



ESTRATEGIAS PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA: REVISIÓN DE LA LITERATURA

ARTÍCULO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹, HAMZAGIC, Miroslava²

LIMA, Leandro Jose Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. **Estrategias para la transición energética: revisión de la literatura**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año. 07, ed. 06, vol. 08, pág. 96-120. Junio 2022. ISSN: 2448-0959, Enlace de acceso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica

RESUMEN

Debido a la necesidad de buscar fuentes de energía que generen menos gases de efecto invernadero y, en consecuencia, tengan un menor impacto en el medio ambiente, surgen varias estrategias de transición energética. En este contexto, este artículo pretende responder: ¿cuáles son las estrategias de transición energética? Por lo tanto, el objetivo es presentar algunas estrategias en curso para el proceso de transición energética, abordando el tema en tres aspectos principales, a saber: la eficiencia energética; energía renovable; y captura y secuestro de carbono. Para

¹ Graduado en Ingeniería de Petróleos por la Universidade Estácio de Sá (UNESA) y Graduado en Tecnología Mecánica con énfasis en Automatización Industrial por el CEFET/RJ. Estudiante de maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Taubaté (UNITAU), MBA en Gestión Empresarial de la Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA en Gestión de Proyectos de la Fundación de apoyo CEFET/RJ, Especialista en Ingeniería de Seguridad del Trabajo de la Universidade Candido Mendes (UCAM), Especialista en Ingeniería de Petróleos de la Universidade Estácio de Sá (UNESA) y Supervisor de Radioprotección certificado por la CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.

² Asesor. Graduada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad de Taubaté, UNITAU, con posgrado en Gestión de Marketing e Ingeniería en Seguridad del Trabajo por la Escuela Politécnica de Pernambuco. Máster en Gestión del Desarrollo Regional por la UNITAU y Doctor en Ingeniería de Producción por la Escola Politécnica da USP. ORCID: 0000-0001-8082-5763.



ello, la metodología utilizada fue la investigación bibliográfica seguida del análisis crítico de la literatura encontrada. Como resultado, se observó que las estrategias presentadas permiten la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, que viene afectando el clima del planeta. Finalmente, se concluye que las estrategias presentadas en la categoría eficiencia energética fueron: programas de etiquetado; uso de material reciclado; automatización y uso de inteligencia artificial; y gestión de las emisiones de metano. En la categoría de energías renovables, se identificaron las siguientes estrategias: etanol; biodiésel; biometano; el biogás; gas natural; el hidrógeno; energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica; y almacenamiento de energía. Al final se presentó la estrategia de captura, uso y almacenamiento de carbono. También cabe mencionar que esta es un área muy amplia de oportunidades para la investigación y la innovación, estando en pleno desarrollo y demandando muchos otros trabajos que versan sobre eficiencia energética, captura de carbono y energías renovables.

Palabras clave: cambio climático, transición energética, contaminación del aire, dióxido de carbono.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, vivimos en un mundo de cambio climático notable, donde 4,2 millones de personas mueren cada año debido a la contaminación del aire (WHO, 2021). Estos gases contaminantes permiten el paso de la luz solar hacia el planeta, ya que retienen el calor, elevando la temperatura, lo que, en consecuencia, aumenta la contaminación y contribuye al empeoramiento del efecto invernadero. Las consecuencias de este proceso son: el cambio climático, tales como: mayores sequías, reducción de las reservas de agua potable, aumento del nivel del mar, reducción de la producción de alimentos (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2017b); y problemas de salud como enfermedades cardíacas, respiratorias y cancerosas (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2017a).



Los gases de efecto invernadero (GEI) provienen de incendios naturales y volcanes, pero la mayoría de las emisiones provienen de actividades antropogénicas como la generación de energía y la agricultura (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2017a). Los GEI incluyen: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), CFC-12 y HCFC-22, siendo el CO_2 el más importante, dado el impacto por su volumen. Debido a la participación del CO_2 en el efecto invernadero, estos se cuantifican en CO_2 equivalente, 'CO₂eq' o carbono equivalente (BABARINDE y ADIO, 2020). También se clasifican según su impacto potencial en el calentamiento global (Global Warming Potentials, GWP), ya que cada uno de ellos tiene una capacidad de acumulación de calor y una vida útil específica (BABARINDE y ADIO, 2020).

Por ello, en respuesta a los impactos ya observados en el planeta y con el objetivo de crear políticas globales para prevenir el efecto invernadero, los países se reunieron por primera vez (después del final de la Guerra Fría), en un evento dedicado a la discusión del tema, entre el 3 y el 14 de junio de 1992, en Brasil. A pesar de la creación de un acuerdo común, no todos los países siguieron las metas establecidas. Lo mismo ocurrió posteriormente en otras reuniones, como la de Kyoto (1997) y las negociaciones de Copenhague (2009). Finalmente, en 2016 se llegó a un acuerdo más amplio, el llamado Acuerdo de París, donde ya existía una mayor "madurez climática". Este acuerdo hizo que cada país alcanzara su propio compromiso de contribuir globalmente a la meta de limitar el aumento de la temperatura global a 2 grados centígrados para 2050. Además, se discutieron algunos puntos clave: limitar el uso indiscriminado de combustibles fósiles; crear una economía en crecimiento, fomentando la creación de empleo; sostenibilidad económica; baja emisión de carbono; mejora de la agricultura; y combate a la deforestación (TV BRASILGOV, 2016).

Como ejemplo de los compromisos y objetivos de este acuerdo, el Reino Unido creó leyes que obligan a las empresas productoras de energía a reducir las emisiones de CO_2 en un 80%, con base en los niveles de emisión de 1990 (BABARINDE y ADIO, 2020).



Sin embargo, cabe destacar que para lograr este objetivo es necesario contar con tecnologías. Al respecto, los estudios indican que el 25% de la reducción de 'CO₂e' provendrá de tecnologías existentes, el 35% de tecnologías en desarrollo y el 40% de tecnologías que aún no han sido probadas comercialmente (BAKER HUGHES, 2021a).

Es en este escenario que surge la transición energética, como un fenómeno que se está dando como respuesta a la necesidad de buscar fuentes de energía que generen menos gases de efecto invernadero (GEI) y, en consecuencia, tengan un menor impacto sobre las personas y el medio ambiente. Sin embargo, ¿cuáles son las estrategias de transición energética?

Para responder a esta pregunta, el presente artículo tiene como objetivo presentar algunas estrategias en curso para el proceso de transición energética, abordando el tema en tres aspectos principales, a saber: eficiencia energética; energía renovable; y captura y secuestro de carbono.

