar de manera abierta el concepto de justicia para ser extendido a los procesos de planeación y transición energética en Colombia

2.2. Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte sobre el concepto de justicia en economía, ciencias sociales y desarrollo energético.
- Seleccionar posibles definiciones y métricas e indicadores de justicia que pueden ser incluidos en los procesos de planeación energética.
- Socializar la conceptualización con el equipo de la UPME.

3. Introducción

Las transiciones energéticas, a pesar de ser asuntos sustancialmente sociales, pocas veces incorporan la dimensión social en los estudios de planeación eléctrica y energética; sin embargo, cada vez se hace más necesario involucrar a los diferentes sectores de la sociedad para que las transiciones a sistemas más limpios y carbono neutrales sean realmente implementables. Resulta supremamente importante introducir aspectos de carácter social en los procesos técnicos de diseño y de concepción de nuevos proyectos. De hecho, algunos autores definen el planeamiento social como la comprensión y la preparación para los resultados sociales de las transiciones energéticas, así como el desarrollo de estrategias para incorporar estas consideraciones en la política energética (Miller & Richter, 2014).

Las políticas energéticas asociadas a la transición energética se han concentrado, casi que exclusivamente en las tecnologías de generación (Los baches en la transición energética, s. f.). Y cuando se han incluido factores de la dimensión social, solo se han enfocado en la generación de empleo, el acceso y precios de la energía. Sin embargo, los sistemas energéticos, que son esencialmente sistemas socio-tecnológicos, presentan unas relaciones complejas y multidimensionales que deben ser atendidas de una manera holística, sobre todo desde el punto de vista de la planeación, para asegurar una satisfacción justa y equitativa de las demandas energéticas por parte de la sociedad (Laird, 2013). Una dimensión muy importante del planeamiento social para las transiciones energéticas tiene que ver con el desarrollo de estrategias novedosas multicriterio que incorporen un rango diverso de dimensiones de la justicia humana en el diseño de futuros sistemas socio-energéticos (Iles, 2013).

La literatura científica reciente presenta un creciente número de publicaciones y estudios que exploran la interconexión existente entre la producción, suministro y consumo de la energía en un ámbito global o local y las implicaciones medioambientales, sociales y económicas subyacentes mediante el concepto de Justicia Energética (Shabliy et al., 2022). La justicia energética se presenta como un marco de trabajo y una herramienta que permite considerar no sólo las



dimensiones técnicas y económicas de los sistemas energéticos, sino también su conexión con cuestiones morales, éticas, políticas y raciales (Partridge, 2022).

4. Justicia

La teoría de la justicia de John Rawls, según (Surovtsev & Syrov, 2015), ofrece una perspectiva integral sobre la evaluación y mejora del bienestar social. Rawls destaca la importancia de la dignidad al caracterizar las acciones de instituciones y personas, proponiendo dos principios de justicia que permiten una mayor sensibilidad moral hacia diversas formas de vida social. Según los autores, Rawls argumenta que la idea de justicia, como la especifica en su teoría, encuentra su prioridad en las especificidades de la sociedad de mercado.

En este sentido, (Sovacool & Dworkin, 2015) amplían la discusión, sugiriendo que el concepto de justicia puede ser más significativo por lo que logra que por su definición precisa. En el contexto de la justicia energética, abogan por un mundo que comparta equitativamente los beneficios y las cargas de la producción y consumo de energía, enfatizando la equidad en la toma de decisiones.

La teoría de la justicia de Rawls se adapta de manera natural al concepto de justicia energética, según lo argumenta el análisis de Surovtsev y Syrov. El primer principio, que garantiza la igualdad de libertades básicas, se traduce en el acceso universal a una energía asequible y confiable. El segundo principio, que busca la diferencia equitativa en los beneficios y las cargas, se aplica a la distribución justa de los resultados de la producción y consumo de energía (Surovtsev & Syrov, 2015).

Aún más, la justicia energética se presenta como una herramienta conceptual valiosa, integrando las preocupaciones distributivas y procesales de manera única (Sovacool & Dworkin, 2015). Este enfoque no solo evalúa los resultados, sino que también analiza los procedimientos de toma de decisiones, ofreciendo un marco analítico completo para abordar los desafíos energéticos.

En (Ribotta, 2012) se contribuye al debate al destacar que la diversidad humana, según Rawls, resulta en desigualdades en la capacidad de ejercer la libertad, y la igualdad formal no es suficiente para garantizar la igualdad real de oportunidades. La teoría de Rawls, por lo tanto, se interpreta

como un enfoque solidarista que equilibra libertad e igualdad, especialmente relevante al abordar problemas de justicia en el ámbito energético.

La clara descripción que hace Ribotta de los conceptos clave y los principios de la justicia en Rawls, se resumen en: (a) igual libertad; (b) igualdad de oportunidades; (c) diferencia. Destacamos además dos conceptos clave, aunque no principios, como son: (i) la justicia entre generaciones o el “problema del ahorro justo”, que se estudian desde los principios (a) y (c) y la (ii) la prioridad de la justicia sobre la eficiencia. Considerando que la energía (y cualquier modo de transición energética) involucra un bien concreto como la electricidad que transa en un mercado, la teoría de la justicia de Rawls es muy aplicada. Con los arreglos institucionales adecuados y la planificación correcta es posible aspirar a un cierto grado de justicia energética.

También, (Lopera, 2000) subraya el papel central de Rawls al posicionar la justicia como la primera virtud de las instituciones sociales. La relación de pertenencia a una sociedad justa, según Rawls, antecede cualquier cálculo racional, enfatizando la importancia de un procedimiento equitativo en la toma de decisiones, incluso en el contexto de los bienes públicos y el mercado.

Es importante destacar que cualquier aplicación de la teoría de justicia de Rawls en un contexto de intercambio de bienes casi esenciales como la energía eléctrica, en un mercado que suele ser de competencia en tres pocas firmas, es decir es un mercado oligopolista, requiere un contrato social a través de instituciones fuertes, tanto al nivel nacional como local, que puedan impartir la justicia distributiva, procesal, restaurativa y cosmopolita y donde se lleve a cabo el derecho al reconocimiento de justicia.

Precisamente, la teoría de la justicia de Rawls pertenece a la familia de la teoría de contratos (es una teoría contractualista); en consecuencia, la teoría de Rawls trata de con estructuras básicas de la sociedad (y sus instituciones y que promuevan un sistema social de justicia) y no tanto con la acción social de la gente. Una estructura donde el contrato contenga acuerdos previos sobre que es

justo y como se llega a aproximarse a ese ideal. Es una teoría de la distribución justa en lo que respecta al ordenamiento básico de la sociedad.

5. La Justicia Energética

El concepto de justicia energética se refiere a los impactos injustos creados a través del ciclo de vida del uso de la energía por parte de los humanos (Perez-Sindin et al., 2022). Este concepto no es nuevo, se ha estudiado desde la década de 1970, anticipándose a las implicaciones sociales de las altas capacidades de producción y consumo de energía asociados a la sociedad industrializada (Boyle, 2023). Posteriormente, otros estudios relacionados con el concepto de justicia energética se basaron en la utilización de principios fundamentales de equidad y justicia para afrontar las inequidades experimentadas por individuos que no tienen acceso a energía sostenible (Guruswamy, 2010).

La universidad de Sussex presenta la Justicia Energética como un marco de trabajo humano centrista que evalúa las injusticias y desigualdades del sector energético. Este marco de trabajo permite el reconocimiento de los actores que deberían tener voz y voto en el diseño e implementación de los sistemas energéticos, así como de las implicaciones y acciones para alcanzar la equidad entre la participación social, económica y política. Este enfoque permite agregar una nueva dimensión humana a los sistemas energéticos que han sido considerados tradicionalmente desde una perspectiva puramente técnica, planteando una pregunta central: ¿Cómo puede la teoría de justicia ayudar a las personas a tomar decisiones significativas sobre la producción, entrega, uso e impactos de la energía? (Sussex, 2021).

Por otro lado, el concepto de transición energética justa se presenta en (Hamann et al., 2023) como eje central de las discusiones de los actores políticos en busca de alcanzar la equidad en la distribución de los costos y beneficios de la transición energética entre los diferentes grupos y comunidades, mientras evita que las inequidades actuales se perpetúen. La justicia energética se refiere a la meta de lograr la equidad tanto en la participación social como económica en el sistema energético, mientras se remedian las cargas sociales, económicas y de salud en las comunidades históricamente perjudicadas. La justicia energética centra las preocupaciones explícitamente en las

comunidades marginadas y busca hacer la energía más accesible, limpia, asequible y democrática para todas las comunidades (S. Baker et al., 2019).

Por su parte, Sovacool y Dworkin (Sovacool & Dworkin, 2015) plantearon unificar los criterios y definiciones relacionados con la justicia energética; y propusieron, desde un punto de vista práctico, los siguientes diez principios que caracterizan un sistema energéticamente justo:

1. Disponibilidad;
2. Asequibilidad;
3. Debido proceso, los países deben respetar el debido proceso y los derechos humanos en su producción de energía;
4. Transparencia y rendición de cuentas, acceso a información sobre energía y formas responsables de toma de decisiones energéticas;
5. Sostenibilidad;
6. Igualdad intrageneracional, todas las personas tienen derecho acceder a los servicios energéticos;
7. Igualdad intergeneracional, incluidas las generaciones futuras;
8. Responsabilidad, para proteger el medio ambiente,
9. Resistencia, oposición declarada a la injusticia energética, e
10. Interseccionalidad, reconocer cómo la justicia ambiental está vinculada a otras formas de justicia, como la justicia social, económica y ambiental.

Como estos son los diez principios que caracterizan, o en los que se fundamenta la justicia energética, los indicadores y métricas deben estar claramente correlacionados con ellos.

La justicia energética implica proveer energía limpia, económica, segura y sostenible garantizando el bienestar y acceso a estas tecnologías a todas las comunidades. Con esto en mente, se puede definir la pobreza energética como la falta de acceso a servicios energéticos modernos, especialmente en el suministro eléctrico o de formas más limpias de cocinar. Las comunidades que viven en pobreza energética están en una intersección de injusticia social, ambiental y energética. Estas comunidades están privadas de sus necesidades básicas debido a la falta de acceso a formas de energía que les permitan satisfacer las necesidades humanas básicas tales como calefacción, salud y sanidad (McGee & Greiner, 2019).

Ahora bien, no se puede hablar de principios para una transición energética justa sin hablar de consideraciones éticas, la ética es un precepto que nace de las normas morales que rigen la sociedad, y estas instigan el comportamiento en general de las personas. Sin embargo, al hablar de juicio ético se busca beneficiar al mayor grupo de personas, la ética en proyectos se refiere a la búsqueda de soluciones equitativas, donde no se vulneren los derechos de algunos, lo que implica realizar consultas previas, consultar sus expectativas y necesidades con las comunidades, realizando un proceso extenso. (Galeano Marín, 2010) habla de la ética de la responsabilidad, indicando que la acción se juzga basándose en la previsión de las consecuencias, teniendo en cuenta los efectos de las decisiones tomadas sobre otros, lo que a su vez conlleva a que se eviten o minimicen los efectos negativos.

(Lee & Byrne, 2019) argumentan que *“la pobreza energética es un tipo de injusticia distributiva que resulta de la combinación de desigualdades en ingresos, precios de energía y condiciones de vivienda”*. Los autores recomiendan: Participación equitativa y democrática de todos los interesados en la toma de decisiones energéticas, la divulgación de información y mecanismos de políticas adecuados para lograr la justicia procesal, analizar la energía como proyecto social, contribuir a una agenda de investigación ampliada en estudios de justicia energética, abordar los riesgos y daños del suministro de energía como cuestiones de justicia a nivel sistémico en lugar de verlos como resultados desafortunados pero necesarios del éxito industrial.

5.1. Democracia Energética

A la hora de estudiar y analizar la justicia energética, también aparecen conceptos y referencias a la idea de democracia energética. A pesar de que la democracia está ligada a la justicia, ambos conceptos no son exactamente iguales.

La justicia energética se preocupa porque todos los individuos en una sociedad tengan acceso a la energía de manera económica, confiable y sostenible independientemente de las condiciones de género estatus socioeconómico u origen étnico. A partir de estas ideas el acceso y participación de los individuos, también se ha desarrollado el concepto de democracia energética. Algunos autores (Jenkins et al., 2016; Sovacool & Dworkin, 2015) han planteado que la democracia energética involucra a las comunidades en los procesos de desarrollo y gestión de los sistemas energéticos. Para algunos, la democracia energética está cubierta por el concepto de justicia energética, pues se parte de la idea de la energía como bien público y, por tanto, las personas tienen el derecho a opinar sobre la producción, distribución y consumo de la energía.

Otros autores como (van Veelen & van der Horst, 2018) que presentan la democracia energética como participación activa de las comunidades en términos de *ciudadanos energéticos*, detectaron la necesidad de establecer con claridad la relación de la democracia energética en el marco de trabajo de la justicia energética, cuestionándose si es un resultado o parte del proceso. Si se asume que es un resultado, es necesario establecer la diferencia entre ambas, pues ambas consideran un sistema energético más descentralizado y donde las sociedades tengan el control de dichos sistemas. Asumir la democracia energética como un proceso se basa en la idea de una participación democrática que permita a los participantes reconocer y actuar de acuerdo con los intereses comunes en busca de resultados más equitativos.

El concepto de justicia energética puede considerarse más amplio, pues, un sistema energético justo debe ser gobernado de manera democrática, para que todos los actores afectados por las actividades energéticas tengan voz en la toma de decisiones, considerando así la democracia energética un requisito fundamental para la justicia energética. La justicia energética abarca no solamente la idea de considerar el aspecto de acceso a la energía en todas sus formas, objeto de estudio de la democracia energética, sino que también se preocupa por los impactos sociales,

económicos y medioambientales de los sistemas energéticos, y una gama más amplia de preocupaciones, incluidas las dimensiones distributivas, las dimensiones procedimentales y las dimensiones sustantivas de la energía (Beyleveld, 2023; Guayo et al., 2020).

Vale la pena resaltar que democracia y justicia energéticas son términos que, en lugar de ser disímiles, son complementarios. En (Osička et al., 2023) se presentan los resultados de una revisión bibliográfica construida con el fin de estudiar las maneras cómo las palabras *Justicia Energética* y *Democracia Energética* han sido usadas en la literatura. Según se reporta en este artículo, algunos investigadores tratan de manera explícita la Justicia energética como una base de la Democracia energética; otros buscan diferenciar ambos conceptos, y otros, utilizan elementos de la Justicia Energética junto a otros elementos filosóficos y legales para el establecimiento de los marcos generales de la Democracia Energética. Las diferencias fundamentales se resumen en Tabla 1 (Osička et al., 2023)

Tabla 1: Algunas diferencias entre justicia y democracia energética

Característica	Democracia energética	Justicia energética
Enfoque en la distribución	Se enfoca en las políticas de las transiciones energéticas y en cuestiones de gobernanza de estas políticas.	Se centra en cuestiones de pobreza energética y distribución (in)justa de la energía
Alcance geográfico y enfoque normativo	Se orienta más hacia las comunidades energéticas, la creación de cooperativas y otras formas de participación ciudadana en la producción, propiedad y toma de decisiones energéticas	Generalmente hace referencia al Sur Global y a diversos grupos vulnerables y su análisis se ve altamente influenciado por los enfoques que se hacen en países desarrollados.
Escala de enfoque	Se aplica al desarrollo de comunidades locales.	Se aplica de forma universal en un país.

El elemento que destaca como principal diferencia entre ambos conceptos es que la democracia energética no se involucra con temas de justicia distributiva, pues hace énfasis en la política de las transiciones energéticas y las cuestiones de buena *gobernanza* en la política energética, lo que corresponde al principio de la justicia procedimental; sin embargo, la democracia y la justicia

energéticas tienen potenciales transformadores, con audiencias distintas. Pero buscan, en conjunto, el desarrollo de las comunidades. Por ende, es necesario entender ambas perspectivas para abordar los desafíos en los sistemas energéticos actuales.

Con el fin de implementar y fomentar la democracia energética, (Thompson, 2023), (Arler et al., 2023) y (UN, 2023), plantean una serie de acciones a desarrollar con el fin de fomentar la democracia energética en las comunidades:

Participación Ciudadana: fomentar la participación activa de la ciudadanía en la toma de decisiones relacionadas con la planificación, implementación y gestión de proyectos de energía renovable. Esto puede incluir consultas públicas, audiencias y mecanismos para recopilar comentarios y opiniones de la comunidad.

Acceso Equitativo a Tecnologías Renovables: promover la transferencia de tecnología y conocimientos en energías renovables, asegurando que las comunidades tengan acceso a las tecnologías y a los beneficios asociados con la transición hacia fuentes de energía sostenibles.

Inclusión de valores paisajísticos: integrar consideraciones estéticas, culturales e históricas en la planificación y diseño de proyectos de energía renovable, reconociendo la importancia de preservar y proteger los paisajes locales.

Promover la descentralización de la energía: fomentar la adopción de tecnologías de energía renovable a pequeña escala, lo que permite a las comunidades locales generar su propia energía y reducir su dependencia de grandes empresas energéticas. Esto puede incluir la promoción de tecnologías como la energía solar y eólica a pequeña escala, y la creación de incentivos para la adopción de estas tecnologías.

Transparencia y divulgación de información: garantizar que la información relacionada con los proyectos de energía renovable esté disponible para el público en general, permitiendo que las comunidades estén informadas sobre los impactos, beneficios y desafíos asociados con dichos proyectos.

Inclusión de comunidades locales: incorporar a las comunidades locales en la planificación y desarrollo de proyectos de energía renovable, reconociendo y respetando los conocimientos y las necesidades locales, con base en caracterizaciones periódicas que permitan tomar la mejor decisión (previa a la implementación del proyecto).

Educación y capacitación: Promover programas de educación y capacitación en energías renovables, tanto a nivel académico como a través de programas de formación técnica y colaboración en investigación y desarrollo entre países desarrollados y en desarrollo. Enfocando esfuerzos en que sean las mismas comunidades quienes se apersonen de la operación y mantenimiento de los equipos asociados a los proyectos.

Evaluación de impacto: realizar evaluaciones de impacto ambiental y social que consideren los efectos potenciales de los proyectos de energía renovable en los paisajes y en la calidad de vida de las comunidades locales.

Incluir diversas perspectivas y audiencias: asegurar que las políticas y prácticas de energía tengan en cuenta las diversas perspectivas y necesidades de las comunidades, incluidas aquellas que tradicionalmente han sido marginadas en los procesos de toma de decisiones.

Investigación y análisis: investigar y analizar las implicaciones de la democracia energética en diferentes contextos geográficos y sociales, así como en relación con diversas tecnologías, ya que puede ayudar a desarrollar enfoques efectivos.

Abordar la pobreza energética: contribuir a abordar la pobreza energética al permitir que las comunidades locales participen en la producción y distribución de energía, lo que puede mejorar el acceso y reducir los costos.

Desarrollar políticas y marcos regulatorios adecuados: desarrollar políticas y marcos regulatorios adecuados que fomenten la democracia energética y la participación ciudadana, al mismo tiempo que aborden las preocupaciones de justicia energética.

Fortalecer la cooperación internacional: promover la democracia energética en todo el mundo, especialmente en países en desarrollo que pueden enfrentar desafíos adicionales en la transición a sistemas energéticos más sostenibles.

Finalmente, es importante resaltar que la democracia energética también puede ser fortalecida a medida que se tengan proyectos relacionados a comunidades energéticas. De hecho, (Stephens, 2019) resalta que una práctica de democracia se puede dar a través de las cooperativas energéticas, puesto que son un mecanismo para redistribuir poder y toma de decisiones en el sector energético. Estos mecanismos resaltan la importancia de la toma de decisiones a nivel local y la propiedad pública de infraestructura energética.

Sin embargo, a pesar de que estas contribuyen a mayor gobernanza al interior de las comunidades, hay retos que deben ser tenidos en cuenta (Van Veelen, 2018). A pesar de que la mayor participación de la comunidad y control en decisiones relacionadas con la energía es vital para fortalecer la democracia energética, es importante entender que tal participación podría estar limitada a grupos socioeconómicos más favorecidos si la política no es construida de manera apropiada, lo que eventualmente puede profundizar aún más las desigualdades existentes.

Por otro lado, otro de los retos que se deben afrontar cuando hay participación ciudadana en la toma de decisiones, es la aparición de desacuerdos en las comunidades. En muchos casos, son relacionados con el nivel de cambio planteado tecnológico al interior de las comunidades y de las cooperativas energéticas (Stephens, 2019). Adicionalmente, cuando hay un equipo de profesionales técnicos al interior de las comunidades, puede ser complejo diferenciar sus vidas personales de las profesionales. Además, los autores argumentan que a pesar de que es beneficioso contar con equipo humano en la comunidad que hace parte de desarrollo de proyectos, puede hacer más difícil resolver desacuerdos. Es importante tener puntos de vista diversos para garantizar mayor representatividad (Van Veelen, 2018).

5.2. Dimensiones de la Justicia Energética

A partir de los estudios de McCauley, Heffron y Jenkins (McCauley et al., 2013) la mayoría de los investigadores ha adoptado un marco conceptual en el que la justicia energética se categoriza en

los siguientes tres principios (dimensiones): La justicia distributiva, que se refiere a la distribución no uniforme de los costos y beneficios de construir y operar los sistemas energéticos. Evalúa la igualdad, proximidad y ubicación de los sistemas energéticos, las restricciones en el acceso a la tecnología, cómo tenerlas en cuenta en un entorno de justicia y la desbalanceada distribución de responsabilidades (Jenkins et al., 2016) (Heffron & McCauley, 2017) (S. Baker et al., 2019). La justicia procedimental, que se relaciona con la adopción de procesos equitativos en la toma de decisiones que involucre a todos los interesados, principalmente a las comunidades vulnerables y marginadas, de manera no discriminatoria (Jenkins et al., 2016) con cuatro importantes elementos: i) acceso a la información, ii) acceso a la participación en el proceso de toma de decisiones, iii) disminución del sesgo de los tomadores de decisiones, iv) acceso a procesos legales para lograr reparaciones (Sovacool & Dworkin, 2015). La justicia de reconocimiento, que se refiere a las diferentes formas de discriminación cultural y política, que sufren ciertos segmentos de la población, lugares e identidades en comparación con otros. En este punto debe aclararse que en el cuerpo de este documento se utilizan de manera indistinta los conceptos de justicia de reconocimiento y justicia reconocitiva para referirse a la definición dada previamente (López, 2012). Posteriormente, gracias al trabajo de Heffron y McCauley (Heffron & McCauley, 2017) se adoptó un cuarto principio de la justicia energética, la justicia restaurativa, que tiene como objetivo explorar la respuesta de la sociedad a las víctimas en caso de injusticia.

En (Van Uffelen et al., 2024) se establece que la función normativa del marco conceptual basado en los principios de la justicia energética no ha sido suficientemente desarrollada. Esto es importante ya que es necesario legitimar las decisiones tomadas usando un principio de justicia. En otras palabras, reconocer la diversidad normativa contribuye a la legitimidad de las decisiones de políticas.

Una de las dificultades con la legitimidad de las decisiones radica en la pluralidad de las nociones y definiciones del concepto de justicia entre diferentes sujetos (Taebi et al., 2020). Cuando las nociones y demandas de justicia divergen o incluso entran en conflicto, a menudo no está claro cuál debe tener prioridad. Como tal, no está claro cómo el marco de principios podría funcionar como herramienta para la toma de decisiones desde el punto de vista legal. Incluso, algunos autores han criticado la justicia energética ya que no incluye otras concepciones y definiciones, tanto occidentales como no occidentales, de los principios normativos y filosóficos de la distribución justa (Lacey-Barnacle et al., 2020; Pellegrini-Masini et al., 2020). Por otro lado, en los marcos de

referencia de justicia energética que se utilizan actualmente, rara vez se incluyen los animales y los sistemas ecológicos como sujetos de justicia (Sayan, 2019).

En (Van Uffelen et al., 2024) los autores recomiendan una serie de acciones con el fin de facilitar la legitimidad de las decisiones y acciones. Lo primero es que las conclusiones normativas pueden justificarse mediante la formulación explícita de los principios de justicia, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en la definición del marco de referencia de la justicia energética, puede haber lugar a incertidumbre normativa, que en este caso se refiere al hecho de que podría haber diferentes concepciones (incompatibles) de justicia que sean moralmente defendibles, lo que llevaría a diferentes conclusiones normativas o recomendaciones de políticas. Para superar lo anterior, los autores proponen considerar los principios de la justicia como categorías de justicia que no tienen un contenido más sustancial que un compromiso con la justicia relacionado con el objeto del principio. En otras palabras, la justicia procedimental se ocupa de procedimientos justos de toma de decisiones; la justicia distributiva se ocupa de la distribución justa de cargas y beneficios; la justicia de reconocimiento se ocupa del reconocimiento adecuado de todos los actores a través del amor, la ley y el orden del estatus; y la justicia restaurativa se ocupa de restaurar las injusticias. Definir los principios de manera no fundamentada reconoce que existe una pluralidad de interpretaciones posibles de cada principio.

