

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR
EL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**DETERMINAR EL NIVEL DE PRODUCTIVIDAD
ENERGÉTICA CON BASE EN LA INTENSIDAD Y
SENDERO ENERGÉTICO DE COSTA RICA EN EL
QUINQUENIO QUE RESPECTA DEL 2023 AL 2028**

AUTOR:

FABRICIO MOLINA SALAS

TUTOR:

ING. ÁLVARO ROJAS

LECTOR:

ING. DANIEL ULATE ACUÑA

SAN JOSÉ, AGOSTO, 2023

Dedicatoria

Fueron muchas semanas de estudio, días de desvelo, exámenes de alto desgaste, aventuras envueltas de muchos conocimientos. Dedico esto a mi familia y amigos que estuvieron en este largo proyecto de vida y que con sus palabras y apoyos lograron sacar la mejor versión de mí cuando yo pensaba que no lo lograría, a todas esas personas que siempre confiaron en mí, que no dudaron en ningún momento, que muchas veces se la creyeron por mí. A todas las personas que me quisieron ver cumpliendo esta meta tan importante. Solo gracias y más gracias por ser parte de mi vida en este proyecto.

Agradecimientos

Gracias a mis docentes, porque sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos; a ustedes mis profesores, les debo mis conocimientos. Donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mí transitar profesional. Su semilla de conocimientos, germinó en el alma y espíritu. Gracias por su paciencia, por brindarme tan buenas enseñanzas de manera profesional e invaluable, por su dedicación perseverancia y tolerancia.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia. Sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

A ustedes, mis padres y abuelos, quienes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Orgulloso de haberlos elegido como mis padres y abuelos, gracias por ser quienes son y por creer en mi cuando ni yo mismo lo hacía.

Tabla de Contenidos

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Índice de Figuras	9
Introducción	11
Resumen.....	13
<i>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>14</i>
Planteamiento del problema.....	14
Justificación	14
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Antecedentes	16
Alcance	19
Limitaciones.....	19
<i>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</i>	<i>20</i>
Eficiencia energética.....	20
Intensidad energética	20
Fórmula de cálculo Intensidad energética.....	21
Método de cálculo.....	22
Eficiencia energética y su relación con la intensidad energética	22
Sendero energético.....	23
Innovación tecnológica para la eficiencia.....	23
Recursos energéticos.....	23
Importancia de los recursos energéticos	24

Recursos energéticos no renovables	24
Recursos energéticos renovables	25
Aspectos de los tipos de energías.....	25
Economía mundial	26
Perspectivas económicas actuales.....	26
América.....	27
África	27
Europa.....	27
Asia y el Pacifico	28
Mercado energético.....	28
Fuentes de energía comunes	28
Balance energético en países cercanos a Costa Rica	30
Sistemas de información energética.....	30
Matriz energética	30
Aspectos económicos.....	31
PIB	31
¿Como saber si PIB de un país crece o decrece?	31
¿Qué sucede si el PIB aumenta o disminuye?	31
Método de cálculo.....	32
Fórmula del PIB método del gasto.....	32
Fórmula del PIB método del valor agregado	33
Fórmula del PIB método de ingreso	33
Comparaciones del PIB.....	33

Críticas al PIB	34
Mediciones macroeconómicas	34
¿Cuáles son las principales magnitudes macroeconómicas?	35
Mediciones macroeconómicas con energías renovables.....	35
Hidrógeno	37
Hidrógeno verde.....	37
¿Qué es el hidrógeno y como se obtiene?.....	37
La gasificación	37
La transformación molecular	38
La electrólisis del agua.....	38
Tipos de hidrógeno como combustible	38
¿Por qué el hidrógeno gris es un problema para el planeta?.....	39
¿Qué es el hidrógeno verde o renovable y cómo funciona?	39
¿Cómo se consigue el hidrógeno verde?.....	40
¿Cómo funciona el hidrógeno verde?	40
¿Para qué sirve el hidrógeno verde? Usos para combatir el cambio climático.....	40
Ventajas de utilizar el hidrógeno verde como combustible	41
Barreras ante el hidrógeno verde	42
Plan Nacional de Energía 2015-2030 (PNE)	42
Estrategia Nacional de Hidrógeno verde de Costa Rica	42
Productividad dentro de Costa Rica y su comparativa	44
Fórmula productividad laboral.....	44
Población económicamente activa (PEA).....	45

<i>CAPÍTULO III: DESARROLLO</i>	46
Situación actual de Costa Rica.....	46
Consumo energético y crecimiento económico en Costa Rica.....	49
Consumo primario y final de energía.....	50
Consumo energético en el transporte	54
Consumo secundario en el sector terciario	54
Consumo secundario de energía en el sector agropecuario	56
Productividad energética en el sector industrial	57
Comparativa con Panamá	58
Comparativa con Chile	60
Comparativa con México.....	62
Comparativa con Honduras.....	63
Comparativa con El Salvador	64
Comparativa con Guatemala.....	65
Comparativa con Nicaragua.....	65
La seguridad de las energías renovables.....	67
Los efectos de la guerra	68
Uso del hidrógeno solar como la independencia eléctrica domestica.....	68
Problemáticas con los carros eléctricos	69
Huella de carbono en Costa Rica	73
¿Es el hidrógeno el futuro?	77
Hidrógeno como combustible	78
Hidrógeno en el sector eléctrico	83

Hidrógeno en el sector residencial	85
Hidrógeno en el sector industrial	85
Propuestas a seguir sobre el uso del hidrógeno	86
Principales problemáticas con el hidrógeno	87
Apoyo no a la producción de hidrógeno verde en el país	89
Productividad laboral de Costa Rica y su comparativa con países centroamericanos.....	94
<i>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO</i>	96
Enfoque de la investigación cualitativo	96
Matriz de codificación: enfoque cualitativo	96
<i>CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS</i>	99
<i>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	104
Conclusiones	104
Recomendaciones	109
Bibliografía	111

Índice de Figuras

Figura 1 Capacidad de producción por fuente de energía	46
Figura 2 Evolución de las emisiones de CO ₂ de 1960 a 2019 en millones de toneladas ...	47
Figura 3 Equilibrio de Energía.....	48
Figura 4 Costa Rica: población, PIB y consumo primario de energía.....	49
Figura 5 Costa Rica: población, consumo privado de hogares y consumo final de energía	50
Figura 6 Consumo final de energía por fuente, 2000 y 2015.....	51
Figura 7 Costa Rica: relación consumo final/consumo primario, 1991-2015	52
Figura 8 Costa Rica: estructura del consumo final de energía por fuente, 2000 y 2015 ...	53
Figura 9 Costa Rica: consumo secundario de energía en transporte, 2000 y 2015.....	54
Figura 10 Costa Rica: consumo secundario de energía en sector terciario, 2000 y 2015..	55
Figura 11 Costa Rica: consumo secundario de energía en el sector agropecuario, 2000 y 2015.....	56
Figura 12 Costa Rica: consumo final de energía en industria, 2000 y 2015.....	57
Figura 13 Composición del Sistema de generación	58
Figura 14 Potencia firme.....	59
Figura 15 Matriz Energética primaria en Chile año 2019.....	60
Figura 16 Matriz Energética en Chile al año 2019	61
Figura 17 Consumo final de energía en Chile por sector de actividad económica, año 2019	62
Figura 18 Tipos de energía en Nicaragua.....	66
Figura 19 Costa Rica Matriz eléctrica renovable.....	67

Figura 19 Costa Rica Matriz eléctrica renovable.....	67
Figura 20 Número de países con más del 30% de población por encima de los 60 años, 2015-2050	72
Figura 20 Número de países con más del 30% de población por encima de los 60 años, 2015-2050	72
Figura 21 Comparación de precio por peso para cada combustible analizado	74
Figura 21 Comparación de precio por peso para cada combustible analizado	74
Figura 22 Emisiones de CO2 equivalente por kWh para cada combustible en su respectiva tecnología.....	75
Figura 22 Emisiones de CO2 equivalente por kWh para cada combustible en su respectiva tecnología.....	75
Figura 23 Trayectoria propuesta de las Emisiones Totales Netas de GEI de Costa Rica 2012-2050	76
Figura 23 Trayectoria propuesta de las Emisiones Totales Netas de GEI de Costa Rica 2012-2050	76
Figura 24 Cantidad de hidrógeno requerida por tamaño de motor	81
Figura 24 Cantidad de hidrógeno requerida por tamaño de motor	81
Figura 25 Consumo de electricidad de generadores de hidrógeno	82
Figura 25 Consumo de electricidad de generadores de hidrógeno	82

Introducción

La importancia del ahorro de la energía no solo tiene que ver con el impacto climático y sus repercusiones en el futuro. Cuando se habla de la eficiencia energética también hay que resaltar la mejora de su seguridad y también cómo se fomenta un suministro de energía sostenible. Cabe agregar, que la eficiencia energética reduce gastos y mejora la competitividad, lo que produce bienestar en el consumidor.

El principal objetivo de esta investigación es analizar los indicadores energéticos de Costa Rica, para de esta manera determinar la productividad energética y su procedimiento económico dentro del país. Este objetivo se logra mediante el estudio y análisis de información de diferentes empresas nacionales como internacionales. Gracias a esto, se puede observar desde otras perspectivas cómo el país ha obtenido mejoras o ha retrocedido con base en la eficiencia energética de otros países de la zona.

Al comparar los diferentes indicadores de los países cercanos, se podrán seleccionar las mejores prácticas y costumbres para adaptarlas a las necesidades del país. Con estos análisis se harán comparaciones transversales sobre la estructura de la productividad dentro de la matriz energética de la nación. Por su lado, por medio del análisis de la matriz energética se puede orientar la planificación del sector energético del país con el fin de garantizar la producción, la seguridad y el uso adecuado de la energía disponible. Se debe destacar que la matriz energética también está constituida por un conjunto de fuentes renovables o no renovables, encargadas de generar energía para atender demandas de residencia, transporte, comercio, entre otras.

Debido a las problemáticas que suscitaron en 2019 por causa de la pandemia por Covid-19, es importante proporcionar un análisis independiente sobre la evolución de la productividad energética y el sendero energético durante ese periodo. Este análisis independiente dejará ver qué tanta productividad energética tuvo el país y de qué manera impactó dicha pandemia sobre la economía nacional.

El análisis de la productividad energética durante el periodo en que aparece el nuevo coronavirus, cuyo nombre de oficial es SARS-CoV-2 y que produce la enfermedad conocida como Covid-19, registra su impacto en gran medida en el sector eléctrico. La presencia de la enfermedad afectó múltiples áreas, tales como la demanda, el abastecimiento y todo aquello que tiene repercusiones en el mercado energético. Básicamente se vive una desaceleración en la dinámica

diaria de los sectores productivos, lo que provoca cambios en el consumo eléctrico, ya sean fábricas, comercios o escuelas. Además, en paralelo a estas problemáticas hay un crecimiento en el impulso del trabajo.

Con base a lo anteriormente descrito, se realiza un comentario crítico sobre las políticas y tendencias energéticas vinculadas a los aspectos económicos del país. Con esto se pretende hacer conciencia y, a la vez, poner en práctica políticas correctas que ayuden a su funcionamiento y a un buen manejo de la eficiencia por parte de los costarricenses.

Resumen

La productividad mide la salida y la calidad de los bienes y servicios generados con un conjunto dado de insumos. En el caso de la productividad energética, se mide la razón entre el producto interno bruto y la utilización de insumos energéticos en el marco de la economía interna (Dane, 2017). La eficiencia energética implica usar bien la energía, porque significa ahorrar sin perder en calidad de vida o de producción. Un ejemplo de esto es la introducción de nuevas tecnologías o el cambio de conducta de las personas.

Al hacer la adecuada investigación, para dar a conocer la situación del país, se logra concluir que el uso del hidrógeno para remplazar la matriz eléctrica no será una solución viable de momento. Por otra parte, se dio a conocer la situación actual de la nación mediante el análisis de los diferentes indicadores económicos que están presentes dentro de la matriz energética. De igual manera, haciendo un análisis de los diferentes indicadores económicos, pero ahora de los países de Centro América, para obtener un contexto sobre la importancia de mantener una matriz energética limpia, se destacaron las fortalezas y debilidades de cada nación, según las políticas usadas en cada una y se hizo una comparación mediante un análisis de los mismos indicadores energéticos, con el propósito de demostrar qué tan bien encaminado está el sector energético en Costa Rica.

Por otro lado, se da a conocer la evolución que ha tenido el hidrógeno en la actual sociedad, su proyección y las futuras tendencias que tendrán un impacto sobre la socioeconomía del país y del mundo. Estos avances se investigaron mediante diferentes sitios web destacando los pros y contras del uso de este gas.

Se logró determinar que compuesto entre diésel, metanol y amoníaco es mejor y cual tiene una mejor huella de carbono. Esto de la mano con otras investigaciones que tratan sobre la huella de carbono de los diferentes compuestos químicos más utilizados.

Finalmente se aborda el tema legal y de gran alerta para el país, que consiste en el apoyo que se le da de forma lícita a los diferentes proyectos de ley que involucren el uso del hidrógeno. Se llegó a la conclusión que el marco legal no está involucrado totalmente, por distintivas problemáticas planteadas en el desarrollo de la investigación. La ausencia de la normativa jurídica

y una serie de diferencias impiden el crecimiento de proyectos de ley que involucren el hidrógeno como motor fundamental para estos proyectos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Cuál es el nivel de productividad energética y cuál es el papel que tendrá el uso del hidrógeno en la dinámica energética dentro del proceso económico de Costa Rica en el periodo 2023 – 2028?

Justificación

La investigación pretende analizar los diferentes resultados sobre el consumo energético que ha tenido el país en un determinado periodo, lo que deja ver cómo la toma de decisiones ha afectado en gran o pequeña manera, los indicadores económicos energéticos del país. El propósito principal del trabajo es dar a conocer la productividad energética del país en el periodo ya mencionado y cómo se ve reflejada en los diferentes aspectos socioeconómicos nacionales. Además, esta investigación sirve de pilar para darle la debida importancia y ampliar el conocimiento sobre la productividad energética y su impacto económico en Costa Rica.

Se puede señalar que el análisis de la intensidad energética corresponde a la relación que existe entre los recursos energéticos consumidos y los bienes y servicios producidos (Dane, 2017). En este caso, se está hablando de la productividad energética que se generará en el país en el periodo de 2023 al 2028. Por otro lado, el sendero energético corresponde a la relación entre la energía aprovechada y la energía invertida en un proceso de transformación energética (OLADE, biblioteca.olade.org, 2011).

Cuando un país o región tiene problemas con una mala eficiencia energética pone en riesgo varios aspectos significativos como lo pueden ser el agotamiento de las energías no renovables, los impactos negativos sobre el medio ambiente, la inseguridad del abastecimiento energético y el efecto invernadero. Si una zona no logra alcanzar un balance respecto al consumo de la intensidad energética, con el paso de los años su productividad energética se verá afectada, lo que lleva consigo problemas económicos y sociales.

En consecuencia, al seguir de la mano con el correcto uso e interpretación de los indicadores energéticos-económicos, un país puede mejorar su eficiencia energética en un proceso de años. Una buena productividad energética ayuda al país o a una zona a la detección y subsanación de sumideros de consumo desconocidos, ineficiencias energéticas, eliminación de procesos redundantes y sustitución de viejos equipos que derrochan energía.

Objetivo General

Determinar el nivel de productividad energética y el papel que tendrá el uso del hidrógeno en la dinámica energética dentro del proceso económico de Costa Rica en el quinquenio que respecta del 2023 al 2028

Objetivos Específicos

1. Establecer la situación actual y la futura tendencia temporal de los indicadores económicos energéticos en Costa Rica por medio de la interpretación de la información de diferentes entidades, tanto nacionales como internacionales.
2. Determinar las necesidades y fortalezas del país, haciendo una comparación de los indicadores económicos energéticos de otros países en América Latina. De esta manera dar a conocer la estructura de la matriz energética del país.
3. Establecer el desarrollo en investigaciones y avances de la utilización del hidrógeno de manera nacional e internacional.
4. Determinar la huella de carbono desde la producción hasta la utilización, por medio de los elementos químicos más utilizados para la generación de hidrógeno.
5. Efectuar un análisis sobre las políticas y tendencias energéticas vinculadas a los aspectos económicos de Costa Rica.

Antecedentes

Reporte de investigación N° 1.

Título: Matriz energética de Costa Rica. Renovabilidad de las fuentes y reversibilidad de las fuentes de energía.

Autores: Diego Zárate Montenegro y Remigio Ramírez García.

Año: 2016.

Institución: Friedrich-Ebert-Stiftung, Costa Rica.

El estudio se basa en la investigación de la matriz energética de Costa Rica, que reúne la información cuantitativa al respecto de toda la energía producida, transformada y consumida. El análisis de esta matriz permite comprender la dinámica de los flujos energéticos relacionados muy con las actividades diarias de los seres humanos. Esto ayudó en gran medida a orientar las políticas públicas del sector energético para que contribuyan a una transformación social y ecológica del país.

Dado que la energía es un recurso estratégico, porque se relaciona con la producción y consumo de bienes y servicios, la generación de residuos y desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero, es que se retoma un enfoque de la renovabilidad de las fuentes de energía y se propone el de la reversibilidad de los usos de la energía útil, con el objetivo de avanzar hacia un paradigma circular de la economía que considere otros criterios de eficiencia energética.

Entre los análisis que se realizaron estaba que en el 2015 la cantidad total de barriles importados disminuyó un 3,2%; mientras que el costo total de importarlos disminuyó un 42,3%, lo cual se explica porque el costo del barril pasó de 107,58 dólares en promedio durante el 2014 a 67,47 dólares en promedio en durante el 2015. Así que el consumo de productos derivados del petróleo y la volatilidad de los precios internacionales representa una amenaza para la política cambiaria del país, vinculada directamente con el sector energía.

Reporte de investigación N° 2.

Título: Análisis técnico-financiero de la generación distribuida en la CNFL.

Autores: Ing. Gustavo Valverde, Ing. Jose D. Lara, Ing. Adolfo Lobo, Ing. José D. Rojas, Ing. Andrés Arguello e Ing. Catherine Montiel.

Año: 2015.

Institución: Universidad de Costa Rica.

En resumen, la investigación aborda un plan piloto implementado para la instalación de paneles solares en Costa Rica. Explica su uso y el efecto que han tenido en la matriz energética del país. Está enfocada de una manera profunda en la parte eléctrica. Fue la primera vez en la que Costa Rica comenzó a implementar el uso de paneles solares y se detallan estudios técnicos y económicos muy interesantes.

Entre algunos de los principales aspectos a destacar están la producción energética de los sistemas de generación para autoconsumo tipo fotovoltaico y eólico que dependen principalmente de las condiciones meteorológicas del sitio donde son instalados. De acuerdo con mediciones de irradiación en el Valle Central de Costa Rica, obtenidos del proveedor SolarGIS, la producción de los sistemas fotovoltaicos es relativamente uniforme a lo largo del año, cercano a los 115 kWh/mes por cada kW instalado. Los mejores meses de producción solar son diciembre, enero, febrero y marzo; mientras que los meses de menor producción coinciden con los meses de la época lluviosa.