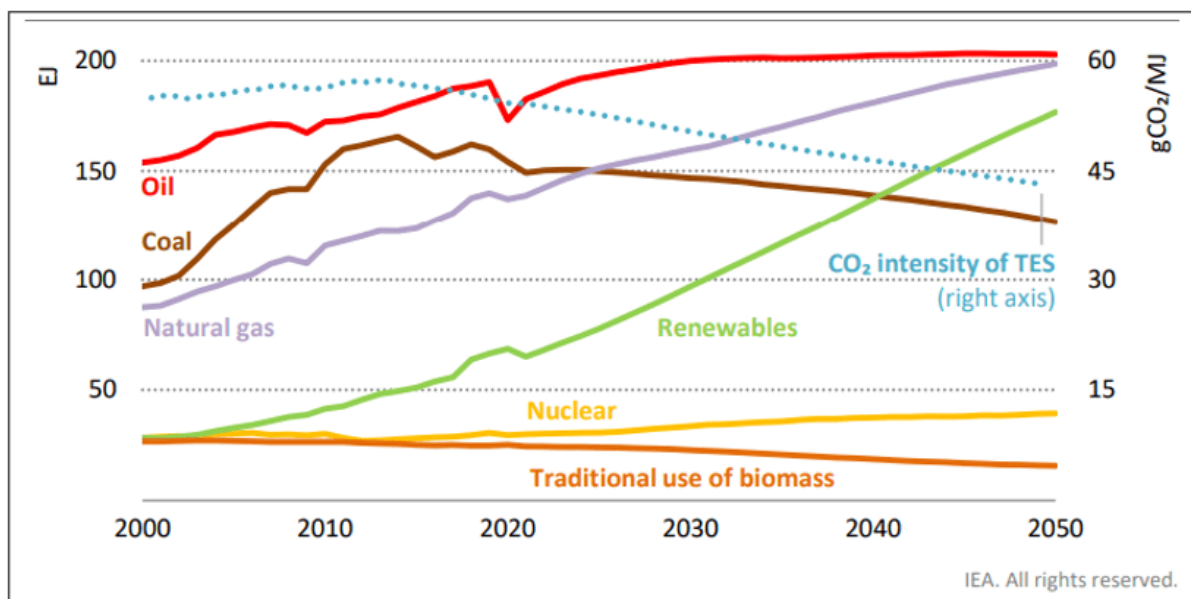
Para esto, se realizó una investigación bibliográfica con el fin de comprender y explorar el tema. Esta fue una investigación exploratoria, que buscó descifrar algunas estrategias existentes en medio de la transición energética, destacando la necesidad de que futuros investigadores realicen nuevas investigaciones, para aumentar el conocimiento dentro de este campo y contribuir a una economía baja en carbono, con menos impacto ambiental y el impacto climático.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Según información de la Agencia Internacional de la Energía, las emisiones de CO₂ han ido creciendo muy rápidamente en los países en desarrollo, mientras que en Estados Unidos y Europa se observa una ligera tendencia a la baja (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021). En este contexto, la transición energética es algo necesario para que los países crezcan sin impactar el medio ambiente.

En consecuencia, el Gráfico 1 muestra la energía total requerida y la intensidad de las emisiones de CO₂, teniendo en cuenta las metas establecidas entre los países (Agencia Internacional de Energía, 2021).

Gráfico 1 – Energía total requerida e intensidad de las emisiones de CO₂.



Fuente: International Energy Agency (2021).

Como se observa en el Gráfico 1, existe una tendencia en el crecimiento de la demanda de: petróleo, gas natural, renovables y nuclear, mientras que se observa una caída en la demanda del uso tradicional de biomasa y carbón. También se verifica que a pesar del llamado a la reducción a cero de los combustibles fósiles, esta realidad aún no es posible por la falta de medios suficientes para entregar la energía requerida para el crecimiento del consumo.

Con el fin de abordar algunas estrategias en curso para el proceso de transición energética, se seleccionaron 3 categorías, a saber:

- Eficiencia Energética: que abarca estrategias relacionadas con la eliminación de residuos, con aplicación en tecnologías de construcción, transporte,



generación y distribución de energía, vehículos y conceptos de diseño (BABARINDE y ADIO, 2020);

- Energías Renovables: que abarca estrategias relacionadas con el uso de energías renovables, tales como: geotérmica, solar, eólica e hidráulica, y la sustitución de la generación de energía por fuentes que emiten más carbono por fuentes que emiten menos carbono (gas natural vs carbón, etanol vs gasolina) (BABARINDE y ADIO, 2020);
- Captura y Secuestro de Carbono: que cubre las estrategias relacionadas con los procesos de captura de carbono antes de su emisión a la atmósfera (y el proceso de captura de carbono liberado a la atmósfera), que se desglosa en cuatro partes principales: captura, transporte, almacenamiento geológico (o uso en la industria) y seguimiento (BABARINDE y ADIO, 2020).

2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Cuando se trata de eficiencia energética, el principal objetivo es reducir las emisiones con el máximo aprovechamiento de la energía producida, redimensionamiento y/o control de fugas. En ese contexto, discutimos a continuación algunas estrategias para la transición energética, buscando una mayor eficiencia, a saber: Programas de Etiquetado, el uso de material reciclado, automatización e inteligencia artificial, y la gestión de las emisiones de metano.

2.1.1 PROGRAMAS DE ETIQUETADO

Los Programas de Etiquetado han ayudado a varios países alrededor del mundo en iniciativas para reducir el consumo de energía y, en consecuencia, reducir la 'huella de carbono'. En Brasil, este tipo de programa comenzó en 1993. En 2007, la etiqueta se aplicó a 21 categorías de productos. En este período se estimaron ahorros de 3,7 TWh. Este desafío obligó a la industria a evolucionar y producir productos más eficientes, como el motor eléctrico de inducción, que consume el 29% de toda la energía producida en Brasil. A fines de 2007, con el programa de etiquetado se logró un ahorro de 428 GWh (CARDOSO *et al.*, 2009).

RC: 121398

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



En Brasil, este Programa está actualmente en revisión, centrándose, por ejemplo, en refrigeradores, con el objetivo de producir bienes que reduzcan aún más la demanda de energía en el país, en el mediano y largo plazo, resultando, en consecuencia, en una menor emisión de CO₂. (FUENTES, 2021).

En 2009, otro Programa de Etiquetado fue implementado en Brasil, el Programa de Etiquetado de Automóviles. Trajo no solo información sobre el consumo de CO₂ por tipo de combustible, sino también información relacionada con el consumo de energía, normalizado, por kilómetro, dando opciones a los consumidores para elegir mejores productos y obligando a los fabricantes de automóviles a buscar una mayor eficiencia. En el seguimiento de las acciones de este Programa, se observó que los subcompactos y SUV compactos tuvieron reducciones del 7% y 8% en el consumo de combustible, lo que consecuentemente se tradujo en una reducción de las emisiones de GEI (BALES et al., 2015).

Este Programa, como lo demuestra Cella; Guarda y Domingos (2020), también puede ser aplicado en edificios comerciales, ya que el consumo eléctrico en edificios de servicios, en Brasil, supera el porcentaje del 21% del consumo nacional, siendo considerada, por los gobiernos, una gran oportunidad para la reducción de emisiones de GEI.

Otro sector que debe recibir atención de los Programas de Etiquetado es el de las lámparas incandescentes, ya que estas lámparas consumen un 82% más de energía y duran 50 veces menos que la tecnología LED actual. Además, el intercambio traería beneficios relacionados con una menor generación de residuos, reduciendo también la necesidad de consumo de energía en los procesos productivos. Además, las lámparas LED son un 70% más eficientes en el consumo que las lámparas fluorescentes y tienen un proceso de reciclaje más sencillo, seguro y económico (SANTOS et al., 2015).



2.1.2 RECICLAJE

Otra alternativa es el uso de material reciclado. Un modelo presentado por Alcoa (2020) destaca la reducción del 30% en las emisiones de gases de efecto invernadero con la producción de aluminio a partir de material reciclado.

En la cadena productiva del acero, el 75% de las emisiones de dióxido de carbono provienen de la producción de arrabio. Para producir 1 kg de acero en un alto horno utilizando mineral de hierro y chatarra, se emiten aproximadamente 2,5 t de CO₂. Sin embargo, cuando se utiliza material reciclado, que puede ir a un horno eléctrico, el mismo volumen emite aproximadamente 462 kg de CO₂, es decir, un 81% menos de CO₂ a la atmósfera (MELO *et al.*, 2021).