En el sistema energético actual las comunidades marginadas se ven expuestas a la injusticia energética de manera recurrente. Se ha evidenciado que las comunidades negras tienen el doble de interrupción del servicio energético con respecto a las comunidades blancas en los mismos niveles de ingresos; negros, morenos e indígenas padecen más enfermedades relacionadas con la energía. Adicionalmente, en términos económicos, los nativos americanos, negros y latinos gastan el 45%, 43% y 20% más de sus ingresos con respecto a las comunidades blancas, respectivamente (Irving Institute, 2022, p. 101).

Los gobiernos requieren esfuerzos para promover la instalación de nuevas tecnologías que apunten a la transición energética justa, mientras se aseguran de que estos esfuerzos no aumentan las brechas existentes. Erin Baker (Energy justice: who gets listened to? | Erin Baker | TEDxAmherst - YouTube, s. f.) expone falencias gubernamentales en la asignación de subsidios para la instalación de techos solares. Los subsidios solo llegan a aquellos usuarios con ingresos suficientes para invertir en el proyecto solar y con un techo para instalar la tecnología; así la inversión

gubernamental no se hace equitativa y no llega a las comunidades de bajos ingresos, sino que se queda en los hogares con mayores recursos. En (Hennessy & Syal, 2023) se presenta como el legado social del redlining¹ perjudica a las comunidades marginadas. Estas comunidades presentan altos índices de pobreza, peores índices de calidad del aire, entre otros, comparado con respecto a las otras, incrementando la inequidad y la injusticia energética.

En (Drechsler et al., 2017) se presenta un estudio en Alemania que se ha enfocado en la ubicación más adecuada posible, en términos de eficiencia y equidad, de proyectos solares y eólicos. En términos de distancia, es importante ubicar las plantas lo más cercanas posible a asentamientos humanos. Sin embargo, el análisis se ha realizado considerando la distancia mínima de 800 m. Una asignación eficiente se ha planteado como aquella que minimiza los costos de producción y otros costos externos (asociados a las mínimas distancias de los proyectos a los asentamientos) necesarios para alcanzar las metas establecidas. Los resultados han mostrado que la distribución geográfica de los proyectos depende significativamente de la disponibilidad de los recursos energéticos y de los costos relativos de los proyectos eólicos y solares. Para determinar las decisiones de expansión de la red de transmisión a 230 kV y 380 kV para una asignación específica de proyectos renovables, se empleó un modelo de optimización que considera los despachos horarios del año 2012. Los flujos de potencia de la red fueron modelados en su versión DC. Cuando se consideran los costos de la red transmisión, estos son distribuidos entre los generadores de manera proporcional a su producción de electricidad conectados en los nodos correspondientes a la red. Cuando los costos de la red transmisión se involucran en el análisis, se tiene una mayor distribución de los proyectos a lo largo del país.

5.3. Desafíos y Barreras

La generación de electricidad es responsable de alrededor de 25% de las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) globales (Zillman et al., 2018) mientras alrededor del mundo se realizan esfuerzos significativos por demostrar la inminente necesidad de reducir las emisiones GEI. El llamado ha sido respondido por muchos países, si se considera la gran respuesta en la adopción

¹ El redlining es una subdivisión geográfica, elaborada para determinar créditos hipotecarios a las comunidades, basada en el racismo (Hennessy & Syal, 2023)

del acuerdo de París, los reportes del panel internacional para el cambio climático o los esfuerzos realizados por la Unión Europea para lograr una reducción del 80% de emisiones GEI con respecto a los niveles de 1990 para el 2050.

La justicia energética requiere un análisis moral de todos los sistemas energéticos actuales desde una mirada legal, ética, política y filosófica, que permita que las leyes que promueven la transición energética consideren las condiciones ambientales y de recursos naturales (Salter et al., 2018). La discusión sobre la justicia energética ha dejado de lado las experiencias ganadas con la justicia ambiental referente a los desperdicios. El rol que juegan —tanto en la salud humana, como los impactos ambientales— los desperdicios generados al final de la vida útil de las fuentes renovables de energía y fuentes de energía bajas en emisiones GEI, como la energía nuclear, ha sido relegado a un segundo plano a cambio de promover la transición energética como medio para retrasar el cambio climático (Tzoumis & Boyer, 2022). Esto puede traer serias consecuencias e implicaciones a largo plazo que ponen en riesgo el bienestar de aquellos más vulnerables a los impactos del cambio climático (Levenda et al., 2021).

Los riesgos asociados a la transición energética justa emergen con mayor fuerza en las áreas ambientales, sociales, políticas y administrativas, a medida que las capacidades técnicas y tecnológicas empiezan a alcanzar un mayor nivel de despliegue. El Estado juega un rol primordial en la reducción de los riesgos sociales y políticos a los que se enfrentan las comunidades durante la transición energética, tales como altas tasas de desempleo, pobreza y desigualdad social, asegurando la correcta distribución de los riesgos y beneficios de la transición (Hamann et al., 2023). En (E. D. Baker, 2022) se presenta un conjunto de potenciales áreas de investigación científica para la transición energética justa, asegurando, que, aunque la investigación de soluciones tecnológicas es crucial para la transición, no es suficiente, pues la transición hacia un sector energético de bajas emisiones puede empeorar las condiciones de las comunidades marginadas.

El trabajo de (Tzoumis & Boyer, 2022) propone que es necesario reexaminar el alcance del análisis de la justicia energética más allá de sólo la generación y consumo de energía, a situaciones de justicia intergeneracional que son transferidas a generaciones futuras. Considerar las externalidades negativas de la carrera por la descarbonización en términos del daño causado debe incluirse como parte del análisis de la justicia energética en la toma de decisiones, más allá del objetivo de descarbonización, consumo y producción de energía.

Ahora bien, para esta medida de pobreza en los hogares se proponen 7 variables, que se consideran como mínimas, dependiendo de las condiciones geográficas de los hogares, para tener un confort y posibilidades de desarrollo social. Las 7 variables son preparación de alimentos, iluminación, refrigeración de alimentos, entretenimiento/información, conocimiento/comunicación, calentamiento de agua y confort térmico. Vale la pena destacar el acceso al entretenimiento/información hace referencia al ocio, mientras que conocimiento/comunicación agrupa el acceso a la información. En la Fig. 2 se presentan los resultados para el acceso a energía en zonas rurales de Colombia. Estos resultados son contrastados con los datos de porcentaje de pobreza energética (PE) y pobreza energética severa (PE severa) en el país, el cual se encuentra cercano al 25% en PE y en el 10% para PE severa (Soares et al., 2023).

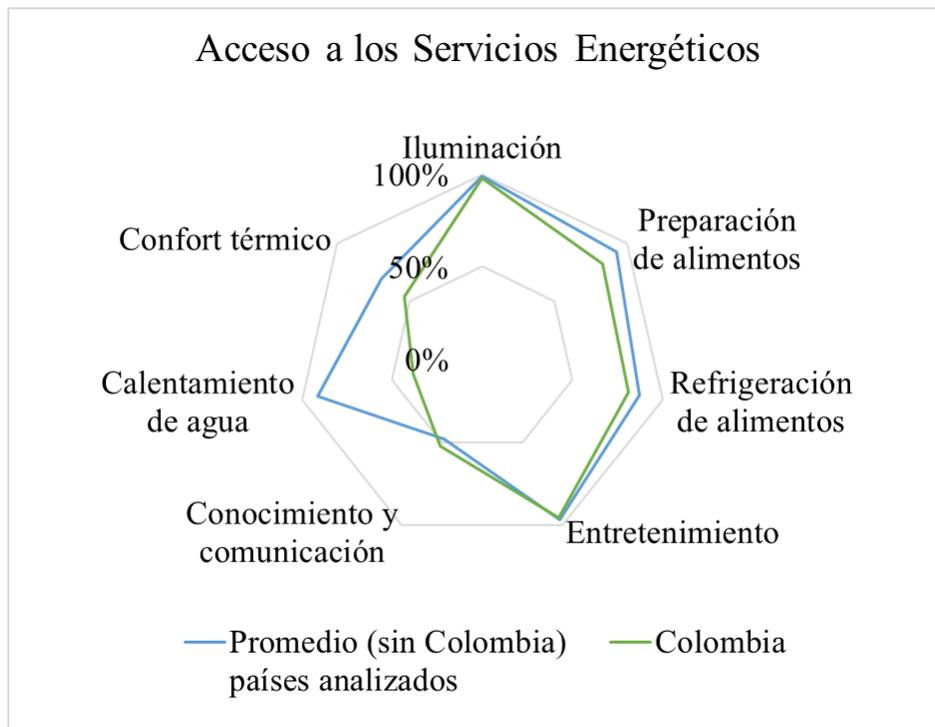


Fig. 2: Acceso a la energía en zonas rurales de Colombia severa (Soares et al., 2023).

Nota: los países y los años de actualización de la información son Argentina (2018), Brasil (2018), Colombia (2019), Perú (2019), Uruguay (2019). Además, no hay información de calentamiento de agua y Confort térmico para Perú.

En particular, en Colombia, se destaca que los hogares que carecen de servicios energéticos para la preparación y conservación de alimentos. Además, para la definición de la pobreza energética, las dimensiones de confort térmico, calentamiento de agua, conocimiento y comunicación son preponderantes, pues de ellas dependen, en buena medida, el desarrollo de las personas que habitan los hogares. Por otra parte, la pobreza energética severa está relacionada con otras posibles vulnerabilidades, como la social, la baja educación de las cabezas de hogar y el acceso deficiente a servicios públicos; por esto es crucial abordar la pobreza energética, junto con otras desigualdades socioeconómicas, con el fin de reducir su impacto en la pobreza intergeneracional.

Según (Volodzkiene & Streimikiene, 2023a) se deben definir con minuciosidad los indicadores que serán usados para analizar los niveles de inequidad energética, pues de ello dependerá el que se puedan o no llegar a políticas efectivas para la erradicación de la pobreza energética. En particular, llaman la atención sobre los siguientes aspectos a la hora de generar políticas públicas:

- Indicadores apropiados. Uso de indicadores que tengan en cuenta el desarrollo económico y los niveles de desigualdad de ingresos en cada país.
- Desigualdad de ingresos. Reducir las inequidades en mejora la asequibilidad, permitiendo que los hogares puedan permitirse servicios de energía limpia y asequible.
- Promoción de la eficiencia energética. La eficiencia energética reduce eficazmente el consumo y los costes de energía. Promover las energías renovables y mejorar la gobernanza contribuye a mejorar la calidad de vida y mitigar la degradación ambiental.
- Cooperación mundial. Lograr reducciones sustanciales de energía requiere cooperación global y la implementación de políticas efectivas. Colaboración a escala global y desarrollo

de políticas que aborden la interconexión entre el crecimiento económico, la urbanización y los patrones de consumo son cruciales.

- Definición de las dimensiones de vulnerabilidad. Es importante considerar dimensiones específicas como los ingresos del hogar, la cantidad de niños y las condiciones de salud.
- Enfoque multidimensional. Se deben adoptar enfoques multidimensionales para medir la desigualdad energética, considerando las dimensiones económica, ambiental y social, lo que garantiza que se aborden las necesidades y los impactos de las generaciones actuales y futuras.
- Justicia energética holística. Se requiere un enfoque holístico que abarque los factores sociales, económicos y ambientales que contribuyen a la injusticia energética. Esto incluye mejorar la eficiencia energética, aumentar el uso de fuentes de energía renovables y garantizar el acceso equitativo a la energía.

6.1. De la Justicia Ambiental: una breve conceptualización

La justicia ambiental es un concepto que está relacionado con la economía ambiental, en el sentido de que la actividad económica genera es generador de buena parte del deterioro en la naturaleza, por ejemplo, generando gases de efecto invernadero. En consecuencia, la producción (y también el consumo) de bienes y servicio puede generar externalidades negativas en los individuos y en las comunidades, lo que implica una serie de vulneración de derechos que deben ser compensados y, en ocasiones, restaurados. Dichas externalidades no pueden resolverse por un mecanismo tradicional de precios, al no existir siempre un mercado para esas externalidades, de modo que tradicionalmente se resuelve mediante: la regulación (normas explícitas), la auto regulación (códigos de conducta) o los impuestos/subvenciones.

Uno de los autores pioneros en el concepto de justicia ambiental es (Schlosberg, 2007) expresa que la justicia ambiental es el derecho universal a vivir en un ambiente seguro y saludable, sin importar la raza, género, clase social u origen étnico. Se enfoca en la distribución equitativa de beneficios y cargas ambientales, así como en la participación de las comunidades en decisiones ambientales. Desde luego este concepto, que ha sido utilizado por numerosos académicos estudiosos de la pobreza energética y la justicia ambiental, tiene unas implicaciones éticas, morales y de política profundas.

Otros autores, como (Grant et al., 2022) destacan que la justicia ambiental busca abordar desigualdades en la distribución de beneficios y cargas ambientales, especialmente en comunidades marginadas. Ahora en el caso particular de la justicia energética, indudablemente tiene relación con la justicia ambiental, pues mientras la primera se centra en la equidad en el acceso a la energía, la última se centra en sus impactos y en como mitigarlos y compensarlos. Ambos conceptos de justicia buscan una sociedad más justa y sostenible. Como ejemplo de estos enfoques interrelacionados de justicia, (Grant et al., 2022) en un estudio de caso en Estados Unidos propone para la gestión de bosques urbanos: (i) el fuerte compromiso comunitario; (ii) la distribución equitativa de árboles y (iii) el reconocimiento de grupos desfavorecidos para garantizar procesos transparentes y políticas inclusivas.

(Jenkins, 2018) destaca que la justicia ambiental busca la protección equitativa contra riesgos y la distribución de beneficios ambientales de los sistemas energéticos. (Govindarajan & Ganesh, 2022) definen la justicia ambiental como la remediación de efectos adversos para comunidades, incorporando la justicia energética. (Levenda et al., 2021) ven la justicia ambiental en la distribución equitativa de beneficios y cargas, relacionándola con la justicia energética en la transición a energías renovables.

En todos los casos citados, el concepto de justicia energética comparte principios similares al de justicia ambiental, centrados en sistemas energéticos equitativos, considerando el estudio y mitigando los impactos negativos de las desigualdades e injusticias de todo tipo y garantizando la

participación democrática de las comunidades vulneradas. En general, de un modo u otros, todos los autores recomiendan políticas centradas en la participación comunitaria, atención a impactos en comunidades vulnerables y un enfoque democrático para abordar desigualdades.

A continuación, se presentan algunas metodologías disponibles en la literatura científica para medir la justicia social.

6.2. Definiciones y marco conceptual

Antes de continuar, es necesario realizar algunas aclaraciones de palabras clave y conceptos que permitirán establecer un marco de definiciones único sobre el cual se puedan extraer análisis que sean válidos para los diferentes interesados.

Para comenzar, se realizó una búsqueda bibliográfica en scopus con las palabras clave “*energy justice*” y filtrando a los grupos generales de “*energy*” y “*engineering*”. Usando la herramienta VOSviewer (*VOSviewer - Visualizing Scientific Landscapes*, 2023) se obtuvo el mapa de relacionamiento que se muestra en Fig. 3.

La Justicia Energética, ya tratada en un apartado anterior de este informe, se define como la búsqueda de la equidad y la minimización de las disparidades entre individuos y grupos en todos los aspectos de los sistemas, mercados y operaciones energéticas (E. Baker et al., 2023).

La desigualdad o inequidad energética se caracteriza por una distribución desigual del acceso a los recursos energéticos y el desafío constante de la asequibilidad para cubrir los gastos de servicios públicos (Chen et al., 2022). El concepto de desigualdad energética está claramente vinculado con la justicia energética y se centra en la distribución desigual de los recursos y servicios energéticos. Garantizar la justicia energética es uno de los principales aspectos destacados de la lucha contra la desigualdad energética y la desigualdad económica, así como uno de los desafíos clave para avanzar hacia una sociedad climáticamente neutra, proteger el medio ambiente y promover una economía verde. La desigualdad energética, tiene importantes implicaciones para la resiliencia como un efecto de la injusticia energética desde una dimensión espacial. La resiliencia está relacionada con la capacidad de los individuos de mantener, así como mejorar, sus oportunidades de sustento ante perturbaciones socio-económicas, políticas y ambientales (Zaman et al., 2021).

Por su parte, la inseguridad energética, ocurre cuando un hogar no puede cubrir sus necesidades energéticas, se puede representar a través de los retrasos en el pago de las facturas de energía y la exposición a instalaciones inadecuadas (Bouzarovski et al., 2021). La inseguridad energética es multidimensional y se basa en la interacción entre la infraestructura física de la vivienda, los gastos de energía de los hogares y las respuestas conductuales a las tensiones financieras (Hernández et al., 2022).

Mientras que, la pobreza energética se define como la falta de acceso a tecnologías de energía física y energía moderna, o a los recursos financieros necesarios para consumir energía al nivel deseado (Pachauri & Spreng, 2011). Esta definición se refiere a los hogares que no tienen la capacidad de satisfacer las necesidades energéticas. La pobreza energética pone de relieve las consecuencias socioeconómicas de la privación de energía, como oportunidades educativas limitadas, salud y seguridad comprometidas, productividad reducida y desarrollo socioeconómico

restringido. La pobreza energética enfatiza la falta de servicios energéticos básicos necesarios para un nivel de vida digno. Diseñar programas y políticas eficaces para reducir la pobreza energética en grupos vulnerables requiere identificar quiénes son pobres energéticamente, medir el grado en que experimentan pobreza energética e identificar las causas subyacentes que conducen a la pobreza energética.

Una medida o métrica se refiere a cualquier variable que se pueda medir, por su parte, un indicador es cualquier variable, contada o medida, cuya magnitud se considere reveladora o diagnóstica de algo que se desea seguir o analizar su evolución. Por otro lado, un índice es una variable compuesta de varias métricas o indicadores escalados o ponderados, y diseñada para capturar alguna propiedad en un solo número (Guía para la Construcción y Análisis de Indicadores, 2018). En el contexto de este trabajo, se usa la definición de métricas para referirse a las mediciones y herramientas usadas para evaluar la justicia energética. Existen métricas individuales que están enfocadas en un solo aspecto del bienestar y hay índices que se componen de distintas métricas individuales con pesos asignados debidamente.

Se requieren métricas para identificar los sectores vulnerables de la sociedad, diseñar y analizar posibles políticas, tecnologías, y soluciones comerciales; monitorear y evaluar las salidas y efectividad de esos esfuerzos. Además, las métricas deben tener en cuenta los factores de justicia energética para ayudar a generar resultados justos en la toma de decisiones y satisfacer las demandas de justicia energética en el futuro. Así entonces, las métricas deben tener las siguientes características (E. Baker et al., 2023):

- Deben tener en cuenta las tendencias históricas y permitir un análisis prospectivo.
- Deben ser lo suficientemente detallado como para proporcionar información sobre los impactos humanos.
- Deben ser relevantes para la toma de decisiones.

- Deben ser inclusivas en el diseño y uso de las comunidades desfavorecidas.
- Deben ser comprensibles, mensurables y fáciles de usar de una manera que permita a una variedad de partes interesadas participar en debates y evaluaciones.

Desde el punto de vista de la planeación, las métricas deben ser relevantes para la toma de decisiones en cuanto a la identificación de la población beneficiaria de las acciones y la evaluación en sí misma de las acciones.

Lo primero a la hora de seleccionar las métricas e índices adecuados es tener claro quiénes son los sujetos vulnerables. La vulnerabilidad es un estado de ser susceptible a sufrir daños por la exposición a cambios ambientales, sociales y económicos, y sin la habilidad o capacidad de adaptarse. La exposición es el grado en que un sistema experimenta estrés ambiental o sociopolítico. La sensibilidad es cómo un sistema es modificado o afectado por la exposición y, en particular, una cuantificación de quién y qué es particularmente susceptible a los efectos adversos de la exposición. La capacidad adaptativa es la capacidad de un sistema para evolucionar, afrontar y desarrollar resiliencia ante los peligros ambientales o el cambio de políticas (E. Baker et al., 2023). A partir de lo anterior, puede decirse que la sensibilidad es un reflejo de la vulnerabilidad que permite su estimación. Por lo tanto, los indicadores, se relacionan con la vulnerabilidad y la sensibilidad.

A nivel de país, las evaluaciones de las poblaciones energéticamente vulnerables suelen basarse en sus ingresos; otras variables incluyen género, discapacidad, edad, dinámica familiar, ubicación geográfica o raza y estatus migratorio (Gillard et al., 2017; Martiskainen et al., 2021). A nivel internacional, el ingreso vuelve a prevalecer, pero otras variables incluyen la dependencia y el acceso a la energía (Monyei et al., 2018).

Luego de que se ha definido de manera explícita quienes son los sujetos vulnerables, se requiere la adopción de algún marco de referencia para la definición de las métricas e índices. En la literatura, se encuentran diferentes marcos de referencia que permiten seleccionar las métricas

apropiadas (relevantes) para los procesos de toma de decisiones, algunos se resumen en (E. Baker et al., 2023). Entre ellos se tienen algunos en los cuales se da prioridad a los valores de los interesados, los cuales se definen como objetivos (Keeney, 1996) los cuales a su vez son métricas. Este enfoque permite usar modelos matemáticos para evaluar cuál de las alternativas se ajusta mejor a las preferencias de los interesados. Este marco de referencia es muy útil para estudios de justicia energética desde el principio reparativo.

También, se tienen marcos prospectivos que se centran en la conceptualización del progreso de los procesos de transformación energética a lo largo de su ciclo de vida (Gorman & Dzombak, 2018). Por otro lado, existen otros marcos de referencia que mapean los principios de justicia desde las fuentes causales hasta el monitoreo de desempeño de las decisiones (Romero-Lankao & Nobler, 2021, p.). Finalmente, como una versión mejorada de los anteriores marcos de referencia se propone en (E. Baker et al., 2023). Se basa en aplicar la perspectiva de equidad sistémica, que sostiene que, para ser integrales en todos los principios de la justicia, las métricas deben reconocer explícitamente qué conceptos centrales no se abordan o fusionarse con métricas complementarias para cumplir con cada uno de los tres principios básicos de la justicia como se muestra en la Fig. 4.

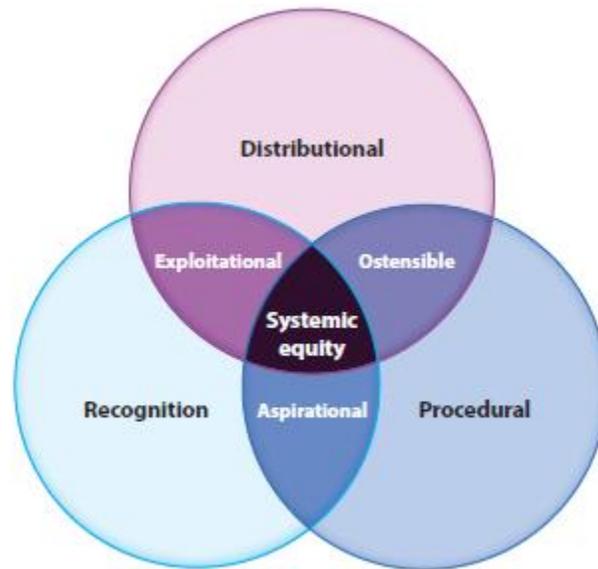


Fig. 4: Conceptos de equidad que deben considerarse desde un enfoque de equidad sistémica, tomado de (E. Baker et al., 2023).

(S. Baker et al., 2019) ofrecen una tabla (ver Tabla 2) que resume los términos más utilizados en la práctica y la academia relacionados con la justicia energética:

Tabla 2: Terminología usada frecuentemente en la Justicia Energética, tomado de Baker et al. (2019)

Término de uso frecuente	Definición
Justicia climática	Remediación de los impactos del cambio climático, y compensación por los daños sufridos debido al cambio climático.
Carga energética	Monto del ingreso total del hogar gastado para cubrir los costos de energía.
Democracia energética	Las comunidades deben tener voz y agencia para dar forma y participar en su futuro energético.
Inseguridad energética	“La incapacidad de satisfacer las necesidades energéticas básicas de los hogares” (Hernández & Siegel, 2019), debido al alto coste de la energía.

Justicia energética (y equidad energética)	Equidad en la participación social y económica en el sistema energético, y al mismo tiempo remediar las cargas sociales, económicas y de salud que soporta el sistema energético.
Pobreza energética	Falta de acceso a energía básica para sustentar la vida.
La justicia ambiental	Reconocimiento y remediación de los efectos desproporcionadamente altos y adversos para la salud humana o el medio ambiente.
Transición justa	Una transición desde la economía de los combustibles fósiles hacia una nueva economía que proporcione “ <i>medios de vida dignos, productivos y ecológicamente sostenibles; gobernanza democrática; y resiliencia ecológica</i> ” (Transición justa, 2019)

6.3. Mediciones de la justicia energética en la literatura

Establecer indicadores de desempeño permite medir el éxito relativo en la implementación de estrategias para la transición energética justa. Debido a la subestimación del impacto y consecuencias de los sistemas energéticos y sus cambios para las sociedades, los análisis de los sistemas económicos se han relegado solamente a los aspectos económicos y tecnológicos ignorando otros aspectos que traen beneficio a las comunidades con el uso de tecnologías sostenibles y justas. Las mediciones de justicia no necesariamente deben ser monetarias, numéricas o cuantificables. expone que una métrica de justicia debe incluir lo que le aporta al bienestar de la gente. Una mirada detallada al contexto social de las comunidades permite encontrar que el bienestar no sólo depende del ingreso y la riqueza, sino también de las condiciones psicológicas, fisiológicas, sociales, políticas y económicas en las que viven. Estas condiciones heterogéneas pueden mejorar o disminuir el bienestar, y por lo tanto una medición correcta debe considerarlas.

