

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/382588519>

Bioenergía, paradojas y dilemas de una fuente de energía prometedora

Article in International Journal of Science and Research Archive · July 2024

CITATIONS

0

READS

83

1 author:



Olga Lucía Castillo

30 PUBLICATIONS 98 CITATIONS

SEE PROFILE

Bioenergía, paradojas y dilemas de una fuente de energía alternativa prometedora¹

O.L. Castillo

Colectivo 'Futuro-Presente' – Organización de la Sociedad Civil, Colombia

Resumen

La producción de energía que mueve al mundo proviene en su gran mayoría de fuentes fósiles, aunque la proporción de energía renovable va aumentando. Según informes de las principales instituciones de energías renovables, las fuentes a partir de las cuales se genera esta energía renovable son la hidroeléctrica con el mayor porcentaje (41,2%), seguida de la solar con 31,2%, la eólica con 26,4%, la bioenergía con 4,5%, la geotérmica con 0,4%, y la que proviene de las mareas con un porcentaje mínimo del 0,02 %. Aunque la bioenergía se sitúa como otra de las energías renovables prometedoras, todavía muestra un porcentaje muy bajo. Sin embargo, una de sus características es que, al contar con la biomasa como la principal fuente de bioenergía, es la fuente de energía renovable con mayor variedad de insumos; por ejemplo, biogás de vertederos o procesos térmicos, biocombustibles sólidos de madera, residuos municipales y desechos de cultivos o animales, y biocombustibles líquidos de bio-gasolina convencional y avanzada y biodiesel, entre otros.

De allí que el propósito de este artículo haya sido analizar el uso de la bioenergía en algunos países latinoamericanos, ofreciendo una reflexión general sobre esta región, así como algunas de las diversas caras de la injusticia energética y también los avances que las fuentes de bioenergía podrían ofrecer. Entonces, la estructura de este artículo es la siguiente: primero, se ofrecen algunos datos generales relacionados con uno de sus insumos, es decir, el creciente problema de la producción de basura. Luego, se ofrece una breve descripción de los avances de la bioenergía en algunos países de América Latina, para cerrar con la identificación de algunos desafíos a abordar dentro del ámbito de la bioenergía y con algunas conclusiones.

Palabras clave: Bioenergía; Basura; Justicia Energética; Bioenergía en América Latina

1. Introducción

La producción energética que aún mueve al mundo proviene en su gran mayoría de fuentes fósiles, desde el carbón (35,4%), el gas natural (22,7%), la energía nuclear (9,5%), otras fuentes fósiles menores (0,9%) y la energía hidroeléctrica (14,9%), lo que suma 83,1% frente a sólo 14,4% de las energías renovables que produjeron un total de 29.165,2 TW/hora de electricidad en 2022 [1].

¹ Esta es la versión en español del artículo 'Bioenergy: Paradoxes and dilemmas of a promising energy alternative', publicado en inglés en International Journal of Science and Research Archive, 2024, 12(01), 2845–2856, de mi autoría, Olga Lucía Castillo.

Vale la pena aclarar que algunos argumentos medioambientales todavía no aceptan que la energía hidroeléctrica se ubique indiscutiblemente entre las energías renovables. "Hay varios tipos de instalaciones hidroeléctricas y todas funcionan con la energía cinética del agua que fluye a medida que avanza río abajo. Las turbinas y los generadores capturan y convierten esa energía en electricidad, que luego se inyecta en la red eléctrica. La cantidad de agua en sí no se reduce, ni se consume en el proceso, y debido a que esta hace parte de un sistema natural interminable que se recarga constantemente, la Agencia de Protección Ambiental define la energía hidroeléctrica como una energía renovable. Pero no todos la consideran renovable, dice John Seebach, director senior de gestión de ríos federales del grupo conservacionista American Rivers: 'La reticencia a considerar la energía hidroeléctrica como energía renovable se basa en el impacto de las represas sobre la pesca y los flujos de agua", también en las zonas de desove, ya que los embalses de las presas impactan en los flujos, las temperaturas y las cargas de sedimentos de los ríos y arroyos. A lo largo de los años, estos factores han reducido drásticamente las poblaciones de peces' " (Cournoyer, 2013: 1)].

Pero, si aún conociendo las objeciones al respecto, la incluimos en los cálculos como lo hace la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), tenemos que la capacidad instalada de energías renovables, es decir, la capacidad máxima de generación neta alcanzó un total global de 3.381.758 MW al cierre de 2022, es decir, 291.774 MW más que en 2021. De este total, Asia tiene prácticamente la mitad, el 48%, Europa el 21%, Norteamérica el 14%, Sudamérica el 8%, Eurasia el 4%, Centroamérica. América y el Caribe 2%, África 2%, Oceanía 2% y Medio Oriente 1% (cálculos propios basados en IRENA, 2023 – Los cálculos de la autora ubican a México en Centroamérica).

Además de las objeciones ya mencionadas sobre la energía hidráulica, es importante recordar que los datos que ofrece IRENA diferencian entre la energía hidráulica que se produce en plantas mixtas, es decir, aquellas en las que el proceso de producción requiere el consumo de energía fósil y aquellas en las que no es así, lo que añade un argumento más en contra de considerar toda la producción hidroeléctrica como energía renovable. Y las fuentes a partir de las cuales se generó esta energía renovable son la hidroeléctrica con el mayor porcentaje de lejos, 41,2%, seguida de la solar 31,2%, la eólica 26,4%, la bioenergía 4,5%, la geotérmica 0,4% y las mareas con un porcentaje mínimo del 0,02%. [2]. Ya sea que la hidroelectricidad se incluya o no como energía renovable, la bioenergía se sitúa como otra de las energías renovables prometedoras, pero todavía con un porcentaje muy bajo.

No obstante, el que la biomasa sea la principal fuente de la bioenergía hace de este tipo de energía renovable la de mayor variedad de insumos, por ejemplo, biogás de vertederos o procesos térmicos, biocombustibles sólidos de madera, residuos municipales y desechos de cultivos o animales, y biocombustibles líquidos de biogasolina convencional y avanzada y biodiesel, entre otros.