2.1.3 AUTOMATIZACIÓN Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los nuevos sensores para monitorear las propiedades de los aceites lubricantes que operan en conjunto con Internet en las nubes y los algoritmos también han servido como una forma de determinar el momento exacto para cambiar el combustible. Con ello se ha evitado el desperdicio de litros de aceite lubricante del orden de 44 toneladas de CO₂ por buque. En este contexto, se destaca, por lo tanto, que soluciones similares de mantenimiento predictivo pueden reducir la cantidad de mantenimiento y otras intervenciones que también generan emisiones de GEI. También se comprueba que con la Industria 4.0 están surgiendo varios artificios relacionados con la reducción de emisiones de GEI (PARKES y HUGHES, 2020).

2.1.4 GESTIÓN DE EMISIONES DE METANO

A pesar de ser más limpio que el carbón, tanto en términos de emisiones de CO₂eq como de otros elementos químicos nocivos para la salud, el gas natural es una fuente de metano (5-10% de las emisiones globales), que puede filtrarse y contribuir al empeoramiento del efecto invernadero 24 veces más grande que el CO₂ (THOMAS; KUMAR y KUMAR, 2020).



Sin embargo, cabe señalar que la emisión de metano no se limita al caso de fugas en el uso de gas natural. También ocurre: cuando la quema de gas no es completa, lo que puede ocurrir durante el proceso de *flaring*, que es una forma de contener el exceso de presión en la línea de gas o en la compresión del gas natural (OGWU; OLUWAFERANMI y JOHNSON, 2021); quema incompleta de biomasa (dependiendo del tipo de biomasa); en la descomposición de la materia orgánica de la basura; en procesos relacionados con la agricultura (el cultivo del arroz, que representa el 20% de las emisiones de metano a nivel mundial) y la ganadería (92-98% de las emisiones se producen durante el proceso de rumia). A esto se suman las emisiones del estiércol de estos animales, que también pueden ser naturales, que incluyen humedales (25% de las emisiones globales), termitas, vegetación, océano, animales salvajes, entre otros (THOMAS; KUMAR y KUMAR, 2020).

El proceso natural de producción de metano ocurre por metanogénesis, que ocurre en un ambiente anaeróbico donde el compuesto $C_6H_{12}O_6$ es descompuesto por bacterias en $3CO_2$ más $3CH_4$. Estas bacterias están presentes de forma natural en los campos de arroz, los bosques y los suelos acuáticos (THOMAS; KUMAR y KUMAR, 2020).

Por lo tanto, algunas soluciones para la gestión de las emisiones de metano son: el monitoreo de las mediciones de emisiones, ya sea por sensores, drones o incluso por satélite, que es una forma importante de reconocimiento y mapeo de áreas de riesgo; Monitoreo de llama de *flare*, que puede aumentar la eficiencia de la bengala hasta en un 98%; uso de compresores herméticos para evitar fugas en el proceso de compresión; tuberías más modernas que no permiten la difusión de gases; o, aún, procesos de remediación de formaciones post *fracking*. Como se ha visto, la producción de biometano también puede ser una solución para casos de descomposición de basura, estiércol y materia orgánica en general (THOMAS; KUMAR and KUMAR, 2020).

Otra forma de controlar las emisiones en la agricultura está relacionada con el cambio de estrategia de riego. En este contexto, se pueden utilizar diferentes



prácticas de cuidado del suelo como, por ejemplo, la aplicación de dosis de sulfato y otros controles de acidificación del suelo. En el ganado, las emisiones se pueden controlar mediante el control de los alimentos, utilizando, por ejemplo, piensos ricos en proteínas. Además, en minería, la perforación de pozos de alivio de metano antes de que comience el proceso de extracción puede contribuir a controlar las emisiones durante este proceso (THOMAS; KUMAR y KUMAR, 2020).

2.2 ENERGÍA RENOVABLE

Actualmente, existe una búsqueda por el uso de energías definidas como limpias, tales como: hidrotérmica, solar, eólica e hidráulica, reemplazando la energía producida por fuentes que emiten más carbono. Otras sustituciones importantes, conocidas como energía con menos carbono, son: gas natural vs carbón, etanol vs gasolina. Por ello, en los siguientes subtemas se presentan diferentes soluciones e innovaciones que son referentes en el ámbito de las energías renovables y que contribuyen a la transición energética.

2.2.1 ETANOL

El etanol surgió en Brasil como una alternativa a la gasolina, dada la crisis mundial del petróleo de la década de 1970. Al principio, hubo un enfoque en enfatizar el nacionalismo y el protagonismo de Brasil, ya que este combustible es importante para el proceso de descarbonización, ya que utiliza el carbono que es captado por las plantas durante su vida y que al quemarse se libera nuevamente, cerrando así el ciclo (FREITAS; ROSEIRA y SAMPAIO, 2020).

El etanol se puede utilizar de dos formas para motores de combustión: etanol anhidro, que sirve como aditivo a la gasolina; y, etanol hidratado, que se utiliza directamente en el tanque de combustible de forma completamente autónoma (ZANARDI y COSTA JUNIOR, 2016).



Se estima que el uso de etanol ha llevado a Brasil a evitar la emisión de 566 millones de toneladas de CO₂ desde 2003, lo que equivaldría a las emisiones anuales combinadas de Argentina, Venezuela, Chile, Colombia, Uruguay y Paraguay (ARAUJO, 2021).

Además, a modo de comparación, se emiten 720 g de CO₂ por real gastado en gasolina, mientras que cuando el mismo vehículo es alimentado con Etanol se emiten 142 g de CO₂ por real gastado (FERREIRA, s.d.). Considerando el promedio del sector productivo, el uso de etanol frente a la gasolina evita la emisión de: 2.564 kg de CO₂ /litro de etanol anhidro y 1.722 kg de CO₂/litro de etanol hidratado (EPE, 2005).

Hay un tercer uso del etanol en desarrollo: mezclado con agua, en una proporción de ~50%, para alimentar una celda de combustible y, con eso, la celda produce hidrógeno que puede usarse como fuente eléctrica para el vehículo. Esta técnica tiene como principal ventaja permitir el uso de hidrógeno, que es una fuente más limpia, además de evitar la necesidad de baterías en los automóviles, ya que la matriz logística de distribución de combustibles ya está preparada para alimentar vehículos equipados con esta tecnología (SILVA *et al.*, 2004; FIUZA *et al.*, 2012; TORRES, 2021).

2.2.2 BIODIESEL

Otra opción de combustible renovable que se puede usar para reemplazar el combustible fósil es el biodiesel etílico y el biodiesel metílico. Ambos pueden provenir de ricino, palma o soja, por ejemplo. Este combustible se obtiene mediante una reacción química entre triglicéridos o ácidos grasos y un alcohol y, en el caso de concentraciones del 100% de biodiésel, las emisiones evitadas pueden alcanzar: 2,76 kg CO₂eq/litro para el Etil Biodiésel de Palma; 2.537 6 kg CO₂eq/litro para Soy Ethyl Biodiesel; y 1,7676 kg CO₂eq/litro para Castor Ethyl Biodiesel. En todos los casos se considera el ciclo productivo completo (EPE, 2005).