En el caso de generación eólica se determinó que la producción de energía en el área metropolitana es muy pobre según mediciones reales de velocidad de viento facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). De conformidad con las curvas de potencia-velocidad de micro aerogeneradores para autoconsumo, la energía mensual promedio producida por generadores eólicos rondaría los 50 kWh o menos por cada kW instalado, que es menos de la mitad de su equivalente fotovoltaico.

Reporte de investigación N° 3.

Título: Plan de acción interinstitucional para proporcionar el uso del hidrógeno en el sector de transporte.

Autores: Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (ESPH), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Junta Administradora de los Servicios de Electricidad de Cartago (JASEC), Ministerio de Ambiente y Energía - Dirección General de Transporte y Comercialización de Combustibles (MINAE - DGTCC), Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), Refinadora Costarricense de Petróleo S.A. (RECOPE) y la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE)

Año: 2023.

Institución: La Comisión de Hidrógeno de Costa Rica.

El uso de combustibles fósiles implica no sólo el empleo de recursos importados, sino que conlleva a externalidades negativas en la calidad del aire, que afectan la salud de las personas. Partiendo de este contexto, el reto principal es la transformación de este sector, desde una perspectiva amplia de movilidad sostenible que contemple además tecnología más eficiente y el uso de combustibles más limpios, que propicien una reducción de los contaminantes locales y de los gases de efecto invernadero.

Algunos de los puntos más relevantes de la investigación fueron que el 96% del hidrógeno que se produce a nivel mundial se obtiene como subproducto de la refinación de hidrocarburos, como lo son el gas natural y procesos industriales, entre otros, reduciendo considerablemente sus costos de producción. El restante 4% proviene de la electrólisis, donde se obtiene hidrógeno como producto principal y en el que se utiliza electricidad de diversas fuentes (no necesariamente renovables), factor que incide en los costos de producción asociados. Asimismo, que para el 2015 en Estados Unidos el costo de producción de hidrógeno a partir de gas natural se estimaba en \$0.60/ kg; mientras que su producción por electrólisis del agua, usando energías renovables, se estimó en su mejor escenario en \$4.15/ kg (~1000 kg hidrógeno/día).

Alcance

Con esta investigación se pretende dar a conocer la productividad energética de Costa Rica, tanto la actual como su proyección hacia el futuro, por medio del análisis de los indicadores energéticos nacionales.

Limitaciones

Como principal limitación se encuentra el acceso a la información clasificada de diferentes empresas o instituciones. Esto restringe los avances, ya que es información de gran ayuda que no puede ser utilizada y que podría enriquecer la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Eficiencia energética

Se entiende por eficiencia energética la adecuación de los sistemas de producción, transporte y consumo de energía, cuyo objetivo principal es lograr el mayor desarrollo sostenible con los medios tecnológicos al alcance. Lo anterior, con una importante intención de minimizar los impactos ambientales, de modo que se optimice la conservación de la energía y la reducción de los costos energéticos (Dane, 2017).

De igual forma, la eficiencia energética puede ser definida desde el punto de vista de los derechos del usuario y del papel regulador del Estado, como la promoción de soluciones energéticas orientadas no solo a conservar de una manera adecuada las fuentes energéticas, sino también a elevar la productividad energética.

La fuerte relación que existe entre la eficiencia energética y la intensidad energética, deja apreciar cómo al minimizar este aspecto puede afectar directamente sobre la eficiencia total del país. Expresándolo de una manera más simple, entre menor sea el índice de intensidad energética en una zona, mayor será su eficiencia a nivel nacional.

Intensidad energética

La intensidad energética, es una medida resultante de la relación entre el consumo de energía y un indicador macroeconómico, en este caso, el producto interno bruto (PIB), referido a una unidad espacial de referencia, en un período (Dane, 2017).

Los indicadores de intensidad energética son utilizados como referentes indicativos, para evaluar patrones asociados con el consumo de energía, en respuesta a la implementación de un mecanismo de regulación o de política o por un cambio en la estructura económica. Por consiguiente, constituyen una importante herramienta para analizar las interacciones entre la actividad económica y el ambiente, suministrando información a los formuladores de política pública. Este indicador permite realizar previsiones sobre el impacto energético y ambiental que causaría el crecimiento de la economía de un país.

La intensidad energética es el inverso de la eficiencia energética. Para lograr mejores desempeños energéticos, es decir mejorar la eficiencia energética, se debe alcanzar una disminución en la intensidad. No obstante, una reducción de la intensidad energética no implica

que se produzca una reducción del consumo energético. Esto solo sucede cuando la demanda energética decrece, mientras que el PIB aumenta o se reduce en menor medida que la demanda de energía (Dane, 2017).

Cuando el indicador se utiliza para evaluar la eficiencia energética, es necesario observar cómo se comporta la relación entre el consumo de energía y el PIB. A priori, si se observa un decrecimiento en la relación, entonces mostrará eficiencia. Si el valor de la relación es creciente entonces señalará ineficiencia. En estos dos casos, el valor del PIB presentará en el período observado una variación positiva (Dane, 2017).

En ese sentido, los datos básicos utilizados para la construcción del indicador se clasifican según un sistema estandarizado de clasificaciones y nomenclatura:

- a. Standard International Energy Product Classification (SIEC), diseñada para clasificar los productos energéticos en términos físicos.
- b. Clasificación Central de Productos (CPC), usada habitualmente para clasificar los datos a nivel de productos en términos monetarios.

Para resolver las diferencias entre estos dos sistemas, es necesario desarrollar una clasificación correlativa, con lo cual se logra obtener definiciones consistentes a nivel de producto.

Fórmula de cálculo Intensidad energética

$$IE = \frac{CE}{PIB} \quad (1)$$

Donde:

IE=Intensidad energética

CE=Consumo de energía expresado en Terajulios

PIB=Producto interno bruto

Método de cálculo

La intensidad energética cubre todos los consumos energéticos de la economía, lo que significa que incluye el consumo energético realizado por los hogares, así como el de las diferentes actividades económicas como la industria manufacturera, el transporte y los servicios, por citar algunos (Dane, 2017).

El consumo intermedio comprende la utilización de todos los productos energéticos por las industrias como insumos en procesos de producción, cualquiera que sea la naturaleza de ese proceso. En otras palabras, con independencia de que el producto energético se convierta en otro producto energético para su posterior empleo en la economía (su transformación) o que se trate de un proceso que en última instancia emplea el contenido energético del producto, de modo que hace imposible otro uso de la energía (utilización final), en algunos casos incorporándolo en un producto no energético (Dane, 2017).

Eficiencia energética y su relación con la intensidad energética

Con el primordial objetivo de cuantificar o hacerse la idea de qué tan eficiente es un país energéticamente hablando, se suele emplear el indicador de la intensidad energética. Este indicador de manera simple, se define como el consumo de energía entre el producto interno bruto (PIB). De esta definición se puede deducir que la intensidad energética es el valor medio de la cantidad de energía necesaria para generar una unidad de riqueza. Esto justifica que, si hay una evolución decreciente de este indicador, traerá como consecuencia un consumo menor de energía para generar cada unidad de riqueza (Dane, 2017).

Sin embargo, para un análisis correcto de los datos conviene tener en cuenta que existe una gran variedad de factores que pueden afectar el dato final de los indicadores. Entre los factores más importantes se pueden destacar:

- La estructura industrial.
- El nivel de equipamiento.
- La evolución económica y de los precios.
- La disponibilidad de los recursos autóctonos.
- La diversificación energética.
- El clima.

- La posición geográfica y entre otros.

Sendero energético

El sendero energético de un país es aquel que muestra la imagen de la evolución de los consumos de energía, la intensidad energética y el grado de desarrollo socioeconómico, todo esto indicado por medio del PIB. Mediante el análisis del sendero energético se pueden determinar los escenarios de planificación y el establecimiento de políticas para buscar su variación y mejorar la estructura del sector de energía dentro del periodo estudiado.

Innovación tecnológica para la eficiencia

Cuando hay una creciente demanda en la gestión energética es importante y necesario desarrollar soluciones que optimicen los consumos y ahorren costos. Para poder sobrellevar la crisis climática y la subida en los precios de la energía se requieren de nuevas ideas, de lo contrario tanto el sector productivo y el consumidor final se verán afectados.

Los gastos no siempre reflejan las necesidades reales y pueden propiciar un uso excesivo o innecesario de los recursos disponibles, es por ello por lo que encontrar un equilibrio entre las necesidades del consumo energético para dar un servicio y su optimización no es tarea fácil (Telefonica, 2022).

Con la vista puesta en el corto y medio plazo, la eficiencia energética ocupa un espacio relevante en las agendas gubernamentales de cada vez más países. Y en forma paralela, crece la preocupación por asegurar abastecimientos energéticos con la necesidad para todos de reducir los gases de efecto invernadero y de otros gases contaminantes a la atmósfera (Telefonica, 2022).

Recursos energéticos

Los recursos energéticos son el conjunto de sustancias que pueden ser empleadas como fuente de energía, a través de distintos procesos de índole física o química descubiertos por el ser humano. Se trata de un tipo de sustancias que tienen generalmente un origen natural, pero que por medio de la industria permiten obtener energía, especialmente energía eléctrica y calórica (Equipo editorial, 2021).

Los recursos energéticos pueden ser de muy variada índole y requerir diferentes procesos para liberar su energía contenida. Inclusive, desde cierta perspectiva, los alimentos que se

consumen son un recurso energético para el organismo, pues mediante su digestión se obtiene la energía química necesaria para seguir viviendo (Equipo editorial, 2021).

No es lo mismo tratar acerca de fuentes de energía que de recursos energéticos. Más que nada porque las fuentes de energía son eventos, dinámicas o ciclos de la naturaleza que constantemente se encuentran emitiendo energía aprovechable, como el Sol o que indirectamente pueden aprovecharse para obtenerla, como los vientos o las caídas de agua.

Importancia de los recursos energéticos

En el mundo contemporáneo, la energía es uno de los bienes más preciados de la humanidad, dado que puede impulsar todo tipo de industrias que hacen la vida más fácil y amena, o que facilitan continuar descubriendo nuevas tecnologías. Además, con ella se pueden movilizar los transportes, calentar los hogares cuando hace frío (o enfriarlos cuando hace demasiado calor), cocinar los alimentos o iluminar las noches oscuras (Equipo editorial, 2021).

Por lo tanto, los recursos capaces de brindar energía son clave hoy en día. Muchos de los dilemas políticos, sociales o económicos del mundo radican, justamente, en las luchas por tener control sobre ellos.

Recursos energéticos no renovables

Los recursos energéticos no renovables son, como su nombre lo indica, aquellos que se consumen al utilizarse. Sus existencias no son fáciles de reponer, por lo que algún día se agotarán y desaparecerán. Algunos porque sus cantidades en el mundo son limitadas y otros porque sus procesos de origen son tan lentos o tan difíciles, que no es posible crearlos al ritmo en que se consumen (Equipo editorial, 2021).

Algunos ejemplos de recursos energéticos no renovables son:

- El petróleo: Formado a lo largo de miles de millones de años, a partir de materia orgánica proveniente de microorganismos en descomposición y sepultada en el subsuelo a enormes presiones y temperaturas. Esta sustancia de origen fósil posee una enorme capacidad energética y es fuente de numerosos derivados químicos útiles a la humanidad.

- El carbón mineral: De origen similar al petróleo, pero relacionado con inmensos depósitos de madera milenaria fosilizada en el subsuelo, es también una importante fuente de energía como combustible y muchas de las industrias energéticas del mundo dependen de su explotación.
- El gas natural: Otro combustible de origen fósil. Es un gas rico en hidrocarburos que normalmente se halla en depósitos en el subsuelo o incluso en yacimientos petrolíferos en distinta proporción. Es básicamente una mezcla volátil de gases livianos.

Recursos energéticos renovables

Por el contrario, los recursos energéticos renovables son aquellos que no corren el riesgo de acabar sus existencias en un futuro previsible, en vista que o son superabundantes o bien pueden obtenerse mediante procesos relativamente simples y veloces (Equipo editorial, 2021).

Algunos ejemplos de recursos energéticos renovables son:

1. La biomasa. Se trata de materia orgánica de origen vegetal y animal que, acumulada y sometida a los tratamientos químicos y físicos adecuados, puede convertirse en biocombustibles, como el bioetanol, biodiesel o biogasoil.
2. El hidrógeno. El elemento más abundante del universo conocido y además el más simple. Es una posible fuente de energía si se logra controlar el proceso de fusión nuclear que, dentro de las estrellas mismas, ocasiona una inmensa liberación de luz y energía. Este es, de hecho, el recurso energético del Sol y es una tecnología aún en investigación.

Aspectos de los tipos de energías

La energía se define como la capacidad de producir un trabajo. También se puede precisar como la capacidad que tienen los cuerpos para producir o sufrir transformaciones (Cristina Martín Romera, 2011). Algunos de sus aspectos relevantes son:

- Calidad de la energía: Está en relación con la cantidad de energía concentrada por unidad de volumen.
- Rentabilidad económica: Viene indicada por su accesibilidad, facilidad de explotación, transporte o cantidad
- Los sistemas energéticos son el conjunto de procesos involucrados desde la fuente

energética hasta sus usos finales. Se establece una cadena que conlleva la degradación de parte de la energía en cada una de las fases.

- Rendimiento energético de un sistema: Es la relación entre la energía suministrada y la que se obtiene del sistema.
- Coste energético: Es el precio que se paga por utilizar la energía secundaria. Se incluyen los costes directos y costes ocultos (construcción, mantenimiento, impactos).

Economía mundial

Por economía mundial se entiende el conjunto de economías nacionales y organizaciones no estatales que están unidas por las relaciones económicas internacionales. Así pues, comprende los sectores e industrias de las economías nacionales que interactúan en el mercado exterior. Cabe señalar que se basa en la producción, distribución y consumo mundial y estatal de bienes. La economía mundial es el resultado de la integración de las economías de los países, que forman el ámbito económico global (CESUMA, 2022).

Perspectivas económicas actuales

La guerra de Ucrania ha desatado una costosa crisis humanitaria que exige una solución pacífica. Al mismo tiempo, el daño económico causado por el conflicto contribuirá a una desaceleración significativa del crecimiento mundial en 2022 y atizará la inflación. Los precios de los combustibles y los alimentos han subido con rapidez, asestando un golpe particularmente duro a las poblaciones vulnerables de los países de bajo ingreso. Se proyecta que el crecimiento mundial se desacelere del 6,1% estimado para 2021 a 3,6% en 2022 y 2023; es decir, 0,8 y 0,2 puntos porcentuales en 2022 y 2023 que lo previsto en enero.

Por otro lado, más allá de 2023, el crecimiento mundial disminuiría a alrededor de 3,3% a mediano plazo. El encarecimiento de las materias primas provocado por la guerra y la ampliación de las presiones de precios se han traducido en una inflación proyectada para 2022 de 5,7% en las economías avanzadas y de 8,7% en las economías de mercados emergentes y en desarrollo; o sea, 1,8 y 2,8 puntos porcentuales más que lo proyectado en enero. Pero existen iniciativas

multilaterales para responder a la crisis humanitaria, impedir que se ahonde la fragmentación económica, mantener la liquidez mundial, manejar las situaciones críticas de sobreendeudamiento, encarar el cambio climático y poner fin a la pandemia son fundamentales (IMF, imf.org, 2022).

América

La pandemia impactó a la región agravando sus principales desafíos estructurales o las cuatro trampas del desarrollo identificadas en el informe “Perspectivas económicas de América Latina 2019”, que cita que son: i) baja productividad; ii) desigualdades y vulnerabilidad social; iii) debilidades institucionales; y iv) sostenibilidad medioambiental en riesgo.

El contexto posterior al Covid-19 debe aprovecharse como una oportunidad única para adoptar una estrategia de desarrollo multidimensional y para redefinir las políticas nacionales creando consenso entre los ciudadanos e implementando las reformas pendientes necesarias para impulsar la recuperación. Avanzar hacia una mayor integración regional y hacia una cooperación internacional que incluya a los países de ALC en igualdad de condiciones, independientemente de su nivel de desarrollo, debería contribuir a la recuperación de la región (OECD, 2021).

África

Según el informe de “Perspectivas Económicas Globales” publicado el martes 8 de junio de 2021 por el Banco Mundial, se espera que la economía de África subsahariana crezca 2.8% en 2021, antes de acelerarse a 3.3% en 2022. Este crecimiento está respaldado por una reanudación de las actividades económicas en los sectores afectados por la pandemia del Covid-19. Además, la recuperación de la economía en algunos países como Nigeria, Sudáfrica y Angola debería volver a poner a la región en una pendiente ascendente.

En 2020, el Banco Mundial estimó que la economía del África subsahariana se contrajo un 2,4% debido a las restricciones vinculadas a la pandemia a las que se sumaron tensiones políticas y de seguridad en muchos de los países de la región. Por ende, la previsión de crecimiento para 2021 debería permitir que la región y, por extensión, el continente experimente una recuperación económica gradual hasta volver a los niveles prepandémicos (Mbomio, 2021).

Europa

Las perspectivas para 2020 fueron sombrías y la recuperación será prolongada y desigual. Se proyecta que la economía europea se contraerá un 7% en 2020 y repuntará en 4,7% en 2021.

Según las proyecciones, el nivel general de inflación se reducirá al 2% en 2020, 1 punto porcentual por debajo de su nivel de 2019 y, posteriormente, se incrementará al 2,4% en 2021 (IMF, imf.org, 2022).

Asia y el Pacífico

Las perspectivas para la región de Asia y el Pacífico siguen siendo sólidas —de hecho, son las más sólidas del mundo— y los datos recientes apuntan a un repunte de la actividad. Las perspectivas a corto plazo, sin embargo, se ven ensombrecidas por una notable incertidumbre, y los riesgos, en general, siguen inclinándose a la baja. El crecimiento a mediano plazo se enfrenta a persistentes vientos en contra, como los generados por el envejecimiento poblacional y el débil crecimiento de la productividad. Las políticas macroeconómicas deberían seguir respaldando el crecimiento y a la vez impulsando la resiliencia, el reequilibrio externo y una mayor inclusión. La región necesita reformas estructurales para abordar sus desafíos demográficos y estimular la productividad (IMF, imf.org, 2017).

En este contexto, se prevé que el crecimiento se acelere del 5,3% en 2016 al 5,5% en 2017. El crecimiento en China y Japón se ha revisado al alza para 2017 respecto a la edición de octubre de 2016 de Perspectivas de la economía mundial (informe WEO, por sus siglas en inglés), debido principalmente a la expectativa de que se mantendrán las políticas de respaldo y a la solidez de los datos recientes. En India, el crecimiento se ha revisado a la baja debido a los efectos transitorios de la iniciativa de canje de moneda, y en Corea debido a la incertidumbre política. A mediano plazo, se prevé que la desaceleración del crecimiento en China se vea parcialmente contrarrestada por una aceleración del crecimiento en India, respaldada por reformas estructurales clave (IMF, imf.org, 2017).

Mercado energético

Los mercados energéticos son los mecanismos que permiten la compra, la venta y la comercialización de la energía en sus distintas formas. Esta se puede transar como energía final (electricidad, calor distribuido) o como energía primaria (petróleo, carbón, gasóleo y otros).