En (Volodzkiene & Streimikiene, 2023a) se proponen 8 dimensiones con las cuales pueden clasificarse los indicadores de desigualdad energética que buscan monitorear el estado de una comunidad mediante diferentes indicadores, que, según los resultados, permitirán generar políticas públicas para mitigar los efectos negativos que puedan presentarse y que estén asociados con el

uso del recurso energético de la región, teniendo en cuenta, entre otros, los riesgos asociados a la falta de recursos económicos, de sanidad, energéticos y la carbono neutralidad. Estos indicadores son:

- **Disponibilidad.** La disponibilidad de energía, agua y alimentos, así como la fuente de energía y los electrodomésticos de cocina. También se consideran la iluminación, aparatos eléctricos, sistemas de agua caliente domésticos y la eficiencia energética de los refrigeradores. Se analiza la falta de servicios energéticos adecuados, como electricidad y combustibles modernos para cocinar, junto con niveles elevados de contaminación en interiores, la tenencia de electrodomésticos eléctricos, condiciones de saneamiento mejoradas y las características de vivienda.
- **Accesibilidad.** Permiten analizar la sostenibilidad y eficiencia en el uso de la energía, mediante el análisis del consumo de energía no fósil, emisiones, consumo de energías renovables, entre otros.
- **Confiabilidad.** Evalúan de forma integral de la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico, teniendo en cuenta la duración como la frecuencia de las interrupciones, la capacidad de suministro, las fluctuaciones de voltaje y el impacto de los cortes de energía en las actividades cotidianas de las personas.
- **Asequibilidad.** Proporcionan información sobre la vulnerabilidad económica y las dificultades que enfrentan los hogares en relación con los costos y la asequibilidad de la energía. Se analizan la carga energética (proporción promedio a nivel del ingreso destinado a pagar facturas de energía para hogares de bajos y moderados ingresos); además, se tiene en cuenta el precio de la energía, los costos mínimos de producción de energía, el no pago de facturas, la desconexión real del servicio y la capacidad para enfrentar gastos inesperados.

- Adecuación. Climatización de los hogares.
- Capacidad de limpieza. Permiten hacer una evaluación de diversos aspectos ambientales y energéticos, desde emisiones y consumo hasta iniciativas de sostenibilidad y medidas de control de la contaminación; para esto se analiza consumo de energía, las emisiones de CO2 y metano, la contaminación del aire (partículas PM2.5), calidad del aire, la relación entre el PIB y los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, óxido nitroso y metano), consumo de agua dulce, entre otros.
- Aceptabilidad. Sostenibilidad y eficiencia energética, teniendo en cuenta indicadores desde la composición de fuentes hasta la capacidad biológica de sostenibilidad y eficiencia energética,
- Capacidad de desarrollo. Dan cuenta de inversión y desarrollo en energías renovables, así como los avances tecnológicos e innovaciones en el ámbito medioambiental y energético, para lo cual se analizan la inversión y generación de energía renovable, teravatios-hora de energía solar, eólica, geotérmica y biomasa.

Vale la pena aclarar que algunos de los indicadores mencionados dependen de la percepción de las comunidades (indicadores subjetivos), mientras que otros dependen de información técnica disponible (indicadores objetivos); en otras palabras, para la obtención de algunos indicadores se deberá realizar encuestas, entrevistas, visitas, grupos focales, entre otros, con aquellas comunidades que presentan algún grado de vulnerabilidad. En la Tabla 3 se presentan la clasificación de indicadores propuestos por (Volodzkiene & Streimikiene, 2023a).

Tabla 3: Clasificación de indicadores propuestos (Volodzkiene & Streimikiene, 2023a)

Dimensión	Clasificación del indicador	Indicador
Accesibilidad	Objetivo	Accesibilidad a la electricidad (% de la población).
		Accesibilidad a la electricidad en zonas urbanas.

	<p>Accesibilidad a la electricidad en zonas rurales.</p> <p>Accesibilidad del hogar.</p> <p>Acceso a servicios básicos.</p> <p>Distancia al agua.</p> <p>Recursos hídricos per cápita.</p> <p>Consumo de agua per cápita.</p> <p>Tasa de urbanización.</p> <p>Tasa de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Tasa de utilización del agua.</p> <p>Consumo de agua.</p> <p>Emisión de aguas residuales.</p> <p>Agua potable: fuente de agua, tratamiento de agua.</p> <p>Disponibilidad de energía.</p> <p>Disponibilidad de agua.</p> <p>Disponibilidad de comida.</p> <p>Fuente de energía y electrodomésticos de cocina.</p> <p>Iluminación y electrodomésticos.</p> <p>Sistema de agua caliente sanitaria.</p> <p>Tipo de frigorífico asociado a su eficiencia energética.</p> <p>Falta de servicios energéticos adecuados, incluidos electricidad, combustibles modernos para cocinar, entretenimiento, educación, telecomunicaciones y electrodomésticos, junto con altos niveles de contaminación interior.</p> <p>Tenencia de aparatos eléctricos (lámparas, ventiladores, televisores, radios, teléfonos móviles, teléfonos fijos, refrigeradores, microondas, computadoras personales, lavadoras y aires acondicionados).</p> <p>Saneamiento mejorado: instalaciones sanitarias, lavamanos, baños compartidos.</p> <p>Condiciones de vivienda: piso, techo, paredes.</p> <p>Producción de energía primaria per cápita.</p>
Subjetivo	<p>Se pide a los participantes que indicaran la(s) fuente(s) principal(es) de energía de su hogar para el uso diario y las necesidades (por ejemplo, cocinar, hervir agua, calefacción e iluminación) utilizando una lista de verificación de lo siguiente: (a) conexión directa a una red eléctrica; (b) conexión a la red eléctrica a través de otro cliente; c)</p>

		paneles solares y baterías autoinstalados; d) generadores diésel; y (e) madera y otros materiales de combustión.
		Insatisfacción con las condiciones del suministro eléctrico.
Confiabilidad	Objetivo	Índice de duración media de las interrupciones del sistema.
		Índice de frecuencia media de interrupciones del sistema.
		Capacidad de oferta.
		Oscilaciones de voltaje.
	Subjetivo	Cortes eléctricos en la vida diaria.
Asequibilidad	Objetivo	Carga energética: la proporción promedio a nivel de la comunidad de los ingresos gastados en las facturas de energía de la vivienda para hogares de ingresos bajos y moderados.
		Precio de la energía: precio medio anual mundial del petróleo crudo.
		Costos mínimos de producción de energía.
		Incapacidad para pagar una factura de energía.
		Recepción de aviso de corte o terminación del servicio.
		Desconexión real del servicio.
		Capacidad para afrontar un gasto inesperado.
		Gasto energético requerido por encima de la media nacional y un ingreso residual por debajo del umbral oficial de pobreza.
		Gasto energético requerido por encima de la media nacional y un ingreso residual por debajo del umbral de pobreza.
		Costos de combustible por encima del nivel medio e ingresos residuales equivalentes después del gasto en combustible por debajo del umbral oficial de pobreza.
		Ingresos residuales netos, después de los costos de vivienda, que son insuficientes para cubrir sus gastos de energía después de cubrir otros costos mínimos de vida.
Proporción promedio de la facturación de energía (incluidos los cargos por electricidad/gas/agua/queroseno/gasolina) con respecto al ingreso mensual del hogar, calculado utilizando el enfoque del gasto de energía.		
Indicador de si la participación presupuestaria superó el 10%, una medida tradicional de pobreza energética.		

		Gasto anual en energía (electricidad, gas y otros combustibles para calefacción) como proporción del ingreso anual disponible de los hogares (participación en el presupuesto).
		Identifica hogares que no pueden permitirse el lujo de mantener la vivienda a una temperatura adecuada durante los meses fríos.
		Identifica hogares que no pueden permitirse el lujo de mantener la vivienda a una temperatura adecuada durante los meses calurosos.
		Identifica hogares que tuvieron uno o más atrasos en el pago de servicios públicos en los últimos 12 meses.
		El porcentaje de hogares dentro de una comunidad que están superpoblados o carecen de cocina o instalaciones de plomería.
		Identifica viviendas con goteras, humedad en paredes, pisos, techos o cimientos y/o podredumbre en pisos, marcos de ventanas o puertas.
		Identifica viviendas sin medios de calefacción o con calefacción central o aparatos de calefacción ambiental pero que no se utilizan cuando es necesario.
		Identifica viviendas sin aire acondicionado o con aire acondicionado, pero no utilizado cuando es necesario.
		El indicador de pobreza energética de ingresos bajos y costos altos (LIHC, por las siglas en inglés de Low Income-High Cost), teniendo en cuenta las circunstancias de ingresos y costos de energía.
		Subjetivo
Incapacidad para pagar a tiempo las facturas de luz, gas o teléfono por falta de dinero.		
Sentimientos sobre los costes de la electricidad, centrándose específicamente en los hogares que seleccionan “muy caro”.		
Adecuación	Objetivo-Subjetivo	Considere si los hogares enfrentan dificultades para calentar y enfriar sus hogares debido a limitaciones financieras.
Capacidad de limpieza	Objetivo	Energía usada.
		Demandas energéticas.
		Intensidad de la energía.
		Emisión de CO2.

		Emisión de metano.
		Contaminación del aire PM2.5.
		Superación del límite de calidad del aire.
		Relación entre el PIB per cápita y los gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, óxido nitroso y metano.
		Mínimo uso de agua dulce mediante la reutilización.
		Área forestal.
		Biodiversidad.
		Consumo de energía de combustibles fósiles.
		Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroelectricidad.
		Consumo de energía final por usos en el sector residencial y de servicios.
		Generación de residuos urbanos.
		Valorización de residuos urbanos.
		Accesibilidad a combustibles limpios y tecnologías para cocinar.
		Inversión en control de la contaminación ambiental como porcentaje del PIB.
		Instalación de tendencia de capacidad renovable.
		Umbral de potencia máxima.
		Energía total mínima sin procesamiento.
		Número mínimo de máquinas de instalación para evitar emisiones.
		Consumo de energía final por modo de transporte.
		Flota de vehículos.
		Km recorridos por modo de transporte y actividad.
		Desinstalación de plantas térmicas convencionales.
		Descarbonización sectorial.
		Huella ecológica energética.
		Índice de presión ecológica energética.
		Coefficiente de apoyo ecológico energético.
Aceptabilidad	Objetivo	Nivel de intensidad energética de la energía primaria.
		Consumo energético no fósil respecto al total.
		Transporte sostenible.
		Edificios energéticamente eficientes.
		Consumo de energía renovable (medido como porcentaje del consumo total de energía final).

		Electrodomésticos y sistemas más eficientes (es necesario combinarlos con capacidad suficiente).
		Biocapacidad energética.
		Biocapacidad energética per cápita.
Capacidad de desarrollo	Objetivo	Inversión en energías renovables.
		Generación de energía renovable.
		Energía renovable: teravatios hora de generación solar, eólica, geotérmica y biomasa.
		Consumo de energía primaria per cápita
		Innovación.
		Innovación tecnológica baja en carbono.
		Progreso tecnológico exógeno.
		Innovación energética.
		Innovación ambiental/tecnología verde.
		Innovación en tecnologías de energías renovables.
		Eco innovación.
		Innovación tecnológica verde.
		Innovación en tecnologías limpias.

En (Perez-Sindin et al., 2022) se presentan los resultados de un estudio comparativo de las desigualdades en la distribución de los costos de energía, el cual es uno de los principales desafíos de la justicia energética.

Las características espaciales de la injusticia energética se pueden medir desde tres ángulos distintos; uniformidad, concentración y centralización. Los sistemas energéticos modernos presentan una distribución espacial no uniforme de las instalaciones de producción e infraestructura energética en los cuales, se tienen regiones con una alta densidad mientras otras presentan una alta falencia que conlleva problemas de confiabilidad, costos, competitividad, etc. Se tienen impactos ambientales en las regiones que producen la electricidad mientras que se generan mayores recursos económicos en las regiones que utilizan la energía.

En dicho estudio se utilizan tres indicadores; uniformidad, concentración y centralidad, para analizar la injusticia energética desde el dominio de la justicia distributiva en cuanto a las

desigualdades en la distribución de los costos de producción de energía. Las medidas empleadas y su relacionamiento con los indicadores y el principio de justicia se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Índices y medidas usadas en (Perez-Sindin et al., 2022) para la estimación de la justicia energética.

Dominio (Principio de la equidad)	Indicador	Medición
Distributiva	Uniformidad	Índice de disimilitud. Varía entre 0 y 1, y mide la proporción de capacidad de generación per cápita que debería transferirse a otra subárea para lograr una distribución uniforme.
	Concentración	Índice delta. Refleja la proporción de la capacidad de generación per cápita ubicada en regiones que tienen una densidad de capacidad de generación per cápita superior al promedio.
	Centralización	Relación de la capacidad de generación per cápita localizada dentro de las fronteras de la capital y la capacidad de generación per cápita del país.

La uniformidad, como se define en dicho trabajo, para un caso de estudio como Colombia, el cual depende casi en un 70% de energía hidráulica, será baja. La uniformidad se maximiza cuando todas las subáreas tienen el mismo nivel per cápita de generación y demanda. Se minimiza cuando, por ejemplo, cuando la mayor capacidad de generación per cápita no se encuentra en las áreas densamente pobladas donde la demanda es mayor. La métrica del índice de disimilitud mide la desviación de la uniformidad utilizando la desviación absoluta media ponderada de la participación de la capacidad de generación per cápita de cada unidad regional respecto de la capacidad de generación total del país y expresando esta cantidad como una proporción de su máximo teórico.

La concentración es una medida de la ocupación territorial de la capacidad de generación y a diferencia de la uniformidad, la concentración considera el tamaño de las regiones. Por otro lado, la centralización es una medida de la diferencia espacial entre las centrales de generación y los puntos de mayor consumo, en este caso se asocia a las ciudades capitales.

Se propone, para facilitar la visualización de los resultados, el uso de curvas de Lorenz, las cuales son curvas de frecuencia acumulativa que ilustran cómo se distribuyen las proporciones de una variable específica (normalmente, el ingreso) entre los grupos de población.

A pesar de que en este estudio se obtienen resultados muy útiles para los tomadores de decisiones en cuanto a los planes de los sistemas energéticos, también refleja una complejidad a la hora de realizar las subdivisiones, sobre todo debido a las grandes diferencias en concentraciones de personas en las zonas rurales y urbanas. Además, se requiere de mayor investigación para comprender de mejor manera la relación entre la distribución espacial de la producción de energía y la distribución espacial de sus implicaciones en términos de justicia.

En (Dong et al., 2023) se presentan los resultados de un estudio de la relación entre la innovación tecnológica en las energías renovables y la justicia energética, a través de un estudio realizado en diferentes regiones de China en el periodo de 2006 a 2019. Se encontró que las energías renovables han ayudado a afrontar las injusticias energéticas de manera justa y democrática. De manera más precisa, la innovación en las tecnologías renovables contribuye efectivamente a la justicia distributiva, la justicia procedimental, la justicia de reconocimiento y la justicia restaurativa.

En este estudio los 4 principios de la justicia energética se han usado como indicadores de la justicia y a su vez se han definido 29 subindicadores (medidas que se usan para tener una única medida de la justicia utilizando el método de la entropía) Ver Tabla 5

Tabla 5: Índices y medidas de justicia empleados en (Dong et al., 2023) para la estimación de la justicia energética.

Dominio (Principio de la equidad)	Indicador	Medición
Distributiva	Desigualdad de ingresos	Índice Theil (-)
	Consumo de energía y precios	Consumo de energía per cápita (+) Índice de precios al por menor de los combustibles básicos (-)

	Eficiencia energética y limpieza	Intensidad de emisiones de CO2 (-) Intensidad de emisiones de SO2 (-) Generación de energía renovable como porcentaje de la generación total (+)
	Asequibilidad de la energía en el hogar	Propiedad de refrigeradores por cada cien hogares urbanos (+) Propiedad de ventiladores extractores de humo por cada cien hogares rurales (+) Tasa de penetración del gas (+)
Procedimental	Participación pública	Proporción de personas empleadas en unidades de propiedad estatal (+) Número de representantes de los trabajadores en el Congreso del Personal (+)
	Participación de las minorías	Proporción de diputados de minorías étnicas (+) Proporción de diputadas (+) Proporción de mujeres en el personal del congreso (+)
	Organizaciones no gubernamentales	Número de organizaciones sociales (+) Número de organizaciones autónomas (+)
	Corrupción	Número de casos de corrupción (-)
	Gasto del gobierno	Gasto en servicios públicos generales como porcentaje del PIB (+)
Recognoscitiva	Inversión en energía	Inversión en la industria energética como porcentaje del PIB (+)
	Protección de grupos vulnerables	Proporción de la población rural que recibe el subsidio de subsistencia básico (+) Proporción de mujeres que reciben el subsidio de subsistencia básico rural (+) Proporción de personas mayores que reciben el subsidio básico de vida rural (+) Proporción de personas con discapacidad que reciben el subsidio básico de vida rural (+)
	Diseminación cultural	Número de museos locales (+) Número de bibliotecas locales (+)
Restaurativa	Potencial de desempleo	Potencial de empleo en la industria minera (-) Proporción de valor agregado de la industria secundaria (-)

	Recuperación del desempleo	Número de personas que reciben seguro de desempleo (+)
	Control de la polución	Inversión realizada en control de la contaminación industrial como porcentaje del PIB (+)

Algo muy interesante es que para los indicadores también se han incluido indicadores positivos y negativos como se muestra en la Tabla 5 con (+) o (-) junto a la medición.

La urbanización es otro factor global para tener en cuenta como indicador que influencia la justicia energética. Esto se debe a que una mayor urbanización mejora la industrialización y crea un ambiente justo; sin embargo, trae consigo el problema del cambio en el uso del suelo. Se usa para medir el nivel de urbanización, el porcentaje de población urbana.

La gobernanza influye en la justicia energética. En este estudio se usa la tasa de gasto fiscal del PIB como una medida de la intervención del gobierno.

Uno de los hallazgos más interesantes de este trabajo es que debido a que las fuentes de energías renovables más tecnológicas (solar y eólica) cuentan con más datos e información disponible, promueven la transparencia en la toma de decisiones y permiten que el público esté bien informado por lo cual promueven la justicia procedimental. Además, las renovables aportan a la justicia distributiva ya que disminuyen los desperdicios y promueven la equidad en la distribución de ingresos. Finalmente, las renovables aportan a la justicia restaurativa ya que reducen las barreras de acceso a la energía en lugares y a comunidades menos favorecidos.

(Hennessy & Syal, 2023) presenta una medición de la justicia energética en el marco de la transición hacia vehículos eléctricos. Las métricas consideradas incluyen la distribución de los vehículos eléctricos diferenciada por grupos étnicos, La asignación de incentivos a través de asignación de reembolsos y el contexto social e histórico del *redlining*. El concepto del *redlining*

ha consistido en una delimitación geográfica de una región para marcar las zonas “rojas” o zonas menos favorecidas.

Para reducir injusticias, los autores proponen aumentar las inversiones en las comunidades menos favorecidas históricamente, comunidades negras y de bajos ingresos. Se sugiere que California aún puede mejorar en términos de justicia; buscando la disminución de los costos de vehículos eléctricos, ampliando la oferta de incentivos, eliminando barreras para acceder a ellos y permitiendo la participación de las comunidades menos favorecidas en las estrategias de planeación y diseño.

En (Heffron et al., 2015a) se expone la justicia energética como un concepto que aborda los aspectos distributivos y procesales de las políticas energéticas. El concepto de justicia energética reconoce que las políticas energéticas pueden tener impactos significativos en diferentes grupos de personas, y que estos impactos no siempre se distribuyen de manera justa. La justicia energética busca identificar cuándo y dónde ocurren las injusticias y cómo pueden responder las mejores leyes y políticas. Llama a académicos y profesionales a evaluar críticamente las implicaciones de las políticas energéticas y a cuestionar las formas en que se distribuyen, remedian los beneficios y los males, y se reconoce a las víctimas. Los autores proponen el desarrollo de una Métrica de Justicia Energética (EJM) que capture la dinámica de la justicia energética y proporcione una herramienta de toma de decisiones de política energética que sea justa y equitativa. En (Heffron et al., 2018) se presenta una novedosa herramienta *Energy Justice Metric* (EJM) para cuantificar la justicia energética y abordar la desigualdad en el sector energético y la sociedad. La EJM es un índice compuesto que combina varias métricas relacionadas con la justicia energética; se basa en un diagrama ternario y mide el desempeño de esta en términos de justicia distributiva, procesal y de reconocimiento con tres pasos: a) Selección de métricas, b) Normalización y c) Agregación de las métricas. En el trabajo se analiza el desempeño de la justicia energética de cinco países (EE. UU., el Reino Unido, Alemania, Irlanda y Dinamarca) y se encuentra que el Reino Unido, Alemania y Dinamarca tienen altos niveles de justicia energética, mientras que Irlanda y los EE.

UU. necesitan mejoras significativas. La EJM se presenta como una herramienta de investigación y toma de decisiones políticas que puede contribuir a la creciente literatura sobre cómo abordar la desigualdad social. Este trabajo hace tres contribuciones a la literatura al ser el primer modelo cuantitativo y cualitativo para evaluar el desempeño de la justicia energética, abordar cuantitativamente el trilema energético y contribuir a la literatura sobre economía y otras ciencias sociales que se centra en abordar la desigualdad social.

El artículo sustenta que la EJM puede utilizarse para identificar áreas donde falta justicia energética y para desarrollar políticas que promuevan la justicia energética. El documento también sugiere que la EJM puede complementarse con una serie de preguntas o un cuestionario adicional de diferentes partes interesadas en el sector energético, o como una "lista de verificación de justicia energética" para refinar aún más su utilidad como herramienta de política. Finalmente, el documento sugiere que la EJM puede contribuir a la transición justa hacia una economía baja en carbono mediante la promoción de los derechos humanos en cada etapa del ciclo de vida energético.

En (Barlow et al., 2022) se presenta un conjunto de métricas de justicia energética seleccionadas de la literatura científica. Ver Tabla 6 Las métricas se dividen en los principios de equidad definidos y se presenta un ejemplo de las mediciones.

Tabla 6: Métricas de equidad energética por parte de las partes interesadas responsables de su creación, cumplimiento y/o implementación (Barlow et al, 2022)

Dominio (Principio de la equidad)	Métrica	Ejemplo de medida
Distributiva	Presupuesto del programa de equidad asignado para apoyar al DAC	% presupuesto total al que accede clientes DAC
	Número de empleos creados a partir de la política de equidad	% de empleos a los que acceden los DAC desde programas

	Desarrollo de energía limpia	% de generación de electricidad a partir de energías renovables
	Acceso a energía limpia	% de DAC con acceso a ER (por ejemplo, acceso al agregador de opciones comunitarias); Capacidad de alojamiento de DER en el sistema de distribución en relación con los DAC
	Confiabilidad	% de carga crítica por grupo de clientes; Probabilidad, duración, frecuencia, tiempo de restablecimiento de las interrupciones por grupo de clientes; Métricas de confiabilidad a nivel de cliente
	Acceso a servicios solares detrás del contador	% de potencial solar de propiedad residencial alcanzado
	Acceso a servicios de almacenamiento detrás del medidor	% de clientes con almacenamiento distribuido
	Resiliencia	% de clientes atendidos por subestaciones y alimentadores críticos con enfoque en DAC y clientes críticos; % de clientes afectados en DAC; Resiliencia del cliente (recursos distribuidos durante los días previos, durante y posteriores al evento de resiliencia)
	Carga energética	% de ingresos gastados en energía; Límite máximo de carga energética por grupo de clientes
	Tarifas de electrificación	% de hogares sin electricidad
Procesal	Acceso a fondos públicos interventores	% presupuesto a fondos del interventor
	Reportar corte y registro de desconexión injustificada	% de servicios públicos que reportan datos de cortes y desconexión
	Objetivos, metas y principios de equidad	% de partes interesadas con metas y objetivos de equidad

Procesal y Distributiva	Participación en programas de eficiencia energética, energías renovables y DER	% participantes del programa de equidad en diferentes niveles de ingresos; Tasas de elegibilidad para programas de eficiencia energética por grupo de clientes
	Disponibilidad y acceso a financiación	% de clientes DAC y críticos elegibles y que tienen acceso a opciones de financiamiento
Distributiva y Reconocimiento	Tipo de tarifa	% de subgrupos de clientes que solicitan y participan en incentivos tarifarios para la adopción de DER; Monto de cargos fijos en una factura de servicios públicos
	Planes de pago basados en ingresos	% de grupos con planes de pago basados en ingresos
Procesal y Reconocimiento	Tarifas de desconexión	# de desconexiones por grupo de clientes; % cortes de energía sin reconexión por más de 30 días
Procesal, Distributiva Y Reconocimiento	Políticas/planes de condonación de atrasos	% empresas de servicios públicos con programas de condonación de atrasos
	Tasas de participación en DER de propiedad comunitaria	% atendido por microrred; grupos de clientes con recursos aislables

DAC: Comunidades en desventaja (*Disadvantaged Communities*)

DER: Recursos Energéticos Distribuidos (*Distributed Energy Resources*)

Según (Siciliano et al., 2021) es necesaria una transición hacia bajas emisiones de carbono, teniendo en cuenta la justicia social y ambiental; es decir, para las nuevas políticas se deben considerar las perspectivas de la comunidad, abordando temas como la preservación de recursos naturales y la seguridad energética, de tal forma que se satisfagan las necesidades humanas y culturales. Si bien, a nivel país, se prioriza la seguridad energética y el crecimiento económico, se deben tener en cuenta las diferencias en las prioridades entre los involucrados. En cuanto a los aspectos ambientales, no hay un consenso en la protección ambiental entre los actores institucionales (Estado) y las comunidades locales afectadas. Mientras que los primeros se centran

en la mitigación del cambio climático, los segundos se preocupan por la disponibilidad y protección de recursos naturales como tierra y agua. Asimismo, hay discrepancia en la visión la producción de energía, ya que las comunidades locales buscan mayor inclusión y participación, y los actores institucionales se centran en la aceptabilidad de la infraestructura energética.