2.2.3 GAS NATURAL VEHICULAR (GNV), BIOGÁS (GNC) Y BIOMETANO

Se sabe que el gas natural vehicular (GNV) emite un 20% menos de CO₂ que la gasolina. De esta manera, contribuye a la reducción de la contaminación (COPPE/UFRJ, 2011). Sin embargo, en comparación con el carbón, las emisiones de CO₂eq son un 42 % más bajas (CAMIOTO y REBELATTO, 2014).

El biogás (GNC) brinda la oportunidad de erradicar una fuente de emisión de gas metano, al tratar la putrefacción, *in natura*, de los residuos biológicos (DREGER, 2017). Además, su combustión es neutra, ya que proviene de materia orgánica que absorbe CO₂ en su ciclo de vida (SALATI, 2021).

El GNC puede ser reemplazado directamente por GNV (ZANK *et al.*, 2020), ya que este ya está disponible para el consumidor, es más económico (3,99/4,15 reales/m³) y permite una autonomía de 30 km mayor para el mismo volumen en el cilindro (CARDOSO, 2021).

Además, se destaca que es posible producir biogás a partir de la producción de biomasa de etanol, haciendo aún más eficiente su ciclo (EPBR, 2020), que también es capaz de suministrar el 17% de la electricidad de Brasil en 1 año (SALATI, 2021).

El biometano se produce mediante la depuración de biogás y se estima que puede sustituir en torno al 34% del consumo anual de gasóleo. En Brasil, en 2020, el consumo de diésel fue de 57,4 mil millones de litros y, en 1 km de viaje de diésel, se emiten 1.229 mil g CO₂eq. Sin embargo, si ese mismo kilómetro lo recorre un camión propulsado por biometano, la emisión sería de 72 g CO₂eq (SALATI, 2021).

2.2.4 HIDRÓGENO

El hidrógeno se produce a través de la hidrólisis del agua, lo que requiere un consumo de energía. En su conversión tiene mayor poder calorífico con menor peso molecular, es decir, más energía con menos masa. Además, es almacenable, lo que



significa que cuando se combina con otras formas de energía limpia, como la solar, geotérmica, hidráulica o eólica, produce el llamado hidrógeno verde, que se acumula en abundancia. Posteriormente, este gas puede convertirse en energía y, en lugar de producir CO₂ y otros elementos tóxicos, la quema de hidrógeno producirá agua y electricidad. También se puede combinar con gas natural para lograr una combustión más limpia (EPBR, 2020).

Según el tipo de energía utilizada para su producción, el hidrógeno puede clasificarse en colores: negro o marrón, cuando se produce a través del carbón; gris y turquesa, cuando se produce con gas natural; amarillo, cuando se produzca con fuentes de energía disponibles en la red; azul, cuando se capturan gases de efecto invernadero durante la producción; rosa, cuando se produce por energía nuclear; y verde, cuando se produce con energía renovable (BOTHE, 2020).

A pesar de ser más fácil de almacenar y transportar que otras formas de energía, este gas requiere el uso de cilindros presurizados, que pueden ser complejos para algunas aplicaciones, y el uso de más energía durante el proceso de compresión. Así, una alternativa para el transporte de hidrógeno es el amoníaco, que puede almacenarse a temperatura ambiente sin necesidad de compresión, lo que facilita el proceso de transporte (EGUTE *et al.*, 2010).

Además, algunas empresas están interesadas en producir acero verde utilizando hidrógeno o electricidad en lugar de gas o carbón, lo que llevaría las emisiones de GEI a prácticamente cero (VEJA, 2021).

2.2.5 ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA

El viento se ha utilizado como fuente de energía mecánica durante muchos años. Actualmente también se ha utilizado para la generación de energía eléctrica, siendo uno de sus mayores problemas de penetración el ruido generado por las palas. Se estima que existen 20 mil generadores instalados a nivel mundial, con un costo promedio de 48 Euros por MWh (GUERRA y YOUSSEF, 2011).



El viento es producido por aproximadamente el 2% de la energía solar térmica absorbida de la tierra en asociación con el movimiento de rotación de la tierra. El potencial eólico de una región varía según características geográficas, como relieve, obstáculos y altura (GUERRA y YOUSSEF, 2011; DUFFY et al., 2020).

Los componentes principales de un sistema eólico son: el viento; el rotor; la transmisión; la caja multiplicadora; el generador eléctrico; el mecanismo de control; la torre y el transformador. En cuanto a la construcción, el eje de generación puede ser vertical u horizontal, y el número de aspas puede variar según la aplicación (GUERRA y YOUSSEF, 2011).

La energía solar fue creada y desarrollada en Estados Unidos en 1954, pero tenía un costo de producción muy alto (más de 100 USD/w), que se fue reduciendo con el tiempo y los avances tecnológicos (40 USD/w en 1980). Debido a un impulso del gobierno alemán para fomentar las energías renovables, en el año 2000 (> 10 USD/w), China comenzó a tener una mayor participación de mercado y, con eso, el precio cayó aún más (> 5 USD/w) (DW PLANETA A, 2021a).

El mayor problema de la energía solar es que solo funciona cuando hay sol y hay dificultades para almacenarlo (EPBR, 2020) (DW PLANET A, 2021a). En este contexto y teniendo en cuenta que hay un aumento de la demanda energética por la noche, no es posible abastecer esta demanda con energía solar, y es necesario pasar a utilizar plantas no renovables y desechar parte de la energía acumulada durante los días soleados horas para no sobrecargar el sistema (DW PLANET A, 2021a).

2.2.6 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

La energía hidráulica utiliza la energía potencial acumulada por el agua embalsada en los embalses, sin embargo, cabe señalar que son necesarias condiciones geográficas favorables para la producción de electricidad. Este sistema tiene la ventaja de permitir la producción de energía a través de compuertas. Sin embargo,



su capacidad está limitada por el volumen del embalse, impactado por el poder incierto de las precipitaciones y, en consecuencia, de la entrada de agua. En este escenario, en algunos casos es necesario optar por vaciar el embalse y abrir las compuertas, lo que conduce a la no generación de energía. Si en este caso fuera posible almacenar la energía producida, podría ser utilizada para futuras aplicaciones (ALENCAR et al., 2009).

2.2.7 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Casi todas las energías renovables tienen problemas de disponibilidad en determinadas condiciones. Por lo tanto, para superar esta limitación, actualmente existen varias soluciones disponibles. Entre ellos: el uso de baterías de Ion Litio, que por el reciente proceso de evolución se convirtieron en una alternativa para almacenar la energía producida en exceso; o *Pumped Hydro Storage*, donde el agua se bombea a un lago en la cima de una colina o a una posición elevada, usando energía solar u otra fuente renovable, y así, como en el ejemplo del hidrógeno, cuando la energía renovable no está presente o no es suficiente, el agua baja por una turbina y genera electricidad; la producción de hidrógeno por electrólisis del agua, donde los bloques son levantados por una grúa con la ayuda de la energía solar y, durante la noche, son bajados, produciendo así energía (DW PLANET A, 2021b); la suspensión de cargas de pozos, incluidos pozos petroleros antiguos, que se apilan y bajan cuando se necesita energía (GRAVITRICITY, 2021).

Otra solución, abordada por una empresa llamada *Form Energy*, es la batería Ferro-Aire. Tiene una tecnología simple, pero puede ser más ventajosa que las baterías de Li-Ion, ya que almacena energía durante muchos días, a través del principio básico de corrosión para el almacenamiento de energía, teniendo 1/10 del costo de las baterías de Litio Ion, que equivale aproximadamente a 6 USD/kW contra 80 USD/kW y puede almacenar más de 3 MW/acre (CLEARPATH ACTION, 2021; FORM ENERGY, 2021; MINARI, 2021).