Fuentes de energía comunes

- **Energía Hidráulica:** Este es un tipo de energía que aprovecha el movimiento del agua. A veces también llamada energía hídrica, permite obtener la electricidad gracias al aprovechamiento de la energía cinética y potencial de las corrientes o

saltos de agua (Endesa, 2021).

- **Energía de la biomasa:** También conocida como bioenergía, es la energía obtenida de la materia orgánica constitutiva de los seres vivos, sus excretas y sus restos no vivos. La biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. La formación de biomasa se da a partir de la energía solar, la cual se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis. Mediante la fotosíntesis, las plantas que contienen clorofila, transforman el bióxido de carbono (CO₂) y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y que a su vez sirven de alimento para otros seres vivos. Mediante este proceso se almacena la energía solar en forma de biomasa (limpias, 2018).
- **Energía solar:** Es la producida por la luz, energía fotovoltaica o el calor termo solar, para la generación de electricidad o la producción de calor. Inagotable y renovable, pues procede del Sol, se obtiene por medio de paneles y espejos (Acciona, Acciona.com, 2020).
- **Energía Fósil:** La gran mayoría de la energía eléctrica que empleamos viene de los combustibles fósiles de nuestro planeta tierra. Los combustibles fósiles se formaron hace millones de años, a partir de restos de plantas y animales muertos. Estos combustibles son el petróleo, el carbón y el gas natural.
- **Energía geotérmica:** Consiste en una energía renovable que aprovecha el fenómeno de que la Tierra irradia calor desde su centro. Lo ha estado haciendo desde hace 4.500 millones de años y, cuanto más profundas las capas, más calor hace (EnergyaVM, 2018).
- **Energía nuclear:** Es una forma de energía que se libera desde el núcleo o parte central de los átomos, que consta de protones y neutrones. Esta fuente de energía puede producirse de dos maneras: mediante fisión (cuando los núcleos de los átomos se dividen en varias partes) o mediante fusión (cuando estos se fusionan) (IAEA, 2021).
- **Energía mareomotriz:** Se define como la energía que se sustrae de las mareas, que son aprovechadas para generar electricidad. Esta energía se origina por la atracción del Sol y la Luna y también por los impulsos que produce el viento.

- **Energía eólica:** Es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía se puede convertir en electricidad a través de un generador eléctrico. Es una energía renovable, limpia, que no contamina y que ayuda a reemplazar la energía producida a través de los combustibles fósiles. El mayor productor de energía eólica del mundo es Estados Unidos, seguido de Alemania, China, India y España. En América Latina el mayor productor es Brasil. En España, la energía eólica abasteció de electricidad al equivalente a 12 millones de hogares, esto es un 18% de las necesidades del país (Fuente AEE). Esto significa que gran parte de la energía verde que ofrecen las compañías eléctricas del país, incluyendo la que lleva al hogar el factor energía, proviene de los parques eólicos y tiene este origen renovable (Factorenergia, 2018).

Balance energético en países cercanos a Costa Rica

Sistemas de información energética

El Sistema de Información Energética Nacional (siePaís), es una herramienta informática moderna desarrollada por OLADE, a través de la cual se integra, procesa y divulga la información estadística, prospectiva, socioeconómica, legal, y documental del sector energético de los Países Miembros de esa organización, con base en metodologías y conceptos estandarizados que permiten la consolidación de la información a nivel nacional (OLADE, olade.org, 2020).

Matriz energética

La matriz energética es una representación cuantitativa de la totalidad de energía que utiliza un país e indica la incidencia relativa de las fuentes de las que procede cada tipo de energía, sea nuclear, hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica o combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. Esta matriz es útil para realizar análisis y comparaciones sobre los consumos energéticos de un país a lo largo del tiempo o para comparar con otros países y es una herramienta fundamental para la planificación (FundacionYPF, 2022).

El análisis de la matriz energética es fundamental para orientar la planificación del sector energético con el propósito de garantizar la producción, la seguridad energética y el uso adecuado de la energía disponible.

Aspectos económicos

PIB

El producto interno bruto (PIB) es un indicador económico que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un territorio en un determinado periodo de tiempo. Se utiliza para medir la riqueza que genera un país. También se conoce como producto bruto interno (PBI).

El PIB mide la producción total de bienes y servicios de un país, por lo que su cálculo es bastante complejo. Se tienen que conocer todos los bienes y servicios finales que ha producido el país y sumarlos. Es decir, desde la producción de manzanas, leche, libros, vehículos, máquinas y todos los bienes que se hayan producido en el país hasta los servicios de un taxi, un dentista, un abogado, un banco o un profesor, entre muchos otros (Arias, 2012).

El resultado lo descrito mide el tamaño de la economía de un país, es decir, toda su riqueza económica. Cuánto mayor es el PIB de un país, mayor es su capacidad económica y, por tanto, mayor es su capacidad para generar empleo e inversión. El PIB se suele calcular trimestralmente. Aunque el dato de PIB que se suele utilizar para medir el tamaño de una economía es el anual, que consiste en todo lo producido en ese territorio durante un año (Arias, 2012).

¿Como saber si PIB de un país crece o decrece?

Se dice que un país crece económicamente cuando la tasa de variación del PIB aumenta, o sea, el PIB del año calculado es mayor que el del año anterior (Arias, 2012).

$$\text{Tasa variación PIB} = [(\text{PIB año 1} / \text{PIB año 0}) - 1] \times 100 = \%$$

En resumen, si la tasa de variación es mayor que 0, hay crecimiento económico. En caso contrario, por debajo de cero, existe decrecimiento económico.

¿Qué sucede si el PIB aumenta o disminuye?

Cuando el PIB de un país aumenta es una buena señal para la economía y afecta a prácticamente todas las personas del territorio. Y por el contrario, cuando cae es una mala señal. Se podría asemejar a los ingresos de una familia o una empresa; si aumentan los ingresos por lo general es una buena señal. En cambio, si se reducen los ingresos es una mala señal de la economía. Cuando el PIB sube significa que están aumentando de forma general el consumo, el gasto y la

inversión en el territorio. Como se verá más adelante, estos son precisamente los factores que miden el PIB, junto a las exportaciones e importaciones (Arias, 2012).

Cuando aumentan el gasto, el consumo y la inversión (es decir, cuando aumenta el PIB), se suele desencadenar un efecto positivo en la economía, ya que estos aumentos hacen crecer los ingresos de las empresas, las familias y las administraciones, las cuales tendrán más capital para invertir y crear empleo. Lo que de nuevo hace crecer el consumo y el gasto (al haber más personas con capacidad de consumir). Es por ello por lo que cuando sube el PIB crece el empleo y aumentan los salarios de los trabajadores (Arias, 2012).

Método de cálculo

Este puede ser calculado por medio de 3 metodologías:

Método del gasto: Es la suma del gasto de los residentes en bienes y servicios finales durante un período de tiempo. Luego el PIB = consumo final + formación bruta de capital + exportaciones – importaciones. (Arias, 2012)

Fórmula del PIB método del gasto

$$PIB = C + I + G + X - M$$

(2)

Siendo:

C: Consumo

I: Inversión

G: Gasto público

X: Exportaciones

M: Importaciones

Método del valor agregado: Es la suma del valor agregado (bruto) que se genera en la producción de los bienes y servicios en un país en un determinado período de tiempo (Arias, 2012).

Fórmula del PIB método del valor agregado

$$PIB = VAB + impuestos - subvenciones \quad (3)$$

Dónde VAB hace referencia al valor agregado bruto.

Método de ingreso: Es equivalente a la suma de los ingresos que ganan los propietarios de los factores productivos (trabajo y capital) durante un período de tiempo. En este caso el PIB = remuneración de los asalariados + impuestos – subvenciones + excedente de explotación (Arias, 2012).

Fórmula del PIB método de ingreso

$$PIB = RA + EBE + Impuestos - subvenciones \quad (4)$$

Donde:

RA: Remuneración de asalariados, que es la suma de todos los salarios recibidos por los ciudadanos en un territorio.

EBE: Excedente bruto de explotación

.

Comparaciones del PIB

Cuando comparamos el producto interior bruto de un trimestre con el anterior, se obtiene la tasa de variación inter trimestral, es decir, el crecimiento económico que está experimentando el país de trimestre en trimestre. Si se compara el PIB de un trimestre con el mismo trimestre del año anterior, se tiene la tasa interanual. A la hora de comparar el PIB de los países

internacionalmente se suele utilizar el dato de PIB anual, medido en dólares de Estados Unidos (Arias, 2012).

Críticas al PIB

Uno de los problemas por lo que es criticado el PIB es porque no mide la distribución de la riqueza dentro de un país ni la diferencia entre países. Pero para eso hay otros indicadores como:

- Índice de Gini.
- Índice de Desarrollo Humano.
- PIB per cápita.

Como el tamaño de la producción de un país depende del número de habitantes que tenga, también se utiliza para comparar la riqueza entre países el PIB per cápita. Esto es, el PIB total de un país entre los habitantes de dicho país. Es una medida para saber cuánto se produce por persona (Arias, 2012).

Mediciones macroeconómicas

Las magnitudes macroeconómicas sirven para medir las operaciones y flujos y así poder tener una visión de conjunto de la economía de ese país. La macroeconomía es el estudio de las grandes cifras globales que se corresponden con los asuntos monetarios y de mercado que preocupan a los países, y que según la política y lo que pase en la bolsa económica mundial. Tal y como indica su nombre, estas magnitudes son a gran escala, pero a la vez en los modelos microeconómicos de cada país según los objetivos y deudas que tenga establecidos en su ámbito económico (Declarando, 2023).

Estas magnitudes son muy importantes a nivel político para introducir medidas correctas en la economía de los países. El objetivo de su estudio es establecer políticas capaces de ejercer influencias en la economía doméstica, con objetivos como el crecimiento económico, la creación de empleo, la estabilidad de precios o el equilibrio de la balanza de pagos de un país (Declarando, 2023).

¿Cuáles son las principales magnitudes macroeconómicas?

El PIB: Es el indicador fundamental y mide la riqueza y el crecimiento. En él se recogen los valores de mercado de los productos y servicios de un país acotados en el tiempo que estime el modelo de estudio. La fórmula genérica para el cálculo del PIB es: $PIB = \sum V_{an}$ (Arias, 2012). Donde el PIB es igual al Producto Interior Bruto que es la suma de VA que es el Valor Agregado y el número de empresas productoras de bienes y servicios de un país.

La tasa de desempleo: Se refiere a las personas en edad laboral que no tienen empleo, que están dispuestas a trabajar, y que han realizado acciones específicas para encontrar empleo (Declarando, 2023).

El IPC: Conocido también Índice de Precios al Consumo es el medidor de los precios en el mercado. Esta es una magnitud macroeconómica que afecta directamente a la microeconomía, ya que incide en el gasto familiar y empresarial de un autónomo. La productividad y el precio del dinero es una de las herramientas más utilizadas para controlar este elemento (Declarando, 2023).

Las cuentas del sector público: Miden la situación interna del país en lo referente a políticas económicas y presupuestos. Para un autónomo es importante estar al tanto de las cuentas del sector público porque pueden afectar sus relaciones comerciales, tanto dentro como fuera de la UE, ya que este elemento indica si el país está en superávit o déficit (Declarando, 2023).

La balanza de pagos: Esta magnitud macroeconómica mide la relación entre las importaciones y las exportaciones de un país. Es relevante para saber si un país tiene una gran producción industrial o por el contrario si es demandante de productos de otros países (Declarando, 2023).

Los indicadores representan importantes herramientas para la toma de decisiones, porque transmiten información científica y técnica que permite un análisis de la realidad económica y social.

Mediciones macroeconómicas con energías renovables

Tras la pandemia sufrida desde el 2020, han cambiado los paradigmas sobre los que empresas y ciudadanos realizaban sus actividades. Uno de estos ámbitos es la energía, cuyo precio ha subido desorbitadamente.

El precio es el valor en unidades monetarias que debe pagarse para poder tener acceso a un bien o servicio, por lo que existe un precio para comprar kilovatios o megavatios hora, que son las unidades en las cuales se mide la energía. Desde un punto de vista teórico, el coste es la cantidad a la que debería venderse cada unidad de energía a los usuarios finales para que estos obtengan una rentabilidad aceptable por la inversión realizada. Teóricamente, no se podrían mantener por debajo de los costes puesto que esto llevaría a tener pérdidas y, por tanto, las unidades productoras dejarían de producir dichos bienes y servicios. Cada país puede tener un coste de la energía diferente dependiendo de sus fuentes de producción y según los costes externos que se incluyan (Universidades, 2023).

El sector energético y el desarrollo económico de un país están fuertemente relacionados. Los datos empíricos demuestran que la demanda energética de un país está muy relacionada, no solo con su producto interior bruto, sino también con la capacidad industrial del mismo.

Al crecimiento económico de un país le acompaña el desarrollo de las industrias, las cuales consumen grandes cantidades de energía para producir bienes y servicios que son posteriormente consumidos por los ciudadanos y exportados a otros países. La energía se ha convertido en el combustible de la economía y, por lo tanto, en una pieza clave del desarrollo económico. Todos los sectores industriales y todas las empresas precisan de energía para poder producir sus bienes y servicios. Por este motivo las fluctuaciones del precio de la energía pueden afectar significativamente la capacidad de producción de dichas industrias. Un coste energético demasiado elevado significaría un aumento en la estructura de costes fijos de las empresas, lo que reduciría los márgenes de sus beneficios (Universidades, 2023).

Por otro lado, no se puede olvidar la gran importancia que tiene el coste energético para las personas físicas. Un alto coste energético afecta a toda la población, aunque las consecuencias son especialmente marcadas en la clase media y baja, disminuyendo su poder adquisitivo y por lo tanto reduciendo el consumo de una sociedad. Es fundamental que un gobierno tenga las herramientas necesarias para garantizar el abastecimiento energético, con el fin de satisfacer la totalidad de la demanda de las industrias y de la población y que, adicionalmente, esta energía sea distribuida eficientemente y a un precio asequible que no ponga en peligro el tejido económico de un país. En la actualidad, se observa que los precios de la energía sobrepasan máximos históricos y se

demuestra cómo el coste energético afecta directamente al desarrollo de un país (Universidades, 2023).

Hidrógeno

El hidrógeno es el elemento químico más abundante del planeta, se encuentra presente en el 75% de la materia. Sin embargo, nunca se encuentra en solitario, sino en compañía de otros elementos químicos como el oxígeno, formando agua o el carbono, formando compuestos orgánicos (Acciona, Acciona.com, 2020).

La humanidad lleva mucho tiempo utilizándolo como materia prima en la industria química o la metalurgia y como combustible, pero como no se puede tomar directamente de la naturaleza en estado puro, se necesita “fabricarlo”. Y precisamente el método mediante el que se obtiene es lo que determina que este sea un combustible limpio y sostenible o que no lo sea (Acciona, Acciona.com, 2020).

Hidrógeno verde

Cuando se habla de hidrógeno verde, se hace referencia a uno que ha sido obtenido sin generar emisiones contaminantes, de modo sostenible. Este es un combustible que ya se postula como el vector energético clave para alcanzar la descarbonización del planeta y cumplir con los compromisos marcados para 2050 en la lucha contra el cambio climático (Acciona, Acciona.com, 2020).

¿Qué es el hidrógeno y como se obtiene?

El hidrógeno es el elemento químico más simple, el primero de la tabla periódica con número atómico 1. Es ligero, se puede almacenar y no genera emisiones contaminantes por sí mismo (Acciona, Acciona.com, 2020).

La gasificación

La gasificación con vapor de agua y oxígeno puro se realiza a partir de carbón o de biomasa. Mediante un reactor se produce la quema del carbón o la biomasa a temperaturas muy elevadas. En la combustión se liberan gases que dan lugar, por un lado, al hidrógeno y, por otro, al monóxido de carbono (Acciona, Acciona.com, 2020).

La transformación molecular

Se trata de diferentes técnicas en las que se practican una serie de reacciones químicas para obtener hidrógeno. La más utilizada se realiza a partir del reformado de gas natural de los yacimientos petrolíferos y se emplea vapor de agua a alta temperatura para disociar el carbono del hidrógeno que compone el gas natural. En dos reacciones sucesivas se obtiene dihidrógeno por un lado y dióxido de carbono por otro. De todos los métodos, este es el más utilizado en la actualidad (Acciona, Acciona.com, 2020).

La electrólisis del agua

Consiste en la ruptura de la molécula del agua (H_2O) en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2), por acción de una corriente eléctrica continua que se conecta mediante electrodos al agua. Cuando la electrólisis se realiza con energía renovable, este es el método más sostenible de producción (Acciona, Acciona.com, 2020).

Tipos de hidrógeno como combustible

Estos métodos de producción del hidrógeno han dado lugar a una nomenclatura de colores que se utilizan para referirse a él y a lo sostenible que haya sido su proceso de extracción. Según esa escala de colores, los tipos principales son:

- **Hidrógeno gris:** Se obtiene mediante el reformado de combustibles fósiles siendo el gas natural el más común. Es el hidrógeno más barato de producir por el momento, y el proceso emite una gran cantidad de CO_2 a la atmósfera. También es el tipo que más se utiliza actualmente (Acciona, Acciona.com, 2020).
- **Hidrógeno azul:** Este hidrógeno también procede del reformado del gas natural como el gris; sin embargo, en el proceso se captura el dióxido de carbono para que este no contamine la atmósfera. En algunos casos el residuo generado (CO_2) es inyectado en pozos geológicos donde queda almacenado (Acciona, Acciona.com, 2020).
- **Hidrógeno verde:** También llamado hidrógeno renovable, el verde se consigue mediante la electrólisis del agua separando sus componentes (hidrógeno y oxígeno) mediante una corriente eléctrica producida por energía solar. Lo más determinante es que este proceso se alimenta en su totalidad por energía renovable, por eso no genera ningún tipo de emisión contaminante a la atmósfera y es el más limpio y

sostenible. El hidrógeno verde es uno de los vectores clave para la descarbonización del planeta (Acciona, Acciona.com, 2020).

¿Por qué el hidrógeno gris es un problema para el planeta?

Según los datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), actualmente se consumen en el mundo unos 70 millones de toneladas de hidrógeno. El problema es que casi se produce a partir del carbón o el gas natural, es decir, se obtiene mediante las técnicas más contaminantes para el planeta. Menos del 1% de la producción mundial de este hidrógeno se basa en electrólisis de agua por energías renovables: solo el 0'1% del que consumimos es verde (Acciona, Acciona.com, 2020).

Para tener una idea de lo que significa, la producción del hidrógeno gris emite 830 millones de toneladas de dióxido de carbono por año. Esto es el CO₂ anual que emiten las economías de Indonesia y Reino Unido juntas. O lo que es lo mismo, para generar este hidrógeno, se contamina lo mismo que dos países que suman más de 300 millones de habitantes (Acciona, Acciona.com, 2020).

Por datos alarmantes como estos es tan importante incidir sobre el origen del hidrógeno. El verde puede ser una herramienta inigualable para desbancar a los modelos de producción que contribuyen al cambio climático y ayudar a descarbonizar los consumos energéticos más resistentes a la electrificación, como la industria pesada o el transporte de largo recorrido (Acciona, Acciona.com, 2020).