Por ello, (Siciliano et al., 2021) resalta la importancia de considerar la conservación de la naturaleza, las interacciones humano-ambientales y los impactos sociales y económicos de los proyectos de energía renovable, y propone tener en cuenta dos aspectos la importancia que dan las comunidades conservación de la naturaleza y la visión de prioridades socioeconómicas entre actores institucionales y locales; con base en esto, se propone que se realice un enfoque integral, que incluya todos los aspectos en la toma de decisiones energéticas. En otras palabras, se propone la necesidad de generar conocimiento colaborativo, que incluya la opinión de la sociedad civil en proyectos de energía renovable, puesto que la transición hacia una energía baja en carbono debe considerar las prioridades sociales y los conflictos existentes en las regiones, procurando siempre las soluciones basadas en la evidencia y centradas en la experiencia de aquellos más afectados.

6.3.1. Coeficiente de Gini

Generalmente, los modelos de optimización de expansión de sistemas energéticos no involucran métricas socioeconómicas. Sin embargo, el coeficiente de Gini también es empleado para medir la autosuficiencia energética de un país y la igualdad de las inversiones. En muchos casos, interesa analizar si las inversiones, incentivos y fuerza de trabajo son repartidos de manera equitativa en un país. Este coeficiente se ha diseñado tal que cuando esté es cero, se tiene completa igualdad; y sí es uno, se tiene desigualdad total (Pedersen et al., 2021). El coeficiente de Gini es calculado como

$$GINI = \frac{A}{A + B}$$

Donde las áreas A y B son calculadas como se muestra en la Fig. En un país donde se produce la energía toda la energía consumida, se tendrá que $GINI = 0$ (área A es cero). Pero, un país que sólo produce energía tendrá un $GINI = 1$.

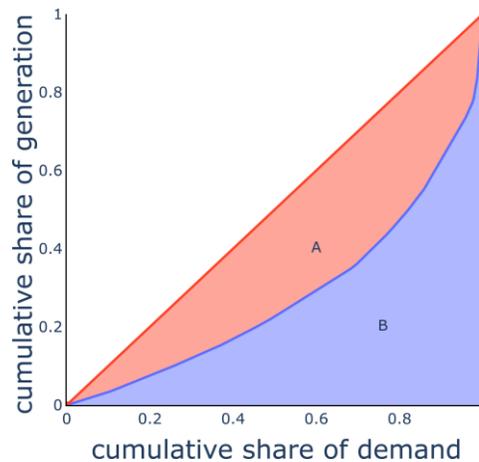


Fig. 5: Cálculo del índice GINI (Pedersen et al., 2021)

La línea roja denota igualdad perfecta. La línea azul es la curva de Lorentz de demanda de energía

El coeficiente de Gini también se ha modificado para evaluar la igualdad en las inversiones. En vez de considerar la producción de energía en el eje vertical de la Fig. 5, se pueden considerar la participación acumulada de las inversiones. Las curvas de Lorentz, insumos para calcular el coeficiente de Gini en la igualdad energética entre regiones (en Europa), también son propuestas en (Neumann, 2021).

En (Drechsler et al., 2017) se utiliza el coeficiente de GINI para analizar la equidad en la distribución geográfica de proyectos (a través de la curva de Lorentz). El índice de equidad es calculado como $Equidad = 100 - GINI$ donde $Equidad = 0$ implica alta inequidad y $Equidad = 100$ implica equidad perfecta. Para el cálculo del coeficiente de Gini, se ha considerado el "burden", entendido como la relación entre la producción de electricidad y la producción potencial

de energía en cada región teniendo en cuenta el tamaño de la población. La curva de Lorentz es construida teniendo en cuenta los "burdens" de los 80 millones de habitantes de Alemania. Al considerar la equidad, se encuentran distribuciones más uniformes de los proyectos, y también se observa una mezcla de energía eólica y solar.

En la Fig. 6 se muestra el *trade-off* entre eficiencia y equidad construido usando un algoritmo genético multiobjetivo. Ambos atributos no pueden maximizarse a la vez. Al aumentar la equidad, la cantidad de proyectos eólicos se reduce. Esto se debe a una situación puntual en Alemania, donde la mayor cantidad de recurso eólico está en el norte del país. Por tanto, al favorecer la equidad, más proyectos solares entran en el centro y sur del país donde hay mayores niveles de radiación.

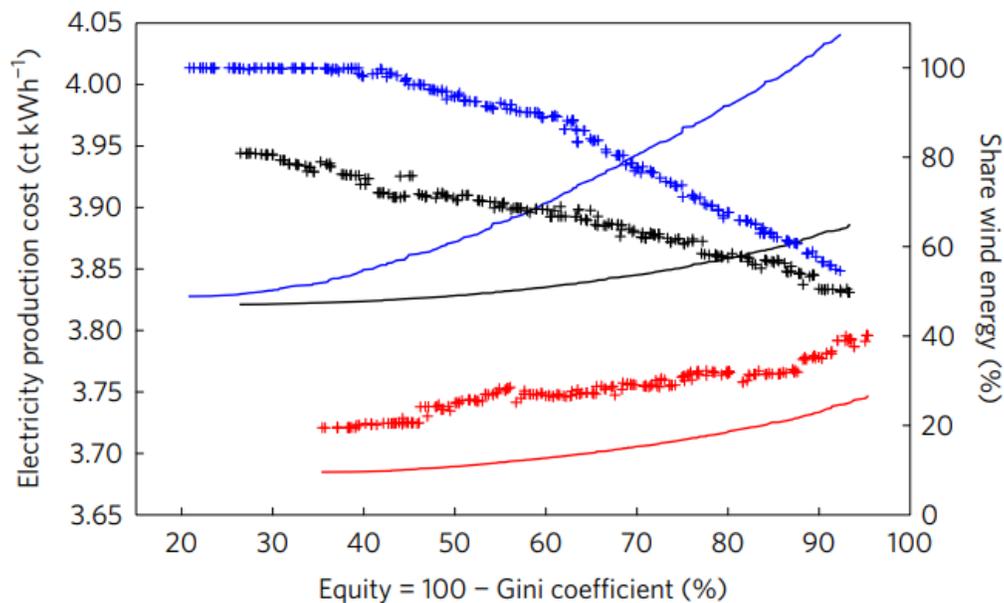


Fig. 6: Comparación entre eficiencia, equidad y cantidad de energía eólica provista en función de la equidad

Las líneas continuas representan el costo de producción mínimo alcanzable para un nivel de equidad dado. Las cruces muestran la cantidad de energía eólica en función de la equidad. La equidad incrementa de izquierda a derecha. Los colores indican diferentes costos de inversión solar comparados con los niveles del 2014: Negro, 36%; Azul, 40%; Rojo, 33%

Algunas métricas adicionales que miden componentes de la justicia energética, como la concentración de consumo de energía, o métricas que combinan indicadores sobre dominios (principios de justicia energética), se encuentran bien desarrollados en la literatura, como el índice propuesto por (Heffron et al., 2015a, 2018) llamado Energy Justice Metric (EJM), de Atkinson en (Schlör et al., 2013) o el índice basado en el método de entropía mejorado (IEM) de (Zhao et al., 2022), (Wang et al., 2022) y (Fang et al., 2023)

6.3.2. Energy Justice Metric –EJM–

El objetivo principal del EJM es equilibrar el trilema energético. Los problemas que emanan de la economía, la política y el medio ambiente. La EJM es un índice compuesto que combina varias métricas relacionadas con la justicia energética, incluida la justicia distributiva, procesal, reconocimiento y restaurativa. El EJM se construye mediante un proceso de tres pasos:

1. Selección de métricas/indicadores el acceso a la energía, la asequibilidad, el impacto ambiental y la equidad social. Los autores utilizan una combinación de métricas existentes y nuevas métricas desarrolladas específicamente para el EJM.
2. Normalización de métricas: cada métrica/indicador se normaliza a **una escala común entre 0 y 1**, donde 0 representa el peor desempeño y 1 representa el mejor desempeño. Los autores indican que pueden usarse diferentes métodos de normalización según la métrica, incluida la escala lineal, la escala logarítmica y la clasificación percentil.
3. Agregación de métricas: los autores agregan las métricas normalizadas en un índice compuesto utilizando un promedio ponderado. Los autores asignan ponderaciones a cada métrica en función de su importancia relativa para la justicia energética, según lo

determinado mediante un proceso de consulta con las partes interesadas. Los autores también prueban diferentes esquemas de ponderación para evaluar la sensibilidad del EJM a diferentes supuestos. Aquí podría usarse el método de (Saaty, 1980) para ponderar cada métrica/indicador

Paso 1: Cálculo de los valores de las métricas/indicadores

Los valores para cada país/región j se denotan como $x_{j1}, \dots, x_{jM}; y_{j1}, \dots, y_{jN}; z_{j1}, \dots, z_{jQ}$,

donde M son los parámetros económicos, N los políticos y Q los ambientales. La suma de cada conjunto de parámetros se calcula y se divide por el número de parámetros (M , N y Q) para obtener el valor promedio para cada categoría y para cada región/país: E , P y EN :

$$E_j = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_{jm}, P_j = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_{jn} \text{ y } EM_j = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q z_{jq}$$

Paso 2: Normalización de los parámetros mediante conversión a porcentajes.

El EJM se traza en un Diagrama Ternario (ver abajo EJM para US, UK, Alemania, Irlanda y Dinamarca), que representa las tres categorías como los vértices de un triángulo equilátero. Para trazar un punto en el diagrama, los valores de los parámetros deben convertirse a porcentajes que sumen 100% como se muestra en la Fig. 7. Las ecuaciones para calcular el porcentaje de las diferentes categorías son:

$$ETP_j = \frac{E_j}{\sum_j E_j + \sum_j P_j + \sum_j EM_j} \times 100$$

$$PTP_j = \frac{P_j}{\sum_j E_j + \sum_j P_j + \sum_j EM_j} \times 100$$

$$EMTP_j = \frac{EM_j}{\sum_j E_j + \sum_j P_j + \sum_j EM_j} \times 100$$

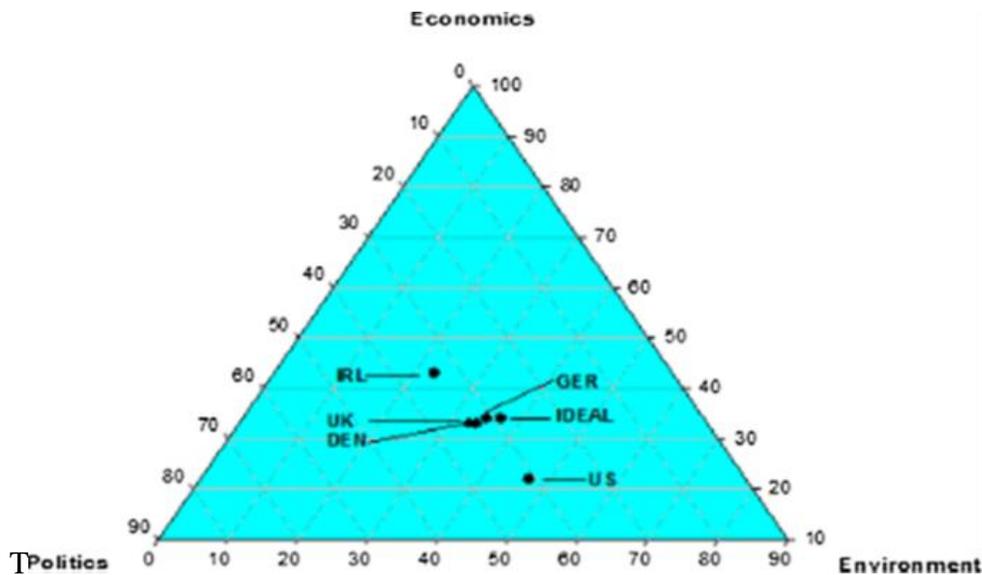


Fig. 7: Representación Gráfica del EMJ (Heffron et al., 2015a)

Índice de Atkinson modificado –MAI– presentado por (Schlör et al., 2013) aplicado al caso de Alemania, está basado en el índice de Atkinson para concentración del ingreso (define la máxima desigualdad con 1 y la máxima igualdad con 0), el modificado sin embargo mide el efecto distributivo del gasto en consumo de energía para diferentes grupos sociales, para analizar el consumo de energía por hogar:

$$AIE_g = 1 - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_{i,g}}{\bar{E}_g} \right)^{1-\varepsilon} f_{i,g} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad \text{si } \varepsilon \neq 1$$

$$AIE_g = 1 - \exp \left[\sum_{i=1}^n f_{i,g} \log \left(\frac{E_{i,g}}{\bar{E}_g} \right) \right] \quad \text{si } \varepsilon = 1$$

Donde $E_{i,g}$ es el gasto en consumo de energía en rango de ingreso i (n suma todas las clases de ingresos) en el grupo social g , $f_{i,g}$ es la proporción de la población en el grupo social g con ingreso

en el rango i , E_g es la media de consumo de energía del hogar de varios grupos sociales, el parámetro ε es el mismo para todos los grupos.

El parámetro ε juega un papel fundamental, pues define la sensibilidad con la que reacciona el índice de Atkinson a las desigualdades. Cuanto mayor es el parámetro ε más fuerte reacciona el índice. Así, ε representa la aversión a la desigualdad de la sociedad. Como añade (Schlör et al., 2013) “Épsilon confronta a una sociedad con su autoevaluación como sociedad justa y equitativa. Épsilon documenta cómo la sociedad piensa sobre la justicia y "traduce" la teoría de Rawls en investigación y medición empíricas”.

(Fang et al., 2023; Wang et al., 2022; Zhao et al., 2022) proponen un índice multidimensional de justicia energética basado en el método de entropía mejorado (IEM), del siguiente modo: sea $x = \{x_{ij}\} (i = 1, \dots; j = 1, \dots)$ el indicador i en la región j . Sea x_{ij}^+ el indicador i normalizado para medidas positivas,

$$x_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - \min\{x\}}{\max\{x\} - \min\{x\}}$$

y para medidas negativas,

$$x_{ij}^+ = \frac{\max\{x\} - x_{ij}}{\max\{x\} - \min\{x\}}$$

Se calcula la razón del valor de la medida i en la región j , en relación con la medida j de todas las regiones,

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}^+}{\sum_i^n x_{ij}^+}$$

Luego se calcula el valor de entropía e_j y del índice de información redundante de entropía d_j de la j -ésima medida, dados por:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln r_{ij} \quad \text{y} \quad d_j = 1 - e_j$$

Posteriormente se calcula la ponderación del indicador normalizado como:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

Finalmente se calcula el índice de justicia energética como:

$$IJ_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}$$

Una vez construida puede usarse en un modelo econométrico tanto como variable explicativa, o como variable explicada para evaluar sus determinantes. Todos estos índices pueden construirse con información primaria o secundaria.

Los índices y métricas también se pueden generar a partir del conocimiento de ciertas características del fenómeno que se desea medir. En (Furszyfer Del Rio et al., 2023) se establece que las siguientes son características comunes de las personas que experimentan pobreza:

- Están localizados en áreas rurales.
- Son dependientes de recursos naturales.
- Son desproporcionadamente vulnerables a cambios en los esfuerzos ambientales.
- Se les restringe su capacidad para sustituir el capital natural por otras formas de riqueza.
- Son resistentes a la adopción de nuevas tecnologías, entre ellas las energías limpias.
- Los hogares y sus sistemas de aprovechamiento de energía son altamente ineficientes.

- Son más propensos a pagar tarifas más altas de energía o a usar métodos de pago más costosos como la energía prepagada.

El gasto en la energía es un parámetro clave para la evaluación de la pobreza energética. El producto interno bruto es un indicador, por sí solo, de la pobreza energética, sin embargo, indicadores regionales son más útiles para la estimación a una escala más detallada. La característica de alta ineficiencia provoca a su vez un aumento en la pobreza y vulnerabilidad de los hogares (Boardman, 2004).

La última característica del anterior listado sería un caso muy interesante de analizar por su incidencia en el incremento de la vulnerabilidad de los hogares pobres en Colombia, ya que en ciudades como Medellín es un método bastante usado en las zonas menos favorecidas. Según un reporte en la revista Semana del 25 de marzo de 2022 (Semana, 2022), Empresas Públicas de Medellín (EPM) ya había alcanzado a esa fecha la instalación de 300000 medidores de este tipo. Debe tenerse en cuenta que la instalación de este tipo de medidores no solo repercute en la inseguridad energética, sino además que añade incertidumbre en cuanto al análisis de métricas como la carga o “burden” energética que pudiesen realizar los organismos encargados de tomar las decisiones. La carga o “burden” se calcula como el costo anual promedio de la energía en los hogares dividido por el ingreso promedio de los hogares, en otras palabras, es el porcentaje de ingresos que los usuarios gastan para satisfacer sus necesidades energéticas.

La métrica más usada para estimar la inseguridad energética es el indicador de carga energética o “burden” ya que existen varios estudios que muestran la relación directa entre esta métrica y el bienestar humano (Szép et al., 2022). Algunos estudios muestran que una carga de entre el 6 % y el 10 % se considera de preocupación para los usuarios (Drehobl et al., 2020). Esta sin duda sería una métrica de información muy relevante en Colombia, donde según un estudio de CELAG (Sojo, 2022) "Si relacionamos el consumo mensual de un hogar en relación al salario mínimo, los colombianos destinan el 7 % de un salario mínimo a la factura de la luz. Solo peruanos (12 % de un salario) y brasileños (11 %) pagan más que en Colombia."

Otra métrica relacionada con la inseguridad energética se basa en los porcentajes de impagos que, para el caso de Colombia, se puede basar en estudios de morosidad como los realizados en (Bateman et al., 2011; Jimenez, 2017).

Un aspecto importante relacionado con el acceso a la energía tiene que ver con la capacidad para generar riqueza, tanto como modelo de negocios de comercialización de la energía como para los usuarios de esta. La generación de riqueza, la propiedad y autonomía están relacionados con la justicia, procedimental, distributiva y de reconocimiento (E. Baker et al., 2023). Algunas métricas dentro de esta categoría y relacionadas con la justicia procedimental y la autonomía individual se pueden tomar del proyecto IEJ 100 (Yllescas, 2023), por ejemplo, la diversidad en los organismos de planeación, el porcentaje de acciones con consentimiento previo de comunidades indígenas y el porcentaje de recomendaciones de las comunidades que fueron efectivamente incorporados en las políticas y decisiones. Estas métricas no se han estudiado ampliamente por las comunidades científicas y académicas, lo cual puede deberse principalmente a la dificultad para recolectar datos confiables y reproducibles. Además, puede haber un sinnúmero de variaciones debido a las características y relaciones de las diferentes comunidades y culturas. Estas métricas son principalmente relevantes para la planeación.

Más allá de los impactos directos de la generación y el uso de energía en la desigualdad e injusticia energética, existen muchos impactos en las etapas del sistema energético, desde la extracción hasta los flujos finales de residuos. En la implantación de los sistemas eléctricos se tiene impactos no solo en las comunidades sino en el medio ambiente desde la generación hasta la demanda. En cuanto a la implantación de los sistemas de generación parece haber un consenso en las métricas que pueden usarse para estimar las injusticias, principalmente desde el punto de vista del principio distributivo (Perez-Sindin et al., 2022), pero parece haber falencias en la cuantificación de los impactos asociados a las líneas de transmisión, redes de distribución y subestaciones. Por otro lado, toda la tecnología usada en los sistemas energéticos genera residuos, algunos de los cuales son bastante peligrosos (Sovacool et al., 2020). Se pueden usar algunas métricas inspiradas en la

economía circular, tales como huella hídrica, energía incorporada, emergía, exergía y huella ecológica.

En (Furszyfer Del Rio et al., 2023) se presentan los resultados de tres encuestas realizadas en México, Irlanda e Irlanda del norte y Emiratos Árabes Unidos, con el fin de evaluar si ciertos grupos sociales pueden experimentar una doble vulnerabilidad energética, debida a la pobreza energética y pobreza de transporte. En este trabajo se encontró que la pobreza energética es causada principalmente por los siguientes factores: elevadas facturas de energía, una infraestructura doméstica inadecuada y el uso de electrodomésticos ineficientes. Por lo tanto, estos pueden usarse como indicadores de la pobreza y por lo tanto de la injusticia energética. Se encontró, además, que los subsidios aplicados no son tan efectivos para disminuir la pobreza energética. Esto último puede deberse a que no se están solucionando los problemas de fondo que causan la pobreza. Finalmente, se encontró que los usuarios no planeaban adoptar tecnologías más eficientes en el uso de la energía, por lo tanto, su efecto en la transición energética no tiene peso. Una posible alternativa es usar mecanismos de incentivos.

Adicionalmente, se tienen variables que pueden extraerse del sistema general de salud para estimar los efectos que la pobreza energética ha tenido en la salud pública y de esta manera cuantificar la injusticia energética desde una dimensión de salud pública. Se pueden usar métricas como el número de pacientes con enfermedades respiratorias, asma en infantes o enfermedades circulatorias, entre otras. Los efectos en la salud pública derivados de la pobreza energética pueden ser mayores que los debidos a otras fuentes (Jessel et al., 2019).

Índices de vulnerabilidad calculados a escala local, barrios, municipios y departamentos, permiten visualizar los lugares en los cuales se requieren acciones específicas. En estados unidos se tienen ya varios mapas y herramientas que incluyen índices y métricas de justicia ambiental y energética (*Metodología y datos - Climate & Economic Justice Screening Tool*, 2023). En enero de 2021, el presidente Biden emitió la Orden ejecutiva 14008. Dicha orden disponía que el Consejo sobre la Calidad del Medio Ambiente (CEQ) elaborase una nueva herramienta. Esta herramienta se

denomina Herramienta de evaluación de la justicia climática y económica (CEJST). La herramienta tiene un mapa interactivo y utiliza conjuntos de datos que son indicadores de cargas en ocho categorías: cambio climático, energía, salud, vivienda, contaminación heredada, transporte, agua y aguas residuales, y formación de la fuerza laboral. La herramienta utiliza esta información para identificar a las comunidades que experimentan estas cargas. Éstas son las comunidades desfavorecidas porque están sobrecargadas y desatendidas (*Metodología y datos - Climate & Economic Justice Screening Tool*, 2023). La herramienta utiliza conjuntos de datos que son indicadores de cargas. Las cargas se organizan en categorías. Una comunidad se destaca como desfavorecida en el mapa de la CEJST si se encuentra en un distrito censal que está (1) en o por encima del umbral para una o más cargas ambientales, climáticas o de otro tipo, y (2) en o por encima del umbral para una carga socioeconómica asociada. Además, también se considera desfavorecido un distrito censal que esté completamente rodeado de comunidades desfavorecidas y se sitúe en el percentil 50 o por encima de él en cuanto a ingresos bajos. Las comunidades se identifican como desfavorecidas si se encuentran en distritos censales que: Están en el percentil 90 para coste de la energía O PM2.5 en el aire y están en el percentil 65 o por encima de este para bajos ingresos. El costo de la energía se calcula como el costo anual promedio de la energía en los hogares, en dólares, dividido por el ingreso promedio de los hogares. Las partículas finas inhalables de 2.5 o menos micrómetros de diámetro, PM2.5 en el aire, se consideran calculando su percentil, el cual es el peso de las partículas por metro cúbico. Un ejemplo con la búsqueda de la ciudad de Atalanta, Ga., se muestra en la Fig. 8.