2.2.8 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica utiliza el calor de la tierra para producir vapor de agua y, por lo tanto, producir energía eléctrica. Fue explorado a escala experimental, inicialmente en Italia, en 1904, pero no tenía un potencial económico de interés. En 1970, con la crisis energética, Islandia, que dependía mucho de los combustibles fósiles para la producción de electricidad, tuvo que explorar más esta tecnología y, hoy, tiene cerca del 30% de su matriz energética basada en energía geotérmica, que está disponible las 24 horas del día a día y los 365 días del año (DW PLANET A, 2020).

Prácticamente todos los países tienen potencial de energía geotérmica. Además, se pueden encontrar fácilmente mapas con el potencial geotérmico de cada región. Se estima que del 3 al 4% de la demanda mundial de energía se puede cubrir con energía geotérmica, e Indonesia, presente en el círculo de fuego, es el país con mayor potencial geotérmico (DW PLANET A, 2020).

El proceso de producción de esta energía consiste en bombear agua a través de un pozo a una región del subsuelo de interés geotérmico y utilizar el vapor que regresa de este bombeo para producir electricidad en una turbina de vapor. Este proceso se denomina uso indirecto, pero también existe el uso directo, donde el vapor generado se utiliza para calefacción. En este contexto, la producción de electricidad puede darse en un sistema cerrado (CLGS, *Closed-loop Geothermal System*) o a través de fracturas (EGS, *Enhanced Geothermal System*), teniendo estas últimas el potencial de provocar terremotos (ALLAHVIRDIZADEH, 2020; DW PLANETA A, 2020)

El pozo utilizado en la producción de energía geotérmica tiene un proceso de perforación muy similar a la perforación de un pozo petrolero, pero adolece de mayores desafíos tecnológicos, ya que necesita atravesar zonas de alta temperatura, rocas volcánicas con mayor dureza y muchas veces fracturadas, que afectan las herramientas de perforación y, en consecuencia, aumentar la inversión



inicial en la construcción de la planta geotérmica (ALLAHVIRDIZADEH, 2020; DW PLANET A, 2020).

Además, también existe la opción de utilizar pozos petroleros abandonados para la producción directa o indirecta de energía geotérmica (CAULK y TOMAC, 2017).

Sin embargo, uno de los principales problemas de la energía geotérmica es que se produce en un lugar específico y es difícil de transportar. Así, una alternativa sería el aprovechamiento de la energía geotérmica para la producción de hidrógeno y su posterior exportación, aprovechando así el potencial de algunas regiones del planeta (HILL, 2021).

2.3 CAPTURA, USO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO

La transición energética es un fenómeno que ocurrirá con la presencia de fuentes emisoras de carbono. Así, el mundo puede necesitar la eliminación de miles de millones de toneladas de dióxido de carbono cada año para que en 2050 sea posible reducir las emisiones que no se pueden eliminar por completo y devolver el clima a sus condiciones normales (TEMPLE, 2021).

Sin embargo, hacer que los sistemas sean más eficientes o iniciar el movimiento hacia el uso de combustibles renovables no será suficiente para alcanzar las metas de reducción de emisiones de GEI. Por lo tanto, es necesario encontrar la forma de poder utilizar los combustibles que están disponibles hoy en día y no permitir que el CO₂ generado por su combustión entre directamente a la atmósfera. Además, para los casos en los que no se pueda detener la emisión, es necesario capturar este CO₂ directamente del aire con la denominada *Direct Air Capture* (DAC) y, de esta forma, utilizar o almacenar permanentemente este carbono. Esta técnica de captura y almacenamiento se denomina *Carbon Capture and Storage* (CCS) o *Carbon Capture, Utilization and Storage* (CCUS). Asimismo, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), sin Captura de



Carbono será imposible alcanzar las metas estipuladas (DW PLANET A, 2021b; EKELAND et al., 2021; BABARINDE y ADIO, 2020).

Sin embargo, vale la pena señalar que esta no es una idea nueva, ya que lidiar con el CO₂ ya ha sido un desafío en el desarrollo de submarinos y también durante la carrera espacial. Sin embargo, cabe destacar que este grupo de tecnologías nuevas o existentes pueden reducir significativamente las emisiones de CO₂ en centrales eléctricas de gas o carbón, y también ser aplicables a otras aplicaciones industriales, tales como: el procesamiento de cemento o gas natural. Además, más del 40% de las emisiones de CO₂ en Estados Unidos provienen de la generación de energía, y la tecnología CCS es capaz de reducir entre el 80 y el 90% de estas emisiones, pues hay que tener en cuenta que solo las fábricas con plantas de carbón generan 3,5 millones de toneladas de CO₂ por año en los Estados Unidos (BRAHMBHATT, 2016; DW PLANET A, 2021b).

A pesar de los beneficios, la captura directa de aire todavía tiene un alto costo, es decir, el desarrollo tecnológico y la creación de una economía en torno a esta técnica para hacerla viable, ya sea a través de créditos de carbono, impuestos a los contaminadores o a través de incentivos gubernamentales (BRAHMBHATT, 2016; DW PLANETA A, 2021b).

El punto de viabilidad económica de esta técnica es de aproximadamente 100 dólares por tonelada. Los clientes en los Estados Unidos generalmente pagan entre \$65 y \$110 en dióxido de carbono utilizado con fines comerciales. Alcanzando este valor, esta estrategia puede resolver del 10 al 20% de las emisiones que aún son muy difíciles y costosas de eliminar y, aún así, compiten con el costo de capturar en la fuente de la emisión (BRAHMBHATT, 2016).

Otro punto a tener en cuenta es que las tecnologías existentes para la captura de CO₂ utilizan del 25 al 40% de la energía que produce la central (BONILLA, 2020) y además aumentan el consumo de agua, que ya es elevado para las centrales de



carbón. Cabe señalar que, en algunos casos, con la implementación de CCS, este consumo de agua se duplica (ROSA *et al.*, 2020).

Con respecto al DAC, cabe señalar que puede ser utilizado para generar créditos de carbono, lo que ayudaría a zonas con dificultades para invertir en combustibles más limpios, en el logro de metas de neutralidad de carbono (NET-ZERO o NZE) (TEMPLE, 2021).

También es posible almacenar el CO₂ capturado en formaciones geológicas, tales como: yacimientos de petróleo y gas; formaciones profundas de sal; depósitos de carbón; así como grandes profundidades oceánicas. También existe la posibilidad de perforar un pozo o utilizar pozos ya agotados para el almacenamiento de CO₂ (BONILLA, 2020). Otra alternativa en estudio es la mineralización geológica de CO₂ mediante inyección en lugares con presencia de Calcio y Magnesio para la formación de carbonatos, siempre que existan condiciones adecuadas de presión y temperatura (GADIKOTA, 2021).

Otra estrategia que está estudiando la Universidad Federal de Paraná es un incinerador que pueda usarse para quemar basura. Después de este proceso, los gases resultantes de la quema de este residuo son tratados con el uso de microalgas, que tienen una gran capacidad de absorción de CO₂ (UFPR TV, 2016).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La matriz renovable del mundo se está expandiendo, pero aún no a un nivel que elimine los combustibles fósiles. Además, la demanda de energía ha ido en aumento y el cambio climático ha afectado los regímenes de viento y lluvia, impactando la capacidad de generar energía renovable, lo que conlleva el riesgo de apagón o racionamiento energético (CARRANÇA, 2021). Así, se requieren acciones adicionales para que se emitan menos GEI (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021), como se observa en el caso de la captura de carbono, ya sea a través de



filtros, químicos (BABARINDE y ADIO, 2020) o incluso a través del uso de microalgas (UFPR TV, 2016).