¿Qué es el hidrógeno verde o renovable y cómo funciona?

El hidrógeno verde es, por tanto, el obtenido mediante el uso de energías renovables en su producción, lo que lo convierte en un combustible limpio, sostenible y con un índice de contaminación cero, que puede ser clave no solo como vector energético, sino como materia prima (Acciona, Acciona.com, 2020).

En consecuencia, su gran valor en la lucha contra el cambio climático radica en su capacidad de sustituir a los combustibles fósiles en aquellos sectores y usos que hasta ahora eran más difíciles de descarbonizar, además de su potencial como sistema de almacenamiento de energía (Acciona, Acciona.com, 2020).

¿Cómo se consigue el hidrógeno verde?

El hidrógeno verde se consigue mediante un proceso de electrólisis impulsada con energías renovables como la eólica o la solar. La electrólisis consiste en utilizar una corriente eléctrica para descomponer mediante electrodos la molécula del agua en oxígeno e hidrógeno (Acciona, Acciona.com, 2020).

¿Cómo funciona el hidrógeno verde?

Cuando se necesita convertirlo en energía, el hidrógeno almacenado en tanques específicos es canalizado hacia una pila de combustible. Allí se une de nuevo con oxígeno procedente del aire y se obtiene la energía eléctrica. De este modo, el único residuo que deja el proceso es agua, un sistema limpio, sostenible y en el que para producir energía no se emite ni un ápice de CO₂ (Acciona, Acciona.com, 2020).

¿Para qué sirve el hidrógeno verde? Usos para combatir el cambio climático

Uno de los principales atractivos del hidrógeno es su versatilidad, ya que no solo se puede usar como vector energético, sino también como materia prima. Algunas de las aplicaciones del hidrógeno verde más prometedoras para contribuir a la descarbonización del planeta son las siguientes:

- **Hidrógeno verde en la industria pesada:** Se utiliza como materia prima en la industria química para fabricar amoníaco y fertilizantes, en la industria petroquímica para el refinado del petróleo y en la metalurgia para obtener acero. El uso de hidrógeno en estas tres industrias produce una gran cantidad de emisiones de dióxido de carbono. Por ejemplo, la fabricación de acero constituye entre el 6 y el 7% de las emisiones de CO₂ globales, entre 2 y 3 veces las emisiones de toda la aviación mundial. Se podría emplear el hidrógeno verde como materia prima y producir acero sin emisiones, lo que sería un paso muy importante para la urgente descarbonización de estas industrias (Acciona, Acciona.com, 2020).
- **Hidrógeno verde para el almacenamiento de energía:** Este puede servir como sistema de almacenamiento de energía, gracias a su gran volumen y a su larga duración de una manera similar a como se usan ahora las reservas estratégicas de gas natural o petróleo. De este modo, se podría aprovisionar reservas de hidrógeno renovable para dar soporte a la red eléctrica (Acciona, Acciona.com, 2020).

- Hidrógeno verde como combustible limpio y renovable: El uso como combustible será una de las claves para ayudar a la descarbonización del transporte, sobre todo el de larga distancia y el aéreo. En el transporte marítimo normalmente se emplean combustibles muy baratos pero muy contaminantes, por lo que el hidrógeno verde se presenta como una alternativa decisiva para barcos de gran calado que recorren largas distancias. En la aviación, por su parte, puede ser la base de combustibles sintéticos que reduzcan de manera radical las emisiones de este sector. También será esencial para otros medios como el tren o el transporte de mercancías pesadas por carretera (Acciona, Acciona.com, 2020).
- Hidrógeno verde en el uso doméstico: Este es capaz de alcanzar temperaturas difíciles de conseguir con otros procesos limpios. Por eso su uso en electricidad y calefacción para los hogares es una de las aplicaciones más esperanzadoras del hidrógeno verde (Acciona, Acciona.com, 2020).

Ventajas de utilizar el hidrógeno verde como combustible

El hidrógeno verde será uno de los protagonistas de la inminente transición energética que las economías mundiales están obligadas a liderar para lograr la neutralidad en carbono y combatir el cambio climático (Acciona, Acciona.com, 2020).

A continuación las ventajas:

- Es una energía limpia: El único residuo que genera es agua.
- Es una energía renovable: Utiliza recursos de la naturaleza que no se agotan.
- Es almacenable: El hidrógeno verde se puede comprimir y almacenar en tanques ad hoc durante mucho tiempo.
- Es transportable: Gracias a que es un elemento muy ligero, los tanques de hidrógeno comprimido permiten un manejo más sencillo que las baterías de litio porque son más ligeros y, como consecuencia, su transporte.

Barreras ante el hidrógeno verde

A pesar de todas estas ventajas, el hidrógeno verde aún no forma parte del tejido energético a causa de algunas dificultades que la investigación, las políticas gubernamentales o las inversiones privadas tienen el reto de superar:

- El hidrógeno verde es más caro de producir que el gris. Sin embargo, la caída del precio de las energías renovables ha abierto una nueva ventana de oportunidad para que su coste sea cada vez más competitivo. La electricidad solar es 10 veces más barata que hace una década y la energía eólica cuesta menos de la mitad, lo que posibilita que la electricidad necesaria para el proceso de electrólisis vea reducido su precio (Acciona, Acciona.com, 2020).
- Su implantación requiere de importantes inversiones. Se habla de que harán falta 300.000 millones de dólares en los próximos años a nivel mundial para infraestructuras e investigación. Pero según un informe de BloombergNEF (BNEF), con las suficientes políticas de apoyo a su desarrollo, en 2050 la demanda de hidrógeno verde puede aumentar hasta los 700 millones de toneladas, por lo que la inversión en su desarrollo es un coste, pero también una enorme oportunidad financiera (Acciona, Acciona.com, 2020).

Plan Nacional de Energía 2015-2030 (PNE)

La política energética que sustenta el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 (PNE), está orientada a introducir cambios en el Sistema Eléctrico Nacional para elevar la eficiencia energética, el ahorro y lograr un mejor manejo de la demanda eléctrica; estimular el desarrollo de la generación distribuida y el autoconsumo (MINAE, 2015).

Estrategia Nacional de Hidrógeno verde de Costa Rica

Contexto global del hidrógeno

El hidrógeno está cobrando relevancia a nivel mundial como un vector destacado para la descarbonización y la transición energética. Más de 20 países, sumando el 90% del PIB mundial ya han publicado estrategias de hidrógeno, según sus necesidades y recursos. Su importancia radica en su versatilidad, en vista que puede ser utilizado como materia prima industrial (procesos como

la producción de fertilizantes y de grasas alimenticias) y como combustible en procesos de combustión industrial o en transporte, principalmente en aquellas aplicaciones de movilidad difíciles de abatir. Además, su utilidad como vector energético le permite almacenar y distribuir energía, aprovechando todo el potencial de las energías renovables, cuando existe exceso de generación (Rica E. N., 2021).

Producción y demanda de hidrógeno de Costa Rica

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica, tiene por objeto el despliegue de este vector energético en el país, contribuyendo al objetivo de cero emisiones netas en el 2050, planteado en la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), con respecto al Acuerdo de París de 2015, la cual establece entre sus metas la elaboración de una estrategia para el desarrollo del hidrógeno verde para 2022. Tomando en cuenta las potencialidades del hidrógeno verde, el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 también incluye como uno de sus objetivos la promoción y el desarrollo del hidrógeno a nivel nacional. Se procurará en todo momento que los costos ambientales y sociales de la producción de electricidad con fuentes renovables nacionales para producción de hidrógeno, se equilibren con los beneficios de los proyectos de hidrógeno, en relación con el logro de los compromisos de la descarbonización (Rica E. N., 2021).

Por su parte, Costa Rica cuenta con una situación muy singular al poseer matriz altamente renovable cercana al 100%, que podría aprovechar para una primera fase de adopción y producción de un hidrógeno verde a partir de electricidad de la red, utilizando potenciales excedentes con valores entre 2 y 4 USD/kg H₂, mientras se desarrollan proyectos de plantas de energías renovables dedicadas en el país. El costo nivelado del hidrógeno, a partir de energía eólica y solar fotovoltaica, irá en descenso a lo largo de las décadas, pudiendo alcanzar valores entre 2 y 3 USD/kg H₂ a 2030. Es importante destacar que no debe ser una preocupación la competencia que se pudiera dar entre las demandas de electricidad para producir hidrógeno y la que se requiere para electrificación de otros usos (movilidad eléctrica y electrificación de la industria), ya que esta Estrategia promueve junto con el hidrógeno, la creación de nueva capacidad de generación eléctrica renovable (Rica E. N., 2021).

Productividad dentro de Costa Rica y su comparativa

La OCDE es una organización internacional cuya misión es diseñar mejores políticas para una vida mejor. Su objetivo es promover políticas que favorezcan la prosperidad, la igualdad, las oportunidades y el bienestar para todas las personas.

A su vez, se define productividad laboral de un país como el resultado de dividir el PIB entre el número de personas empleadas en él y de esa manera la calculan por año y la comparan entre países miembros de esa organización (OCDE, 2012).

Fórmula productividad laboral

$$Productividad\ laboral = \frac{PIB}{Número\ de\ personas\ empleadas} \quad (5)$$

Donde PIB es producto interno bruto.

Se utilizará esta fórmula para calcular la productividad de Costa Rica. No obstante, algo negativo que se debe destacar es que en la definición de productividad laboral que utiliza la OCDE, supone incluir a todos los empleados públicos en el cálculo y, por tanto, hay países que debido a la multiplicidad de administraciones públicas tiene proporcionalmente un mayor número de funcionarios y empleados públicos que otros con los que compiten, lo que penaliza el juicio que podría hacerse de la productividad de las empresas y, por tanto, de los trabajadores.

La productividad también se puede medir en sectores específicos de la economía, como la agricultura, la industria o los servicios. Estos indicadores proporcionan información detallada sobre la eficiencia y el rendimiento de cada sector en términos de producción.

Es importante destacar que la medición de la productividad es un proceso complejo y su interpretación puede variar según los enfoques y metodologías utilizados. Además, la productividad no es el único indicador para evaluar el desarrollo de un país, ya que también es necesario considerar otros aspectos como el desarrollo humano, la distribución del ingreso, la calidad de vida y el impacto ambiental, entre otros.

Población económicamente activa (PEA)

Comprende este grupo a la población de 15 y más años de edad que suministran la mano de obra disponible para la producción de bienes y servicios en el país, clasificada en ocupada y desocupada (Etecé, 2022).

La población económicamente activa, también denominada “fuerza de trabajo”, corresponde a la cantidad de personas que se encuentra en la etapa de la vida laborable o productiva. En este grupo se incluyen las personas que tienen ocupación y las que no, pero la están buscando. Es la parte de la población capaz de aportar bienes o servicios al mercado porque cumple con determinadas variables como rango de edad, nivel de instrucción, experiencia laboral, entre otras (Etecé, 2022).

Existen dos grupos que lo conforman:

1. Población ocupada. Aquella que tiene un trabajo.
2. Población desocupada. Es la parte de la población que no tiene empleo, pero se encuentra en la búsqueda activa. También se denomina “desocupación abierta”. No debe confundirse con la población económicamente inactiva.

CAPÍTULO III: DESARROLLO

Situación actual de Costa Rica

La importancia del conocimiento de las diferentes fuentes de energía del país es indispensable para conocer cuáles son las fortalezas y debilidades del país. Existe una gran comparación y diferencia entre los usos de las energías que cada país utiliza. En la figura 1 se puede ver una comparación de los usos que le da Estados Unidos, una de las grandes potencias mundiales, comparada con Costa Rica.

Figura 1

Capacidad de producción por fuente de energía

Fuente de energía	total en Costa Rica	Porcentaje en Costa Rica	Porcentaje USA	por habitante en Costa Rica	por habitante USA
Fuentes de energía fósiles	5,65 MM kWh	18,0 %	70,0 %	1.096,49 kWh	20.083,19 kWh
Energía nuclear	0,00 kWh	0,0 %	9,0 %	0,00 kWh	2.582,12 kWh
Energía hidroeléctrica	20,09 MM kWh	64,0 %	7,0 %	3.898,62 kWh	2.008,32 kWh
Energías renovables	5,65 MM kWh	18,0 %	14,0 %	1.096,49 kWh	4.016,64 kWh
Capacidad total de producción	31,40 MM kWh	100,0 %	100,0 %	6.091,60 kWh	28.690,27 kWh
Producción total real	10,79 MM kWh	34,4 %	43,0 %	2.093,54 kWh	12.338,29 kWh

Nota. Adaptado de Datosmundial.com.

Como se aprecia, Costa Rica destaca tanto en la energía hidroeléctrica como en energías renovables. De obvia manera las inmensidades de la población son bastante importantes, pero eso no resta mérito a que el país le haya sacado tan buen partido a energías amigables con el adecuado ambiente como lo son las energías renovables y la energía hidroeléctrica. Por otro lado, es interesante analizar el excesivo consumo de energías fósiles que utiliza Estados Unidos en comparación a Costa Rica, esto radica mucho en este último ha le ha sacado muy buen provecho a las diferentes energías renovables e hidroeléctricas que él mismo proporciona.

Las emisiones de CO₂ se han multiplicado y tienen consecuencias. Es un gas que contribuye al calentamiento del planeta, aunque no sea el único. También otros gases naturales (metano, óxido nitroso) o artificiales (gases fluorados) forman parte de los tan mencionados gases

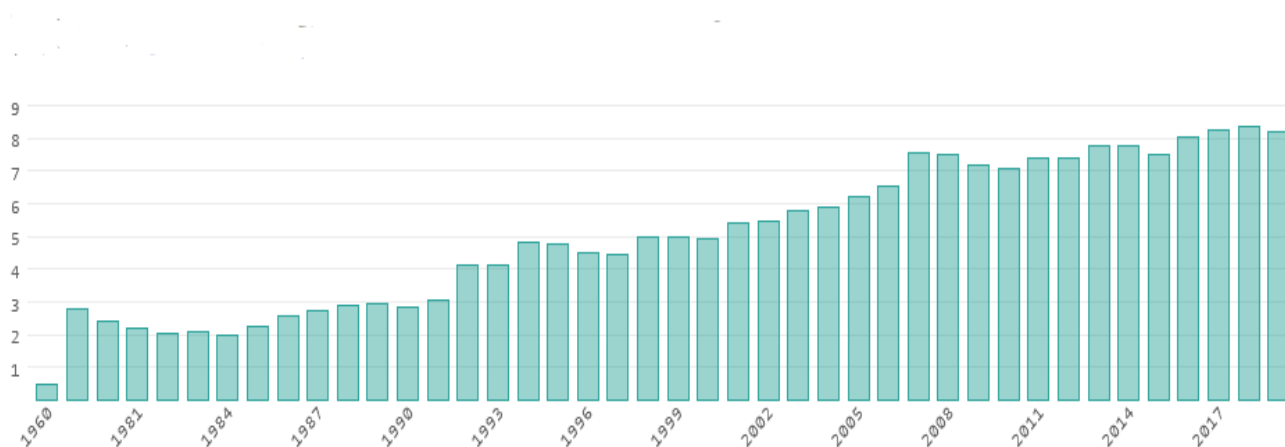
de efecto invernadero (GEI). De hecho, su aumento en la atmósfera es lo que desencadena el cambio climático, la crisis climática o la emergencia climática, que son tres términos muy cercanos que se utilizan para describir el calentamiento global que sufre la Tierra.

Figura 2

Evolución de las emisiones de CO₂ de 1960 a 2019 en millones de toneladas

Emisiones de CO₂

	Emisiones de CO ₂ en 2019	Costa Rica por habitante	USA por habitante
total	8,24 M t	1,62 t	14,67 t



Nota. El 99,9% de la población del país (a partir de 2020) tiene acceso a la electricidad. En las zonas rurales, el porcentaje era del 99,7%. Adaptado de Datosmundial.com

Las estadísticas oficiales confirman que no han bajado las emisiones de CO₂ durante los últimos años (exceptuando los meses de confinamientos y la caída drástica de la actividad en muchos países debido a la pandemia). En 2017, por ejemplo, la Unión Europea (UE) de los veintisiete emitió 3,9 Gton CO₂e (gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente).

Desde luego, no todos los ámbitos de actividad industrial emiten las mismas cantidades a la atmósfera. Las emisiones se reparten, sobre todo entre cinco sectores: transporte (28%), industria (26%), generación de electricidad (23%), edificios (13%) y agricultura (12%). Sin olvidar los combustibles fósiles, que son la principal fuente (80%) de GE.

Figura 3***Equilibrio de Energía***

Electricidad	total	Costa Rica por habitante	USA por habitante
Consumo interno	9,81 MM kWh	1.903,78 kWh	11.756,77 kWh
Producción	10,79 MM kWh	2.093,54 kWh	12.338,29 kWh
Importación	807,00 M kWh	156,58 kWh	219,11 kWh
Exportación	643,00 M kWh	124,76 kWh	29,21 kWh

Nota. Adaptado de Datosmundial.com

Actualmente, en un año promedio, el 67% de la matriz corresponde a hidroelectricidad, mientras que el restante 33% se logra mediante geotermia, biomasa (principalmente bagazo de caña), eólica y solar. La invasión rusa a Ucrania ha provocado debacles económicos y aumentos de la inflación. El precio del petróleo escaló como consecuencia del conflicto y el efecto se siente en todos los países, con tarifas eléctricas que se han encarecido y consecuencias sociales incluso en naciones desarrolladas. Sin embargo, no ha tocado a Costa Rica, donde los precios de la electricidad se han mantenido estables a pesar de la incertidumbre que se vive en el mundo.

¿Cómo ha logrado esta nación centroamericana sortear el vaivén de los precios internacionales? La clave yace en una matriz basada en fuentes renovables, lo cual le brinda seguridad energética y autonomía en su suministro eléctrico. En 2021, Costa Rica generó el 99,91% de su electricidad mediante fuentes renovables, mientras que en el primer semestre del 2022 esa participación fue del 98,58% (RadiosUCR, 2022).