2. Materiales y métodos

2.1. Biomasa y Bioenergía

La bioenergía se refiere al uso de biomasa para generar energía térmica y eléctrica específicamente; la biomasa, su insumo, a diferencia de todas las fuentes de energía renovables mencionadas hasta ahora, tiene una serie de características que la diferencian sustancialmente de las demás. Por ejemplo, a diferencia del agua, el sol y el viento, que son los principales insumos que la naturaleza ofrece directamente en forma de energía hídrica, solar y eólica respectivamente, la bioenergía tiene entre sus principales insumos no uno, sino una gran variedad de elementos. Los cuales, además, son en su mayoría producidos y/o transformados por el ser humano. Según el tipo de biomasa, sus principales categorías son: biomasa forestal (por ejemplo, bosques y residuos y desechos de madera), biomasa agrícola (por ejemplo, cultivos energéticos y residuos y desechos agrícolas), biomasa ganadera (por ejemplo, desechos animales), biomasa industrial- (restos y desechos de biocombustibles líquidos, y desechos y desechos orgánicos) y domésticos (restos y desechos orgánicos, madera, papel, agrícolas, ganaderos, grasas y aceites comestibles y desechos humanos, entre otros). Dependiendo de su uso, directo o indirecto, la bioenergía se puede clasificar, además, en: bioenergía tradicional que proviene directamente de biomasa leñosa (como leña o carbón vegetal) y estiércol; biocombustibles procedentes de cultivos energéticos, como algunos cultivos alimentarios (por ejemplo, trigo, caña de azúcar, maíz y palma aceitera) y cultivos no alimentarios como la jatrofa, utilizados principalmente como medios de transporte; y bioenergía que proviene indirectamente de subproductos y residuos orgánicos y de residuos agrícolas y forestales (por ejemplo, rastrojos y aserrín).

La biomasa también forma parte del conjunto de las energías renovables porque la cantidad de CO₂ que se libera al aire durante el proceso de combustión de la madera y todos los insumos de origen vegetal es equivalente al absorbido por la planta durante su crecimiento. De ahí que la bioenergía cuente con la mayor fuente de energía renovable a nivel global, aunque a pesar de su enorme potencial represente actualmente un porcentaje muy bajo tanto en la capacidad instalada (4,5% del total global en 2022), como en la producción de electricidad (7,8% del total global en 2021) en la mayoría de las regiones del mundo. En términos de regiones geográficas, la distribución de la infraestructura y la producción de bioenergía a nivel global es actualmente bastante desigual (Tabla 1).

Entre los factores que han contribuido a su bajo desarrollo está la enorme dificultad para obtener datos estadísticos oportunos y completos, tanto a nivel nacional como local, debido a los altos niveles de informalidad de muchos de sus procesos, lo que a su vez dificulta la crear conciencia pública sobre el problema de los residuos y la basura, entre varios otros asociados a ellos [3].

Sin embargo, hay razones para tener buenas expectativas en torno a que la bioenergía suministre grandes cantidades de energía neutra en CO₂ para el futuro, ya que puede suministrar: “i) el uso de combustibles con baja intensidad de carbono para aviones, barcos y otras formas de transporte; ii) sustituir el gas natural en aplicaciones específicas por biometano renovable para

proporcionar calefacción y electricidad; y iii) ofrecer soluciones de cocina limpia a 2.600 millones de personas que, en 2021, todavía carecían de ellas” (AIE, 2023a: 18).

Tabla 1 – Bioenergía: Capacidad Instalada y Producción Eléctrica (Regiones del mundo 2022 and 2021 - % sobre el total global)

Regiones	Capacidad Instalada (MW) %, 2022	Producción Eléctrica (GWh) %, 2021
África	1	1
Asia	43	38
Eurasia	2	1
Europa	28	35
Norte América	10	11
Oceanía	1	1
Medio Este	0,1	0,1
Centro América & Caribe	2	2
Sur América	14	12

Fuente: cálculos propios basados en IRENA, 2023

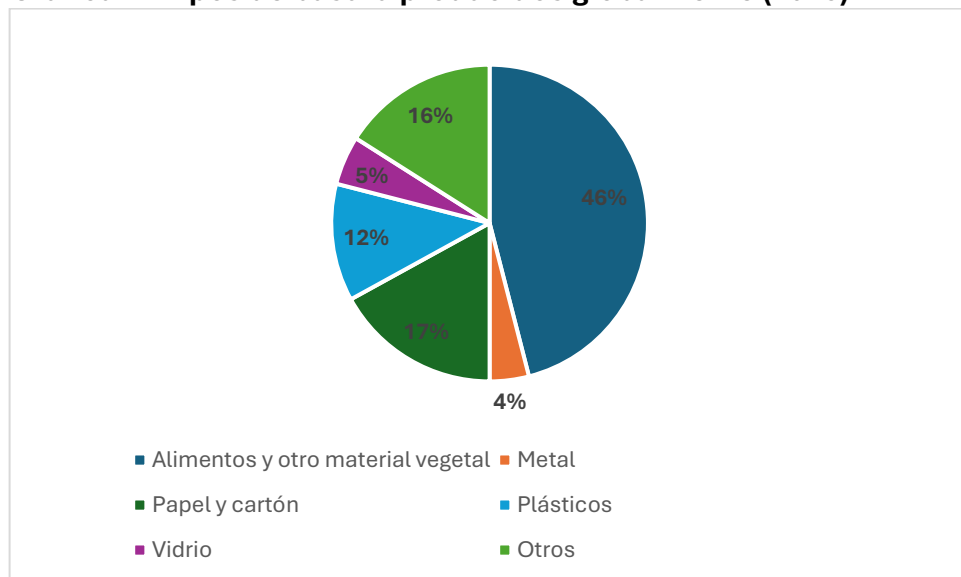
2. Resultados y discusión

Dado que uno de los insumos de la bioenergía es la basura que producimos, es importante recordar que el mundo genera 2010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales anualmente; para tener una mejor idea de esta cantidad, si todos estos residuos se echaran en camiones, darían la vuelta al mundo 24 veces, y estos cálculos no cuentan los residuos que no son gestionados por los municipios. Esta impresionante cantidad de residuos se debe en parte a que el 99% de las cosas que compramos se desechan en un plazo de 6 meses [4]. En todo el mundo, los residuos generados por persona y día promedian 0,74 kilos, pero oscilan ampliamente entre 0,11 y 4,54 kilos [5]; por ejemplo, Estados Unidos es el mayor productor de basura per cápita, produciendo aproximadamente 12% de la basura global, aunque sus habitantes son sólo el 4% de la población mundial; la mayor cantidad de este tipo de basura proviene de residuos domésticos y comerciales [6].