Otro camino es el uso más eficiente de combustibles o para la eficiencia energética, como la cogeneración (MITIUKOV; SPIRIDONOV y SAMIGULLINA, 2021), el uso de combustibles menos contaminantes, como el biogás (DREGER, 2017) y el etanol (SILVA *et al.*, 2004). Además, el biogás y otros biocombustibles, así como el uso de pilas de combustible, pueden ser soluciones más eficientes y prácticas, dada la posibilidad de utilizar las redes existentes para diseminar estos combustibles.

Sin embargo, parece que el uso de vehículos eléctricos no es necesariamente la mejor opción para todos los países. En este contexto, es importante considerar que en Brasil se emiten 0,074 kg CO_{2e}/kWh, mientras que en otros países del hemisferio norte, ese número es de 1 kg CO_{2e}/kWh (CARBON FOOTPRINT, 2020). En este escenario, también se encuentra el Ciclo Combinado, que es la definición que se le da a la combinación de sistemas de motor de combustión utilizados para generar electricidad con sistemas de generación eléctrica por vapor, que aprovechan la temperatura de los gases de escape, aumentando la eficiencia energética. (MITIUKOV; SPIRIDONOV y SAMIGULLINA, 2021).

La industria del cemento es responsable del 8% de las emisiones mundiales de CO₂, ya sea por el proceso de calentamiento o por la producción de su principal materia prima, el clinker (reacción química que transforma la caliza virgen en cal, dividiendo el material en óxido de calcio y CO₂). En este proceso se encuentra el 90% de las emisiones de GEI relacionadas con este tipo de industria (RODGERS, 2018). Sin embargo, existe la posibilidad de producirlo con un 30% menos de emisiones (MEHRA, 2016). En este contexto, una alternativa al cemento Portland es el LC³, un cemento que utiliza casi la mitad del clinker y la arcilla, que es un producto de descarte de la minería. Además, según estudios, el cemento LC³ tiene un desempeño mecánico similar al Portland (BARBALHO; SILVA y RÉGO, 2020).



En cuanto a las soluciones para reducir el impacto, el uso de la quema de residuos en lugar de combustibles sólidos, ya ha proporcionado una reducción de la huella de CO₂ del 18% en las últimas décadas, que puede incluso mejorarse con otras fuentes de energía más limpias y con captura de carbono (RODGERS, 2018).

En cuanto a las energías renovables, las limitaciones que son el almacenamiento y el transporte se pueden solucionar con el uso de baterías más económicas y con mayor capacidad de carga x tiempo, como es el caso de la batería hierro-aire (MINARI, 2021) y, principalmente, en el caso del hidrógeno, se convierten en fuentes ilimitadas de energía (EPBR, 2020). Además de abastecer a algunas partes del mundo, como regiones con mayor potencial eólico o regiones con mayor potencial geotérmico, la denominación de proveedores globales de hidrógeno verde, que puede ser transportado por oleoductos, camiones o barcos, brindando así acceso a un fuente de energía.

5. CONSIDERACIONES FINALES

La transición energética es un terreno fértil para la innovación, y necesita creatividad para alcanzar los objetivos establecidos en el acuerdo de París (GATES, 2021). Como se presentó a lo largo de este artículo, la solución no es única, ya que implica la adopción de varias tecnologías existentes, en desarrollo o que aún no han sido pensadas (BAKER HUGHES, 2021b), especialmente teniendo en cuenta el crecimiento de la población mundial y el aumento de la demanda de electricidad (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

En este contexto, el objetivo era responder: ¿cuáles son las estrategias de transición energética? Teniendo como objetivo principal presentar algunas estrategias en marcha para el proceso de transición energética, abordando el tema en tres aspectos principales, a saber: eficiencia energética; energía renovable; y captura y secuestro de carbono. Por lo tanto, en vista de lo anterior, se presentaron, en la categoría de eficiencia energética, los siguientes: programas de etiquetado; uso de material reciclado; automatización y uso de inteligencia artificial; y gestión de las



emissões de metano. En la categoría de energías renovables: etanol; biodiésel; biometano; el biogás; gas natural; el hidrógeno; energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica; y almacenamiento de energía. Y finalmente, la estrategia de captura, uso y almacenamiento de carbono.

En el ámbito de la eficiencia energética se puede citar la búsqueda de equipos y sistemas más eficientes que consuman menos energía y menos recursos (SANTOS *et al.*, 2015), demostrando así el uso de programas de etiquetado (CELLA; GUARDA y DOMINGOS, 2020). También se pueden mencionar los procesos de automatización y las técnicas de inteligencia artificial utilizadas para aumentar la eficiencia de varios sistemas (PARKES y HUGHES, 2020).

En cuanto a las energías renovables, se señaló que se encuentran en plena expansión, así como el desarrollo de nuevas técnicas de almacenamiento de energía (GRAVITRICITY, 2021), el abaratamiento de los equipos producidos para la producción de estas energías, como es el caso de la energía solar (DW PLANETA A, 2021a), los avances tecnológicos, que también han hecho más eficientes estas técnicas, y el uso de combustibles más limpios, como el gas natural vehicular o el etanol (EPE, 2005; O'SHEA *et al.*, 2020).

Sin embargo, vale la pena recordar que todavía hay áreas donde el uso de combustibles fósiles no puede eliminarse por completo. Así, la técnica de captura de carbono es la mejor solución, ya sea por remoción directa de carbono en el aire o por captura de carbono en la fuente, que aún son costosas y generan ineficiencias energéticas, pero que pueden capturar el 80-90% del CO₂ emitido (BABARINDE y ADIO, 2020).

Como resultado, se indica que la integración y mejora tecnológica de las diferentes fuentes de energía debe redundar en mayores reducciones de emisiones de CO₂ y GEI. Sin embargo, llama la atención que para alcanzar las metas de reducción del calentamiento global es necesaria la innovación y la mejora en cada uno de los aspectos presentados (GATES, 2021), lo que constituye, por tanto, un camino de



oportunidades para el desarrollo de otros trabajos en cada una de las áreas aquí presentadas, ya que cada reducción de CO₂ cuenta.

REFERENCIAS

ARAUJO, G. Uso de etanol no Brasil evitou emissão de 556 mil t de CO₂ desde 2003, diz Unica. **Reuters**, junho de 2021. Disponível em: <https://mobile.reuters.com/article/amp/idBRKCN2DE2K2-OBRBS>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

ALENCAR, T. T.; LEITE, P. T.; CARNEIRO, A. F. M.; e CARVALHO, A. C. P. L. F. Desenvolvimento de uma ferramenta inteligente amigável para o planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de potência. **VIII Th Latin American Congress Electricity Generation and Transmission**, 2009.

ALCOA. Alcoa triplica o uso de alumínio reciclado e reduz emissões de gases de efeito estufa. **Alcoa**, agosto de 2020. Disponível em: <https://www.alcoa.com/brasil/pt/news/releases?id=2020/08/alcoa-triplica-o-uso-de-aluminio-reciclado-e-reduz-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-&year=y2020>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

ALLAHVIRDIZADEH, P. *A review on geothermal wells: Well integrity issues*. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, p. 1-19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124009>. Acesso em: 28 de julho de 2022.