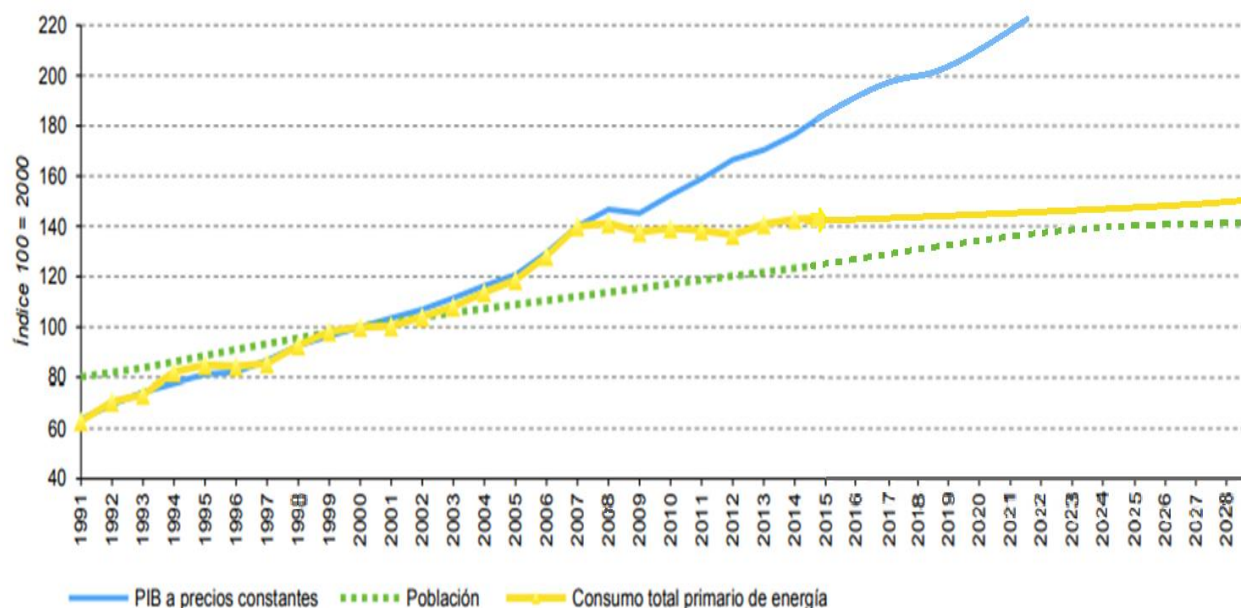
Estos datos contrastan con lo que sucede a nivel mundial, la demanda mundial de electricidad aumentó un 5,4% en 2021. El 59% de esa demanda se cubrió quemando carbón, mientras que el 29% con generación eólica y solar (Review, 2022).

Consumo energético y crecimiento económico en Costa Rica

El consumo energético y el crecimiento económico (representado por el PIB) mantienen una elevada correlación hasta 2010, año de recuperación de la crisis económica subprime (2008). En este año el crecimiento repunta, pero el consumo energético mantiene los mismos niveles que en tiempos de crisis e incluso tiende a bajar. En el consumo primario de energía (que alcanza los 3.787 ktep en 2015) se nota un leve aumento del consumo de derivados de petróleo. En 2015 llegó a ser de 61% como consecuencia de la demanda del sector transporte, que representó el 51% del consumo final de energía para 2015 y mantiene una tendencia al alza incluso en tiempos de crisis económica, contrario a lo que sucede para los sectores industrial y de hogares. Estos últimos presentan tendencias marcadas por los períodos macroeconómicos y llegan incluso a provocar decrecimientos en el consumo energético. En el período 2010-2012 se observa una reducción de más del 10% para los hogares, aunque luego disminuye a un 1,5% entre 2012 y 2015. La industria que había decrecido un poco más de 0,5% entre 2010-2012 crece un poco más de 1,5% entre 2012-2015. El consumo final total de energía alcanza los 3.614 ktep en 2015. (Cepal, 2022)

Figura 4

Costa Rica: población, PIB y consumo primario de energía



Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

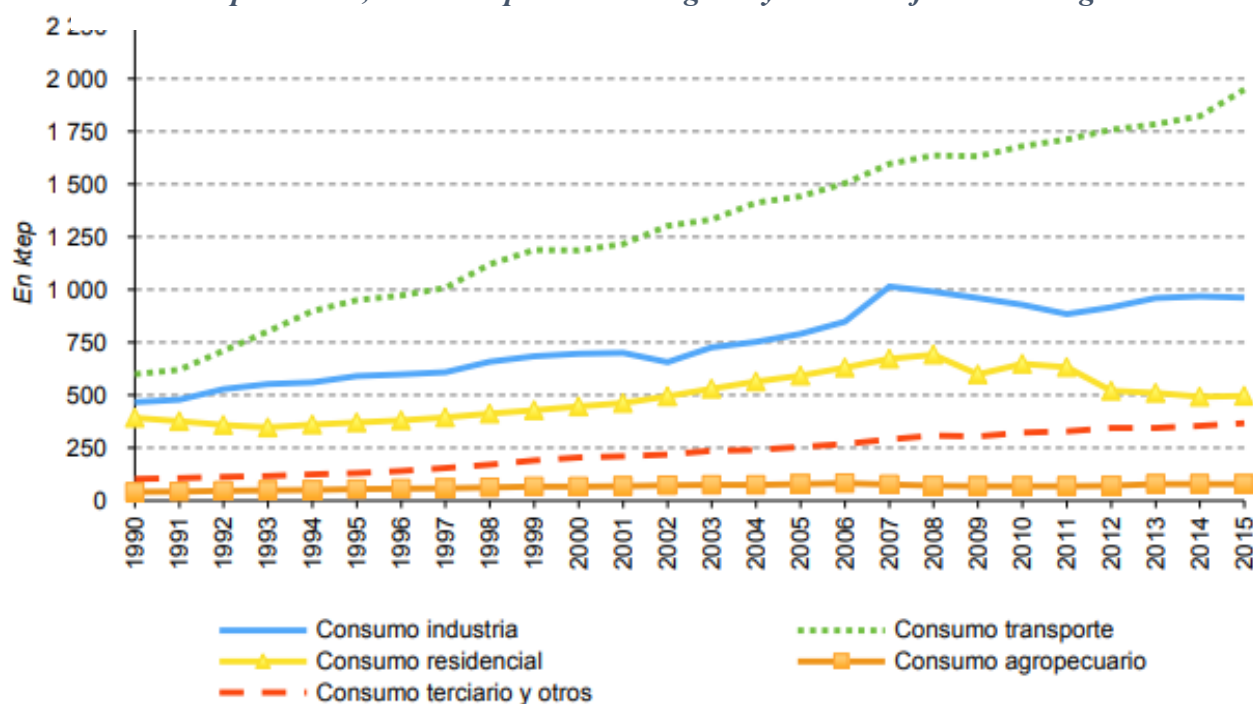
A partir de 2008 los indicadores se desacoplan y entre 2009 y 2012 la economía se recupera alcanzando un promedio anual de crecimiento del 4,7%; mientras el consumo primario de energía sigue decreciendo a un promedio anual de 0,3%. Entre 2012 y 2014 se ralentiza el crecimiento del PIB en un promedio anual de 3%, pero el consumo primario de energía cambia su tendencia y crece un 2,2%. Para 2015 el PIB vuelve a crecer un 4,7% y el consumo primario de energía asciende a tan solo un 0,4%.

Consumo primario y final de energía

El consumo final de energía tuvo una tasa de crecimiento promedio anual de 3,6% en el período de estudio; pasó de 1.603 ktep en 1990 a 3.854 ktep en 2015. Este consumo se vio dominado por el sector de transportes, que ha mantenido un crecimiento sostenido del parque vehicular y debido a las particularidades del sector, mantiene una tasa de crecimiento anual promedio de 4,8% en el consumo energético del período en estudio. Este crecimiento fue superado solamente por el sector terciario con un 5,2%.

Figura 5

Costa Rica: población, consumo privado de hogares y consumo final de energía



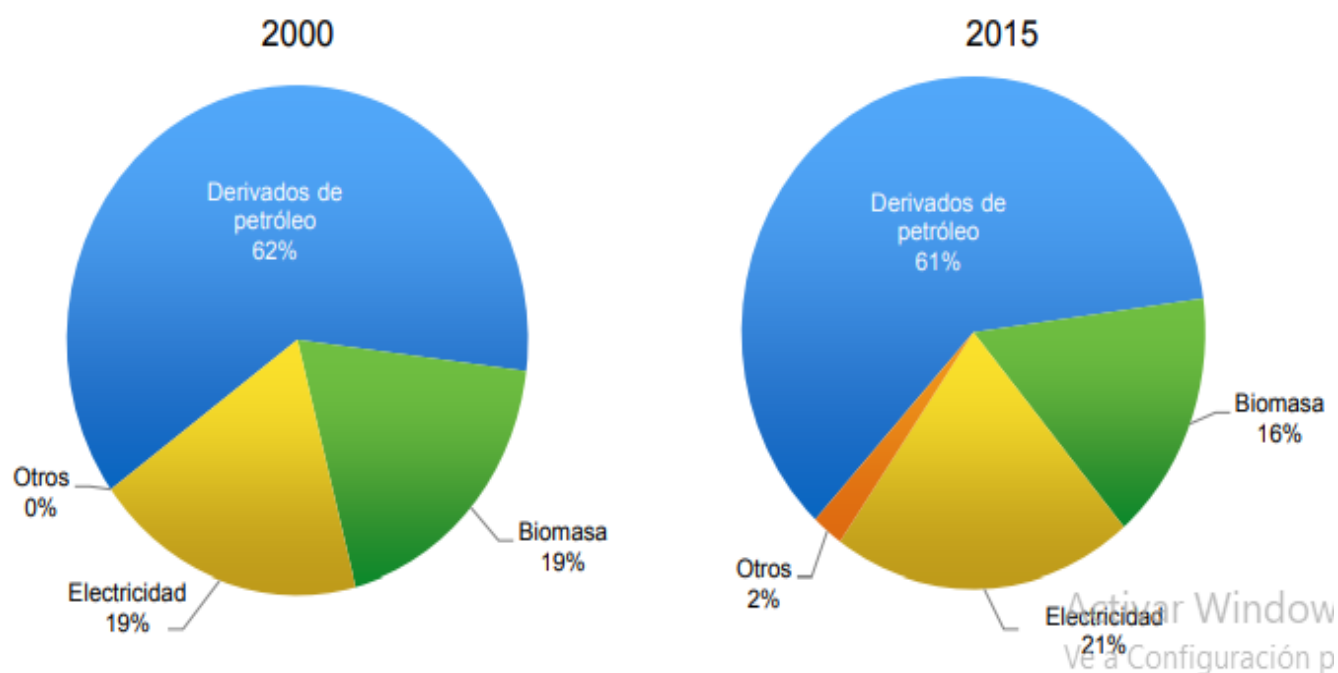
Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

A nivel global, el consumo primario y final de energía presenta un crecimiento promedio anual de 3,6% y 3,7% para el período de estudio (1990-2015). Este crecimiento se ralentiza drásticamente para el último lustro (2010-2015), en el que llega a ser de tan solo 0,6% y 1% en promedio anual, respectivamente.

En la figura 6 se muestra la variación de la composición del consumo entre 2000 y 2015. Se observa una reducción relativa leve de los derivados de petróleo, aunque siguen representando más de la mitad del consumo energético (61% para 2015). La participación de la electricidad aumenta un 2% y la de biomasa disminuye un 3%, debido en parte a que se dejó de usar leña en los hogares.

Figura 6

Consumo final de energía por fuente, 2000 y 2015



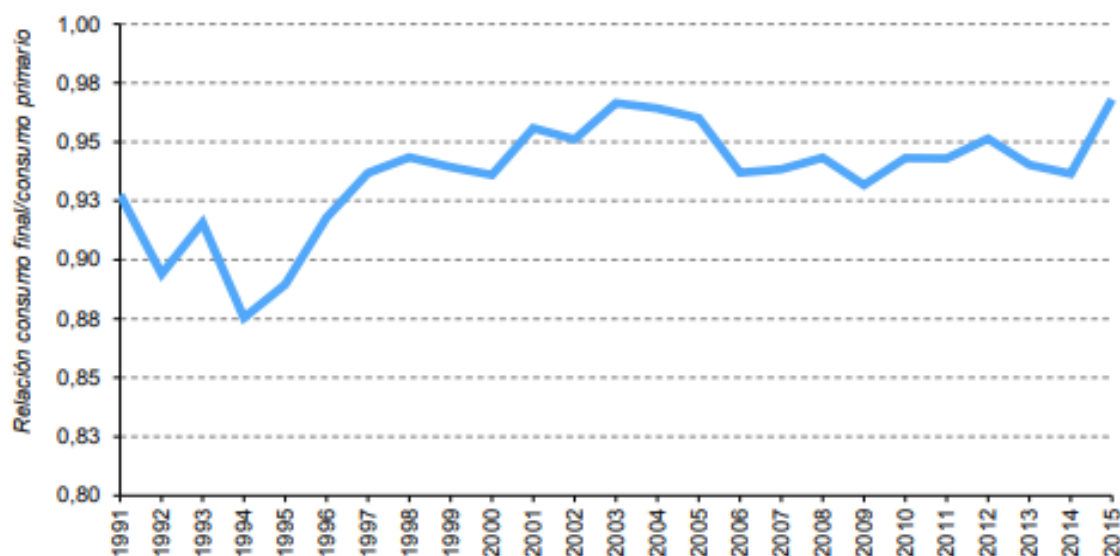
Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

El rubro “otros” corresponde al consumo de carbón mineral y coque.

Al analizar la siguiente figura 7 se evidencia el impacto de la generación renovable; cuanto más cerca a uno es mayor la generación renovable. En 1994 se observa la mayor diferencia entre consumo final y primario debido a que fue el año en el que hubo mayor generación térmica. En cambio, en 2015 la alta participación del recurso renovable favoreció una mejor relación entre ambos consumos.

Figura 7

Costa Rica: relación consumo final/consumo primario, 1991-2015

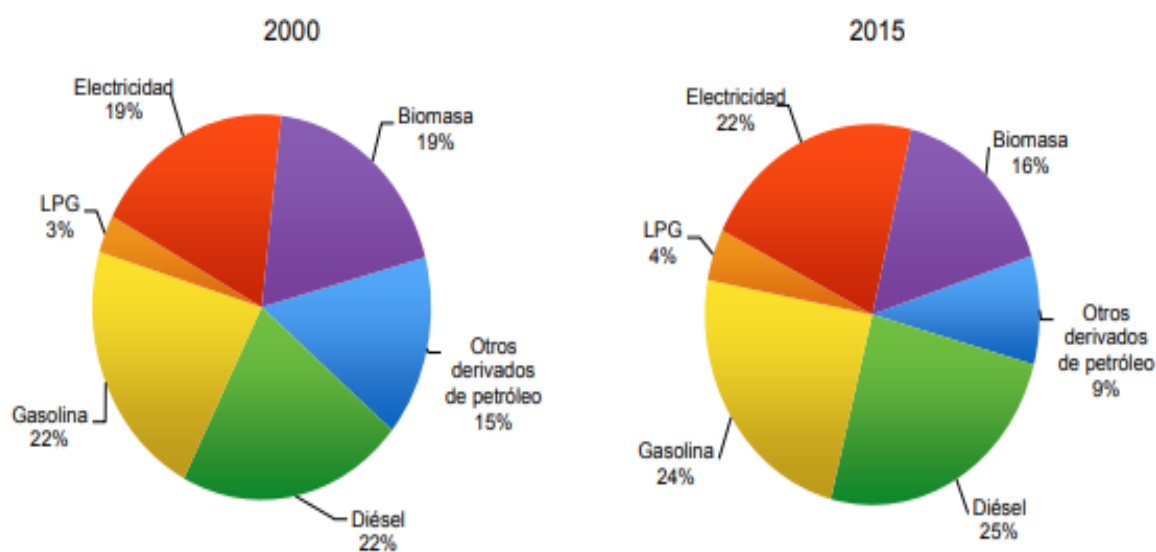


Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

La estructura del consumo final de energía para 2015 presenta una distribución muy similar al año 2000, con un aumento de 3% en el consumo de diésel y electricidad, y de 1% en el consumo de LPG, así como una disminución del consumo de otros derivados (fuel oil y otros) de 6%; el consumo de biomasa también disminuye al pasar de 19% a 16%.

Figura 8

Costa Rica: estructura del consumo final de energía por fuente, 2000 y 2015



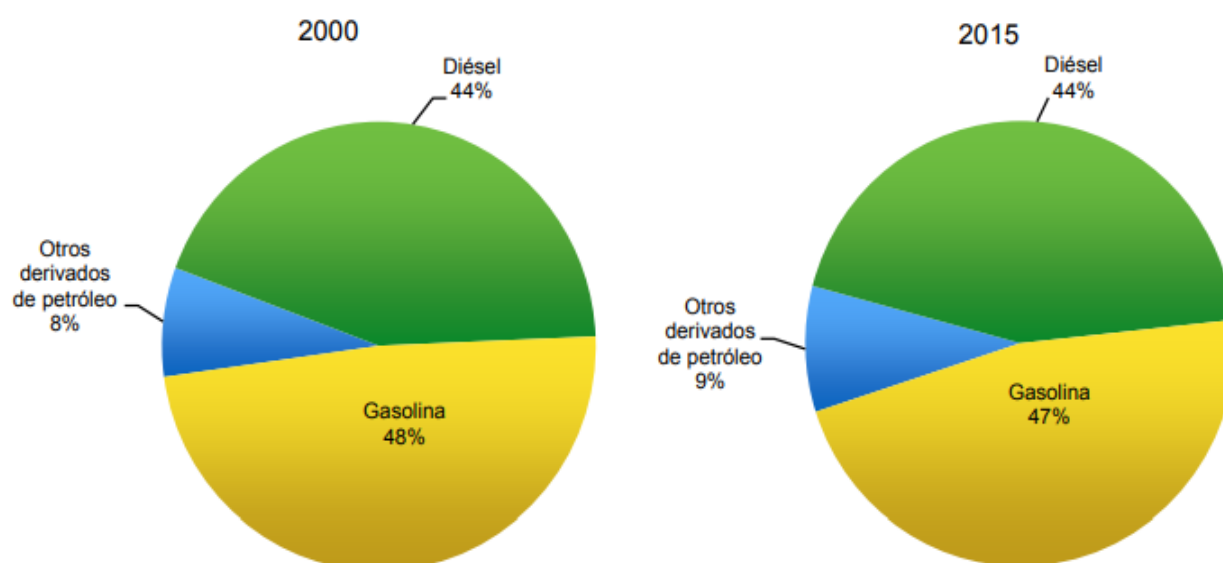
Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

Consumo energético en el transporte

En transportes la distribución se ha mantenido constante para el diésel en un 44%, los otros derivados de petróleo aumentan del 8% al 9%, y la gasolina disminuyó de un 50% en 2000 a un 47% en 2015.