Actualmente, las regiones con mayor crecimiento de residuos son África subsahariana, el norte de África, el sur de Asia y Oriente Medio, donde se vierte más del 50% de los residuos; si bien América Latina aún no es uno de los grandes productores, producimos 541 toneladas de basura diarias, es decir, en promedio cada habitante produce 1,04 kilos de basura al día. Además de la cantidad, la variedad de basura que producimos es tal que no existe un consenso en torno a los tipos de basura que existen; de hecho, hoy se ofrece una lista de 47 tipos diferentes de basura, varios de ellos con subcategorías. Sin embargo, para facilitar el diseño de políticas para su gestión, así como la

separación diaria de los residuos por parte de las personas, diversas instituciones han creado sistemas que agrupan la basura en grandes categorías, siendo una de las más conocidas la que separa electrónica, vidrio, metal, papel, plástico y residuos orgánicos [7] (Gráfica 1).

Gráfica 1 - Tipos de basura producidos globalmente (2018)

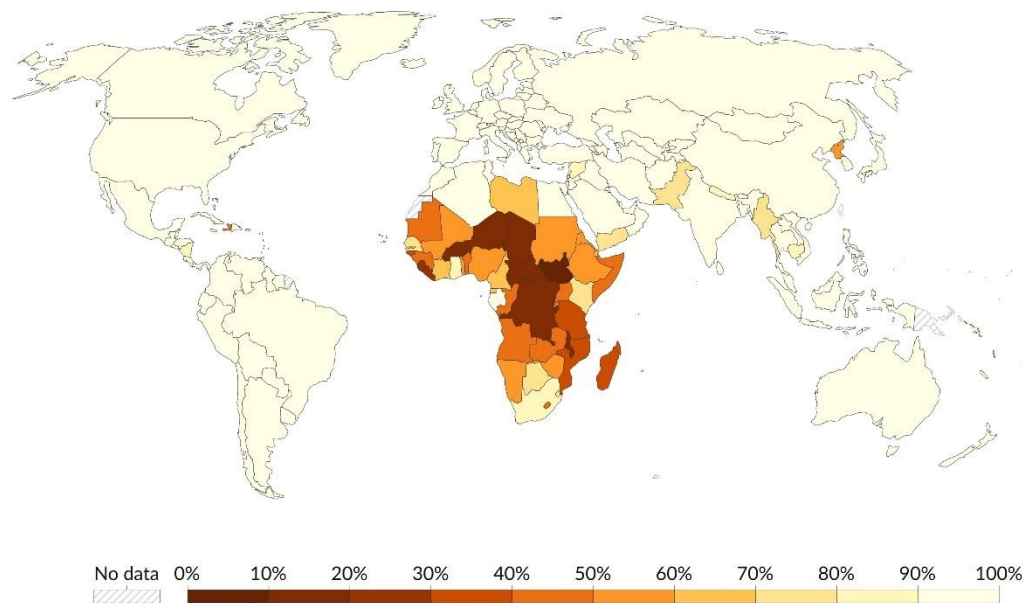


Fuente: Basados en los cálculos de Kaza et al., 2018

Y esta es una de las caras de la injusticia socioeconómica, ya que no deja de ser terriblemente paradójico que casi la mitad de la basura que se produce a nivel mundial sean desechos orgánicos, en los que las frutas y verduras son los rubros más predominantes, mientras actualmente 10% de la población mundial carece de alimentos suficientes para satisfacer las necesidades nutricionales diarias [8]. En América Latina este porcentaje es mayor, pues de las 541 toneladas que se producen diariamente, 145 terminan en vertederos a cielo abierto, 11% de ellas son plástico, se recicla en promedio sólo el 10%, mientras que un enorme 50% son residuos orgánicos, especialmente alimentos [9].

Otra paradoja, esta vez en el ámbito de la injusticia energética, es que África, el continente con la región subsahariana que es hoy en día el más vulnerable en términos de pobreza multidimensional en el mundo, ocupa el primer lugar en desperdicios de alimentos, con 153 kilos por persona/año; les siguen América del Norte con 135 kilos, Oceanía con 127 kilos, América Latina y el Caribe con 116 kilos, Asia con 114 kilos y Europa con 103 kilos [10]. Y este es un asunto de injusticia energética, porque en el caso de África, uno de los factores determinantes es precisamente la falta de acceso a la energía eléctrica o energía eléctrica constante, que permitiría el acceso al agua potable para limpiar los alimentos, el uso de mecanismos de cocción limpios para procesarlos, así como el uso de neveras o frigoríficos para conservarlos. Los datos del siguiente mapa son pruebas reveladoras (Gráfica 2).

Gráfica 2 – Acceso Global a Electricidad (2020)



Fuente: [10]

Si bien Estados Unidos es también el país que per cápita arroja más alimentos a la basura en el mundo (139 kilogramos por persona/año en 2019), México es el país que más alimentos desperdicia en América Latina con una cifra muy cercana de 137 kilogramos. Le sigue Nicaragua (123 kilogramos), nuevamente respondiendo a la paradoja de ser el país que ocupa el segundo lugar de pobreza extrema en América Latina, después de Guatemala [11]; aunque Brasil es el país que menos desechos orgánicos desperdicia per cápita, todavía arroja 103 kilogramos por persona/año, ocupando el séptimo lugar entre los países más poblados del mundo [12].

La tragedia humanitaria en los vertederos informales de basura es otra cara de la injusticia socioeconómica existente; muchos recicladores viven allí o van allí todos los días en busca de alimentos para ellos y sus familias, para sus animales y mascotas, buscando, además, materiales que puedan ser reutilizados de alguna manera. Es muy difícil recolectar datos confiables sobre esta población, precisamente por el nivel de informalidad de sus condiciones de vida y de trabajo. Sin embargo, Colombia es el país latinoamericano que destaca en este sentido, ya que por mandato constitucional en 2012 se realizó el primer censo en la capital del país, Bogotá, en almacenes o centros de acopio de reciclaje. Si bien se sabe que todavía las cifras están subestimadas, en 2012 se registraron 13.984 recicladores (69% hombres y 31% mujeres), y el registro anual de nuevos recicladores arrojó 25.163 en 2022 [13]; Brasil también tiene algunos avances en este sentido [14].

Las grandes cantidades de residuos orgánicos constituyen uno de los mayores contaminantes ambientales, debido a la generación de lixiviados, olores, la proliferación de insectos y la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente metano, contribuyendo en gran medida al

calentamiento global. Y aunque los residuos orgánicos son el mayor porcentaje del total de basura producida, es el que menos mecanismos de gestión adecuados tiene.