BABARINDE, F.; ADIO, M. *A Review of Carbon Capture and Sequestration Technology*. **Journal of Energy Technology and Environment**, p. 1-11, 2020. Disponível em: DOI:10.37933/nipes.e/2.2020.1. Acesso em: 24 de junho de 2022.

BARBALHO, E. de A.; SILVA, E. F. da; RÊGO, J. H. da S. Estudo da proporção de argila calcinada e filler calcário no cimento LC3 para diferentes teores de substituição. **Revista Matéria**, vol. 25, nº 1, p. 1-15, 2020. Disponível em:

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0906>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

BAKER HUGHES. *How ready are we to tackle CO2 emissions?* **YouTube**, maio de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rnbS-vUio5A>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

BAKER HUGHES. *VitalyX. Baker Hughes*, julho de 2021b. Disponível em: <https://www.bakerhughesds.com/measurement-sensing/vitalyx-oil-monitoring-platform>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

BONILLA, P. *Carbon Capture Infographic*. **ResearchGate**, 2020. Disponível em: DOI:10.13140/RG.2.2.31039.94881. Acesso em: 28 de julho de 2022.

BRAHMBHATT, S. R. *The Economics of Carbon Capture*. **CryoGas International**, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/302987161_The_Economics_of_Carbon_Capture. Acesso em: 28 de junho de 2022.

BALES, M. P. *et al.* A avaliação do programa brasileiro de etiquetagem veicular demonstra a necessidade da melhoria contínua. **XXIII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva – SIMEA**, vol. 2, num. 1, p. 1-11, setembro de 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/a-avaliacao-do-programa-brasileiro-de-etiquetagem-veicular-demonstra-a-necessidade-da-melhoria-contnua-20178>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

BOTHE, D. *Green, blue hydrogen – Potentials and security of supply – DVGW Congress Perspectives for H2 Module #1*. **Frontier-Economics**, outubro de 2020. Disponível em: <https://www.frontier-economics.com/media/4258/prs-bothe-green-blue-hydrogen-potential-and-security-of-supply-en-stc.pdf>. Acesso em: 28 de junho de 2022.



CARDOSO, R. B. *et al.* Avaliação da economia de energia, atribuída a ações de etiquetagem energética, em motores de indução no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 15, nº 1, p. 29-47, 2009. Disponível em: <https://www.sbpe.org.br/index.php/rbe/article/download/229/210/>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

CARDOSO, L. Conheça o combustível ecológico que é mais barato e eficiente do que o GNV. **Jornal Extra**, junho de 2021. Disponível em: <https://extra.globo.com/economia/conheca-combustivel-ecologico-que-mais-barato-eficiente-do-que-gnv-25043071.html>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

CAMIOTO, F. de C.; REBELATTO, D. A. do N. Análise da contribuição ambiental por meio da alteração da matriz energética do setor brasileiro de ferro-gusa e aço. **Gest. Prod.**, v. 21, n. 4, p. 732-744, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530x448/12>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

CAULK, R. A.; TOMAC, I. *Reuse of abandoned oil and gas wells for geothermal energy production*. **Renewable Energy**, vol. 112, p. 388-397, 2017. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeerenene/v_3a112_3ay_3a2017_3ai_3ac_3ap_3a388-397.htm. Acesso em: 28 de julho de 2022.

CELLA, A. M.; GUARDA, E. L. A. de; DOMINGOS, R. M. A. Desempenho energético de um edifício de escritórios: aplicação do método simplificado da nova proposta de etiquetagem de edifícios comerciais. **XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC**, p. 1-8, dezembro de 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347949765_DESEMPENHO_ENERGETICO_DE_UM_EDIFICIO_DE_ESCRITORIOS_APLICACAO_DO_METODO_SIMPLIFICADO_DA_NOVA_PROPOSTA_DE_ETIQUETAGEM_DE_EDIFICIOS_COMERCIAIS. Acesso em: 27 de junho de 2022.

CARBON FOOTPRINT. *Country Specific Electricity Grid Greenhouse Gas Emission Factors*. **Grid Electricity Emissions Factors v1.1**, 2020. Disponível em:

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



https://www.carbonfootprint.com/docs/2020_06_emissions_factors_sources_for_2020_electricity_v1_1.pdf. Acesso em: 28 de junho de 2022.

CARRANÇA, T. Apagão ou racionamento: 10 termos para entender a crise do setor elétrico. **BBC**, junho de 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57647243>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

CLEARPATH ACTION. A “Reversible Rust” Battery That Could Transform Energy Storage. **Youtube**, julho de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1n1qZHni718&t=32s>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

COPPE/UFRJ – INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ENGENHARIA. Inventário e Cenário de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro. **COPPE/UFRJ**, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1712030/DLFE-222982.pdf/NelsonSINVENTARIOFINALMAC_Resumo_Geral_Inv_e_Cenario_v05a_br_E.pdf. Acesso em: 28 de junho de 2022.

DREGER, I. **Biogás: contribuição eco-econômica: Produção compartilhada ou condominial de biogás para pequenas propriedades rurais (Portuguese Edition)**. Novas Edições Acadêmicas, 2017.

DUFFY, A. *et al.* Land-based wind energy cost trends in Germany, Denmark, Ireland, Norway, Sweden and the United States. **Applied Energy**, v. 277, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114777>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

DW PLANET A. *Geothermal energy is renewable and powerful. Why is most of it untapped?* **YouTube**, dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=c7dy0hUZ9xl>. Acesso em: 28 de junho de 2022.



DW PLANET A. *How solar energy got so cheap, and why it's not everywhere (yet)*. **YouTube**, janeiro de 2021a. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sUvaYycoWql&t=95s>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

DW PLANET A. *Can carbon capture actually work?* **YouTube**, janeiro de 2021b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JHs-eWHb16g&t=105s>. Disponível em: 28 de junho de 2022.

EGUTE, N. dos S. *et al.* Amônia como fonte de hidrogênio para utilização em células a combustível. **5º Congresso Internacional de Bioenergias**, p. 1-6, 2010. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2010/eventos/15803.pdf>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

EKELAND, A. *et al.* *Is There a Future for Carbon Capture and Storage?* **Hradec Economic Days**, 2021. Disponível em: DOI:10.36689/uhk/hed/2021-01-016. Acesso em: 26 de junho de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Potencial de redução de emissões de co2 em projetos de produção e uso de biocombustíveis**. EPE, 2005. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL[1].pdf). Acesso em: 27 de junho de 2022.

EPBR. André Clark, diretor geral da Siemens Energy Brasil. EPBR, **Youtube**, outubro de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DBUV0kkyFpw>. Acesso em: 15 de Março de 2021.