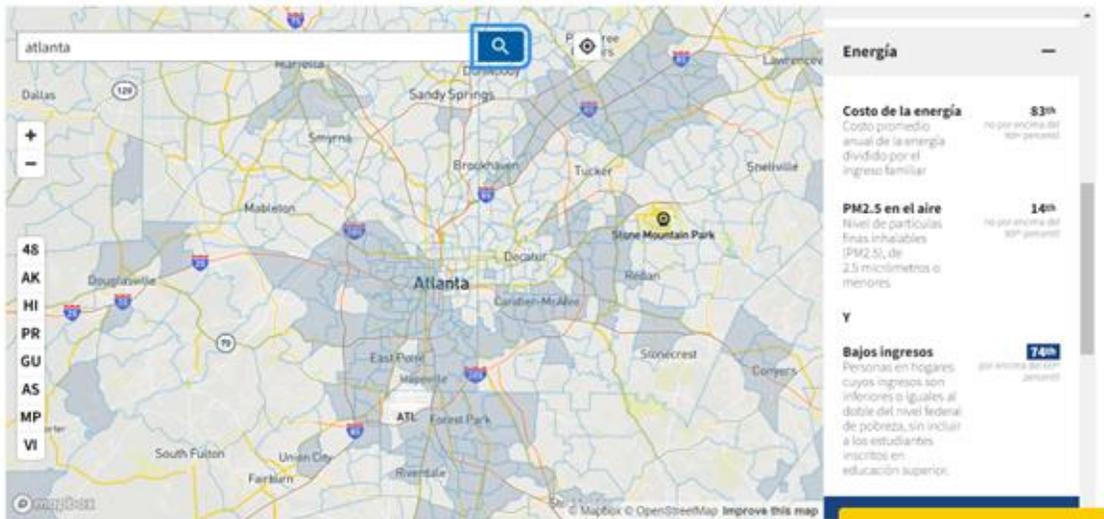


Fig. 8: Resultado del análisis de vulnerabilidad usando la herramienta CEJST para la ciudad de Atlanta, Ga.

Tomado de (Metodología y datos - Climate & Economic Justice Screening Tool, 2023)

La principal desventaja de la herramienta CEJST es que en el caso de la justicia energética se utiliza solamente la métrica de la carga energética. Los mapas son herramientas muy útiles en la cuantificación e identificación de comunidades vulnerables en términos de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Sin embargo, no existen métricas predefinidas para estos conceptos y dependen más bien del análisis que hace el usuario para un caso específico en el cual se busca medir la vulnerabilidad.

En (Gatto & Busato, 2020) se propone el Índice de Vulnerabilidad Energética Global, que combina métricas sobre la intensidad energética de un país, las emisiones de carbono y el grado de dependencia de los recursos energéticos en un indicador compuesto que puede usarse tanto para la identificación de regiones vulnerables como para la comparación entre regiones.

Comparar enfoques de políticas energéticas entre países o jurisdicciones es una forma útil de identificar líderes en equidad en todo el mundo o de considerar cómo los países pueden alinearse o no. Una de las métricas usadas para este aspecto es el índice del Trilema que produce anualmente

por el concejo mundial de la energía (World Energy Trilemma Index, 2023). Éste índice combina las métricas de seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental para evaluar como los diferentes países balancean estas tres dimensiones. En la Fig. 9 se muestra el resultado para la búsqueda del caso Colombia.

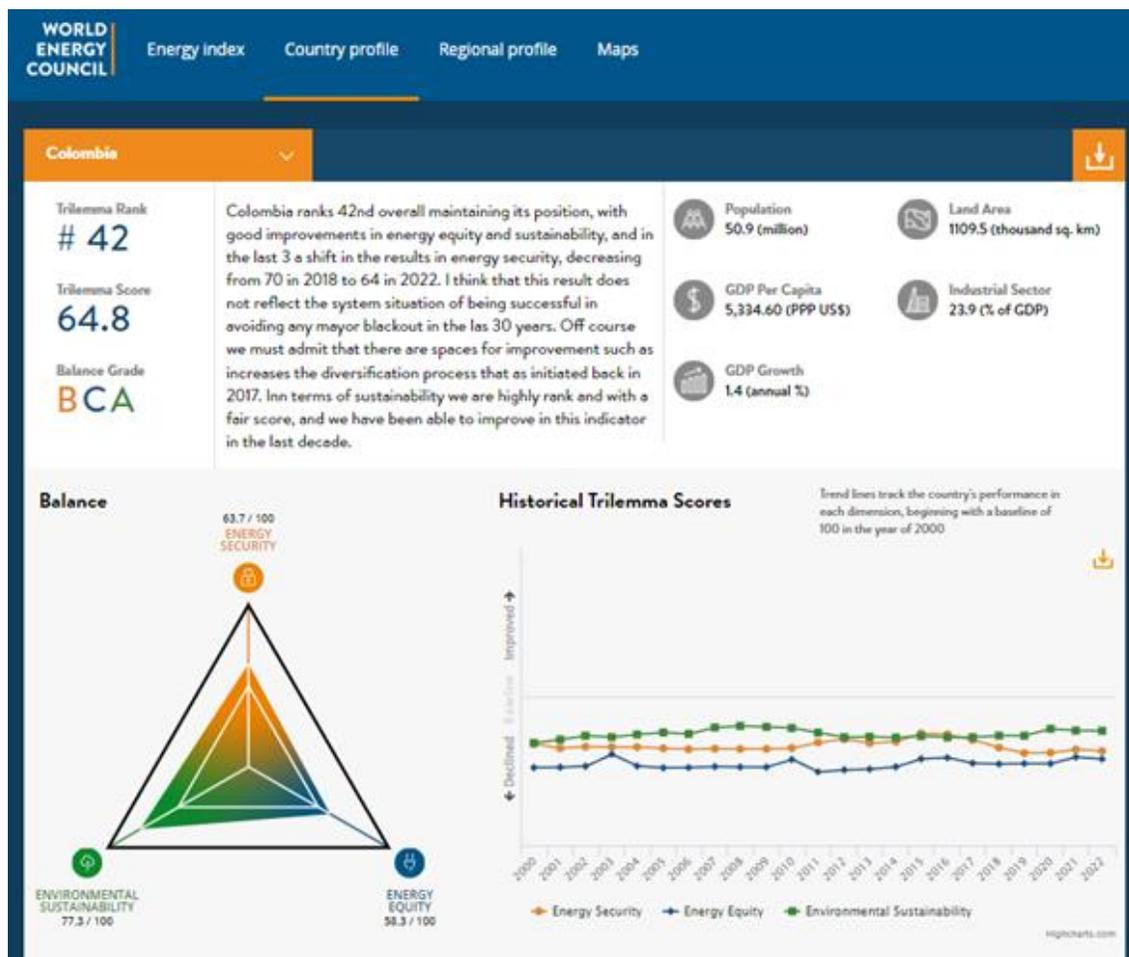


Fig. 9: Índice del Trilema para el caso de Colombia, (World Energy Trilemma Index, 2023).

En cuanto a las métricas asociadas con el índice del Trilema se tiene lo siguiente: Se usan 4 índices; Seguridad energética, equidad energética, sostenibilidad ambiental y contexto del país. Para el

índice de seguridad energética, entendido como la capacidad de un país para satisfacer la demanda energética actual y futura, se consideran las siguientes métricas: dependencia de las importaciones, dependencia del país de las importaciones netas para el consumo total de energía y la diversidad de proveedores; diversidad de generación eléctrica, diversidad de fuentes de generación eléctrica doméstica, y almacenamiento de energía, capacidad del país para satisfacer la demanda de petróleo y gas considerando las capacidades de infraestructura, incluida la capacidad de almacenamiento y refinación. Por su parte, para el índice de equidad energética, entendido como el desempeño de un país a la hora de brindar acceso confiable a energía asequible, se usan las siguientes tres métricas: acceso a la electricidad, porcentaje de población con acceso a electricidad; precios de la electricidad, precio nacional de la electricidad por kilovatio hora como indicador de servicios energéticos asequibles para usos domésticos y comerciales, y precios de gasolina y diésel, precios por litro como indicador de acceso a servicios energéticos asequibles para vehículos de pasajeros y comerciales. El índice de sostenibilidad ambiental, definido como el desempeño del sistema energético de un país para evitar daños ambientales y mitigar el cambio climático, usa las siguientes métricas: intensidad energética final, razón del consumo final de energía sobre el PIB; generación de electricidad baja en carbono, porcentaje de generación eléctrica procedente de fuentes descarbonizadas, y emisiones de CO₂ per cápita, emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles per cápita. Finalmente, para el índice de contexto del país: estabilidad macroeconómica, nivel de inflación y sostenibilidad de la política fiscal; efectividad del gobierno, percepciones sobre la calidad de los servicios públicos y la calidad de la formulación e implementación de políticas, y capacidad de innovación, capacidad del país para innovar, incluida la cantidad y calidad de la I+D formal.

Como crítica al índice del Trilema, algunos autores han encontrado la alta subjetividad en los factores de escala y han propuesto un esquema de pesos para mejorar su desempeño (Song et al., 2017).

Los autores en (Heffron et al., 2015b) han propuesto una métrica llamada métrica de justicia energética que utiliza un enfoque similar al anterior Trilema, pero combinando los elementos de la economía, la política y el medio ambiente. Para cada elemento, clasifica todos los costos y beneficios relacionados para las generaciones presentes y futuras y crea una gráfica ternaria de las puntuaciones. Estos puntajes pueden servir como una herramienta para la toma de decisiones individuales o como una métrica para comparar los esfuerzos de justicia y equidad entre jurisdicciones como países.

Otro índice de comparación entre países es el Índice de Desarrollo Humano y es esencialmente una versión internacional de un índice de vulnerabilidad que proporciona detalles sobre dónde residen las poblaciones vulnerables. Este índice abarca la desigualdad de ingresos, el nivel de ingresos, el entorno político y el acceso a la electricidad para evaluar cómo los factores socio-tecnológico-ecológicos afectarán el desarrollo humano (Sarkodie & Adams, 2020).

En (E. Baker et al., 2023) se presentan las métricas recomendadas para considerar el concepto de Justicia Energética en la toma de decisiones, en la Tabla 7 se presenta un resumen de estas y se incluyen los principios de la justicia a los que aplican y la relevancia (tipo de uso) de las métricas para las decisiones tomadas. Además, las métricas se ajustan en una clasificación general dependiendo de su relacionamiento con la estimación de la vulnerabilidad, el consumo de energía, la generación de riqueza y autonomía, las desigualdades en el ciclo de vida de la producción y las comparativas de desempeño a nivel de país.

Tabla 7: Métricas para la toma de decisiones considerando la Justicia Energética, adaptado de (E. Baker et al., 2023)

Categoría	Métrica / Índice	Dominio (Principio de la equidad)	Relevancia de la decisión
Vulnerabilidad	Herramienta de evaluación del clima y la justicia económica (CEJST)	Distributiva, Recognoscitiva y Procedimental	Complementar, Inversión,

			Localización y Planeamiento
	Puntuación de vulnerabilidad	Distributiva, Reconocitiva y Procedimental	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Exposición	Distributiva	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Sensibilidad	Distributiva y Reconocitiva	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Capacidad Adaptativa	Distributiva, Reconocitiva y Procedimental	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Índice de vulnerabilidad energética global	Distributiva, Reconocitiva y Procedimental	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
Consumo de energía	Carga (“burden”) energética	Distributiva	Evaluación
	Brecha de equidad energética	Distributiva	Evaluación
	Número de desconexiones	Distributiva	Evaluación
	Acceso a la electricidad	Distributiva	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Proximidad a la red	Procedimental y Distributiva	Inversión, Localización y Planeamiento
	Tasa de electrificación de nuevos hogares	Procedimental y Distributiva	Complementar y Evaluación
	Cantidad total de energía consumida por los hogares	Procedimental y Distributiva	Complementar y Evaluación
	Retraso o impago de la factura de energía	Distributiva	Evaluación
	Notificación de desconexión	Distributiva	Complementar y Evaluación

	Hogares desconectados	Distributiva	Complementar y Evaluación
	Renunciamiento al pago de facturas de energía	Procedimental y Distributiva	Complementar y Evaluación
	Deuda de servicios públicos asumida por el hogar	Distributiva	Complementar y Evaluación
Riqueza y autonomía	Rentabilidad financiera de la adopción de energías renovables o tecnologías energéticamente eficientes	Distributiva y Recognoscitiva	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
	Despliegue de renovables o eficiencia energética	Distributiva y Recognoscitiva	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
	Sesgo de ingresos de los adoptantes (diferencia entre los ingresos de los adoptantes y la mediana del condado)	Distributiva	Evaluación
	Tasa de penetración del seguro hipotecario para prestamistas (LMI)	Distributiva y Recognoscitiva	Evaluación
	Coefficientes de Gini y Suits para reembolsos por vehículos limpios	Distributiva	Evaluación
	Porcentaje de propiedad local de los recursos extractivos	Distributiva y Recognoscitiva	Inversión, Localización y Planeamiento
	Tasa de aceptación de la comunidad	Recognoscitiva	Inversión, Localización y Planeamiento
	Trabajos generados por la inversión	Distributiva y Recognoscitiva	Inversión, Localización y Planeamiento
	Número de protestas anuales relacionadas con la energía	Recognoscitiva	Inversión, Localización y Planeamiento
	Diversidad en los organismos encargados de la planificación	Procedimental y Recognoscitiva	Inversión, Localización y Planeamiento

	Porcentaje de acciones con consentimiento previo de comunidades indígenas	Distributiva, Reconoscitiva y Procedimental	Evaluación
	Financiamiento para la participación de comunidades marginadas	Distributiva, Reconoscitiva y Procedimental	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
	Porcentaje de recomendaciones de la comunidad que se incorporaron de manera significativa en las reglas, políticas y/o decisiones energéticas finales	Reconoscitiva y Procedimental	Inversión, Localización y Planeamiento
Desigualdades en el ciclo de vida de la producción	Violación a leyes y normas de extracción (producción) de la energía	Distributiva y Procedimental	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
	Tasa de frecuencia y gravedad de los accidentes	Distributiva y Procedimental	Evaluación
	Trabajo infantil	Distributiva, Reconoscitiva y Procedimental	Evaluación
	Condiciones de trabajo y empleo	Distributiva	Evaluación
	Emisiones en los procesos industriales	Distributiva	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
	Contaminación del ambiente de trabajo	Distributiva	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
	Desechos electrónicos	Distributiva	Evaluación, Inversión, Localización y Planeamiento
Métricas comparativas a nivel de país	Índice del Trilema	Distributiva, Reconoscitiva y Procedimental	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento

	Métrica de la justicia energética	Distributiva, Reconocitiva y Procedimental	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Curva de Lorenz y coeficientes de Gini para los mercados energéticos	Distributiva	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento
	Índice de desarrollo humano	Distributiva	Complementar, Inversión, Localización y Planeamiento

Algunos de los desafíos en el diseño, uso y disponibilidad de métricas de equidad energética son las siguientes (E. Baker et al., 2023):

1. Desbalance, existen métricas relacionadas con la justicia distributiva, pero muy pocas con la justicia procedimental y de reconocimiento. En términos de la justicia de reconocimiento, lo ideal es que las comunidades vulnerables se autoidentificaran como tales. Otro reto relacionado con esto son los impactos culturales.
2. Compensaciones en el diseño y aplicación de métricas. La elección y el uso de métricas requieren hacer una serie de concesiones entre la elección de métricas; si emplear una métrica más simple o compleja; y si se debe priorizar la reproducibilidad, la flexibilidad, la facilidad de uso u otros criterios. Aquí, consideramos compensaciones adicionales que uno puede enfrentar al emplear métricas de equidad energética. además, los conceptos de justicia energética y equidad son multidimensionales y una sola métrica no es reflejo de todo el problema, sus causas y el contexto. Por ejemplo, la métrica de carga energética es indicativa de cuanto gastan las personas en la factura de energía, pero no da información acerca de los sacrificios que los hogares debieron hacer para pagarla, es decir cambiaron luz por entretenimiento o salud, etc.

3. Información para el cálculo de las métricas (complementar). Los datos usados para calcular las métricas son vitales para garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados. En primer lugar, a menudo es necesario incluir otros factores además de la energía que influyen en la equidad energética, como en el caso de la pobreza energética. Por ejemplo, un análisis holístico e inclusivo de las métricas para evaluar el efecto del pago de las facturas de energía debería incluir factores como los pagos de impuestos, la renta y otros gastos asociados. Las métricas, además, deben permitir identificar los subgrupos más afectados y el grado de variación de la inequidad con el tiempo. Sin embargo, en el contexto de algunos países, la recopilación de datos a microescala no es factible. Por ejemplo, en aldeas remotas que están fuera de la red eléctrica, es posible que no haya medidores inteligentes disponibles para recolectar el consumo de energía diario u horario. En los hogares sin conexión eléctrica, o con medidores de energía prepago, habrá incertidumbre sobre el nivel de demanda insatisfecha o latente surgida por preocupaciones financieras. Finalmente, las métricas que indican cómo la calidad de vida y el bienestar cambian con el tiempo a menudo requieren interacción individual (por ejemplo, entrevistas o encuestas), lo que puede llevar mucho tiempo, ser costoso, subjetivo o difícil de replicar.

Por otro lado, para el planeamiento de las soluciones energéticas en una comunidad, desde el punto de vista de la sostenibilidad, Moreno-Monsalve, et al. (Moreno-Monsalve et al., 2022) definen tres dimensiones de análisis, a saber: ambiental, social y económica. Las tres deben analizarse según la comunidad, el Estado y los particulares, pues cada uno de ellos propenderá por ubicarse en una de estas dimensiones para obtener los mejores resultados; es decir, si hablamos de un proyecto energético para una región particular, la comunidad buscará el beneficio social, sin que se contamine su entorno, pero a bajo costo, mientras que un inversionista buscará maximizar sus ganancias, impactando poco el medio ambiente y llevando a la comunidad un servicio confiable. En cuanto al Estado, las políticas deberán desarrollarse teniendo en cuenta las dimensiones sociales y ambientales, aunque las económicas no sean las mejores.

Como caso particular, en (Siciliano et al., 2021) se propone evaluar 11 aspectos relacionados con la sostenibilidad y que permiten evaluar la opción de establecer proyectos con bajas emisiones de carbono. En la Fig. 10 se presenta el diagrama propuesto en el presente trabajo, que permite evaluar de forma holística los proyectos en diferentes regiones; con esta representación se podrá tomar una decisión basada en los criterios específicos considerados en la planeación, políticas existentes, regulación, inclusión, etcétera.



Fig. 10: Diagrama para evaluación de la sostenibilidad de proyectos con bajas emisiones de carbono.

Según lo anterior, en cada comunidad deberá plantearse un análisis similar para evaluar la sostenibilidad, teniendo en cuenta bajas emisiones de carbono a la atmósfera. De lo anterior, y tomando como referencia los trabajos de (Arler et al., 2023; De Nigris & Giuliano, 2023; Siciliano

et al., 2021; Soares et al., 2023; Thompson, 2023; Volodzkiene & Streimikiene, 2023b) el presente trabajo se propone la siguiente evaluación preliminar presentada en la Tabla 8, para que se incluya como estudio previo de un proyecto que busque estimar el impacto en la justicia energética de una comunidad. Los indicadores se indican dependiendo de su relacionamiento con la dimensión ambiental, social o económica.

Tabla 8: Resumen de índices y métricas para la evaluación del impacto en la justicia energética de un proyecto en una comunidad

Ambiental	Social	Económica
Consumo de agua per cápita.	Accesibilidad a la electricidad (% de la población).	Carga energética: proporción promedio a nivel de la comunidad de los ingresos gastados en facturas de energía.
Recursos hídricos per cápita.	Accesibilidad a la electricidad en zonas urbanas.	Precio de la energía: precio medio anual mundial del petróleo crudo.
Tasa de tratamiento de aguas residuales.	Accesibilidad a la electricidad en zonas rurales.	Costos mínimos de producción de energía.
Consumo de agua.	Accesibilidad del hogar.	Incapacidad para pagar una factura de energía.
Emisión de aguas residuales.	Acceso a servicios básicos.	Recepción de aviso de corte o terminación del servicio.
Disponibilidad de energía.	Distancia al agua.	Desconexión real del servicio.
Disponibilidad de agua.	Saneamiento mejorado: instalaciones sanitarias, lavamanos, baños compartidos.	Capacidad para afrontar un gasto inesperado.
Disponibilidad de comida.	Condiciones de vivienda: piso, techo, paredes.	Gasto energético requerido por encima de la media nacional e ingreso residual por debajo del umbral oficial de pobreza.

Fuente de energía y electrodomésticos de cocina.	Tenencia de aparatos eléctricos.	Gasto anual en energía como proporción del ingreso anual disponible de los hogares.
Iluminación y electrodomésticos.	Falta de servicios energéticos adecuados.	Sentimientos sobre los costes de la electricidad.
Sistema de agua caliente sanitaria.	Identificación de hogares que no pueden permitirse el lujo de mantener la vivienda a una temperatura adecuada durante los meses fríos.	Considere si los hogares enfrentan dificultades para calentar y enfriar sus hogares debido a limitaciones financieras.
Tipo de frigorífico asociado a su eficiencia energética.	Identificación de hogares que no pueden permitirse el lujo de mantener la vivienda a una temperatura adecuada durante los meses calurosos.	Consumo de energía.
Producción de energía primaria per cápita.	Identificación de hogares que tuvieron uno o más atrasos en el pago de servicios públicos en los últimos 12 meses.	Intensidad de la energía.
Insatisfacción con las condiciones del suministro eléctrico.	Porcentaje de hogares dentro de una comunidad que están superpoblados o carecen de cocina o instalaciones de plomería.	Emisión de CO ₂ .
Índice de duración media de las interrupciones del sistema.	Identificación de viviendas con goteras, humedad en paredes, pisos, techos o cimientos.	Emisión de metano.
Índice de frecuencia media de interrupciones del sistema.	Identificación de viviendas sin medios de calefacción o con calefacción central o aparatos de calefacción ambiental pero que no se utilizan cuando es necesario.	Contaminación del aire PM _{2.5} .
Capacidad de oferta.	Identificación de viviendas sin aire acondicionado o con aire acondicionado, pero no utilizado cuando es necesario.	Superación del límite de calidad del aire.
Oscilaciones de voltaje.	Indicador de pobreza energética de ingresos bajos y costos altos (LIHC).	Relación entre el PIB per cápita y los gases de efecto invernadero.

Cortes eléctricos en la vida diaria.	Imposibilidad de calentar la casa por falta de dinero.	Consumo de energía de combustibles fósiles.
Demanda energética.	Incapacidad para pagar a tiempo las facturas de luz, gas o teléfono por falta de dinero.	Consumo de energía final por usos en el sector residencial y de servicios.

7. Metodologías para la Expansión Energética con Criterios de Justicia Energética

En (Nock et al., 2020) se presenta una metodología para establecer planes de expansión maximizando el beneficio social mediante el acceso a la electricidad. El modelo propuesto cooptimiza las inversiones en infraestructura generación centralizada, generación distribuida y transmisión, considerando las preferencias de los actores involucrados con énfasis en la igualdad y/o equidad, sujeto a un límite de presupuesto. Convencionalmente los modelos de expansión han minimizado los costos de atender la demanda predicha, la cual se asume que será mayor en los centros urbanos de mayor densidad poblacional. Este enfoque tiende a favorecer los centros urbanos por encima de las comunidades rurales, pues no considera los beneficios sociales de incrementar el acceso a la electricidad y el nivel de consumo eléctrico en los centros rurales. El sistema resultante de este enfoque representa la manera más económica de alcanzar el nivel y distribución de electrificación establecido mediante las preferencias de los actores interesados. Para evaluar el nivel de desigualdad del sistema resultante, se calcula un coeficiente de Gini de como una métrica informativa post optimización.