Un dilema adicional en el uso de los desechos es el hecho de que, si bien es imperativo que las sociedades humanas reduzcan las enormes cantidades ya mencionadas, al mismo tiempo debemos mejorar la tecnología para poder utilizarla en mayores cantidades y de manera más eficiente para producir energía renovable. Esto significa que debemos alcanzar un punto de equilibrio, pero de momento se desconoce cuál podría ser dicho punto. Sin embargo, una estimación afirma que “hasta el 50% de la demanda de bioenergía en 2050 podría satisfacerse con residuos de biomasa” (AIE, 2023a: 68). Un ejemplo de esta situación es el negocio inicialmente noruego conocido coloquialmente como “de basura a dinero” (“trash to cash”); debido a que la población noruega no produce suficientes desechos y basura para la capacidad instalada de producción de bioenergía de este país, importan basura de otros países y sin revelar información detallada se afirma que las ganancias aumentan porque “por regla general generamos alrededor del 50% de nuestros ingresos de la tarifa que recibimos por recoger los residuos y alrededor del 50% de la venta de la energía que generamos” [15].

Otra paradoja ética y ambiental de carácter global se deriva de este mercado: “Como los países desarrollados no podían soportar su alto ritmo de producción de residuos, los vendieron a los países más pobres como un medio para mejorar sus economías. Estos países emergentes son los que [supuestamente] clasificarán, tratarán, eliminarán y reciclarán los residuos en consecuencia (...) los residuos exportados de los países de la UE aumentaron a 33 millones de toneladas en 2021; eso supone un aumento del 74% desde 2004. Además, la importación de residuos de países fuera de la UE por parte de los países de la UE aumentó un 11%. Los 27 estados miembros de la Unión Europea exportan residuos a más de diez países” [16]. Por ahora, ninguno de estos diez países está en América Latina.

Otro equilibrio difícil de alcanzar se presenta en la medida en que la producción de bioenergía a partir de agricultura y material vegetal es, simultáneamente, consumidora y proveedora, no sólo de energía, sino de Gases de Efecto Invernadero; si bien la liberación de CO₂ resultante de la combustión del material vegetal se compensa con lo que la planta absorbió durante su crecimiento, intervienen otros factores consumidores de energía, por ejemplo: el cultivo en cuestión, quién lo cultiva, fertilizantes y otros insumos, maquinaria agrícola y los combustibles fósiles para operarla, entre varios otros. El uso de estos insumos es aún mayor si se trata de agricultura industrializada y esta relación se vuelve aún más compleja, ya que la agricultura es a su vez uno de los sectores que mayores impactos sufre por el calentamiento global.

3.1. Bioenergía en América Latina

En materia de acceso a la energía eléctrica, Argentina, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México, Paraguay y Uruguay son los países latinoamericanos que en 2021 declararon tener 100% de cobertura. Nicaragua es el país de la región con mayor número de habitantes sin acceso, 13.7%, y

también es el país con mayor cantidad de población sin acceso a este servicio en el área rural (Tabla 2), lo que sin duda y como en África, afecta el desperdicio de alimentos.

Tabla 2 - Falta de acceso a la electricidad en países de América Latina (2021 - %)

Puesto	Países	Nacional (%)	Puesto	Países	Rural (%)
1	Nicaragua	13.7	1	Nicaragua	33.7
2	Honduras	5.9	2	Perú	16.4
3	Panamá	4.7	3	Panamá	14.4
4	Perú	4.4	4	Honduras	14.3
5	Guatemala	2.1	5	El Salvador	5.9
6	El Salvador	2.1	6	Rep. Dominicana	5.2
7	Rep. Dominicana	1.9	7	Bolivia	4.9
8	Bolivia	1.4	8	Brasil	2.7
9	Brasil	0.5	9	Guatemala	1.9
10	Venezuela, RB	0.012	10	Venezuela, RB	0.1
11	Colombia	0.001	11	Colombia	0.005

Fuente: Cálculos propios basados en World Bank, 2023b & ; (*) datos del 2020

En la medida en que las personas no tienen acceso a la energía eléctrica, el uso intensivo, directo y contaminante, para la salud humana y planetaria, de ciertos tipos de biomasa (como leña, residuos de madera tratada, estiércol y basura, incluido el plástico, entre otros), se vuelve inevitable para cubrir sus necesidades básicas de calefacción y cocción de alimentos. De ahí que la relación entre el uso directo de biomasa y la pobreza sea innegable, pues no tener acceso a energía eléctrica es sin duda un obstáculo fundamental para superar el estado de pobreza, lo que genera un círculo vicioso.

Pero se presenta otra paradoja, esta vez con un lado esperanzador, que forma parte de la dinámica de la bioenergía: como la bioenergía ofrece la posibilidad de obtener biocombustibles y estos provienen de los ahora llamados 'cultivos energéticos', una serie de comunidades rurales, actualmente sin acceso a la energía, participan como productores de bioenergía sostenible, rompiendo el círculo vicioso antes mencionado. Entre los cultivos energéticos se encuentran la caña de azúcar, la remolacha, el maíz y las plantas energéticas herbáceas; algunos insumos para producir biocombustibles son madera, carbón vegetal, residuos agrícolas y productos derivados, residuos forestales y estiércol, entre otros. Es una paradoja, porque también es necesario encontrar un punto de equilibrio, que por ahora tampoco se sabe dónde está, para que estos cultivos no tengan impactos negativos en el uso del agua, la contaminación del suelo y no contribuyan al desplazamiento de cultivos de alimentos humanos y animales, entre otras críticas válidas.

En cuanto a su propia producción de energía primaria per cápita, Venezuela ocupó el primer lugar en 2021 con 82,7TJ, seguida de Colombia con 79,7TJ y Argentina con 69,6TJ. Al calcular la producción per cápita sólo de combustibles fósiles, para el mismo año, estos tres países

mantuvieron sus lugares, mientras que su propia producción de energías renovables colocó a Paraguay, Uruguay y Brasil en las tres primeras posiciones respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3 - Producción total de energía primaria, fósil y renovable per cápita en países de América Latina (2021 – TJ)*