Figura 9

Costa Rica: consumo secundario de energía en transporte, 2000 y 2015



Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

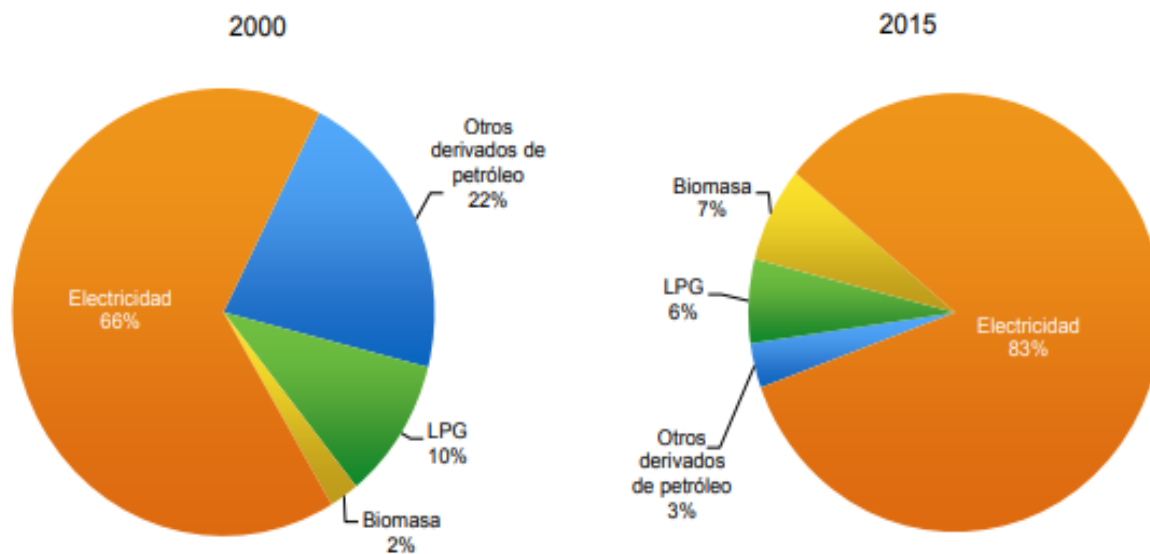
Consumo secundario en el sector terciario

En la figura 10 se muestra el consumo final de energía para el sector terciario, en el que se observa que el consumo de electricidad pasa de 66% en 2000 a 83% en 2015, mientras que el consumo de los derivados de petróleo, a excepción del GLP, pasan de 22% a 3%, respectivamente. El consumo de LPG disminuye 4%, y aumenta el de biomasa en 5%. Estos cambios responden, en parte, al tipo de actividad que presenta el sector, con el turismo ecológico como una de las actividades más fuertes. La creciente oferta de servicios eco amigables, como hoteles de montaña y turismo verde, ha influido también en las preferencias de los consumidores de productos en esta línea, dándole valor agregado a proyectos más eficientes y con fuentes de energía menos contaminantes que el petróleo y sus derivados. Su alta eficiencia y fácil acceso posicionan a la

electricidad como la fuente de preferencia.

Figura 10

Costa Rica: consumo secundario de energía en sector terciario, 2000 y 2015



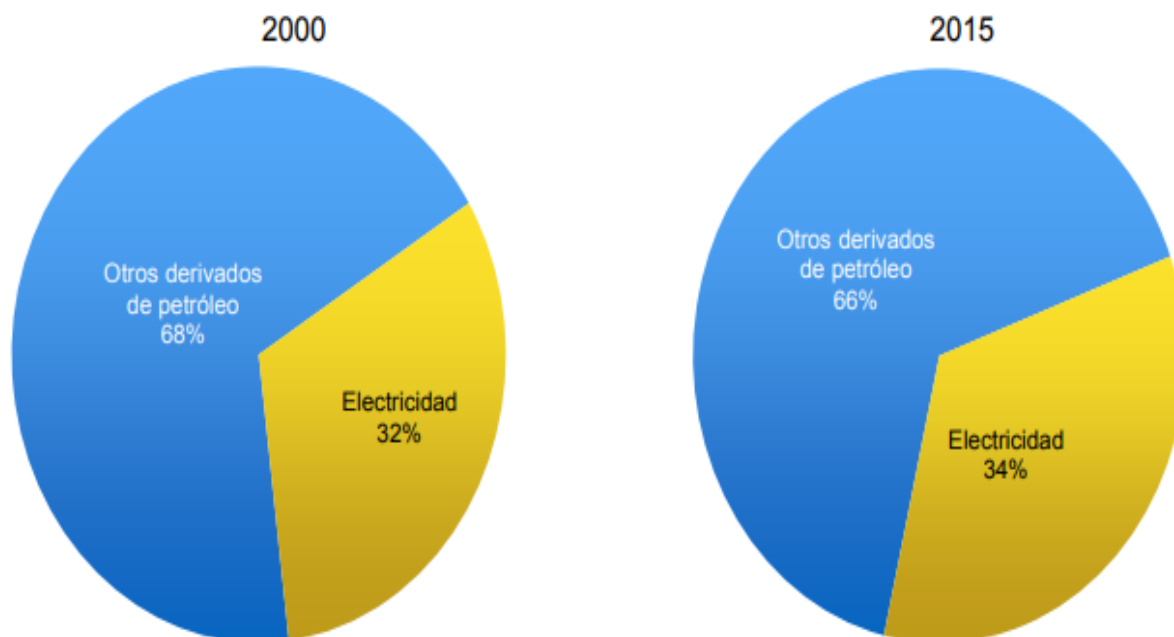
Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

Consumo secundario de energía en el sector agropecuario

El sector agrícola no muestra variaciones importantes: aumenta en 2% el uso de electricidad en detrimento de los derivados de petróleo y se mantienen niveles muy similares de participación entre 2000 y 2015.

Figura 11

Costa Rica: consumo secundario de energía en el sector agropecuario, 2000 y 2015



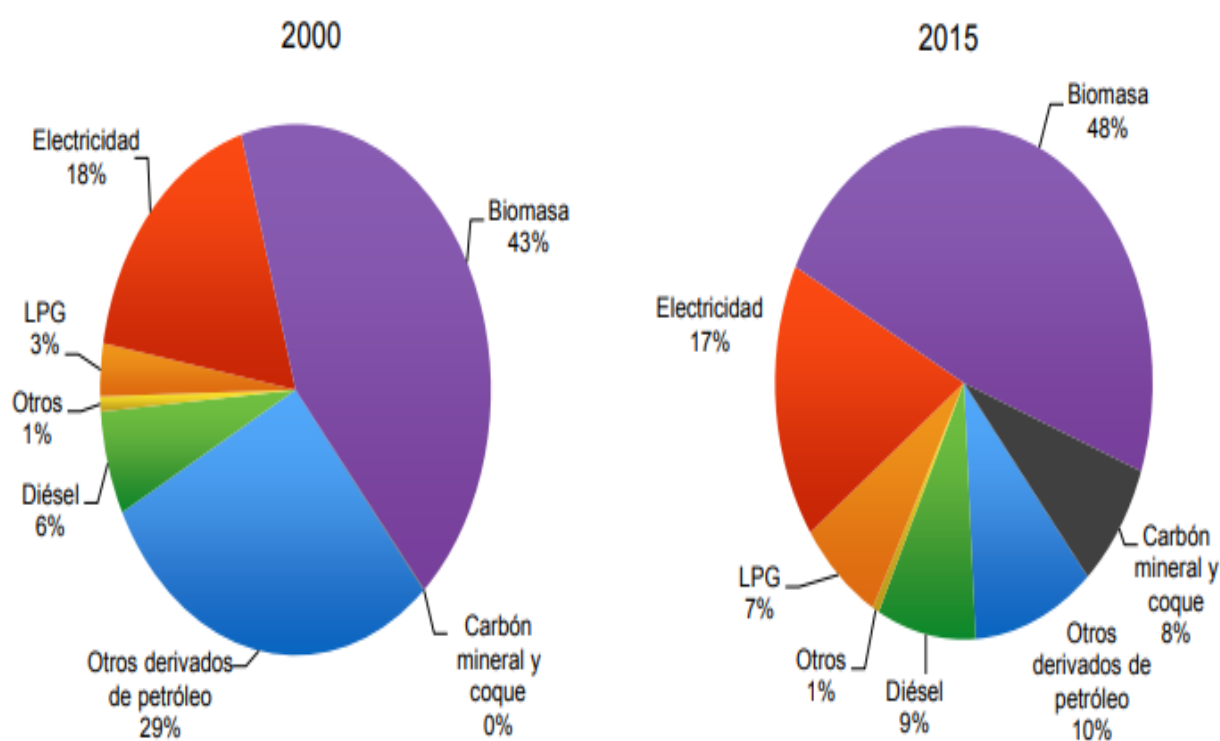
Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

Productividad energética en el sector industrial

En comparación con 2000, en el sector industrial aumenta el uso de la biomasa en 2015 al pasar del 43% al 48%, respectivamente. El uso de la electricidad disminuye de 18% a un 17%, mientras el uso de LPG aumenta más del doble, de 3% a 7%. Otros derivados de petróleo disminuyen 19% en estos años, mientras que el carbón mineral y el coque llegan a representar el 8%.

Figura 12

Costa Rica: consumo final de energía en industria, 2000 y 2015



Nota. Adaptado de la información del Programa BIEE Costa Rica, SEPSE, 2017.

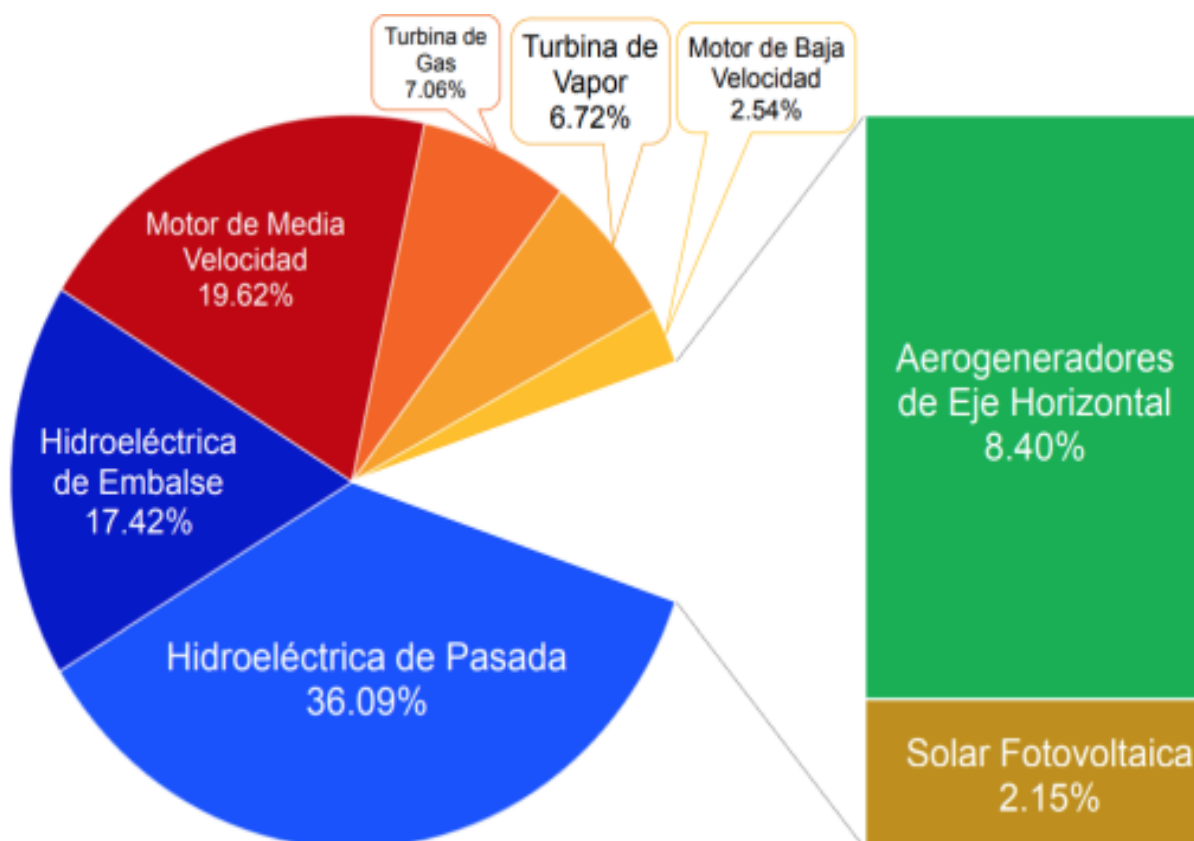
Comparativa con Panamá

Para hacer una comparativa con algunos países centroamericanos, se hizo la comparación con Panamá. Lo investigado se representa las siguientes figuras que dejan ver un poco la situación actual de algunas naciones cercanas. De esta manera se pretende conocer un poco mejor la situación actual del país.

En la figura 13 se presenta la composición del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en capacidad instalada, 53.5% hidroeléctrica, 36% combustible, 8.4% eólica, y 2.15% solar fotovoltaica.

Figura 13

Composición del Sistema de Generación

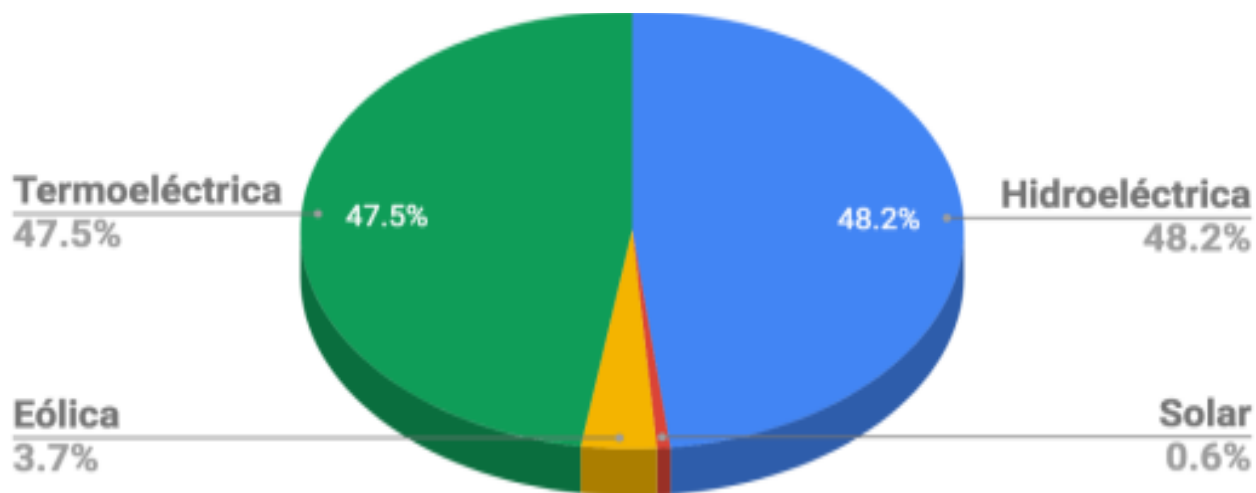


Nota. Adaptado de Agentes Panamá-mayo 2017.

La producción termoeléctrica casi iguala a la producción hidroeléctrica, y la generación renovable produce de 52.5% de la electricidad en Panamá. La energía hidroeléctrica es la fuente renovable con mayor generación en ese país y actualmente produce aproximadamente un 48% de la electricidad. En 2015, la energía solar fotovoltaica producía un 1% de la electricidad en Panamá. En 2015, el 7% de la electricidad vino de fuentes eólicas y finalmente se analizó la generación de electricidad de tipo termoeléctrico que se realiza con combustibles fósiles. En mayo de 2017, tuvo centrales de carbón, diésel y Bunker C, teniendo en total una capacidad instalada de 1155.51 MW y una producción anual de 9343.50 GWh. Las centrales termoeléctricas cuentan la mayor eficiencia de todas fuentes de energía en Panamá con un promedio de 92.3%.

Figura 14

Potencia firme



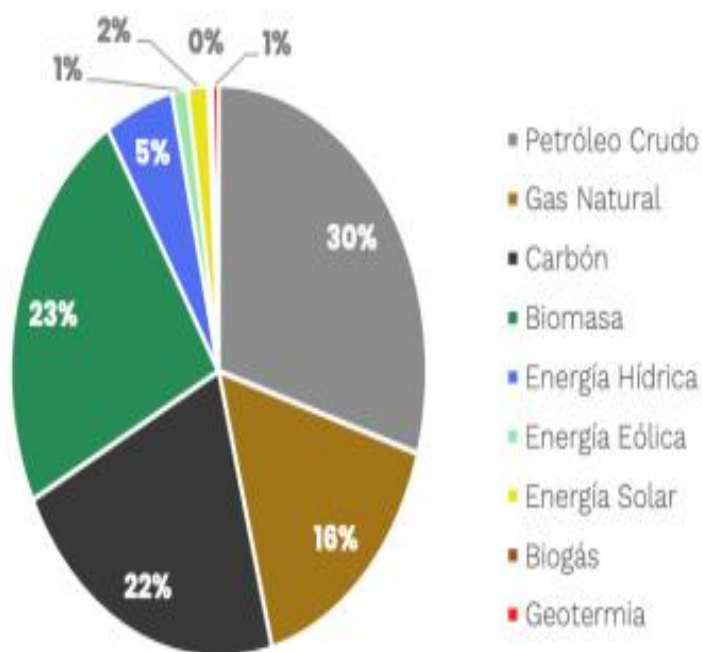
Nota. Adaptado de Agentes Panamá-mayo 2017

Comparativa con Chile

En la matriz energética primaria de Chile predominan los recursos fósiles con una representación del 68% del total, que corresponde a la suma del petróleo crudo (30%), carbón mineral (22%) y gas natural (16%). Con menor participación destaca la energía primaria proveniente de la biomasa (23%), seguido por aquellas de origen hídrico (5%), solar (2%) y eólica (1%).

Figura 15

Matriz Energética primaria en Chile año 2019



Nota. Adaptado de Energía Abierta, Ministerio de Energía (2020).

Para mayor detalle, la figura 16 da cuenta de los valores de la matriz energética primaria del año 2019, identificando entre la producción bruta nacional, importación, exportación, variación de stock y la oferta primaria resultante para cada energético. De esta matriz se puede destacar que la mayor parte la oferta primaria de energéticos provenientes de recursos fósiles son importados.

Figura 16

Matriz Energética en Chile al año 2019

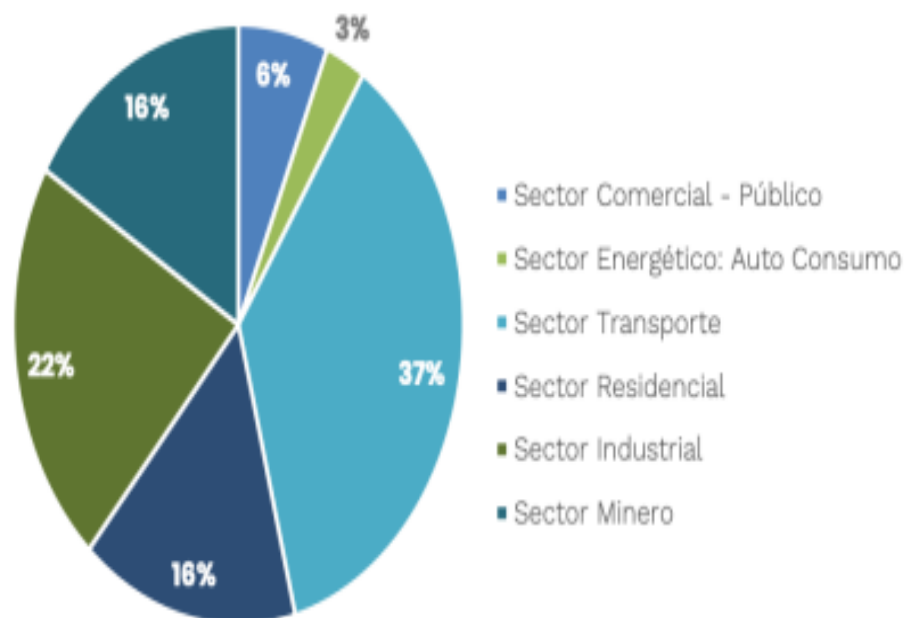
Energético	Producción bruta	Importación	Exportación	Variación de stock	Oferta Primaria
Petróleo Crudo	1.814,68	101.073,63	-	352,33	102.535,98
Gas Natural	14.257,15	42.259,88	-	514,80	56.002,23
Carbón	5.992,69	67.045,03	-	-1.979,56	75.017,28
Biomasa	80.747,58	-	-	-427,03	81.174,61
E. Hídrica	18.438,68	-	-	-	18.438,68
E. Eólica	4.209,89	-	-	-	4.209,89
E. Solar	5.519,96	-	-	-	5.519,96
Biogás	1.011,44	-	-	-	1.011,44
Geotermia	1.737,20	-	-	-	1.737,20
Total	133.729,27	210.378,54	0,00	-1.539,46	345.647,27

Nota. Adaptado de Energía Abierta, Ministerio de Energía (2020).