La función objetivo del modelo de Maximización de Acceso a la Energía (MAE, de sus siglas en inglés) es la utilidad (beneficio social), medido mediante el consumo máximo de electricidad per cápita disponible. La función objetivo a optimizar se presenta en la eq. (1) es cóncava y depende de las preferencias de los actores interesados. La preferencia con respecto a la cantidad de consumo o la equidad en su distribución se modela mediante el parámetro de igualdad α , comúnmente llamado en la literatura como parámetro de aversión a la desigualdad. Valores mayores de α representan el deseo de mayor igualdad en la distribución del consumo de energía a lo largo de la población, mientras valores menores del parámetro representan el deseo de incrementar el consumo de electricidad general, sin diferencia quienes lo consumen. La Fig. 11 presenta la función objetivo del estudio para una comunidad con respecto al consumo de electricidad per cápita para diferentes niveles de aversión a la desigualdad α . Mientras más pequeño sea α , el

beneficio se incrementa a la par con el consumo per cápita; sin embargo, para α mayores, la utilidad marginal disminuye con el incremento del consumo per cápita de la comunidad. Esto representa el deseo aumentar la equidad en el consumo a lo largo de todas las poblaciones, sin tener mayor preferencia por el consumo de una comunidad específica.

$$u(x_i, p_i) = p_i \left(\frac{\rho_i^{1-\alpha} - 1}{1 - \alpha} \right) \quad (1)$$

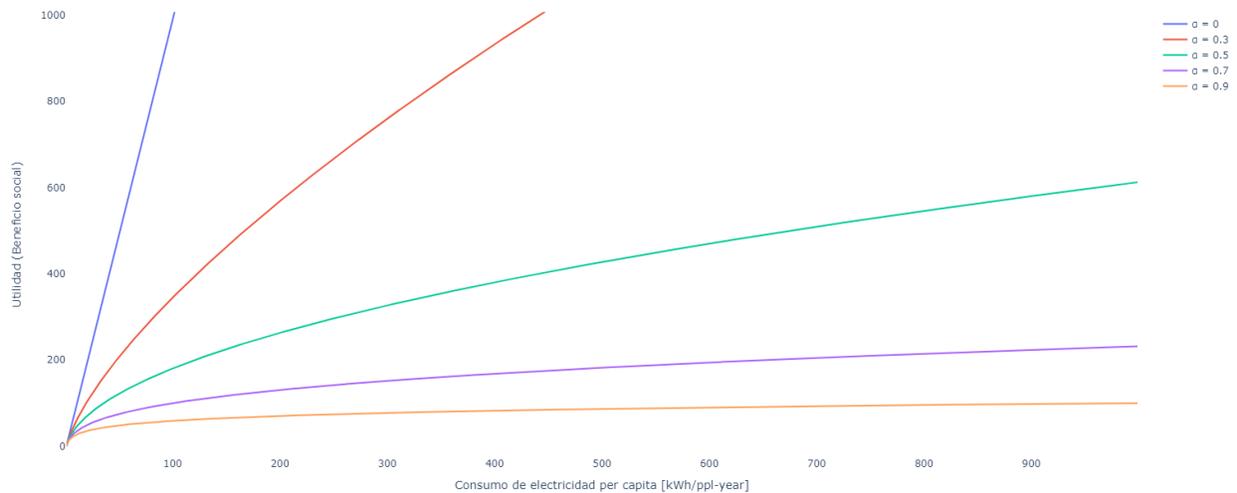


Fig. 11: Representación de la función objetivo de maximización de utilidad en (Nock et al., 2020)

En (Menghwani et al., 2020) se evalúa la justicia usando el principio de justicia distributiva. El trabajo explora el principio de asequibilidad y equidad intergeneracional con respecto a el costo de la electricidad en Tanzania considerando la distribución espacial de la pobreza. El proceso consta de 3 pasos: Primero se define un plan de expansión, luego a partir de los planes de expansión

se evalúan y redistribuyen los precios de electricidad usando escenarios de igualdad y equidad; finalmente se evalúan los potenciales subsidios a la población considerando, la vulnerabilidad y tasa de pobreza de la población, el tipo de tecnología y la asequibilidad de la población. Para establecer el plan de expansión se utiliza el software *OnSSET* el cual resulta en un sistema de generación con tecnologías que producen el menor costo basado en información georreferenciada para cada ubicación, obteniendo el LCOE de cada tipo de generación. En la evaluación del escenario de igualdad se asume un pago ponderado constante para toda la población; pero para el escenario de equidad, este pago ponderado se ajusta teniendo en cuenta la asequibilidad y distribución de pobreza de las comunidades. Los precios se ajustan tal que los ingresos generales de las ventas de electricidad se mantienen constante mediante un subsidio cruzado (*i.e.*, una parte de la población subsidia a la otra). Basado en los resultados, se plantea la posibilidad de aplicar dos tipos de subsidios: Para aquellas comunidades donde se instala red interconectada se proveen subsidios tarifarios aplicados al consumo de electricidad; mientras que para aquellas comunidades donde se instalan proyectos renovables se subsidia una parte del costo de capital (CAPEX).

La equidad distributiva también se ha abordado a través de restricciones en modelos matemáticos. Por ejemplo, en el trabajo (Neumann, 2021), se ha construido un modelo de optimización a mínimo costo para la planeación de sistemas. Sin embargo, se han planteado restricciones extremas como en las que cada nodo produce solo que se requiere para alcanzar la optimalidad en cuanto al costo (empleando zonas más productivas), lo que se traduce en 0% de equidad; y restricciones en las que cada nodo satisface completamente la demanda de manera aislada, lo que se traduce en 100% de equidad. El autor también

Según los resultados presentados por el autor y que son aplicados sobre los países europeos, las plantas eólicas dentro de costa y las solares fotovoltaicas favorecen la equidad en el diseño del sistema. Mientras que las plantas fuera de costa y los proyectos de transmisión desfavorecen la equidad. Las soluciones que aumentan la equidad implican necesariamente un aumento del costo.

Por ejemplo, los autores reportan que cuando los nodos producen lo que consumen, la equidad es la más alta y el costo se incrementa el 18%.

En (Trotter et al., 2019) se presenta un modelo multiobjetivo de expansión de la generación a largo plazo enfocado a países con sistemas de potencia con poca infraestructura existente. Uno de los objetivos que se minimiza es la desigualdad del acceso a la energía en conjunto con los costos de sistema de considerar restricciones ambientales. La desigualdad en el acceso a la energía se mide entre las zonas rurales y urbanas de manera espacial. El modelo de optimización considera restricciones en el lado de la demanda, como una tasa de electrificación entre 0%-100% que puede ser cumplida en cualquier periodo de tiempo, eligiendo que regiones electrificar total o parcialmente. Para considerar la incertidumbre en la demanda, se modelan diferentes escenarios de demanda. El modelo multiobjetivo se resuelve utilizando el método ε -constraint de manera iterativa hasta encontrar la frontera de Pareto de soluciones no dominantes del problema original.

En la zona Sub-Sahariana Africana la infraestructura de potencia puede cubrir pequeñas partes de los países, llegando incluso sólo al 30%, por lo cual establecer una restricción estática para suplir la demanda de un país que tiene todo un camino por recorrer en la electrificación no es un enfoque que considere las condiciones reales de estos países en vía de desarrollo, que recurrentemente plantean metas de electrificación con valores por debajo del 100% para las próximas décadas. Los autores presentan el parámetro de *tasa de electrificación objetivo* ($ERTar_t$) para considerar que no toda la demanda deberá ser atendida. Si $ERTar_t = 100$ se asume que toda la demanda deberá ser suplida durante todo el tiempo, como en los modelos de expansión convencionales; sin embargo, valores menores de $ERTar_t$ dan la posibilidad que algunas demandas no sean atendidas.

La función objetivo de desigualdad considera *i*) La desigualdad en la electrificación entre zona rural y urbana de una región y *ii*) la desigualdad de electrificación total entre regiones. La desigualdad entre zonas rurales y urbanas se expresa como la máxima diferencia absoluta entre las tasas de electrificación urbana y rural al final del horizonte de optimización. La desigualdad entre regiones se expresa como la máxima diferencia entre la electrificación total de las regiones: Las

tasas electrificación rural y urbana se calculan con la relación entre la cantidad de generación de la zona con respecto a la demanda esperada; mientras que la tasa de electrificación total de cada región se calcula como la suma ponderada con respecto a la población de las tasas de electrificación de las zonas rural y urbanas de la región.

Con el objetivo de modelar aspectos sociales en los modelos de optimización energética, se han empleado algunas herramientas metodológicas disponibles a nivel internacional. Algunas de esas herramientas son Calliope (Calliope, s. f.) (Krumm et al., 2022) GENeSYS-MOD (Löffler et al., 2017) y FRESH:COM (Perger & Auer, 2022), disponibles como modelos *open source* gratuitos.

Calliope es una herramienta de análisis energético *open source* gratuito que se emplea para modelar sistemas energéticos a diferentes escalas, desde distritos urbanos hasta continentes. Considera modelos de optimización lineal.

GENeSYS-MOD es una herramienta de modelos energéticos que determina rutas de inversiones costo-eficientes en cuanto a generación, almacenamiento e infraestructura. Ha sido empleado para calcular las soluciones de menor costo para hojas de ruta de la transición de sistemas energéticos descarbonizados.

FRESH:COM es una herramienta de optimización multiobjetivo para el diseño de portafolios óptimos de tecnologías renovables a nivel local. Se ha empleado para maximizar el beneficio de una comunidad

A través de estos modelos se han considerado diferentes aspectos sociales. Por ejemplo, en Calliope, para considerar comportamientos y preferencias, en (Lombardi et al., 2019) se han modelado los tamaños, hábitos, comportamiento de las dietas, y consumo de los diferentes usuarios. Algunos aspectos de aceptación pública y oposición de la sociedad con respecto a diseño de proyectos también se han tenido en cuenta (Lombardi et al., 2020). Por otro lado, las comunidades energéticas con sus correspondientes incentivos, así como la disposición a pagar de los miembros de la comunidad han sido analizados con FRESH:COM (Perger et al., 2021).

Similarmente, GENeSYS-MOD también ha sido usado para modelar las actitudes de la sociedad ante la adopción de proyectos renovables y cambios en el consumo (Auer et al., 2020).

8. Implicaciones y recomendaciones de política energética

Justicia energética es uno de los conceptos más críticos y controversiales en años recientes, el cual *“directamente afecta la prosperidad social y mejora el nivel de capital social en todos los países”*. Es un concepto amplio que se enfoca en *“permitir el acceso a energía asequible, democratizar la energía y promover la igualdad étnica y de género”* (Sun et al., 2023). Además, implica múltiples dimensiones, impactos y desafíos, como se muestra en el mapa conceptual de la Fig. 12.



Fig. 12: Dimensiones, impactos y desafíos de la justicia energética

Efectivamente justicia energética es un concepto que permite identificar debilidades institucionales, sociales y de mercado, las cuales se traducen en una carencia o deficiencia del sistema eléctrico en la provisión eficiente, con calidad y a precios razonables, del servicio de energía eléctrica en las regiones y a población (grupos de interés) más vulnerables, en especial en países en desarrollo.

Diferentes métricas aluden a la posibilidad de cuantificar de manera muy precisa tanto el acceso al servicio de la energía eléctrica, determinado por la incidencia de la pobreza como el costo energético (o carga energética) determinado por el gasto del hogar en energía como % del ingreso total. Dichos indicadores son fuertemente impactados por diferentes entidades, tanto del nivel nacional (reguladores, superintendencias) como del nivel local (generadores, comercializadores, etc.).

Los impactos, desde luego, se traducen en la necesidad de impartir justicia basados en dimensiones reconocidas en la literatura actual sobre justicia energética y transición justa, tales como: (i) la justicia distributiva (responde a la pregunta de quienes y en qué modo son afectados y promover la democratización de la energía, limitar la dependencia de fósiles, promocionar la equidad social, identificar los vulnerables al cambio climático, etc.); (ii) la justicia procesal (responde a la pregunta de cómo promover una transición justa e involucra un componentes de rendición de cuentas institucionales); y (iii) la justicia restaurativa, que indica que una vez identificado el tipo de injusticia se procede a alternativas de reparación. Adicionalmente la justicia de reconocimiento hace parte del concepto de justicia energética en una dimensión que enfatiza en la participación o representación de los grupos de interés, en especial usuarios – nivel local-, en las diferentes instancias de toma de decisiones del sistema energético -nivel global-.

En este capítulo recogemos una serie de implicaciones de política energética extraídas de la amplia bibliografía analizada y, desde luego, planteamos una serie de recomendaciones de política que abarcan las tres dimensiones de la justicia energética con el fin de que sean adoptadas conforme a la misión y visión de la UPME. Más aún, consideramos que este documento contribuirá en gran

medida a cumplir con el objeto y los objetivos estratégicos de la entidad; particularmente, las recomendaciones de política energética propuestas coadyuvarán con la planeación del desarrollo y con el aprovechamiento de los recursos energéticos del país de manera integral, indicativa, permanente y en coordinación con los agentes del sector minero-energético.

8.1. Implicaciones de política energética

Las implicaciones planteadas considerarán las tres dimensiones de justicia energética. La Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11 considerarán la dimensión restaurativa, procedimental y distributiva respectivamente.

Tabla 9: Implicaciones y recomendaciones en el marco de justicia energética restaurativa

Implicaciones	Recomendaciones
Desarrollar esquemas de provisión de energía para comunidades vulnerables	Establecer un mínimo vital para el consumo de energía eléctrica y gas. Se entiende que el acceso a la energía provee bienestar a los hogares, por ejemplo, la cocción de alimentos o la mitigación tanto bajas como altas temperaturas. La dignidad del ser humano se restablece con esta iniciativa pues implica equidad en el trato de las personas Crear mesas y comités entre organismos gubernamentales encargados de la promoción, supervisión, y vigilancia y control, de los dispositivos e instalaciones de uso final de la electricidad con el fin de definir políticas que garanticen que estos no solamente sean seguros para las personas y el medio ambiente, como establecen reglamentos como el RETIE y RETILAP, sino además que tienen la posibilidad, al ser de mayor eficiencia, de

	<p>disminuir la inseguridad energética de las comunidades más vulnerables.</p> <p>Debe evaluarse la política de electrificación de hogares vulnerables usando medidores de energía prepagada. Se ha encontrado que en diferentes países del mundo los usuarios que cuentan con medidores de energía prepagada pueden estar sometidos a condiciones que incrementan su vulnerabilidad y tiene la posibilidad de contribuir a la pobreza energética (Kambule & Nwulu, 2021; O’Sullivan et al., 2011; Wagner & Wiegand, 2018). Las causas para ello son que estos usuarios típicamente pagan tarifas más altas por kWh por el acceso a la energía; pagan créditos asociados a deudas de consumo energético anteriores, algunas de las cuales pueden haber generado el corte del suministro; experimentan estrés y ansiedad por los límites de consumo y la posibilidad de desconexión, lo cual induce problemas de salud física o mental, disminución de los niveles de vida y exclusión social. Por otro lado, también se ha demostrado que otros usuarios han adquirido conciencia acerca de la necesidad de ahorrar en el gasto de energía y la necesidad de usar aparatos y sistemas más eficientes; sin embargo, esto podría entenderse como consecuencia del riesgo de auto desconexión de los usuarios.</p> <p>A partir de lo anterior, se propone promover, junto con otros entes gubernamentales, incluidos los de vigilancia y control de los servicios públicos un análisis de la efectividad de los</p>
--	---

	<p>programas de instalación de medidores prepago considerando el efecto en la reducción de la pobreza energética en entornos de hogares de bajos ingresos.</p> <p>Los proyectos de normalización de circuitos subnormales (CREG, 2001) que vienen aplicando los operadores de red para hacer que las redes cumplan con los requisitos técnicos mínimos establecidos por la Resolución CREG-070 de 1998 en el marco de programas como el PRONE (Minenergía, 2023), deben complementarse con políticas de promoción y fomento de la eficiencia y uso racional de la energía, lo que permite aumentar la cobertura de manera segura para las personas y el medio ambiente, y a su vez disminuir, los factores de riesgo de pobreza energética en hogares y comunidades vulnerables.</p> <p>Existen múltiples opciones a considerar como parte de la electrificación de estas comunidades como instalación de tecnologías renovables distribuidas, ampliación de la red eléctrica actual, normalización de las redes eléctricas en barrios subnormales mediante el programa PRONE (Minenergía, 2023), entre otras. En caso tal que otros esquemas sean establecidos como los medios óptimos de electrificación, estos pueden considerar el uso de subsidios cruzados basado en lo presentado en (Menghwani et al., 2020). Más detalles de esta recomendación se podrán leer en las implicaciones de política sobre justicia energética distributiva.</p>
--	---

<p>Fortalecer iniciativas energéticas de origen popular y comunitarias</p>	<p>Crear fondos de apoyo a las comunidades para asistencia técnica, el desarrollo y la sostenibilidad de proyectos renovables. Se debe garantizar que los beneficios de estos proyectos se compartan equitativamente entre los miembros de la comunidad.</p>
<p>Formular un programa integral de política energética para la atención de los más vulnerables</p>	<p>Crear un Plan Nacional de Desarrollo Energético que sirva de guía para la implementación de tal política.</p> <p>En los territorios que hacen parte de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) y de las Zonas Más Afectadas por el Conflicto Armado (ZOMAC), es necesario priorizar los estudios de vulnerabilidad energética, de manera que se puedan ejecutar los proyectos productivos y obras de construcción que aporten al desarrollo rural, a la agricultura y a la reactivación económica y social de forma eficiente y, sobre todo, justa. Debe tenerse en cuenta que en estos territorios ya se cuenta con una caracterización de los frentes de inversión, entre ellos, la energía, que permiten priorizar los proyectos. Estos proyectos son una oportunidad invaluable para ejecutar recursos con una visión de justicia en un contexto único en el mundo, por ello se considera que debe hacerse rápidamente un análisis de la vulnerabilidad energética que permita señalar a los tomadores de decisión e inversores las zonas y proyectos prioritarios para resolver los problemas de justicia energética en zonas que han experimentado pobreza multidimensional; energética, de transporte, económica, social, política, etc. (Minenergía, 2022)</p>

Tabla 10: Implicaciones y recomendaciones en el marco de justicia energética procedimental

Implicaciones	Recomendaciones
<p>Construir marco conceptual de justicia energética para las comunidades</p>	<p>Definir un marco de referencia reglamentario adoptando un marco conceptual considerando las características interculturales, demográficas y políticas de Colombia en el cual se definan y establezcan de manera clara los diferentes conceptos relacionados con la justicia energética. Para la definición de los principios de justicia se recomienda considerar las definiciones y procedimientos propuestos por (Van Uffelen et al., 2024) que se describen en la sección de definiciones de principios de la justicia.</p> <p>Para la construcción del marco de referencia reglamentario es necesario conformar una mesa multiestamentaria con representantes de diferentes culturas y regiones, así como algunos que hayan sido preliminarmente identificados como víctimas o sujetos vulnerables. Además de los anteriores participantes de la comunidad, también deberá haber participantes de los diferentes organismos de control, vigilancia y técnicos involucrados en los planes expansión y desarrollo de los sistemas energéticos del país.</p>
<p>Garantizar representación de los actores (género, etnia, religión, nivel socioeconómico) en las</p>	<p>Permitir que las comunidades participen en las etapas de ejecución de los proyectos a través de eventos regionales con comunidades.</p>

<p>diferentes instancias de decisión (capacitación, diseño e implementación de proyectos)</p>	<p>Debe haber el mayor consenso posible de las comunidades sobre la aceptación de proyectos energéticos y en particular de redes de transmisión.</p> <p>Realizar labores pedagógicas con las comunidades para empoderar a sus miembros con consciencia ambiental y social; y con conocimiento técnico.</p> <p>Garantizar transparencia en los procesos de contratación pública para construcción de proyectos energéticos y de infraestructura. Hacer visible las diferentes etapas de estos procesos permitiría lograr consensos y aceptación de proyectos con las comunidades.</p>
<p>Favorecer la completitud de la información (transparente y accesible)</p>	<p>La información oficial relacionada a decretos, resoluciones o proyectos de estos, leyes, datos estadísticos (sobre generación de externalidades), boletines, etc. debe ser difundida por radio/TV y especialmente en redes sociales como Facebook (de amplio uso en el mundo). Existe una relación positiva entre la justicia energética y el uso de Facebook (Fang et al., 2023).</p> <p>La transparencia en la información de proyectos de energía renovable es vital para conseguir y retener el respaldo de la comunidad, para ello es necesario divulgar información detallada sobre objetivos, alcance, impactos ambientales y beneficios anticipados. Este compromiso con la divulgación asegurará la accesibilidad de la información al público en general, promoviendo así la rendición de cuentas; además, promoverá la participación activa en el proceso de toma de decisiones, al</p>

	<p>incluir consultas, audiencias y mecanismos participativos para recopilar comentarios de la comunidad. Con esto se fortalecerá la legitimidad y aceptación de los proyectos.</p> <p>Vale la pena aclarar que los informes periódicos deben detallar el progreso y los desafíos encontrados, de manera clara y comprensible para el público. Adicionalmente, se tendrá que garantizar la objetividad, para lo cual se propone realizar auditorías independientes que evalúen el desempeño y la transparencia de los proyectos de energía renovable, identificando áreas de mejora y asegurando la alineación con estándares éticos y ambientales. Estas medidas, al construir una base sólida de información y participación, tienen el potencial de generar confianza y respaldo tanto en la comunidad como entre las partes interesadas en la implementación de proyectos sostenibles que coadyuven a disminuir las desigualdades (Thompson, 2023).</p>
<p>El reconocimiento y protección de los derechos humanos, los derechos indígenas y la igualdad de género en las políticas energéticas</p>	<p>Fortalecer las consultas previas con las comunidades, puesto que es un derecho fundamental de carácter colectivo y se realiza antes de la toma de decisión (legislativa o administrativa) también debe ser acompañada de una amplia y profunda pedagogía sobre los proyectos energéticos.</p> <p>El nexos WEF es un enfoque holístico que considera las complejas interacciones y sinergias entre agua, energía y alimentos como derechos fundamentales, así como su</p>

	<p>interconexión con aspectos ambientales, sociales y económicos más amplios (Li & Zhang, 2023). Puede decirse que el nexo WEF está asociado con la visión holística de la justicia energética, pero también con la justicia ambiental, a través del principio procedimental, ya que dicho nexo requiere de un marco regulatorio que permita su implementación y por ende depende de la gobernanza (Larcom & van Gevelt, 2017). Integrar los principios de justicia social en el marco del nexo WEF puede ayudar a promover el acceso a energía limpia, salvaguardar los recursos hídricos y alimentarios y aliviar la carga de las poblaciones marginadas (Li & Zhang, 2023). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la aplicación de políticas basadas en el enfoque del nexo WEF para superar la escasez de recursos a través de inversiones e innovaciones tecnológicas, por sí sola no garantiza que se cumplan todos los principios de justicia y equidad (Dalla Fontana et al., 2021). Mas bien el nexo WEF debe ser parte de las políticas basadas en el enfoque holístico de la justicia y democracia energética y por ello, se recomienda que se coordinen los esfuerzos realizados en Colombia a través de proyectos como (SEI, 2023; UTADDO, 2023), para atender los requerimientos planteados en una agenda de políticas energéticas construida por los diferentes actores interesados y que permitan resolver los problemas asociados a las injusticias energéticas. Se recomienda que la agenda parta de los análisis de vulnerabilidad en el territorio y se dé prioridad a los ZOMAC y PDET.</p>
--	--

Tabla 11: Implicaciones y recomendaciones en el marco de justicia energética distributiva

Implicaciones	Recomendaciones
<p>Identificar grupos poblacionales sujetos a injusticia energética.</p>	<p>Se deben hacer consultas periódicas que permitan evaluar aspectos relacionados con la conciencia ambiental, la sostenibilidad y la justicia energética en las comunidades vulnerables y con pobreza energética. Las preguntas buscarán medir el nivel de conciencia ambiental en la comunidad, identificando amenazas ambientales específicas relacionadas con la pobreza energética (bajos ingresos económicos, electrodomésticos ineficientes o de alto consumo energético, falta de acceso a energía limpia -cocinar con gasolina, leña, entre otros-, altos costos de la energía, viviendas deterioradas, limitado acceso a servicios públicos, problemas de salud de las comunidades y que se relacionan con el estado de la vivienda), y el consumo de agua en hogares afectados por esta situación. También se requiere información sobre la percepción de la comunidad en relación al cambio climático y sus impactos, así como las barreras que enfrentan los individuos en comunidades con pobreza energética para adoptar prácticas sostenibles (De Nigris & Giuliano, 2023; Thompson, 2023).</p> <p>Se pueden consultar acciones que la comunidad emprende actualmente para reducir la huella de carbono y promover el uso de energías limpias, en especial para cocción de alimentos, así la gestión de residuos y el reciclaje. Se sugiere consultar sobre el conocimiento acerca de prácticas ambientalmente responsables y</p>

	<p>cuál es la disposición de la comunidad para adoptar tecnologías de energía renovable (e incluso adoptar el cambio en los energéticos usados), identificando con ello las barreras para participar en proyectos de energía renovable, teniendo en cuenta la posible escasez de recursos económicos. Para ello, indagar cuál es el papel que la comunidad espera del gobierno, para la promoción de prácticas ambientalmente responsables y el desarrollo de energías limpias en comunidades vulnerables, teniendo en cuenta la protección de recursos naturales y la promoción de la educación ambiental, energética y de proyectos, mediante la percepción sobre las iniciativas específicas que la comunidad quisiera ver implementadas para abordar la pobreza energética (Arler et al., 2023).</p> <p>Generar mapas interactivos con análisis de vulnerabilidad basados en índices sencillos y fáciles de interpretar como el ingreso, el costo de la energía con respecto a los ingresos “burden” o la cantidad de partículas PM2.5 en el aire. Esto ayuda en la democratización de la información y los datos, fomenta la transparencia y aporta a la justicia procedimental. Un ejemplo de este tipo de aplicativos es el mapa CEJST (Metodología y datos - Climate & Economic Justice Screening Tool, 2023) en el cual las comunidades se consideran como desfavorecidas dependiendo de los percentiles en los tres indicadores mencionados previamente.</p>
--	--

	<p>Una versión más amplia que incluya información, no solo para el público en general, sino también para los organismos encargados de los estudios técnicos que respaldan las políticas energéticas y a los tomadores de decisión, puede construirse usando diferentes aspectos relacionados con la sostenibilidad como se propone en (Siciliano et al., 2021). Este tipo de mapas no solo permite presentar la información relevante de manera sucinta a la población, sino que además permiten evaluar la opción de establecer proyectos con bajas emisiones de carbono. De esta manera cada proyecto dentro del plan de expansión del sistema energético deberá en cada comunidad plantear un análisis que tenga en cuenta factores ambientales, sociales y económicos (Volodzkiene & Streimikiene, 2023b).</p> <p>Se propone la integración de una estrategia de incorporación territorial en los esquemas de ordenamiento y determinantes ambientales para fortalecer los principios de justicia energética. La idea es buscar armonizar el desarrollo de infraestructuras energéticas con las características y necesidades específicas de cada territorio, considerando aspectos geográficos, socioeconómicos y ambientales. La incorporación territorial no solo garantizaría la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos energéticos, sino que también se alinea con los principios de desarrollo sostenible y equidad, permitiendo una planificación más precisa y contextualizada.</p> <p>Esta iniciativa contribuiría a evitar posibles impactos negativos en el entorno ambiental y social, promoviendo un enfoque</p>
--	---