	Países	Producción per cápita		Países	Producción fósil per cápita		Países	Producción renovable per cápita
1	Venezuela RB	87.2	1	Venezuela RB	78.4	1	Paraguay	41.4
2	Colombia	79.7	2	Colombia	71.1	2	Uruguay	39.2
3	Argentina	69.5	3	Argentina	62.6	3	Brasil	25.9
4	Ecuador	65.8	4	Ecuador	59.4	4	Guatemala	25.4
5	Brasil	61.4	5	Bolivia	56.2	5	Chile	24.8
6	Bolivia	61.2	6	México	45.2	6	Costa Rica	21.2
7	México	50.8	7	Brasil	35.5	7	El Salvador	13.8
8	Paraguay	41.4	8	Perú	20.3	8	Nicaragua	13.8
9	Uruguay	39.2	9	Cuba	11.0	9	Honduras	11.1
10	Perú	28.1	10	Chile	3.0	10	Panamá	10.8
11	Chile	27.9	11	Guatemala	0.9	11	Venezuela RB	8.8
12	Guatemala	26.3	12	Paraguay	0.0	12	Colombia	8.6
13	Costa Rica	21.2	13	Uruguay	0.0	13	Perú	7.8
14	Cuba	16.0	14	Costa Rica	0.0	14	Argentina	6.9
15	El Salvador	13.8	15	El Salvador	0.0	15	Ecuador	6.4
16	Nicaragua	13.8	16	Nicaragua	0.0	16	México	5.7
17	Honduras	11.1	17	Honduras	0.0	17	Cuba	5.0
18	Panamá	10.8	18	Panamá	0.0	18	Bolivia	5.0
19	Rep. Dominicana	4.7	19	Rep. Dominicana	0.0	19	Rep. Dominicana	4.7
	Total LATAM	54.3		Total LATAM	39.1		Total LATAM	15.2

Fuente: Cálculos propios basados en AIE, 2023b; (*) Se entiende por energía primaria las fuentes de energía en su estado natural, es decir, que no han sufrido ningún tipo de transformación física o química por intervención humana. Entre ellas se encuentran las fuentes fósiles (petróleo y carbón) y las renovables (hidráulica, nuclear, eólica, solar, geotérmica, mareomotriz y como parte de la bioenergía, la leña y otros combustibles vegetales).

En esta tabla también se puede observar que consistente con que Nicaragua, Honduras y Panamá son los países con menor cobertura eléctrica de la región en 2021, también son los países con menor producción de energía primaria y energía fósil. Por otro lado, sólo seis países han superado tanto la producción de energía primaria per cápita del total de la región (54,3 TJ), la producción de energía fósil (39,1 TJ) como la producción de energía renovable (15,2 TJ), lo que muestra un importante desafío futuro.

Se destacan algunos contrastes, como el de Paraguay que, si bien ocupó el primer lugar como productor de energía renovable en América Latina en 2021, es el único de la región que solo produjo

energía hidroeléctrica y bioenergía; todos los demás también produjeron energía a partir de energía solar, eólica y/u otras fuentes renovables.

Guatemala y Nicaragua también destacan porque, como ya se dijo, si bien ocupan los primeros lugares con pobreza extrema en América Latina, también ocupan el puesto 4 y 8 respectivamente en producción de energía renovable per cápita; en este sentido es importante recordar que acceder a la producción y consumo de energías renovables implica no sólo voluntad política y ciudadana, sino también importantes inversiones financieras y tecnológicas, entre otros factores. El análisis de los datos de producción de bioenergía en América Latina muestra que Brasil es, de lejos, el mayor productor de energía a partir de biomasa y residuos, ya que produjo el 63,3% de toda la producción de América Latina en 2021 (Tabla 4) y de hecho se encuentra entre los cinco países del mundo con mayor producción de energía renovable [20].

Tabla 4 - Producción de bioenergía sobre el total de energía de América Latina, producción per cápita y sobre el total de otras fuentes de energía renovables. (2021 – TJ)

	Países	Producción de bioenergía /Renovables LATAM (%)		Países	Producción de bioenergía per cápita (TJ)		Países	Prod. bioenergía /Otras Renovables (%)
1	Brasil	63.3	1	Uruguay	27.9	1	Cuba	97.6
2	Guatemala	6.6	2	Guatemala	23.6	2	Guatemala	92.7
3	México	5.9	3	Paraguay	19.6	3	Bolivia	77.8
4	Chile	5.4	4	Brasil	18.1	4	R. Dominicana	75.4
5	Colombia	3.6	5	Chile	17.1	5	Uruguay	71.2
6	Argentina	3.1	6	Nicaragua	9.3	6	Honduras	71.1
7	Perú	2.2	7	Honduras	7.9	7	Brasil	70.0
8	Paraguay	2.1	8	Cuba	4.9	8	Chile	68.8
9	Uruguay	1.6	9	Colombia	4.3	9	Nicaragua	67.2
10	Honduras	1.3	10	Argentina	4.2	10	Argentina	60.6
11	Nicaragua	1.0	11	Perú	4.1	11	Perú	52.3
12	Cuba	0.9	12	Bolivia	3.9	12	México	50.2
13	Bolivia	0.8	13	Costa Rica	3.7	13	Colombia	50.1
14	R. Dominicana	0.6	14	R. Dominicana	3.5	14	Paraguay	47.4
15	Ecuador	0.3	15	El Salvador	3.3	15	Panamá	27.3
16	El Salvador	0.3	16	Panamá	2.9	16	El Salvador	23.8
17	Costa Rica	0.3	17	México	2.8	17	Ecuador	18.6
18	Panamá	0.2	18	Ecuador	1.2	18	Costa Rica	17.4
19	Venezuela RB	0.2	19	Venezuela RB	0.4	19	Venezuela RB	4.9
	Total LATAM	100.0		Total LATAM	9.7		Total LATAM	63.8

Fuente: Cálculos propios basados en [19]

Esta tabla también muestra que cuando el cálculo se hace per cápita, Uruguay, Guatemala y Paraguay ocupan las tres primeras posiciones y preceden a Brasil, produciendo el 27,9%, 23,6%, 19,6 y 18,1% respectivamente, del total de la producción latinoamericana de bioenergía. En la Tabla 4 también se ofrece el porcentaje que corresponde a la producción de bioenergía de cada país, sobre el total de otras energías renovables; Cuba sorprende por la alta concentración de sus energías renovables en el aprovechamiento de biomasa y basura y, además de Guatemala, los primeros lugares también los ocupan países no mencionados hasta ahora como Bolivia y República Dominicana.

3.2. Algunos avances de la bioenergía en América Latina

Brasil produjo el 63% de la producción total de bioenergía de América Latina en 2021 (Tabla 4), gracias a que, entre otros factores, en 2018 inició la construcción de una de las plantas de biogás para generación eléctrica más grandes del mundo, que se inauguró en 2020. Tiene capacidad para abastecer a 62 mil hogares y se alimenta con vinaza (que se procesa durante la zafra), cachaza y otros subproductos de la caña procesados a escala comercial en la planta de Bonfim ubicada en el mismo lugar, en el estado de São Paulo. La vinaza es el residuo líquido que se produce por la fermentación del mosto en las destilerías de alcohol; se produce en grandes cantidades y tiene una alta carga orgánica y la cachaza son los contaminantes orgánicos residuales de la producción de azúcar en bruto y se produce durante todo el año.