Al observar la figura 17 se podrá diferenciar el consumo final de energía en Chile, según el sector de actividad económica. Durante el año 2019, se evidencia una concentración en los sectores de transporte e industria, los que sumados representan el 59% del total.

Figura 17

Consumo final de energía en Chile por sector de actividad económica, año 2019



Nota. Adaptado de Energía Abierta, Ministerio de Energía (2020)

Comparativa con México

Este país obtiene más del 80 % de su suministro energético total de los combustibles fósiles. En 2019 el petróleo contribuyó un 45,20 %, seguido del gas natural (37,84 %), el carbón (6,44 %), los biocombustibles (5,02 %), la energía eólica y solar (2,75 %), la nuclear (1,62 %) y la hidroeléctrica (1,13 %).

En 2020, los combustibles fósiles representaron el 64,50 % de la capacidad instalada de México y el 72,15 % de la generación eléctrica. Se generó electricidad adicional con las energías hidroeléctrica (8,59 %), eólica (6,31 %), solar (4,33 %), de biomasa (3,49 %), nuclear (3,48 %), y geotérmica (1,46 %).

A partir de 2020, las emisiones de CO₂ per cápita de México por el consumo de combustible (3,0 toneladas anuales) fueron las terceras más altas de América Latina y el Caribe,

aunque todavía relativamente pequeñas según los estándares internacionales, ocupando el puesto 52 a nivel mundial. El plan de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN) de México exige una reducción de 22 % en las emisiones de los GEI y de 51 % en las de carbono negro para 2030.

En 2020, la capacidad instalada de México era de un total de 83,1 GW. Los combustibles fósiles representaron el 64,50 % de la capacidad (53,6 GW), seguidos de la energía hidroeléctrica (12,6 GW, 15,17 %), la eólica (6,5 GW, 7,82 %) y la solar (5,1 GW, 6,19 %). Por otro lado, generó 312 TWh de electricidad en 2020, un ligero descenso respecto a los 323,8 TWh de 2019 y los 318 TWh generados en 2018. También consumió 271 TWh de electricidad en 2018, puesto 14 a nivel mundial y cuatro en el hemisferio occidental, después de Estados Unidos, Canadá y Brasil.

Comparativa con Honduras

Cerca de la mitad del suministro de energía total de Honduras proviene del petróleo importado. El resto proviene de biocombustibles y otras energías renovables, incluidas la solar, la eólica y la hidráulica.

Tan solo en 2012, el 70 % de la electricidad se obtenía de combustibles fósiles, pero la participación de las energías renovables ha crecido, representando más de la mitad de la generación eléctrica en Honduras en 2020. A partir de 2021, continuó trabajando en su Plan Nacional de Energía 2050.

La Contribución Determinada a Nivel Nacional inicial de Honduras exigía una reducción del 15 %, entre 2015 y 2030, de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con las operaciones habituales. Su primera actualización de la CDN, publicada en mayo de 2021, incrementó la cifra de este objetivo al 16 %. Un 9 % deberá suministrarlo el sector energético.

En 2020, la capacidad de generación instalada fue de 2938 MW. Los combustibles fósiles representaron el 35,8 % de la capacidad, seguidos de la energía hidroeléctrica (28,6 %), la solar (17,4 %), la biomasa (8,9 %), la eólica (8,0 %) y la geotérmica (1,3 %).

En 2020, Honduras produjo 10.038 GWh de electricidad, que provenían de una combinación de combustibles fósiles (44,7 %), energía hidroeléctrica (26,9 %), solar (10,4 %), biomasa (7,9 %), eólica (7,0 %) y energía geotérmica (3,1%).

En 2017, la demanda de electricidad alcanzó los 1560 MW. Y el consumo fue de 7,22 mil millones de kWh en 2016.

Comparativa con El Salvador

En 2020, los combustibles fósiles importados representaron la mayor parte del suministro de energía total de El Salvador. Le siguieron contribuciones más pequeñas de biocombustibles, energía hidroeléctrica, geotérmica y solar.

Entre 2015 y 2017, las emisiones de combustibles fósiles sufrieron un aumento de 1,17 a 1,23 toneladas métricas per cápita. El Salvador es uno de los países más vulnerables del mundo a los efectos del cambio climático, lo que repercute en sus contribuciones al Acuerdo de París en relación con el clima.

El Salvador presentó un documento actualizado de Contribuciones determinadas a nivel nacional en enero de 2022 en el que establece una reducción anual de 640 Kt CO₂eq de las actividades de quema de combustibles fósiles para 2030 (en comparación con el escenario habitual de 2019). En 2020, su capacidad eléctrica instalada total fue de 2360 MW, alimentada por una combinación de combustibles fósiles (32,67 %), energía hidroeléctrica (24,31 %), solar (20,10 %), biomasa (12,44 %), geotérmica (8,66 %), eólica (1,53%) y biogás (0,29%).

La electricidad se le suministra a El Salvador mediante el Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC), que también conecta con Honduras y Guatemala a través de una línea central de 230 kV. Por otro lado, produjo 5895 GWh de electricidad en 2020. Aproximadamente el 85 % de la energía generada provino de energías renovables, incluida la hidroeléctrica (35,05 %), la geotérmica (24,60 %), la solar (15,26 %), la biomasa (9,33 %), el biogás (0,45 %) y eólica (0,24%), mientras que el 15% restante provino de combustibles fósiles.

En 2018, el 97 % de la población de El Salvador tenía acceso a electricidad. La demanda anual máxima aumentó de 666 MW en 1997 a 1072 MW en 2018. La demanda de electricidad en ese país ha crecido junto con la introducción de la criptomoneda como moneda de curso legal; en particular, la energía geotérmica cerca de los volcanes impulsará la minería de Bitcoin.

El consumo eléctrico total de El Salvador durante 2019 fue de 22 833 TJ (Tera julios), lo que convirtió al sector industrial en el mayor consumidor.

Comparativa con Guatemala

En 2018, Guatemala obtuvo el 57,43 % de su suministro total de energía a partir de biocombustibles y residuos, seguido del petróleo (29,54 %), el carbón (7,68 %), la energía hidroeléctrica (3,22 %) y otras energías renovables, como la eólica y la solar (2,12 %). Pese a lo poco que contribuye la energía hidroeléctrica al suministro total de energía, esta representó más de un tercio de la capacidad eléctrica instalada y más de la mitad de la generación de electricidad en 2020.

El plan nacional energético más reciente de Guatemala tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 29,2 % entre 2017 y 2032 mediante la eficiencia energética y las energías renovables. El país detalló una meta de reducción de GEI un poco más modesta en su propuesta de Contribución Determinada a Nivel Nacional de 2017: prometió una reducción del 22,6 % en relación con los niveles habituales de aquí a 2030. Un pilar fundamental para lograr las metas es la reducción de la deforestación.

En 2020, Guatemala tenía 4110 MW de capacidad eléctrica instalada, basada principalmente en la energía hidroeléctrica (38,38 %), los combustibles fósiles (30,36 %) y la biomasa (25,20 %). Otras fuentes renovables representaron un porcentaje mucho menor, incluida la eólica (2,61 %), la solar (2,25 %) y la energía geotérmica (1,20 %). A su vez, produjo 11.121 GWh de electricidad en 2020, alimentados por la energía hidroeléctrica (52,30 %), los combustibles fósiles (24,88 %), la biomasa (15,55 %), la energía eólica (2,81 %), geotérmica (2,46 %) y solar (1,99 %).

En 2020, el 94,7 % de la población tenía acceso a la electricidad. La capacidad instalada fue cerca del doble de la demanda de energía. En 2019, los guatemaltecos consumieron 772 kWh per cápita.

Comparativa con Nicaragua

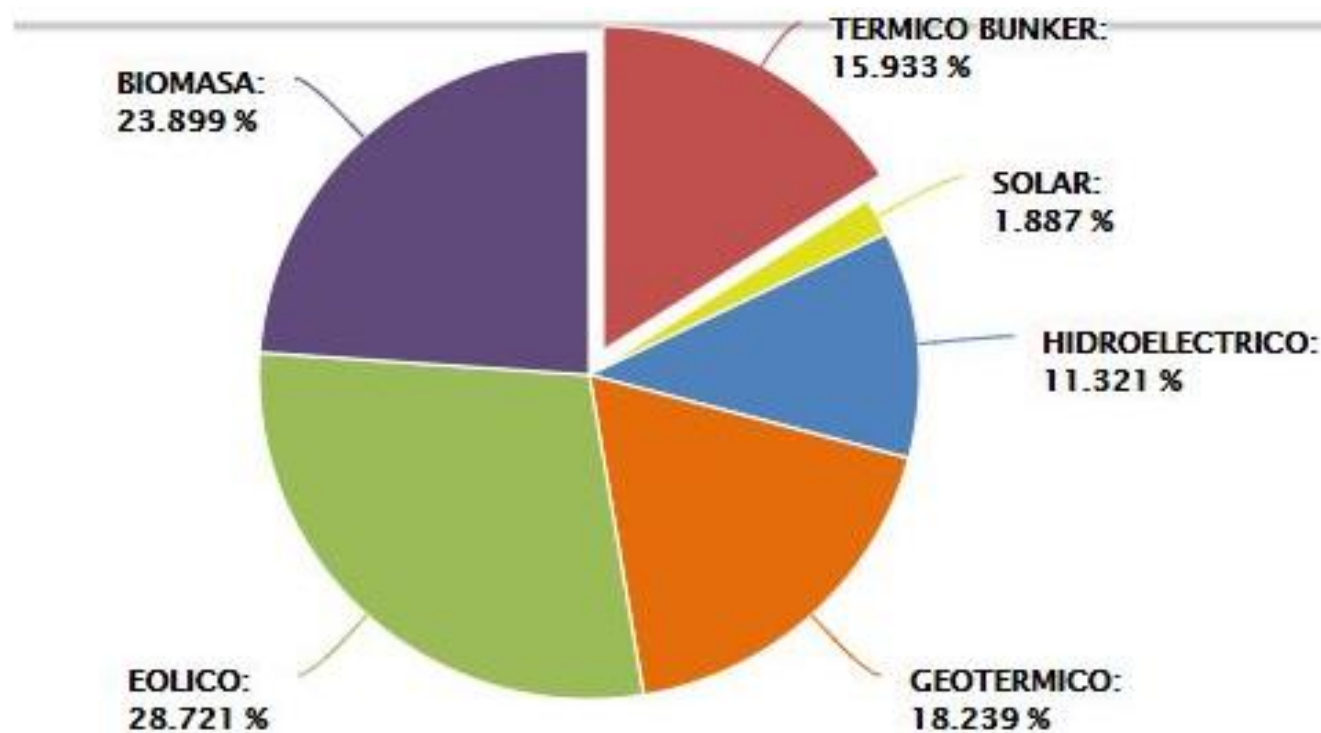
A partir de 2020, las energías renovables, incluidas la eólica, la solar, los biocombustibles, la geotérmica y la hidroeléctrica, representan cerca del 77 % del suministro total de energía de Nicaragua, y el petróleo proporciona el 23 % restante.

Los combustibles fósiles cumplen una función más importante en la generación de electricidad, dado que representaron el 30,2 % del total nacional en 2020. Le siguen la energía geotérmica (20,21%), la biomasa (19,3%), la hidroelectricidad (15,13%), la energía eólica (14,48%) y la solar (0,68%).

En 2020, Nicaragua tenía 1619 MW de capacidad instalada. Los combustibles fósiles representaban el 54,84 % del total, seguido por los biocombustibles (13,47 %), la energía eólica (11,50 %), la hidroeléctrica (9,72 %), la geotérmica (9,46 %) y la solar (1,01 %). Además, generó 3797 GWh de electricidad en 2020 y casi el 70 % provino de fuentes renovables. Se estima que, para 2021 y 2022, la demanda eléctrica máxima del sistema nacional alcanzará un pico de 710 MW y que la demanda de abril será la más exigente de la historia del sistema eléctrico. En 2016, el consumo eléctrico anual de Nicaragua ascendió a 3590 GWh.

Figura 18

Tipos de energía en Nicaragua



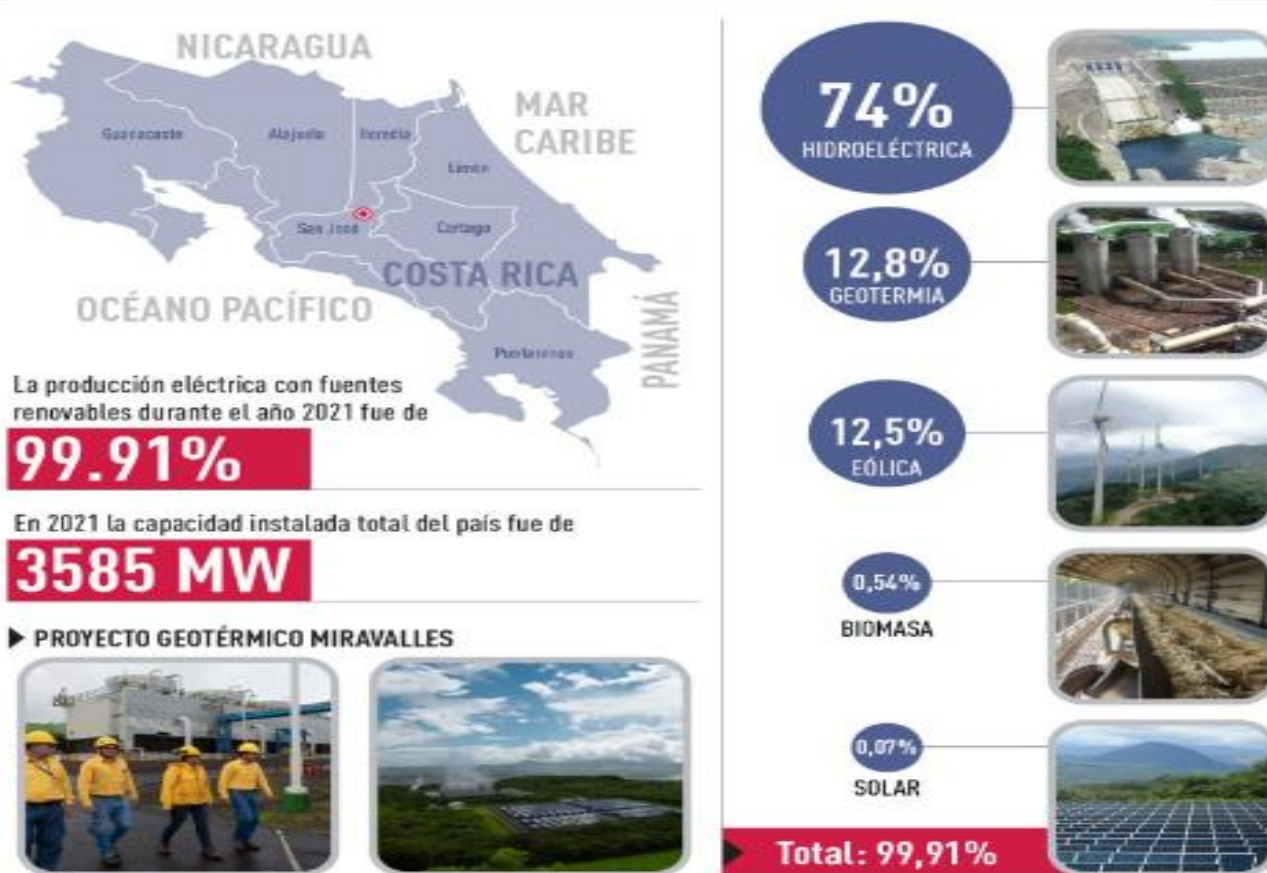
Nota. Adaptado de Generación eléctrica por tipo de energía, Mayo 2021

La seguridad de las energías renovables

La apuesta tica por las renovables viene desde finales del siglo XIX, cuando se utilizó la hidroelectricidad para iluminar la ciudad de San José, su capital, y así sustituir las lámparas de canfín (así se le conoce al queroseno en Costa Rica y Nicaragua). Desde la creación del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), a mediados del siglo XX, se empezó a diversificar la matriz eléctrica para incorporar otras fuentes y hacerla resiliente.

Figura 19

Costa Rica Matriz eléctrica renovable



Nota. Adaptado de Centro Nacional de Control de Electricidad (CENSE)

Actualmente, en un año promedio, el 67% de la matriz corresponde a hidroelectricidad, mientras que el restante 33% se logra mediante geotermia, biomasa (principalmente bagazo de caña), eólica y solar.

Para tratar de dimensionar cómo el vaivén de los precios del petróleo está impactando las tarifas eléctricas residenciales de los países centroamericanos, se recurre a los precios promedio de la energía. Eso sí, hace una aclaración: las matrices eléctricas de estas naciones combinan renovables y combustibles fósiles (Lobo, 2022).

Con un consumo promedio de 200 kilovatios por hora, al mes (unos 12.448 colones o 20 dólares), la tarifa residencial viene disminuyendo en Costa Rica en el orden del 2,63% desde 2010. En cambio, El Salvador y Honduras muestran incrementos del 25% y el 31%, respectivamente, en el período 2010-2022.

Los efectos de la guerra

Los precios del petróleo vienen en aumento desde 2021. La razón es la recuperación tras dos años de impacto económico debido al Covid-19. Los países miembros de la OPEP+, cártel que controla un 55% de la oferta de petróleo mundial, han preferido aumentar la producción a un ritmo moderado, en comparación con el rebote de la demanda global, para asegurarse unos precios altos tras un 2020 desastroso para sus arcas fiscales (Wirth, 2022).

Aun si quisieran incrementar la explotación de hidrocarburos para satisfacer dicha demanda, esto no sería viable debido a la escasez de inversiones para la exploración de nuevos yacimientos desde antes de la pandemia. Los bajos precios hidrocarburíferos registrados entre 2015 y 2019, unidos a los planes de descarbonización de muchos países occidentales, desincentivaron estas inversiones (Wirth, 2022).

Ante este panorama, la opción para los países cuyas matrices eléctricas son dependientes de los combustibles fósiles es la importación de gas natural. Según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), el consumo de gas natural repuntó 4,6% en 2021, más del doble del descenso registrado en 2020 (Wirth, 2022).

Uso del hidrógeno solar como la independencia eléctrica doméstica

Este sistema abarca todas las situaciones posibles, ya sea en verano, invierno o en las noches. En el verano la corriente continua se convierte en corriente alterna para el uso doméstico, por medio de paneles solares instalados en los tejados. La única diferencia es que la electricidad se genera y usa completamente sin emisiones de CO₂, produciendo electricidad limpia. La energía

que no se consume directamente se almacena en una batería. En cuanto se llena, un electrolizador produce hidrógeno a partir del excedente de electricidad y lo almacena para el invierno.