FREITAS, E. P. de; ROSEIRA, A. M.; SAMPAIO, M. de A. Geopolítica do etanol: soberania energética e projeção internacional do Brasil (1930-2015). **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, nº 45, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.28332>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



FONTES, G. Geladeira 'econômica' gasta dobro do ideal, mas mantém desconto de imposto. **Uol**, Maio de 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2021/05/20/geladeira-gasto-energia-etiqueta-inmetro.htm>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

FERREIRA, L. Qual a pegada de carbono de R\$ 1? **Revista Galileu**, s.d. Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI204587-17933,00-QUAL+A+PEGADA+DE+CARBONO+DE+R.html>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

FIUZA, R. da P. *et al.* A utilização de etanol em célula a combustível de óxido sólido. **Química Nova**, vol. 35, ed. 8, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000800025>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

FORM ENERGY. *Battery Technology*. **Form Energy**, julho de 2021. Disponível em: <https://formenergy.com/technology/battery-technology/>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

GADIKOTA, G. *Carbon Mineralization pathways for Carbon Capture, Storage and Utilization*. **Communications Chemistry**, v. 4, nº 23, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42004-021-00461-x>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

GATES, B. *A new way to invest in clean energy innovation: Breakthrough Energy Catalyst*. **Youtube**, julho de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oD17uLWd2qA>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

GRAVITRICITY. *Gravity Energy Storage*. **Gravitricity**, julho de 2021. Disponível em: <https://gravitricity.com/>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

GUERRA, J. B. S. O. de A.; YOUSSEF, Y. A.; **Energias Renováveis – Energia Eólica**. Livro Digital: Jelare, 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/583283-Energia-eolica-energias-renovaveis-paulo-roberto-rodrigues-jose-baltazar->

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



salgueirinho-osorio-de-andrade-guerra-youssef-ahmad-youssef.html. Acesso em: 28 de junho de 2022.

HILL, L. B. **PIVOT2021: Geothermal Reimagined Conference**. [S.l.]: [s.n.], julho de 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Net Zero by 2050**. 4ª revisão, outubro de 2021. Disponível em: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)

[ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf). Acesso em: 24 de junho de 2022.

MEHRA, P. LC3 reduz pegada de carbono na construção. **Valor**, novembro de 2016. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2016/11/04/lc3-reduz-pegada-de-carbono-na-construcao.gh.html>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

MELO, R. H. J. de. *et al.* Reciclagem metálica veicular com redução na emissão de CO_2 e consumo energético. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 06, ed. 06, vol. 16, pp. 96-140. Junho de 2021. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/consumo-energetico>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/consumo-energetico. Acesso em: 27 de junho de 2022.

MINARI, G. Bateria de ferro-ar 10x mais barata que o lítio armazena 100 horas de energia. **CanalTech**, julho de 2021. Disponível em: <https://canaltech.com.br/inovacao/bateria-de-ferro-ar-10x-mais-barata-que-o-litio-armazena-100-horas-de-energia-190895/>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

MITIUKOV, N. W.; SPIRIDONOV, S. V.; SAMIGULLINA, G. Z. *Cogeneration Plant Optimization*. **International Science and Technology Conference**, p. 1-4, 2021. Disponível em: doi:10.1088/1757-899X/1079/4/042008. Acesso em: 28 de junho de 2022.

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



NATIONAL GEOGRAPHIC. *Causes and Effects of Climate Change*. **YouTube**, agosto de 2017a. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=G4H1N_yXBIA. Acesso em: 24 de junho de 2022.

NATIONAL GEOGRAPHIC. *Air Pollution 101*. **YouTube**, outubro de 2017b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=e6rglsLy1Ys&t=16s>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

O'SHEA, R. *et al. Using biogas to reduce natural gas consumption and greenhouse gas emissions at a large distillery*. **Applied Energy**, v. 279, p. 1-20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115812>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

OGWU, C. E.; OLUWAFERANMI, F. M.; JOHNSON, A. I. *Impact of Gas Flaring on Climate Change (A Case Study of Niger Delta Region of Nigeria)*. **Global Scientific Journals**, v. 09, ed. 05, p. 1781-1789, maio de 2021. Disponível em: https://www.globalscientificjournal.com/researchpaper/IMPACT_OF_GAS_FLARING_ON_CLIMATE_CHANGE_A_CASE_STUDY_OF_NIGER_DELTA_REGION_OF_NIGERIA_.pdf. Acesso em: 27 de junho de 2022.

PARKES, G. HUGHES, B. *Monitoring Lubricants in the Digital Era*. **Machinery Lubrication**, ed. 4, 2020. Disponível em: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31836/digital-lubricant-monitoring>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

RODGERS, L. Aquecimento global: a gigantesca fonte de CO₂ que está por toda parte, mas você talvez não saiba. **BBC News**, dezembro de 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-46591753>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

ROSA, L. *et al. Hydrological Limits to Carbon Capture and Storage*. **Nature Sustainability**, 2020. Disponível em: <https://nature.berkeley.edu/matteolab/wp-content/uploads/2020/05/CCS-water-Nature-Sustainability-2020.pdf>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



SANTOS, T. S dos. *et al.* Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng Sanit Ambient**, v. 20, n. 4, out/dez de 2015. Disponível em: DOI: 10.1590/S1413-41522015020040125106. Acesso em: 27 de junho de 2022.

SIMÕES DOS SANTOS, T. et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng Sanit Ambient**, p. 595-602, 2015.

SILVA, E. P. *et al.* **O Etanol como Fonte de Hidrogênio para Células a Combustível na Geração Distribuída de Energia Elétrica**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SALATI, P. De onde vem o que eu como (e uso): resíduos da cana-de-açúcar geram o biogás, que vira energia elétrica e combustível substituto do diesel. **G1**, julho de 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/agro-a-industria-riqueza-do-brasil/noticia/2021/07/17/de-onde-vem-o-que-eu-como-e-uso-residuos-da-cana-de-acucar-geram-o-biogas-que-vira-energia-eletrica-e-combustivel-substituto-do-diesel.ghtml>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

THOMAS, J.; KUMAR, A.; KUMAR, A. *Agricultural Methane Emissions: Consequences and Mitigations*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 02, ed. 09, p. 729-732, 2020. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.902.089>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

TORRES, C. Nissan terá carros elétricos com célula de etanol para dispensar recarga. **MobiAuto**, junho de 2021. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/revista/nissan-tera-carros-eletricos-com-celula-de-etanol-para-dispensar-recarga/909>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

TEMPLE, J. *What it will take to achieve affordable carbon removal*. **MIT Technology Review**, junho de 2021. Disponível em:

RC: 121398

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>



<https://www.technologyreview.com/2021/06/24/1027083/what-it-will-take-to-achieve-affordable-carbon-removal/>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

TV BRASILGOV. Saiba mais sobre o Acordo ambiental de Paris. **YouTube**, outubro de 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ih62P5U4-m8&t=485s>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

UFPR TV. Scientia – Tratamento de emissões e efluentes com microalgas. **Youtube**, novembro de 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7EAGxzYF6bQ>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

VEJA. Siderúrgicas investem em “aço verde” para cumprir metas sustentáveis. **Veja**, julho de 2021. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/agenda-verde/siderurgicas-investem-em-aco-verde-para-cumprir-metas-sustentaveis/>. Acesso em: 28 de junho de 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Air pollution*. **World Health Organization**, 29 Junho 2021. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 24 de junho de 2022.

ZANARDI, M. dos S.; COSTA JUNIOR, E. F. da. Tecnologia e perspectiva da produção de etanol no Brasil. **Revista Liberato**, v. 17, nº 27, p. 20-34, 2016. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/390>. Acesso em: 27 de julho de 2022.

ZANK, J. C. C.; BRANDT, L. S.; BEZERRA, R. C.; PEREIRA, E. N. As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. **Exacta – Engenharia de Produção**, vol. 18, nº 3, p. 502-516, 2020. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n3.10802>. Acesso em: 28 de junho de 2022.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Enviado: Junio de 2022.

Aprobado: Junio de 2022.

RC: 121398

Disponível: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ambiental-es/transicion-energetica>