Estas dos plantas pertenecen a Raízen, que es una corporación formada por Shell (Estados Unidos) y la agroindustrial Cosan, de capital brasileño y otros accionistas menores, y busca producir biogás en las 35 plantas de etanol que tiene actualmente en Brasil. La producción de bioetanol, que proviene de sus 860.000 hectáreas cultivadas de caña de azúcar (una superficie casi del tamaño de Puerto Rico), se comercializa en más de 7.300 estaciones de servicio de Shell y Oxxo (otro socio) y en aeropuertos de Brasil y Argentina [21].

Por su parte, buscando solucionar el problema de la contaminación ambiental, Cuba logró una producción del 97,6% de bioenergía del total de energías renovables producidas en 2021 (Tabla 4). Para producir biogás se procesaron una amplia variedad de residuos provenientes de la actividad agrícola e industrial, como estiércol proveniente de la cría de cerdos, aves y ganado vacuno, y residuos orgánicos líquidos de la industria alimentaria, particularmente de la industria cárnica, láctea, cervecera, conservera, pesca e industrias azucareras. El potencial de producción de biogás tanto de las actividades agrícolas como industriales alcanzó los 710.095 MWh/año, y de ellos el 63% del total corresponde a actividades agrícolas.

Además, en la producción de biodiesel en Cuba se ha dado prioridad al cultivo y establecimiento de cercos vivos de *Jatropha Curcas*, planta que produce un aceite no comestible, de bajos requerimientos en cuanto a suelo y que puede sembrarse mezclada con diversos cultivos alimentarios. Y en cuanto a los combustibles sólidos, provienen especialmente de residuos agrícolas de la caña de azúcar, el arroz, otros cultivos menores y el sector forestal, entre ellos, la leña para uso doméstico en la cocción de alimentos (a pesar de que la cobertura eléctrica es del 100%) y de la madera de plantaciones con fines energéticos [22].

En Guatemala, de los 65 millones de galones de bioetanol que producen las cinco destilerías que existen actualmente, el 80% se exporta para mezclarlo con otros combustibles, mientras que el 20% restante se comercializa en el mercado nacional [23]. Por otro lado, buscando promover el uso de etanol en el sector transporte, y obligar a cumplir con la Ley de Alcohol Combustible, que dicta que la gasolina para el sector transporte debe tener una mezcla de 1% de bioetanol y que no se ha cumplido, se anunció que a partir del 1 de enero de 2025 será obligatoria la mezcla de gasolina con etanol, aunque aún está por definir el porcentaje [24].

Por su parte, Colombia, Argentina y Perú son los países latinoamericanos que destacan por sus altas tasas de reciclaje de sus residuos municipales, reciclando en 2021, 1,9 millones de toneladas, 1 millón y 80.250 toneladas, respectivamente [12], mientras que los demás países no reportan datos. En el caso de Colombia, el apoyo del gobierno para formalizar el trabajo de miles de familias que vivían del reciclaje informal es una de las estrategias que ha contribuido a este logro.

Por otro lado, desde 2015 Costa Rica se ha destacado a nivel mundial por su capacidad de generación de electricidad renovable, alcanzando más del 98% en 2022 [25], aunque la proporción de capacidad instalada de bioenergía en general solo alcanza 2,6% de la capacidad instalada total en energías renovables.

Con relación al uso de leña, este es uno de los indicadores con los que habitualmente se ha mostrado una de las caras de la compleja relación entre pobreza y falta de acceso a la energía eléctrica. Sin embargo, parece que con el tiempo este indicador se ha distorsionado en América Latina, ya que, como lo demuestran datos de varios países de la región, el uso de la leña ha crecido a pesar de que existe una cobertura amplia o total a energía eléctrica; este es el caso de Guatemala, Nicaragua, Argentina, Chile y Paraguay [26], estos tres últimos países con acceso 100% nacional a la energía eléctrica. Este hecho parece demostrar que, si bien los gobiernos e instituciones garantizan el acceso técnico a la energía eléctrica, esto no significa que las personas puedan utilizarla, ya que el costo de la factura mensual es un obstáculo. Otro factor menor comparado con el anterior, pero que también cuenta, es del orden cultural, pues recientemente se han revalorizado los beneficios del uso de la leña en la cocina tradicional o en las chimeneas.

De ahí que un desafío sea afinar la recolección de información estadística para determinar si el creciente uso de leña se requiere para cubrir necesidades básicas debido a los costos de la energía eléctrica o si existen otros factores. El hecho de que el 32,3% de la población de Estados Unidos afirme que actualmente está sacrificando otros gastos básicos para poder pagar las facturas de servicios públicos [27] y que 20 millones de familias estén atrasadas en el pago de las facturas de electricidad [28] o, mucho peor, que las vidas de un número récord de personas en el Reino Unido (el “primer mundo”) corren riesgo este invierno porque no pueden pagar sus costos de energía [29], valida las consideraciones presentadas.

De hecho, gracias al índice de consumo de biomasa residencial, definido como “la relación entre la suma del consumo de leña y carbón vegetal en el sector residencial dividida por el consumo final del sector residencial” (OLADE, 2023: 47) y calculado por la misma organización, revela el potencial de los variados insumos que componen la bioenergía en América Latina. En 1970, Paraguay era el país cuyos hogares presentaban el mayor consumo de leña y carbón vegetal sobre el consumo final de biomasa con un 96%, seguido de cerca por otros cuatro países; de hecho, de los 19 países de la región, el sector residencial de 16 países utilizó más del 50% de leña y carbón vegetal, de su consumo total de biomasa (Tabla 5).

Tabla 5 - Consumo residencial de leña y carbón vegetal sobre el consumo total de bioenergía (1970, 1990 y 2022 – %)

Puesto	Países	1970	Puesto	Países	1990	Puesto	Países	2022
1	Paraguay	0.96	1	Nicaragua	0.95	1	Guatemala	0.90
2	Nicaragua	0.95	2	Guatemala	0.94	2	Nicaragua	0.85
3	El Salvador	0.95	3	Honduras	0.92	3	Honduras	0.78
4	Honduras	0.95	4	Paraguay	0.90	4	Paraguay	0.62
5	Guatemala	0.94	5	El Salvador	0.89	5	Perú	0.55
6	Brasil	0.88	6	Costa Rica	0.74	6	Chile	0.42
7	Ecuador	0.85	7	Panamá	0.73	7	R. Dominicana	0.35
8	Costa Rica	0.85	8	Colombia	0.62	8	Uruguay	0.34
9	Panamá	0.85	9	Uruguay	0.58	9	Colombia	0.34
10	R. Dominicana	0.79	10	Perú	0.58	10	México	0.30
11	Perú	0.71	11	Chile	0.56	11	Panamá	0.28
12	Colombia	0.70	12	R. Dominicana	0.56	12	Brasil	0.27
13	México	0.62	13	Ecuador	0.56	13	El Salvador	0.19
14	Bolivia	0.58	14	Bolivia	0.55	14	Costa Rica	0.13
15	Chile	0.54	15	Brasil	0.52	15	Ecuador	0.08
16	Uruguay	0.51	16	México	0.41	16	Bolivia	0.07
17	Argentina	0.13	17	Argentina	0.04	17	Venezuela RB	0.05
18	Cuba	0.03	18	Cuba	0.02	18	Argentina	0.01
19	Venezuela RB	0.01	19	Venezuela RB	0.00	19	Cuba	0.01