	<p>holístico que valore la diversidad de los territorios y comunidades. Al considerar la incorporación territorial como parte integral de la planificación energética, se avanza hacia un modelo más equitativo y sostenible, que responda a las necesidades específicas de cada región. La estrategia propuesta no solo promueve la justicia energética, sino que también se alinea estrechamente con los objetivos fundamentales de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), buscando estabilizar y transformar los territorios más afectados por la violencia. En concordancia con los planes de desarrollo nacional; en los que se ha buscado expandir el servicio de energía con especial énfasis en municipios PDET (Minenergía, 2022).</p> <p>La estrategia propende que los proyectos energéticos consideren las características únicas de cada región, respetando la diversidad cultural, social y ambiental de los municipios PDET. Al incorporar esta perspectiva territorial, se fortalece la eficiencia y sostenibilidad de las iniciativas energéticas, contribuyendo directamente a la construcción de paz y mejorando la calidad de vida de las comunidades afectadas por el conflicto. La planificación energética en el contexto de los PDET debe ser inclusiva y sensible a las realidades locales, asegurando que los beneficios de los proyectos alcancen a todas las capas de la sociedad, consolidando un enfoque de desarrollo que no solo busca suplir necesidades energéticas, sino también fomentar la reconciliación, la equidad y la prosperidad sostenible en los</p>
--	--

	territorios PDET y ZOMAC (Zonas más afectadas por el conflicto armado)
<p>Diseñar mecanismos para conseguir precios de energía eléctrica más competitivos a lo largo del país.</p>	<p>Promover la metodología que plantea precios nodales para el mercado eléctrico. Los precios nodales proveen el precio marginal en cada nodo de la red eléctrica, es decir, el menor costo al que se puede atender una unidad de energía adicional a la demanda en ese punto. Los precios nodales ofrecen señales de precios que reflejan las condiciones operativas y congestión en la red tal que en zonas congestionadas los precios tienden a ser altos. Este tipo de señales genera información importante sobre las ubicaciones más adecuadas de futuros proyectos de generación y de transmisión en el sistema interconectado nacional. Esta disparidad de precios no tiene que reflejarse a los usuarios, los esquemas de tarifas a usuarios deben, por el contrario, fortalecer la equidad. Pero, la disparidad de precios sí es útil para la remuneración a las empresas de generación.</p>
<p>Fortalecer la democratización de energías renovables (hidráulica, biomasa, solar, eólica)</p>	<p>Promover proyectos de autogeneración, comunidades energéticas, subastas de asignación de energía firme, mercados financieros verdes.</p> <p>Formulación de un Programa integral de política energética para la atención de los más vulnerables. Esto implica la creación de un Plan Nacional de Desarrollo Energético que sería una guía clave para la implementación de tal política.</p>

	<p>Implementación de políticas que promuevan la eficiencia energética y reduzcan la demanda energética.</p> <p>Implementar esquemas de incentivos tributarios regionalizados que promuevan la instalación de proyectos de energías renovables en zonas rurales y zonas no interconectadas. La Ley 1715 establece incentivos que no distinguen el lugar de la instalación de estos proyectos, lo cual podría no dar las señales a inversionistas para aumentar el acceso a la electricidad.</p> <p>Implementar esquemas de incentivos que promuevan el desarrollo industrial local y la creación de empleos.</p>
<p>Garantizar mayor igualdad de oportunidades en el acceso a energías limpias</p>	<p>Es importante realizar un análisis de la curva de Lorentz para Colombia con el fin de diagnosticar la justicia distributiva desde la equidad energética del país. A partir de estos análisis, establecer metas precisas y diseñar estrategias para alcanzar mayor equidad energética en el país. Este tipo de análisis puede realizarse no sólo para el sector eléctrico sino también para otros energéticos como el gas natural.</p> <p>A partir de diagnóstico de la justicia energética del país, es importante considerar la expansión de infraestructura de red analizando injusticias sobre el medio ambiente y las comunidades. A partir de las metodologías analizadas para la creación de planes de expansión en transmisión y generación, es importante considerar metodologías que van más allá de la</p>

	<p>minimización de costos tradicional. Se recomienda implementar modelos de optimización que disminuyan las desigualdades en cuanto al acceso a la electricidad como en (Nock et al., 2020), que consideren métricas estándares para la evaluación de los planes (GINI, precios nodales en diferentes momentos de la curva de demanda) y que consideren restricciones ambientales tanto para la instalación como para la operación de los nuevos proyectos.</p>
<p>Involucrar aspectos de justicia energética en los procesos de planeación hacia la transición energética.</p>	<p>Con base en (Menghwani et al., 2020) se recomienda considerar nuevos esquemas de tarifas y subsidios energéticos basado en un análisis de la capacidad de pago por regiones y/o comunidades para establecer planes de expansión justos. Los análisis de las nuevas tarifas deberían incluir índices que reflejan la asequibilidad de las regiones, tales como índices de pobreza. Las tarifas pueden ser redistribuidas basadas en subsidios para la instalación de tecnologías o en subsidio en el consumo. En las regiones donde los planes de expansión recomienden la instalación de tecnologías <i>stand-alone</i> como sistemas solares, diésel, entre otros, se recomienda subsidio para cubrir los costos de instalación; para las regiones donde la expansión de la red sea la mejor opción, se recomienda subsidiar una porción del consumo de energía en la tarifa de energía. El subsidio puede ser cruzado, donde aquellas comunidades y/o regiones que tienen mayor capacidad de pago pueden subsidiar a aquellas donde la capacidad es menor.</p>

	<p>Adicionalmente, con base en (Dorman & Cipler, 2022) se proponen tres principios fundamentales referentes a la distribución justa de recursos financieros, desde la planeación energética, para apoyar proyectos de energía renovable:</p> <p><i>1. Principio de necesidad:</i> Considera el evaluar la cantidad de financiamiento dirigido a los países, comunidades o individuos con la mayor necesidad. Se centra en maximizar los beneficios para las personas menos favorecidas, asegurando que los recursos se asignen a los más necesitados.</p> <p><i>2. Principio de beneficios locales:</i> Establece que los recursos deben distribuirse de tal forma que se beneficien las personas de las comunidades cercanas a los proyectos, especialmente aquellas históricamente marginadas. Se asegura que la distribución de recursos beneficie a las comunidades y aborde las desigualdades históricas.</p> <p><i>3. Principio de responsabilidad histórica:</i> Asignar responsabilidad a las instituciones para cumplir con los deberes morales globales o internacionales para rectificar la pobreza extrema y la desigualdad causada o incentivada por la economía global. Se centra en considerar las desigualdades históricas en la distribución de recursos energéticos.</p>
--	---

Apéndice A: Modelos de Optimización

A.1. Modelo de Optimización (Trotter et al., 2019)

$$\min f_{cost} = c_{TotGenI} + c_{TotGenOM} + c_{TotTrI} + c_{TotTrI} c_{TotDisI} + c_{TotDisOM} \quad (1)$$

$$\min f_{urbrur} = \max_{c \in \mathcal{C}} (|erU_{c,T} - erR_{c,T}|) \quad (2)$$

$$\min f_{reg} = \max_{c_1, c_2 \in \mathcal{C}} (erTot_{c_1,T} - erTot_{c_2,T}) \quad (3)$$

Costos de inversión y OM para generadores

$$c_{TotGenI} = \sum_t \left[DF_t \cdot \sum_p (\text{genCap}_{p,t} \cdot C_{GenI}_{p,t}) \right] \quad (4)$$

$$c_{TotGenOM} = \sum_t \left[DF_t \cdot \sum_p (\text{gen}_{p,t} \cdot C_{GenOM}_{p,t}) \right] \quad (5)$$

Costos de inversión y OM para transmisión

$$c_{TotTrI} = \sum_t \left[DF_t \cdot \sum_{ln} x_{Trans_{ln,t}} \cdot C_{TriFix_{ln,t}} + \sum_l \text{transCap}_{l,t} \cdot C_{TriVar}_{l,t} \right] \quad (6)$$

$$\begin{aligned} c_{TotTrOM} = & \sum_t DF_t \\ & \cdot \sum_l ((\text{transCC}_{l,t} + \text{ExTi}_l) \cdot C_{TriVar}_{l,t} \cdot \text{TOMSh} + \text{ExTrD}_l \cdot C_{TriDis}_l \\ & \cdot \text{DOMSh}) \end{aligned} \quad (7)$$

Costos de inversión y OM para distribución

$$c_{TotDisI} = \sum DF_t \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{elRON_{c,t}(1 - DLossR_{c,t})}{DemR_t} \cdot popR_t - \frac{elRON_{c,t-1}(1 - DLossR_{c,t-1})}{DemR_{t-1}} \right. \\
& \quad \left. \cdot popR_{t-1} \right) CDisIR_{c,t} \\
& + (elUOff_{c,t} - elUOff_{c,t-1}) \cdot CDisIUOff_{c,t} + (elROff_{c,t} - elROff_{c,t-1}) \cdot CDisIROff_{c,t}
\end{aligned}$$

$$elUOn_{c,t_0} \cdot (1 - DLossU_{c,t_0}) = ExUOn_c, \forall c \quad (9)$$

$$elRON_{c,t_0} \cdot (1 - DLossR_{c,t_0}) = ExRON_c, \forall c \quad (10)$$

$$elUOff_{c,t_0} = ExUOff_c \forall c \quad (11)$$

$$elROff_{c,t_0} = ExROff_c \forall c \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
cTotDisOM & = \sum_t DF_t \cdot DOMSh \\
& \quad \cdot \sum_c \left(\frac{elUOn_{c,t}(1 - DLossU_{c,t})}{DemU_t} \setminus popU_t \cdot CDisIU_{c,t} \right) \\
& + \left(\frac{elRON_{c,t} \cdot (1 - DLossR_{c,t})}{DemR_t} \cdot popR_t \cdot CDisIR_{c,t} \right)
\end{aligned} \quad (13)$$

Función objetivo de desigualdad en la electrificación

$$erU_{c,t} = 100 \cdot \frac{elUOn_{c,t}(1 - DLossU_{c,t}) + elUOff_{c,t}}{DemU_{c,t}} \forall c, t \quad (14)$$

$$erR_{c,t} = 100 \cdot \frac{elRON_{c,t}(1 - DLossR_{c,t}) + elROff_{c,t}}{DemR_{c,t}} \forall c, t \quad (15)$$

$$erTot_{c,t} = 100 \cdot \frac{erU_{c,t} \cdot popU_{c,t} + erR_{c,t} \cdot popR_{c,t}}{popU_{c,t} + popR_{c,t}}, \forall c, t \quad (16)$$

Restricciones de demanda

$$\frac{\sum_c erU_{c,t} \cdot popU_{c,t} + erR_{c,t} \cdot popR_{c,t}}{popTot_t} \geq ERTar_t, \forall t \quad (17)$$

$$elUOn_{c,t} \cdot (1 - DLossU_{c,t}) \geq ExUOn_c, \forall c, t \quad (18)$$

$$elRON_{c,t} \cdot (1 - DLossR_{c,t}) \geq ExRON_c, \forall c, t \quad (19)$$

$$\text{elUOf}_{c,t} \geq \text{ExUOff}_c, \forall c, t \quad (20)$$

$$\text{elROf}_{c,t} \geq \text{ExROff}_c, \forall c, t \quad (21)$$

Demanda de negocios

$$\text{erBus}_{c,t} = 100 \cdot \frac{\text{elBus}_{c,t} \cdot (1 - \text{DLossBus}_{c,t})}{\text{DemBus}_{c,t}}, \forall c, t \quad (22)$$

$$\frac{\sum_c \text{erBus}_{c,t} \cdot \text{demBus}_{c,t}}{\sum_c \text{demBus}_{c,t}} \geq \text{ERTarBus}_t, \forall t \quad (23)$$

$$\text{elBus}_{c,t} \cdot (1 - \text{DLossBus}_{c,t}) \geq \text{ExBus}_c, \forall c, t \quad (24)$$

Demanda Pico total

$$\begin{aligned} \sum_{\text{Pon}} (\text{ExSup}_{\text{Pon}} + \text{genCC}_{\text{pon},t}) &\geq \text{RM} \cdot \text{PDemR}_t \cdot \sum_c (\text{elUOn}_{c,t} \cdot (1 - \text{DLossU}_{c,t})) \\ &+ \text{elROn}_{c,t} \cdot (1 - \text{DLossU}_{c,t}) + \text{elBus}_{c,t} \cdot (1 - \text{DLossBus}_{c,t}), \forall t \end{aligned} \quad (25)$$

Demanda motivada socioeconómicamente

$$\text{erTot}_{c,t} \geq \text{erTot}_{c,t-1}, \forall c, t \quad (26)$$

$$\text{erBus}_{c_{ec},t} \geq \text{MinErBus}_t, \forall c_{ec} \in C_{ec}, t \quad (27)$$

Restricciones de balance de energía

$$\begin{aligned} \sum_l \sum_{\text{ld}} \text{trans}_{l,\text{ld},c} \cdot \text{EBIn}_{l,\text{ld},c} \cdot (1 - \text{TLoss}_t) + \text{elUP}_{c,t} \cdot (1 - \text{CLkV}) = \\ \sum_l \sum_{\text{ld}} \text{trans}_{l,\text{ld},t} \cdot \text{EBOut}_{l,\text{ld},c} + \text{elDown}_{c,t}, \forall c, t \end{aligned} \quad (28)$$

Balance de energía de las redes de distribución

$$\begin{aligned} \sum_{\text{Pon}} \text{gen}_{\text{pon},t} \cdot \text{GenEff}_{\text{Pon},c} + \sum_l \sum_{\text{ld}} \text{transd}_{l,\text{ld},t} \cdot \text{EBIn}_{l,\text{ld},c} \cdot \text{DLoss}_l \cdot \text{ExTrD}_l \\ \text{elDown}_{c,t} \cdot (1 - \text{CLkV}) = \sum_l \sum_{\text{ld}} \text{transD}_{l,\text{ld},t} \cdot \text{EBOut}_{l,\text{ld},c} \cdot \text{ExTrD}_l \\ \text{elUp}_{c,t} + \text{elBus}_{c,t} + \text{elOn}_{c,t} + \text{elROn}_{c,t}, \forall c, t \end{aligned} \quad (29)$$

Balance de energía desconectada de la red

$$\sum_{p_{\text{off}}} \underbrace{\text{gen}}_{\text{in}} \underbrace{p_{\text{off},t}}_{\text{in}} \cdot \text{PCM}_{p_{\text{off},c}} = \underbrace{\text{elUOff}}_{\text{out}} \underbrace{c,t}_{\text{out}} + \underbrace{\text{elROff}}_{\text{out}} \underbrace{c,t}_{\text{out}}, \forall p, t \quad (30)$$

Potencial suministro de generación

$$\text{genCC}_{p,t} = \sum_{\tau=t_1}^t \text{genCap}_{p,\tau}, \forall p, t \quad (31)$$

$$\text{genCap}_{p,t} \leq \text{Sup}_p - \sum_{\tau=t_0}^{t-1} \text{genCC}_{p,\tau}, \forall p, t \quad (32)$$

$$\text{genCap}_{p_{\text{on}},t} \geq x\text{Gen}_{p_{\text{on}},t} \cdot \text{MinSiz}_{p_{\text{on}}}, \forall p_{\text{on}} \quad (33)$$

$$\text{genCap}_{p_{\text{on}},t} \leq x\text{Gen}_{p_{\text{on}},t} \cdot \text{Sup}_{p_{\text{on}}}, \forall p_{\text{on}} \in p_{\text{on}}/P_{\text{os}} \quad (34)$$

$$\text{genCap}_{p_{\text{os}},t} \geq x\text{Gen}_{p_{\text{os}},t} \cdot \text{MaxSol}, \forall P_{\text{os}} \quad (35)$$

$$\sum_t x\text{Gen}_{p,t} \leq 1, \forall p_I \quad (36)$$

Generación de electricidad

$$\text{gen}_{p,t} \leq (\text{genCC}_{p,t} + \text{ExSup}_p) \cdot \text{CF}_p \cdot 8760 \cdot \frac{1000h}{a}, \forall p, t \quad (37)$$

Límites en las emisiones de gases de efecto invernadero

$$\sum_p \text{gen}_{p,t} \cdot \text{CO}_2 \text{Em}_p \leq \text{MaxEm}_t, \forall t \quad (38)$$

Capacidad de la línea de transmisión

$$\text{transCC}_{l,t} = \sum_{\tau=t_1}^t \text{transCap}_{l,\tau}, \forall l, t \quad (39)$$

$$\text{transCap}_{l_n,t} \geq x\text{Trans}_{l_n,t} \cdot \text{MinLine}, \forall l_n \quad (40)$$

$$\begin{aligned}
& \text{transCap}_{l_n,t} \\
& \leq x\text{Trans}_{l_n,t} \cdot \text{MaxLine} \\
& \cdot \max_t \left\{ \frac{\text{ERTarBus}_t \cdot \sum_c \text{DemBus}_{c,t} + \text{ErTar}_l \cdot \sum_c (\text{DemU}_{c,t} + \text{DemR}_{c,t})}{8760 \cdot \frac{1000h}{a} \cdot \text{CFTrans}} \right\}
\end{aligned} \tag{41}$$

$$\sum_t x\text{Trans}_{l_n,t} \leq 1, \forall l \tag{42}$$

Transmisión de electricidad

$$\text{trans}_{l,ld,t} \leq (\text{transCC}_{l,t} + \text{ExTr}_{l,t}) \cdot \text{CFTrans} 8760 \cdot \frac{1000h}{a}, \forall l, ld, t \tag{43}$$

Red interconectada

$$\sum_{\tau=t_1}^t x\text{Trans}_{l_n,\tau} \geq x\text{Gen}_{p_nG,t}, \quad \forall (p_nG, l_n) \in SP, t \tag{44}$$

Límite de capacidad de distribución entre regiones

$$\begin{aligned}
& \sum_1 \sum_{ld} \text{transd}_{l,ld,t} \cdot \text{EBIn}_{l,ld,c_n} \cdot \text{DLoss}_1 \cdot \text{ExTrD}_1 \\
& \quad - \sum_1 \sum_{ld} \text{transD}_{l,ld,t} \cdot \text{EBOut}_{l,ld,c_n} \cdot
\end{aligned} \tag{45}$$

$$\text{ExTrD}_1 = \text{disBus}_{c_n,t} + \text{disU}_{c_n,t} + \text{disR}_{c_n,t}, \forall c_n, t$$

$$\text{disBus}_{c_n,t} \cdot (1 - \text{DLossBus}_{c_n,t}) \leq \text{ExBus}_{c_n,t}, \forall c_n, t \tag{46}$$

$$\text{disU}_{c_n,t} (1 - \text{DLossU}_{c_n,t}) \leq \text{ExUOn}_{c_n,t}, \forall c_n, t \tag{47}$$

$$\text{disR}_{c_n,t} (1 - \text{DLossR}_{c_n,t}) \leq \text{ExRON}_{c_n,t}, \forall c_n, t \tag{48}$$

$$\text{transd}_{l,ld,t} \cdot \text{ExTr}_l = 0, \forall l, ld, t \tag{49}$$

$$\text{disBus}_{c,t} = 0, \forall c, t \tag{50}$$

$$\text{disU}_{c,t} = 0, \forall c, t \tag{51}$$

$$\text{disR}_{c,t} = 0, \forall c, t \tag{52}$$

Continuidad en la distribución de electricidad

$$elUOn_{c,t} \geq elUOn_{c,t-1}, \forall c, t \quad (53)$$

$$elROn_{c,t} \geq elROn_{c,t-1}, \forall c, t \quad (54)$$

$$elUOff_{c,t} \geq elUOff_{c,t-1}, \forall c, t \quad (55)$$

$$elROff_{c,t} \geq elROff_{c,t-1}, \forall c, t \quad (56)$$

Máxima generación de fuentes de energía volátil

$$MaxVol \cdot \sum_{P_{on}} (genCC_{p_{on},t} + ExSup_{p_{on},t}) \geq \sum_{P_{vol}} (genCC_{p_{vol},t} + ExSup_{p_{vol},t}), \forall t \quad (57)$$

Despliegue geográfico de plantas solares

$$genCC_{p,t} \leq MaxSol, \forall p \in P_{oS}, t \quad (58)$$

A.2. Modelo de Optimización (Nock et al., 2020)

$$\text{maximize } U(\mathbf{x}, \mathbf{p}) = \sum_{i \in \mathfrak{I}} u(x_i, p_i) = p_i \cdot \frac{\left(\frac{x_i}{p_i}\right)^{1-\alpha} - 1}{1-\alpha} = p_i \frac{(\rho^{1-\alpha} - 1)}{1-\alpha} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{(i,j) \in \mathfrak{E}} (C^{T,L} d_{i,j} e_{i,j}^L + c^{T,H} d_{i,j} e_{i,j}^H) + \sum_{i \in \mathfrak{I}, k \in \mathfrak{K}} (C_k^F G_{i,k} + C_k^V g_{i,k}) \leq B \quad (2)$$

$$x_i \leq g_i + \sum_{(j,i) \in \mathfrak{E}} f_{j,i} - \sum_{(i,j) \in \mathfrak{E}} f_{i,j}, \quad \forall i \in \mathfrak{I}, (i,j) \in \mathfrak{E} \quad (3)$$

$$e_{i,j}^L + e_{j,i}^L + e_{i,j}^H + e_{j,i}^H \leq 1, \forall (i,j) \in \mathfrak{E} \quad (4)$$

$$F_{i,j} = \gamma f_{i,j}, \forall (i,j) \in \mathfrak{E} \quad (5)$$

$$F_{i,j} \leq (T^L e_{i,j}^L + T^H e_{i,j}^H), \forall (i,j) \in \mathfrak{E} \quad (6)$$

$$F_{i,j} \geq -(T^L e_{i,j}^L + T^H e_{i,j}^H), \forall (i,j) \in \mathfrak{E} \quad (7)$$

$$g_i = \sum_{k \in \mathfrak{K}} g_{i,k}, \forall i \in \mathfrak{I}, k \in \mathfrak{K}_i \quad (8)$$

$$g_{i,k} \leq 8760 a f_k G_{i,k}, \forall i \in \mathfrak{I}, k \in \mathfrak{K}_i \quad (9)$$

$$G_{i,k} \geq m_k y_{i,k}, \forall i \in \mathfrak{I}, k \in \mathfrak{K}_i \quad (10)$$

$$G_{i,k} \leq M_k y_{i,k}, \forall i \in \mathfrak{I}, k \in \mathfrak{K}_i \quad (11)$$

$$x_i, g_{i,k} \geq 0, \forall i \in \mathfrak{I}, k \in \mathfrak{K}_i \quad (12)$$

$$C_k^F = C_{cap,k} \cdot CRF + C_{O\&M,k}^F \quad (14)$$

$$C_k^V = C_{O\&M,k}^V + (C_{fuel,k} HR_k) \quad (15)$$

$$CRF = \frac{r}{1 - (1+r)^{-\eta}} \quad (16)$$

$$Gini = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_i p_j |\rho_i - \rho_j|}{2(\sum_{i=1}^N p_i)(\sum_{i=1}^N p_i \rho_i)} \quad (17)$$

Aproximación lineal por partes

$$f(\rho) = \begin{cases} b_1 + \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1}(\rho - a_1), & \text{si } \rho \leq a_1 \\ b_i + \frac{b_{i+1} - b_i}{a_{i+1} - a_i}(\rho - a_i), & \text{si } \rho \geq a_i, \text{ y } \rho \leq a_{i+1} \\ b_n + \frac{b_n - b_{n-1}}{a_n - a_{n-1}}(\rho - a_n), & \text{si } \rho \geq a_n \end{cases}$$

A.3. Ajuste a los precios por pobreza (Menghwani et al., 2020)

$$\text{Revenue} = \sum(\text{Price}_i \cdot \text{Consumption}_i)$$

$$\text{NonPoorPop}_i = (1 - r_i) \cdot \text{Pop}_i$$

$$\text{PovAdjPrice}_i = \frac{\text{Revenue} \cdot \frac{\text{NonPoorPop}_i}{\sum \text{NonPoorPop}_i}}{\text{Consumption}_i}$$

$$\text{Price}_i = \text{Precio de la electricidad en la ubicación } j \left[\frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right]$$

$$\text{Consumption}_i = \text{Consumo anual de electricidad en la ubicación } j [\text{kWh}]$$

$$r_i = \text{Tasa de pobreza en la ubicación } i$$

$$\text{Pop}_i = \text{Población total en la ubicación } i$$

$$\text{NonPoorPop}_i = \text{Población no pobre en la ubicación } i$$

$$\text{PovAdjPrice}_i = \text{Precio de la electricidad después del ajuste por pobreza en } j \left[\frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right]$$

Bibliografía

Arler, F., Sperling, K., & Borch, K. (2023). Landscape Democracy and the Implementation of Renewable Energy Facilities. *Energies*, 16(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/en16134997>

Auer, H., Crespo del Granado, P., Oei, P.-Y., Hainsch, K., Löffler, K., Burandt, T., Huppmann, D., & Grabaak, I. (2020). Development and modelling of different decarbonization scenarios of the European energy system until 2050 as a contribution to achieving the ambitious 1.5 °C climate target—Establishment of open source/data modelling in the European H2020 project openENTRANCE. *E & i Elektrotechnik Und Informationstechnik*, 137(7), 346-358. <https://doi.org/10.1007/s00502-020-00832-7>

Baker, E., Carley, S., Castellanos, S., Nock, D., Bozeman, J. F., Konisky, D., Monyei, C. G., Shah, M., & Sovacool, B. (2023). Metrics for Decision-Making in Energy Justice. *Annual Review of Environment and Resources*, 48(1), 737-760. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-063400>

Baker, E. D. (2022). A just energy transition requires research at the intersection of policy and technology. *PLOS Climate*, 1(10), e0000084. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000084>

Baker, S., DeVar, S., & Prakash, S. (2019). *The Energy Justice Workbook*. Initiative for Energy Justice. <https://iejusa.org/wp-content/uploads/2019/12/The-Energy-Justice-Workbook-2019-web.pdf>

Barlow, J., Tapio, R., & Tarekegne, B. (2022). Advancing the state of energy equity metrics. *The Electricity Journal*, 35(10), 107208. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2022.107208>

Bateman, A., Castañeda, C., Cortés, S., Echeverry, L., Franco, P., Duran, I., Guerrero, R., & Restrepo, D. (2011). *ESTUDIO DE USUARIOS SIN SERVICIO POR MOROSIDAD DE LOS NEGOCIOS DE AGUAS, ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS NATURAL PARA IDENTIFICAR ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS DE ORDEN NACIONAL, REGIONAL Y LOCAL*.