Fuente: OLADE, 2024

También se puede observar que 20 años después, 15 países (es decir, sólo uno menos que en 1970) mantuvieron la misma tendencia de utilizar más del 50% de leña y carbón vegetal de su consumo total de biomasa. Sin embargo, en 2022, el sector residencial en solo 5 países se utilizó más del 50% de la leña y el carbón vegetal del total de la biomasa utilizada.

Uno de los desafíos urgentes es recolectar y sistematizar información estadística oportuna y confiable que dé cuenta no solo del número de unidades de bioenergía en operación, sino también de sus características, incluidas las condiciones laborales de los trabajadores que forman parte

de sus procesos; de esta manera, se podrían evaluar sus costos, funcionalidad y desempeño con miras a corregir los errores identificados y avanzar en tecnologías apropiadas.

4. Conclusiones

Para cerrar y a modo de conclusiones, se ofrecen algunas reflexiones sobre desafíos importantes y urgentes en términos de la producción energética, particularmente de la bioenergía. Por ejemplo, además de las paradojas y dilemas ya mencionados que forman parte de la dinámica de la producción de bioenergía, existen otros grandes desafíos como las complejas relaciones entre seguridad energética y seguridad alimentaria, que la guerra en Ucrania ha sacado a la luz; entre ellos, la dependencia energética de Europa del gas ruso, la dependencia de las exportaciones de trigo rusas y ucranianas hacia varias regiones del mundo, especialmente el norte de África, y la dependencia global de la producción de insumos para fertilizantes agrícolas.

Otro desafío se deriva de que actualmente se considera que “la energía verde es la generación de energía a partir de fuentes infinitas que no producen emisiones de carbono, ni impactan negativamente el medio ambiente [mientras que] la energía renovable es la generación de energía a partir de fuentes infinitas”. Sin el visto bueno de varios países y en plena crisis Rusia-Ucrania, el Parlamento Europeo avaló en julio de 2022 que el gas y la energía nuclear sean considerados energías verdes, ampliando las discusiones sobre cuáles se pueden considerar energías renovables y cuáles no.

Otro debate necesario, también de amplias consecuencias, es sobre qué se puede considerar energías renovables versus energías sostenibles, que, como ya se dijo, también incluye la energía hidroeléctrica. En este sentido, la UE aprobó en julio de 2023 una nueva legislación que prohíbe el ingreso de derivados del aceite de soja y palma asociados a la deforestación. Esta decisión se tomó para disminuir las emisiones de carbono y abordar el calentamiento global, porque dichos productos bioenergéticos son renovables, pero no sostenibles; no lo son, porque las prácticas agrícolas de dichos cultivos actualmente incluyen la tala de grandes áreas de bosques en países como Indonesia, Malasia y Brasil por parte de empresas que también tienen antecedentes de abuso laboral y conflictos con las comunidades. De hecho, el WWF en su informe de 2021 *"Stepping Up? the Continuing Impact of EU Consumption on Nature Worldwide"*² afirmó que ocho economías europeas fueron responsables del 80% de dicha deforestación entre 2005 y 2017, con Alemania en primer lugar y otros países en crecimiento; y entre los países afectados por esta decisión se encuentran México, Argentina y Colombia.

Un desafío global adicional es la urgencia de priorizar la implementación de los principios de la economía circular; si bien esto contribuiría en gran medida a reducir la cantidad de basura, la solución por excelencia se lograría de manera más eficiente si cambiáramos drásticamente nuestros hábitos de consumo de bienes y servicios. Sin embargo, los estadounidenses gastaron

² ¿Dar un paso adelante? El impacto continuo del consumo de la UE en la naturaleza en todo el mundo

una cifra récord de 222 mil millones de dólares comprando en línea en esta temporada navideña”, como informó CNN en su noticiero del pasado 12 de enero 2023, lo que demuestra que todavía estamos muy lejos de esta meta.

Finalmente, considero que la mayor paradoja en la matriz energética global es que, si bien la reducción del consumo global de energía (fósil y renovable) debería ser la primera acción contra el cambio climático, las campañas en este sentido no sólo son tímidas, sino esporádicas, por decir lo menos. Y lo son, porque las que se consideran economías prósperas se fundamentan en un alto consumo de energía, es decir, aquellas que producen muchos bienes y servicios para el consumo diario, que rápidamente terminan en enormes vertederos, con costos enormes en términos ambientales y sociales. En consecuencia, y aunque los avances en energías renovables y procesos de reciclaje son más que bienvenidos, lo que inevitablemente se requiere es un cambio paradigmático, un cambio civilizatorio, que nos aleje de nuestra adicción al consumo de energía y al consumo de bienes y genere conciencia ciudadana sobre los enormes impactos negativos que se derivan de dicha adicción.

Cumplimiento de estándares éticos

Divulgación de conflicto de intereses

No hay ningún conflicto de intereses que revelar.

Referencias bibliográficas

- [1] C. Dickert and S. Parker, What Electricity Sources Power the World? *Visual Capitalist*, 2023. <https://www.visualcapitalist.com/electricity-sources-by-fuel-in-2022/> (accessed Jan. 03, 2024).
- [2] IRENA, Renewable Energy Statistics 2023, Abu Dhabi, 2023. Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: www.irena.org
- [3] IEA, Bioenergy Review 2023 - How bioenergy contributes to a sustainable future, Paris, 2023. Accessed: Jan. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.ieabioenergyreview.org/>
- [4] The World Counts, World Waste Facts, *A world of waste*, 2024. <https://www.theworldcounts.com/challenges/state-of-the-planet/world-waste-facts> (accessed Jan. 03, 2024).
- [5] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, What a Waste 2.0, Washington, D.C., 2018. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html
- [6] A. Pforzheimer and A. Truelove, Trash in America, Santa Barbara, California, 2021. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://frontiergroup.org/resources/trash-america-0/>

- [7] M. Kalale and B. Musonda, Exploring economic opportunities of the solid waste management policy in Zambia: Case study city of Ndola, *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 2024, no. 01, pp. 157–162, 2024, doi: 10.30574/ijrsra.2024.11.1.0022.
- [8] The World Bank, Prevalence of undernourishment (% of population) | Data, Washington, D.C., 2023. Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/SN.ITK.DEFC.ZS>
- [9] UN Environment Program, Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean, Panama City, 2018. Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.unep.org/ietc/resources/publication/waste-management-outlook-latin-america-and-caribbean>
- [10] H. Ritchie, P. Rosado, and M. Roser, Access to Energy - Our World in Data, *Our World in Data*, 2019. <https://ourworldindata.org/energy-access> (accessed Jan. 04, 2024).
- [11] OPHI, Multidimensional Poverty Index Country Briefing 2022: Nicaragua (Latin America and the Caribbean), Oxford, 2022. Accessed: Jan. 05, 2024. [Online]. Available: https://ophi.org.uk/wp-content/uploads/CB_NIC_2022.pdf
- [12] H. Ritchie and E. Mathieu, Waste Management - Our World in Data, *Our World in Data*, 2024. <https://ourworldindata.org/waste-management> (accessed Jan. 04, 2024).
- [13] F. Parra and J. Vanek, The Collection of Data on Waste Pickers in Colombia, 2012-2022, no. March. Women in Informal Employment: Globalizing and Organizing (WIEGO), Manchester, p. 19, 2023.
- [14] M. B. Bouvier and S. Dias, Catadores de materiais recicláveis no Brasil: um perfil estatístico. Women in Informal Employment: Globalizing and Organizing (WIEGO), Managua, p. 12, 2021. Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: www.wiego.org
- [15] H. Russell, Trash to cash: Norway leads the way in turning waste into energy, *The Guardian*, Lon, 2013. Accessed: Jan. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2013/jun/14/norway-waste-energy>
- [16] J. Okafor, Which Countries Buy Garbage? - The Global Waste Trade, *Trvst*, 2023. <https://www.trvst.world/waste-recycling/which-countries-buy-garbage-a-look-at-global-waste-trading/> (accessed Jan. 12, 2024).
- [17] World Bank, Access to electricity (% of population), Washington, D.C., 2023. Accessed: Jan. 05, 2024. [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS>

- [18] World Bank, Access to electricity, rural (% of rural population), Washington, D.C., 2023. Accessed: Jan. 05, 2024. [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.RU.ZS>
- [19] IEA, Energy Statistics Data Browser, Paris, 2023. Accessed: Jan. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=BRAZIL&fuel=Energy supply&indicator=TESbySource>
- [20] O. L. Castillo, Who, How and How Far? Renewable Energy Transitions in Industrialized and Emerging Countries, *https://www.intechopen.com/journals/7/articles/147*, vol. 2022, pp. 1–26, Dec. 2022, doi: 10.5772/GEET.10.
- [21] Raízen, Raízen Inaugurates Biogas Plant and Strengthens its Renewable Energy Portfolio, 2024. <https://www.raizen.com.br/en/press-office/raizen-inaugura-planta-de-biogas-e-consolidar-portfolio-de-energias-renovaveis> (accessed Jan. 13, 2024).
- [22] A. Cuberlo Alonso *et al.*, Atlas de bioenergía - Cuba, La Habana, 2022.
- [23] G. Montenegro, El Alcohol guatemalteco que compite en Mercados Mundiales, *Asociación de Combustibles Renovables*, 2023. <https://acrguatemala.com/2023/02/14/etanolguatemalacompitemundialmente/> (accessed Jan. 16, 2024).
- [24] R. M. Bolaños, Desde el 1 de enero del 2025 será obligatoria la mezcla de etanol con gasolinas, lo que provoca reacciones encontradas, *Prensa Libre*, Managua, 2023. Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.prensalibre.com/economia/desde-el-1-de-enero-del-2025-sera-obligatoria-la-mezcla-de-etanol-con-gasolinas-lo-que-provoca-reacciones-encontradas/>
- [25] OLADE, Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2023, Quito, 2023.
- [26] OLADE, Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (SIE), 2024. <https://sielac.olade.org/default.aspx> (accessed Jan. 16, 2024).
- [27] M. Davies, D. Shepard, and P. Huang, 32.3% Sacrificed Basic Expenses to Pay Energy Bill, *LendingTree*, 2023. <https://www.lendingtree.com/personal/energy-bills-study/> (accessed Jan. 18, 2024).
- [28] W. Wade and M. Chediak, Can't Pay Utility Bills? 20 Million US Homes Behind on Payments, Facing Shutoffs, *Bloomberg*, 2023. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-08-23/cant-pay-utility-bills-20-million-us-homes-behind-on-payments-facing-shutoffs> (accessed Jan. 18, 2024).

- [29] Citizens Advice, Record numbers seek help for energy debt before winter even hits, Citizens Advice warns, 2023. <https://www.citizensadvice.org.uk/about-us/about-us1/media/press-releases/record-numbers-seek-help-for-energy-debt-before-winter-even-hits-citizens-advice-warns/> (accessed Jan. 18, 2024).
- [30] G. Smoot, Green Energy vs Renewable Energy: What's the Difference? *Climate Action - Impactful Ninja*. <https://impactful.ninja/green-vs-renewable-energy-differences/> (accessed Jan. 15, 2024).
- [31] G. Abril, El Parlamento Europeo respalda el sello verde de la UE al gas y energía nuclear, *El País*, Madrid, 2022. Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://elpais.com/economia/2022-07-06/el-parlamento-europeo-respalda-el-sello-verde-de-la-ue-al-gas-y-energia-nuclear.html>
- [32] B. Wedeux and A. Schulmeister-Oldenhove, Stepping Up? the Continuing Impact of Eu Consumption on Nature Worldwide, Gland, 2021. [Online]. Available: https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/stepping_up_the_continuing_impact_of_eu_consumption_on_nature_worldwide_execsummary.pdf
- [33] M. Egan, Americans spent a record \$222 billion shopping online this holiday season | CNN Business, CNN News, USA, 2024. Accessed: Jan. 12, 2024. [Online]. Available: <https://edition.cnn.com/2024/01/04/economy/record-online-shopping-this-holiday-season/index.html>
- [34] Cournoyer, Governing, *Is hydropower a renewable energy or not?* 2013. <https://www.governing.com/archive/gov-hydropower-renewable-energy.html>