Beyleveld, A. (2023). Energy Justice and Energy Law. *South African Journal of International Affairs*, 30(2), 321-322. <https://doi.org/10.1080/10220461.2023.2225491>

Boardman, B. (2004). New directions for household energy efficiency: Evidence from the UK. *Energy Policy*, 32(17), 1921-1933. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.021>

Bouzarovski, S., Thomson, H., & Cornelis, M. (2021). Confronting Energy Poverty in Europe: A Research and Policy Agenda. *Energies*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/en14040858>

Boyle, E. (2023). Rethinking energy studies: Equity, energy and Ivan Illich (1926–2002). *Energy Research & Social Science*, 95, 102903. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102903>

Calliope. (s. f.). Recuperado 4 de diciembre de 2023, de <https://www.callio.pe/>

Chen, C., Dietz, T., Fefferman, N. H., Greig, J., Cetin, K., Robinson, C., Arpan, L., Schweiker, M., Dong, B., Wu, W., Li, Y., Zhou, H., Wu, J., Wen, J., Fu, J. S., Hong, T., Yan, D., Nelson, H., Zhu, Y., ... Fu, R. (2022). Extreme events, energy security and equality through micro- and macro-levels: Concepts, challenges and methods. *Energy Research & Social Science*, 85, 102401. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102401>

CREG. (2001). *Alejandría—Resolución 120 de 2001 CREG*. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0120_2001.htm#2

Dalla Fontana, M., Wahl, D., Moreira, F. de A., Offermans, A., Ness, B., Malheiros, T. F., & Di Giulio, G. M. (2021). The Five Ws of the Water-Energy-Food Nexus: A Reflexive Approach to Enable the Production of Actionable Knowledge. *Frontiers in Water*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2021.729722>

De Nigris, M., & Giuliano, F. (2023). The Role of Organised Civil Society in the Implementation of the Renewable Energy Transition and Renewable Energy Communities: A Qualitative Assessment. *Energies*, 16(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en16104122>

Dong, K., Yang, S., Wang, J., & Dong, X. (2023). Revisiting energy justice: Is renewable energy technology innovation a tool for realizing a just energy system? *Energy Policy*, 183, 113820. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113820>

Dorman, D. R., & Ciplet, D. (2022). Sustainable Energy for All? Assessing Global Distributive Justice in the Green Climate Fund's Energy Finance. *Global Environmental Politics*, 22(1), 94-116. https://doi.org/10.1162/glep_a_00621

Drechsler, M., Egerer, J., Lange, M., Masurowski, F., Meyerhoff, J., & Oehlmann, M. (2017). Efficient and equitable spatial allocation of renewable power plants at the country scale. *Nature Energy*, 2(9), 1-9. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.124>

Drehobl, A., Ross, L., & Ayala, R. (2020). How High Are Household Energy Burdens? An Assessment of National and Metropolitan Energy Burdens across the U.S. *American Council for an Energy-Efficient Economy*. <https://www.aceee.org/research-report/u2006>

Energy justice: Who gets listened to? | Erin Baker | TEDxAmherst—YouTube. (s. f.). Recuperado 23 de noviembre de 2023, de https://www.youtube.com/watch?v=9gUYvq_AjWg&themeRefresh=1

Fang, M., Njangang, H., Padhan, H., Simo, C., & Yan, C. (2023). Social media and energy justice: A global evidence. *Energy Economics*, 125, 106886. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106886>

Furszyfer Del Rio, J., Furszyfer Del Rio, D. D., Sovacool, B. K., & Griffiths, S. (2023). The demographics of energy and mobility poverty: Assessing equity and justice in Ireland, Mexico, and the United Arab Emirates. *Global Environmental Change*, 81, 102703. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102703>

Galeano Marín, M. E. (2010). *Desafíos metodológicos y éticos de la investigación social*. Universidad de Antioquia, Facultad de Enfermería, Grupo de Investigación Políticas Sociales y Servicios de Salud. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/19572>

Gatto, A., & Busato, F. (2020). Energy vulnerability around the world: The global energy vulnerability index (GEVI). *Journal of Cleaner Production*, 253, 118691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118691>

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>

Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 281-291. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>

Govindarajan, H. K., & Ganesh, L. S. (2022). Integrating energy governance and environmental justice: Role of renewable energy. *Renewable Energy Focus*, 43, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.08.006>

Grant, A., Millward, A. A., Edge, S., Roman, L. A., & Teelucksingh, C. (2022). Where is environmental justice? A review of US urban forest management plans. *Urban Forestry & Urban Greening*, 77, 127737. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127737>

Guayo, I. del, Godden, L., Zillman, D. D., Montoya Pardo, M. F., & González Márquez, J. J. (2020). *Energy justice and energy law*. Oxford University Press. <https://libproxy.berkeley.edu/login?qurl=https%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1093%2Foso%2F9780198860754.001.0001>

Guía para la Construcción y Análisis de Indicadores. (2018). https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Guia_para_elaborar_Indicadores.pdf

Guruswamy, L. (2010). Energy Justice and Sustainable Development. *Colorado Journal of International Environmental Law and Policy*. <https://scholar.law.colorado.edu/faculty-articles/231>

Hamann, R., Rennkamp, B., Kruger, W., & Musango, J. K. (2023). Corruption Undermines Justice in Clean Energy Transitions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 65(4), 5-9. <https://doi.org/10.1080/00139157.2023.2205345>

Heffron, R. J., & McCauley, D. (2017). The concept of energy justice across the disciplines. *Energy Policy*, 105, 658-667. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.018>

Heffron, R. J., McCauley, D., & de Rubens, G. Z. (2018). Balancing the energy trilemma through the Energy Justice Metric. *Applied Energy*, 229, 1191-1201. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.073>

Heffron, R. J., McCauley, D., & Sovacool, B. K. (2015a). Resolving society's energy trilemma through the Energy Justice Metric. *Energy Policy*, 87, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.033>

Heffron, R. J., McCauley, D., & Sovacool, B. K. (2015b). Resolving society's energy trilemma through the Energy Justice Metric. *Energy Policy*, 87, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.033>

Hennessy, E. M., & Syal, S. M. (2023). Assessing justice in California's transition to electric vehicles. *iScience*, 26(7), 106856. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106856>

Hernández, D., Yoon, L., & Simcock, N. (2022). Basing "Energy Justice" on Clear Terms: Assessing Key Terminology in Pursuit of Energy Justice. *Environmental Justice*, 15(3), 127-138. <https://doi.org/10.1089/env.2021.0049>

Iles, A. (2013). Choosing Our Mobile Future: The Degrees of Just Sustainability in Technological Alternatives. *Science as Culture*, 22(2), 164-171. <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786988>

Irving Institute (Director). (2022, enero 3). *Energy 101: Energy Justice (Week 1, Video 3)*. <https://www.youtube.com/watch?v=9Bb25ZsaIzU>

Jenkins, K. (2018). Setting energy justice apart from the crowd: Lessons from environmental and climate justice. *Energy Research & Social Science*, 39, 117-121. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.015>

Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H., & Rehner, R. (2016). Energy justice: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 11, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004>

Jessel, S., Sawyer, S., & Hernández, D. (2019). Energy, Poverty, and Health in Climate Change: A Comprehensive Review of an Emerging Literature. *Frontiers in Public Health*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2019.00357>

Jimenez, L. F. A. (2017). *Caracterización de la morosidad de energía eléctrica según el tipo de cliente: Caso Bogotá (2010-2017) Estudio para el departamento de cobranza de energía eléctrica de Codensa S.A Practica investigativa Codensa S.A.*

Kambule, N., & Nwulu, N. (2021). Prepaid Electricity Meters and Energy Poverty—Lessons from South Africa. En N. Kambule & N. Nwulu (Eds.), *The Deployment of Prepaid Electricity Meters in Sub-Saharan Africa: Riding the Fourth Industrial Wave* (pp. 55-76). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71217-4_4

Keeney, R. (1996). *Value-Focused Thinking: A path to creative Decisionmaking*. Harvard University Press. <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674931985>

Krumm, A., Süsser, D., & Blechinger, P. (2022). Modelling social aspects of the energy transition: What is the current representation of social factors in energy models? *Energy*, 239, 121706. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121706>

Lacey-Barnacle, M., Robison, R., & Foulds, C. (2020). Energy justice in the developing world: A review of theoretical frameworks, key research themes and policy implications. *Energy for Sustainable Development*, 55, 122-138. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.01.010>

Laird, F. N. (2013). Against Transitions? Uncovering Conflicts in Changing Energy Systems. *Science as Culture*, 22(2), 149-156. <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786992>

Larcom, S., & van Gevelt, T. (2017). Regulating the water-energy-food nexus: Interdependencies, transaction costs and procedural justice. *Environmental Science & Policy*, 72, 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.03.003>

Lee, J., & Byrne, J. (2019). Expanding the Conceptual and Analytical Basis of Energy Justice: Beyond the Three-Tenet Framework. *Frontiers in Energy Research*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2019.00099>

Levenda, A. M., Behrsin, I., & Disano, F. (2021). Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies. *Energy Research & Social Science*, 71, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101837>

Li, Y., & Zhang, R. (2023). A Review of Water-Energy-Food Nexus Development in a Just Energy Transition. *Energies*, 16(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/en16176253>

Löffler, K., Hainsch, K., Burandt, T., Oei, P.-Y., Kemfert, C., & Von Hirschhausen, C. (2017). Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). *Energies*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en10101468>

Lombardi, F., Pickering, B., Colombo, E., & Pfenninger, S. (2020). Policy Decision Support for Renewables Deployment through Spatially Explicit Practically Optimal Alternatives. *Joule*, 4(10), 2185-2207. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.08.002>

Lombardi, F., Rocco, M. V., & Colombo, E. (2019). A multi-layer energy modelling methodology to assess the impact of heat-electricity integration strategies: The case of the residential cooking sector in Italy. *Energy*, 170, 1249-1260. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.004>

Lopera, M. T. (2000). *JUSTICIA DISTRIBUTIVA ¿LEGITIMIDAD O CONSENSO?* https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/26129/6/LoperaMar%C3%ADa_1993_JusticiaDistributivaLegitimidad.pdf

López, Y. M. (2012). La verdad y la justicia premial en el proceso penal colombiano. *Estudios de Derecho*, 69(153), Article 153. <https://doi.org/10.17533/udea.esde.14146>

Los baches en la transición energética. (s. f.). IMF. Recuperado 24 de noviembre de 2023, de <https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2022/12/bumps-in-the-energy-transition-yergin>

Martiskainen, M., Sovacool, B. K., Lacey-Barnacle, M., Hopkins, D., Jenkins, K. E. H., Simcock, N., Mattioli, G., & Bouzarovski, S. (2021). New Dimensions of Vulnerability to Energy and Transport Poverty. *Joule*, 5(1), 3-7. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.11.016>

McCauley, D. A., Heffron, R. J., Stephan, H., & Jenkins, K. (2013). Advancing Energy Justice: The Triumvirate of Tenets. *International Energy Law Review*, 32(3), 107-110.

McGee, J. A., & Greiner, P. T. (2019). Renewable energy injustice: The socio-environmental implications of renewable energy consumption. *Energy Research & Social Science*, 56, 101214. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.024>

Menghwani, V., Zerriffi, H., Korkovelos, A., Khavari, B., Sahlberg, A., Howells, M., & Mentis, D. (2020). Planning with justice: Using spatial modelling to incorporate justice in electricity pricing – The case of Tanzania. *Applied Energy*, 264, 114749. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114749>

Metodología y datos—Climate & Economic Justice Screening Tool. (2023). <https://screeningtool.geoplatform.gov/es/methodology#3/33.47/-97.5>

Miller, C. A., & Richter, J. (2014). Social Planning for Energy Transitions. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 1(3), 77-84. <https://doi.org/10.1007/s40518-014-0010-9>

Minenergia. (2022). *El Gobierno le sigue cumpliendo a las regiones. Ya van más de 48.000 familias en municipios PDET que tienen acceso al servicio de energía eléctrica.* Minenergia. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/el-gobierno-le-sigue-cumpliendo-a-las-regiones-ya-van-m%C3%A1s-de-48000-familias-en-municipios-pdet-que-tienen-acceso-al-servicio-de-energ%C3%ADa-el%C3%A9ctrica/>

Minenergia. (2023). *Programa de Normalización de Redes Eléctricas – PRONE.* <https://www.minenergia.gov.co/es/servicio-al-ciudadano/foros/programa-de-normalizaci%C3%B3n-de-redes-el%C3%A9ctricas-prone/>

Monyei, C. G., Jenkins, K., Serestina, V., & Adewumi, A. O. (2018). Examining energy sufficiency and energy mobility in the global south through the energy justice framework. *Energy Policy*, 119, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.026>

Moreno-Monsalve, N. A., Ariza Aguilera, D. A., Delgado-Ortiz, S. M., Diez-Silva, H. M., Macgregor Quintero, I. P., Rivera Forero, J., Sánchez Ayala, L. M., Vargas Walteros, C., & Zuluaga Muñoz, W. (2022). *La gestión de proyectos: Un análisis desde el marco de la sostenibilidad* (1.^a ed.). Universidad EAN. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/12299>

Neumann, F. (2021). Costs of regional equity and autarky in a renewable European power system. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100652. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100652>

Nock, D., Levin, T., & Baker, E. (2020). Changing the policy paradigm: A benefit maximization approach to electricity planning in developing countries. *Applied Energy*, 264, 114583. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114583>

Osička, J., Szulecki, K., & Jenkins, K. E. H. (2023). Energy justice and energy democracy: Separated twins, rival concepts or just buzzwords? *Energy Research & Social Science*, 104, 103266. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103266>

O'Sullivan, K. C., Howden-Chapman, P. L., & Fougere, G. (2011). Making the connection: The relationship between fuel poverty, electricity disconnection, and prepayment metering. *Energy Policy*, 39(2), 733-741. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.046>

Pachauri, S., & Spreng, D. (2011). Measuring and monitoring energy poverty. *Energy Policy*, 39(12), 7497-7504. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.008>

Partridge, T. (2022). Energy from the Perspective of Environmental Justice. En T. Partridge (Ed.), *Energy and Environmental Justice: Movements, Solidarities, and Critical Connections* (pp. 1-45). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09760-7_1

Pedersen, T. T., Victoria, M., Rasmussen, M. G., & Andresen, G. B. (2021). Modeling all alternative solutions for highly renewable energy systems. *Energy*, 234, 121294. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121294>

Pellegrini-Masini, G., Pirni, A., & Maran, S. (2020). Energy justice revisited: A critical review on the philosophical and political origins of equality. *Energy Research & Social Science*, 59, 101310. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101310>

Perez-Sindin, X. S., Lee, J., & Nielsen, T. (2022). Exploring the spatial characteristics of energy injustice: A comparison of the power generation landscapes in Spain, Denmark, and South Korea. *Energy Research & Social Science*, 91, 102682. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102682>

Perger, T., & Auer, H. (2022). Dynamic participation in local energy communities with peer-to-peer trading [version 1; peer review: 2 approved, 2 approved with reservations]. *Open Research Europe*, 2(5). <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14332.1>

Perger, T., Wachter, L., Fleischhacker, A., & Auer, H. (2021). PV sharing in local communities: Peer-to-peer trading under consideration of the prosumers' willingness-to-pay. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102634. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102634>

Ribotta, S. (2012). Nueve conceptos clave para leer la teoría de la justicia de Rawls. *Anuario de filosofía del derecho*, 28, 207-237.

Romero-Lankao, P., & Nobler, E. (2021). Energy Justice: Key Concepts and Metrics Relevant to EERE Transportation Projects. *Renewable Energy*.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Co. <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht000345674.pdf>

Salter, R., Gonzalez, C. G., & Kronk Warner, E. A. (2018). *Energy justice: US and international perspectives/ edited by Raya Salter, Carmen G. Gonzalez, Elizabeth Ann Kronk Warner*. Edward Elgar Publishing Limited.

Sarkodie, S. A., & Adams, S. (2020). Electricity access, human development index, governance and income inequality in Sub-Saharan Africa. *Energy Reports*, 6, 455-466. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.02.009>

Sayan, R. C. (2019). Exploring place-based approaches and energy justice: Ecology, social movements, and hydropower in Turkey. *Energy Research & Social Science*, 57, 101234. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101234>

Schlör, H., Fischer, W., & Hake, J.-F. (2013). Sustainable development, justice and the Atkinson index: Measuring the distributional effects of the German energy transition. *Applied Energy*, 112, 1493-1499. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.020>

Schlosberg, D. (2007). *Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature*.

SEI. (2023). *Alianza WEF-NEXUS lidera proyectos para la sostenibilidad ambiental en Colombia*. SEI. <https://www.sei.org/projects/alianza-wef-nexus-lidera-proyectos-para-la-sostenibilidad-ambiental-en-colombia/>

Semana. (2022, marzo 25). *EPM alcanzó 300 mil usuarios de energía prepago, ¿cómo funciona este servicio?* Semana.com Últimas Noticias de Colombia y el Mundo. <https://www.semana.com/economia/empresas/articulo/epm-alcanzo-300-mil-usuarios-de-energia-prepago-como-funciona-este-servicio/202239/>

Shabliy, E. V., Crawford, M. J., & Kurochkin, D. (Eds.). (2022). *Energy Justice: Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-93068-4>

Siciliano, G., Wallbott, L., Urban, F., Dang, A. N., & Lederer, M. (2021). Low-carbon energy, sustainable development, and justice: Towards a just energy transition for the society and the environment. *Sustainable Development*, 29(6), 1049-1061. <https://doi.org/10.1002/sd.2193>

Soares, R. S., Weiss, M., Lampis, A., Bermann, C., & Hallack, M. C. M. (2023). *Pobreza energética en los hogares y su relación con otras vulnerabilidades en América Latina: El caso de Argentina, Brasil, Colombia, Perú y Uruguay*. <https://doi.org/10.18235/0004702>

Sojo, G. G. (2022, octubre 20). 5 cifras sobre la energía eléctrica en Colombia: Lo que los ciudadanos pierden las empresas ganan. CELAG. <https://www.celag.org/5-cifras-sobre-la-energia-electrica-en-colombia-lo-que-los-ciudadanos-pierden-las-empresas-ganas/>

Song, L., Fu, Y., Zhou, P., & Lai, K. K. (2017). Measuring national energy performance via Energy Trilemma Index: A Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis. *Energy Economics*, 66, 313-319. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.07.004>

Sovacool, B. K., Ali, S. H., Bazilian, M., Radley, B., Nemery, B., Okatz, J., & Mulvaney, D. (2020). Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. *Science*, 367(6473), 30-33. <https://doi.org/10.1126/science.aaz6003>

Sovacool, B. K., & Dworkin, M. H. (2015). Energy justice: Conceptual insights and practical applications. *Applied Energy*, 142, 435-444. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.002>

Stephens, J. C. (2019). Energy Democracy: Redistributing Power to the People Through Renewable Transformation. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 61(2), 4-13. <https://doi.org/10.1080/00139157.2019.1564212>

Sun, Y., Wang, J., Wang, X., & Wei, X. (2023). Achieving energy justice and common prosperity through green energy resources. *Resources Policy*, 81, 103427. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103427>

Surovtsev, V., & Syrov, V. (2015). Outlooks of J. Rawls's Theory of Justice. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 166, 176-181. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.506>

Sussex, U. (2021, agosto 24). What is energy justice? - University of Sussex. *What Is Energy Justice? - University of Sussex*. <https://study-online.sussex.ac.uk/news-and-events/what-is-energy-justice/>

Szép, T., Tóth, G., & LaBelle, M. C. (2022). Farewell to the European Union's east-west divide: Decoupling energy lifts the well-being of households, 2000-2018. *Regional Statistics*, 12(3), 159-190. <https://doi.org/10.15196/RS120307>

Taebi, B., Kwakkel, J. H., & Kermisch, C. (2020). Governing climate risks in the face of normative uncertainties. *WIREs Climate Change*, 11(5), e666. <https://doi.org/10.1002/wcc.666>

Thompson, S. (2023). Strategic Analysis of the Renewable Electricity Transition: Power to the World without Carbon Emissions? *Energies*, 16(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/en16176183>

Trotter, P. A., Cooper, N. J., & Wilson, P. R. (2019). A multi-criteria, long-term energy planning optimisation model with integrated on-grid and off-grid electrification – The case of Uganda. *Applied Energy*, 243, 288-312. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.178>

Tzoumis, K., & Boyer, C. (2022). The Forgotten Impacts of Waste Disposal and Intergenerational Justice. En E. V. Shabliy, M. J. Crawford, & D. Kurochkin (Eds.), *Energy Justice: Climate Change Mitigation and Adaptation* (pp. 21-45). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93068-4_2

UN. (2023). Peace, justice and strong institutions. *United Nations Sustainable Development*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/peace-justice/>

UTADEO. (2023). *Colombia Water-Energy-Food Nexus Alliance*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. <https://www.utadeo.edu.co/noticia/novedades/cooperacion-nacional-e-internacional/93196/colombia-water-energy-food-nexus-alliance>

Van Uffelen, N., Taebi, B., & Pesch, U. (2024). Revisiting the energy justice framework: Doing justice to normative uncertainties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113974. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113974>

Van Veelen, B. (2018). Negotiating energy democracy in practice: Governance processes in community energy projects. *Environmental Politics*, 27(4), 644-665. <https://doi.org/10.1080/09644016.2018.1427824>

van Veelen, B., & van der Horst, D. (2018). What is energy democracy? Connecting social science energy research and political theory. *Energy Research & Social Science*, 46, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.010>

Volodzkiene, L., & Streimikiene, D. (2023a). Energy Inequality Indicators: A Comprehensive Review for Exploring Ways to Reduce Inequality. *Energies*, 16(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/en16166075>

Volodzkiene, L., & Streimikiene, D. (2023b). Energy Inequality Indicators: A Comprehensive Review for Exploring Ways to Reduce Inequality. *Energies*, 16(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/en16166075>

VOSviewer—Visualizing scientific landscapes. (2023). VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>

Wagner, O., & Wiegand, J. (2018). Prepayment metering: Household experiences in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98, 407-414. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.025>

Wang, J., Wang, K., Dong, K., & Shahbaz, M. (2022). How does the digital economy accelerate global energy justice? Mechanism discussion and empirical test. *Energy Economics*, 114, 106315. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106315>

World Energy Trilemma Index. (2023). World Energy Council. <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>

Yllescas, A. (2023, septiembre 15). Justice In 100 Report. *Initiative for Energy Justice*. <https://iejusa.org/jin100report/>

Zaman, R., van Vliet, O., & Posch, A. (2021). Energy access and pandemic-resilient livelihoods: The role of solar energy safety nets. *Energy Research & Social Science*, 71, 101805. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101805>

Zhao, J., Dong, K., Dong, X., & Shahbaz, M. (2022). How renewable energy alleviate energy poverty? A global analysis. *Renewable Energy*, 186, 299-311. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.005>

Zillman, E. by D., Godden, L., Paddock, L., & Roggenkamp, and M. (Eds.). (2018). *Innovation in Energy Law and Technology: Dynamic Solutions for Energy Transitions*. Oxford University Press.