En el caso del invierno, de manera obvia el sol ya no da la misma energía para cargar la batería y abastecer completamente la casa. Sucede el que el sistema ha producido suficiente hidrógeno en verano y lo ha almacenado para poder abastecer a la casa durante el invierno. Ahora la pila de combustible puede volver a generar electricidad a partir de ella para compensar la falta de radiación solar. El sistema permite que la casa siga recibiendo electricidad 100% autogenerada y sin CO₂. Independientemente de si se calienta con electricidad, gas o biomasa: se necesita menos. El sistema tiene, por tanto, un índice de utilización de hasta el 90%. Así que usa casi toda la energía que obtienes del sol. Ya sea como electricidad o como calor.

De las principales ventajas que proporciona este sistema, es que produce un calor altamente eficiente a través de los flujos de aire. En invierno, esto es de gran ayuda para los edificios con sistemas de ventilación.

Problemáticas con los carros eléctricos

Con el paso del tiempo, los inventos tecnológicos han ido sufriendo de evoluciones constantes para adaptarse a los tiempos modernos, prueba de ellos son los medios de transporte, principalmente los vehículos de uso personal o familiar. Hasta hace pocos años la idea de un vehículo 100% eléctrico era visto como algo imposible o que conllevaría mucho tiempo para hacerse realidad. Pero con el paso de los años, el surgimiento de nuevas tecnologías y el cambio climático, los principales fabricantes están apuntando fuertemente por el desarrollo de vehículos amigables con el ambiente, ya que los mercados automotores están tomando este rumbo.

Existe un problema con este tipo de vehículos que se está pasando por alto y es su fabricación. La contaminación de un coche eléctrico comienza en la propia fabricación del vehículo, pues, al igual que los de combustión, este utiliza frenos y neumáticos, los cuales deben salir de una fábrica que, en sus procesos de elaboración, emite enormes cantidades de emisiones.

Se importaron 552 modelos, un 63% nuevos y un 37% de usados. En total, por las calles ya hay más de mil unidades de eléctricos (Herrera, 2020). En esta parte del juego, el gobierno tendrá un papel muy importante, ya que se cree que deberán crear regulaciones o legislaciones que obliguen a los fabricantes a dar un trato correcto a este tipo de desechos. De lo contrario, el país

estaría convirtiéndose en un deshuesadero de vehículos eléctricos, lo cual desencadenaría una nueva problemática ambiental que pondría en riesgo la integridad ambiental que Costa Rica ha luchado por conseguir y mantener con el pasar de los años.

Cuando se habla de vehículos eléctricos, no todo es tan ideal como se plantea, por ejemplo, se tiene el caso de la problemática presentada por Noruega donde desde el 1 de enero de 2023 hay nuevos impuestos pensados especialmente para los vehículos eléctricos. Por un lado, se recupera el IVA del 25% para aquellos vehículos cero emisiones, mientras que para todos los automóviles se añade el impuesto al peso, y esto es algo que afecta directamente a los grandes coches eléctricos.

Terminado el mes de enero, se ve que las matriculaciones de vehículos nuevos han caído en un 76,6% en comparación con el mismo mes del año anterior, hasta alcanzar las 1.860 unidades matriculadas, un dato que está muy lejos de los más de 30.000 coches entregados en diciembre. Es la cifra más baja desde 1962 (G., 2023).

La cuota de vehículos eléctricos se redujo durante el mes de enero del 83,7% al 66,5%, demostrando que, sin ayudas ni ventajas al uso, no interesan. Los coches que mejor comportamiento tuvieron fueron los híbridos, aunque los diéseles pasaron del 2,7% de cuota al 7,7%. Esto demuestra que al menos en Noruega, los coches eléctricos no la tienen tan fácil para ser la mejor opción.

Actualmente la productividad energética del país se concentra en el consumo de energías fósiles, la energía hidroeléctrica y la importante ayuda de las energías renovables. Con un futuro donde se quiere que, todo sea de manera amigable con el medio ambiente, podríamos optar, que las energías renovables y la energía hidroeléctrica serán nuestra proyección hacia el futuro. El crecimiento que ha tenido Costa Rica en base a la generación de energía eléctrica por medio de las represas hidroeléctricas ha sido todo un éxito, constando de un 74% en 2022. Mas de la mitad de la energía generada en el país es por medio de la energía hidroeléctrica, que contribuye de forma considerable a la lucha contra el cambio climático, ya que evita que se utilicen combustibles fósiles y reduce las emisiones de dióxido de carbono, gases que alteran el clima y partículas finas, limitando la contaminación y el efecto invernadero.

Existe un proyecto de ley destinado a que el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), sea habilitado para regular la instalación de las represas y concesione a la compañía que la

realizará. Dicho proyecto facilitaría a los ríos de caudales pequeños para que las compañías privadas instalen sus plantas de generación. La ley para otorgar al MINAE la autoridad de la regulación de plantas ya fue aprobada en primer debate en la Asamblea Legislativa. Esto abre en gran medida las puertas para que la generación de electricidad por medio de represas hidroeléctrica crezca y de esta manera el país pueda seguirse autoabasteciendo por sí misma, impulsando una matriz energética mucho más eficiente y productiva.

Por su parte, el ICE genera el 77% de la capacidad total instalada del país, cuenta con 12 plantas de generación hidroeléctrica. La primera de ellas es la planta de La Garita, que fue puesta en operación el 28 de abril de 1958 en Rio Grande de San Ramón; actualmente produce una potencia de 134740 KW en el Rio Virilla. Después de esta se han construido las represas de Río Macho, Cachí, Arenal, Corobicí, Albert Echandi, Sandillal, Toro 1 y Toro 2, Angostura y Peñas Blancas. Las mayores plantas son Corobicí y Angostura con una potencia generada de 174012 y 172201 KW respectivamente. El ICE tiene en planes crear una planta hidroeléctrica de 631 MW llamada Diquís, la cual estaría ubicada entre Buenos Aires, Osa y Pérez Zeledón. (ICE, 2022).

En parte el porcentaje restante es debido a las energías renovables, en la cual se destaca el uso de la energía eólica, el cual según (RadiosUCR, 2022), fue del 12,5 %, siendo un porcentaje bastante significativo para la matriz energética del país. La geotermia por su lado aportó un 12,8%, todo esto en 2022. Las energías renovables son el socio imprescindible contra el cambio climático: las renovables no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de generación de energía, lo que las revela como la solución limpia y más viable frente a la degradación medioambiental.

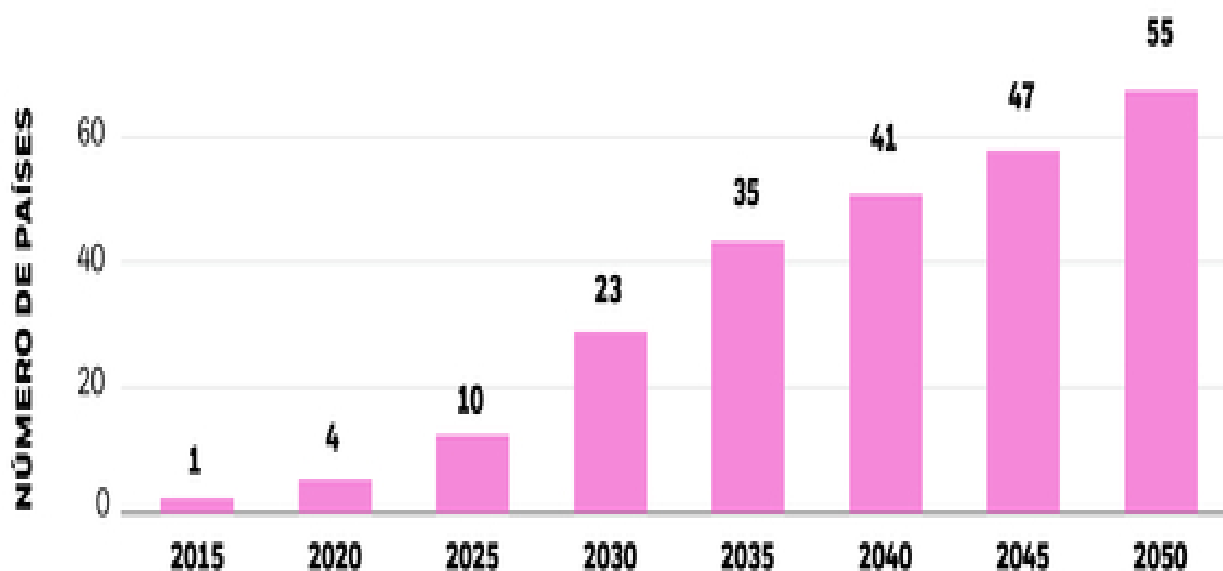
Los cambios demográficos en todo el mundo (población mundial, densidad, etnia, nivel de educación y otros aspectos de la población humana) darán lugar a cambios sociales significativos y, por ende, a retos y oportunidades, tanto para los gobiernos como para las empresas. Esta megatendencia respalda otros cambios estructurales, como el desarrollo tecnológico y los cambios en el poder económico. Si bien los cambios variarán de región a región, tendrán un profundo efecto en los mercados y sociedades locales y globales.

Según la ONU, se pronostica que la población mundial aumentará en más de mil millones para 2030, y la mayor parte de este crecimiento estará protagonizado por los mercados emergentes. Para el año 2050, la ONU estima que el 80% de la población mundial mayor de 60 años se encontrará en países que actualmente se consideran "menos desarrollados" (Unidas, 2022).

Se estima que la población mundial aumentará casi 2000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de los 8000 millones actuales a los 9700 millones en 2050, pudiendo llegar a un pico de cerca de 10.400 millones para mediados de 2080 (Unidas, 2022).

Figura 21

Número de países con más del 30% de población por encima de los 60 años, 2015-2050



Nota. Adoptado de Pronóstico para la población mundial según la Naciones Unidas. Revisión de 2015 a Julio 2015

El envejecimiento de la población es otro aspecto a tomar en cuenta como un factor demográfico para la proyección futura de un país. Su principal conclusión es que el envejecimiento poblacional aporta un aumento de los niveles de educación, mayor productividad, mejor salud y calidad de vida, menos daños para el medio ambiente y compartir la riqueza con las generaciones más jóvenes. Japón es el único país del mundo en el que el 30% de la población tiene más de 60 años. El último informe demográfico de la ONU pronostica que, para 2050, este será el caso en 55 países. Las personas vivirán más tiempo tras la jubilación, lo que resultará en la necesidad de cambios a gran escala en las políticas gubernamentales. Esto también creará tensión en los servicios y proveedores del cuidado de la salud, y muchas naciones tendrán que desarrollar leyes para garantizar que las personas mayores reciban el cuidado adecuado (Unidas, 2022).

Como último factor demográfico, está el descenso de la natalidad que permite medir la fecundidad de una población, así como el resultado de políticas de control de nacimientos; mediante la difusión del uso de anticonceptivos o fomento de la natalidad gracias a subvenciones por parte del Estado.

El promedio de hijos e hijas por mujer se redujo de 1,82 a 1,41 hijos o hijas, con lo cual está por debajo del reemplazo generacional. Las estadísticas vitales confirman que la fecundidad mantiene su tendencia al descenso en el período 2010 – 2020 (INEC, 2020).

Se están teniendo menos hijos, especialmente en sectores de la sociedad más ricos y educados. Esto tiene posibles consecuencias de gran alcance para las empresas, incluida una menor productividad, menos participación de la fuerza de trabajo y un menor crecimiento al inversionista. Las generaciones más jóvenes estarán cada vez más presionadas por la expectativa de cuidar a los ancianos, lo que a su vez podría reducir aún más la productividad (Rock, 2018).

Huella de carbono en Costa Rica

Las emisiones de CO₂ en 2021 han sido de 8,091 megatoneladas, con lo que Costa Rica es el país número 69 del ranking de países por emisiones, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes (Datosmacro, 2021).

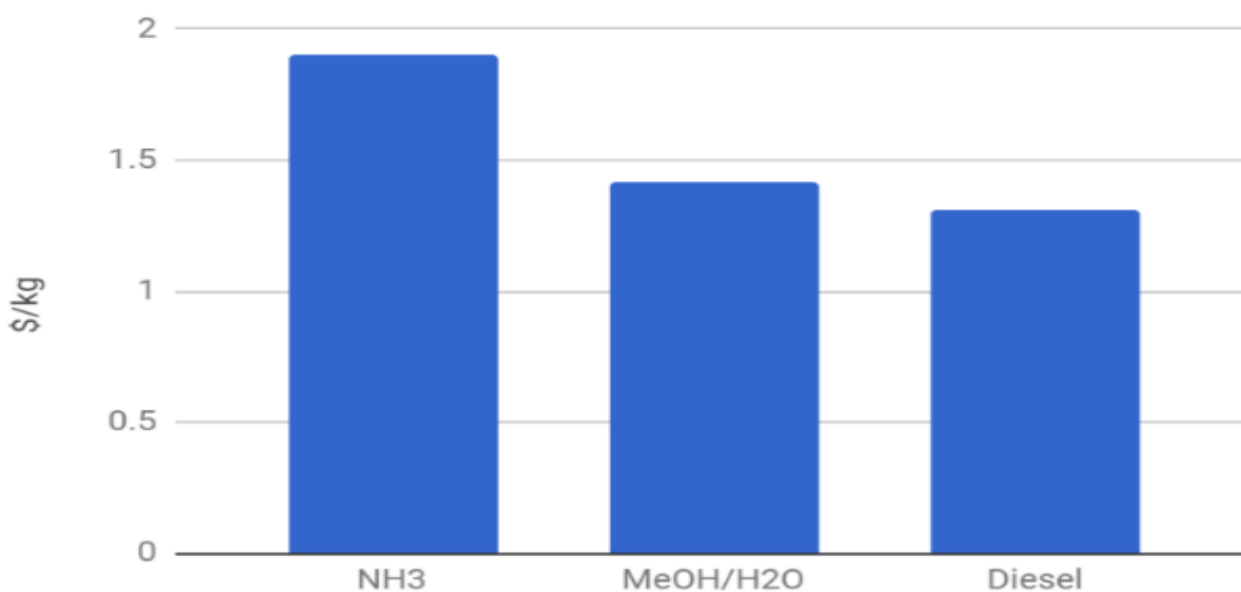
Lo comentado anteriormente, deja ver como a pesar de tener una matriz energética tan limpia, la huella de carbono tiene un gran camino por mejorar. Parte de esa mejora, está en la huella de carbono que tenemos actualmente, el cual es un punto importante para poner al país en una mejor situación medio ambiental.

El uso de las formas para mejorar impacto en las emisiones de CO₂ es uso del amoniaco como combustible.

El amoníaco resulta el combustible con mayor precio por kilogramo, siendo la diferencia entre este con los demás combustibles cercana 0.5 \$/kg. Es necesario contemplar la eficiencia energética del combustible dentro de la tecnología, para analizar su conveniencia se requiere relacionar esta información con su generación energética específica (Piña, 2019).

Figura 23

Comparación de precio por peso para cada combustible analizado



Nota. Adaptado de Evaluación tecno económica de celdas de combustible para un sistema híbrido de energías renovables en radio bases de telecomunicaciones remotas del ICE, 2019

Con base la figura 23 anterior se puede apreciar como el amoníaco parece ser la mejor opción en comparación con sus oponentes con el metanol y el diésel. El amoníaco es NH₃, de modo que en cierto modo es un sistema de transporte del propio hidrógeno. Usarlo como combustible implica disgregarlo en gases de hidrógeno y nitrógeno, para después aprovechar ese hidrógeno en pilas de combustible o directamente en motores de combustión verdes.

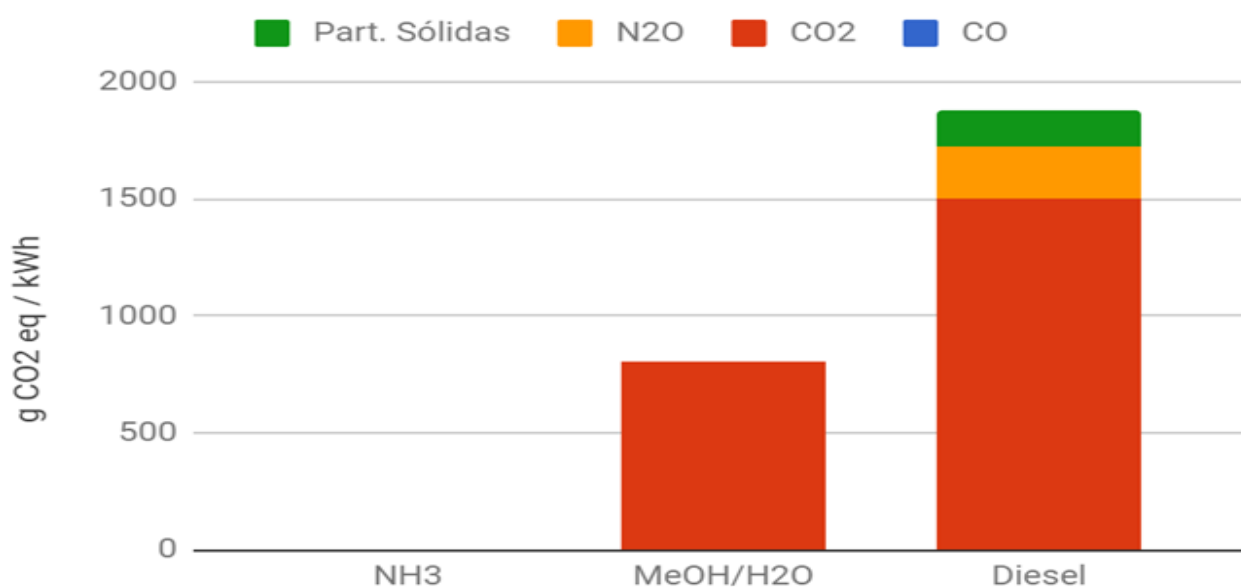
El uso del amoníaco como combustible tiene sus ventajas y sus inconvenientes. La parte buena es que se almacena más fácilmente que el hidrógeno, con un coste que puede llegar a ser 30 veces más barato. Además, un litro de amoníaco es capaz de transportar 70 veces más energía que un litro de hidrógeno cuando ambos gases se llevan a bajas temperaturas (Xataca, 2021).

La parte negativa es que el amoníaco es muy peligroso para el ser humano y, por lo tanto, debe transportarse siguiendo muchas precauciones y medidas de seguridad. También hay un problema en la eficiencia: la energía resultante de usarla como combustible es sólo un 19% de la que se necesita para crear el amoníaco (Xataca, 2021).

La siguiente figura 25 muestra el indicador de gramos de dióxido de carbono equivalente que produce cada combustible por kWh. Este indicador realiza una equivalencia entre las emisiones de otros distintos gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), nitratos (NXO), sulfatos (SXO), partículas sólidas de carbono y metanol (CH₄). (Piña, 2019)

Figura 25

Emisiones de CO₂ equivalente por kWh para cada combustible en su respectiva tecnología



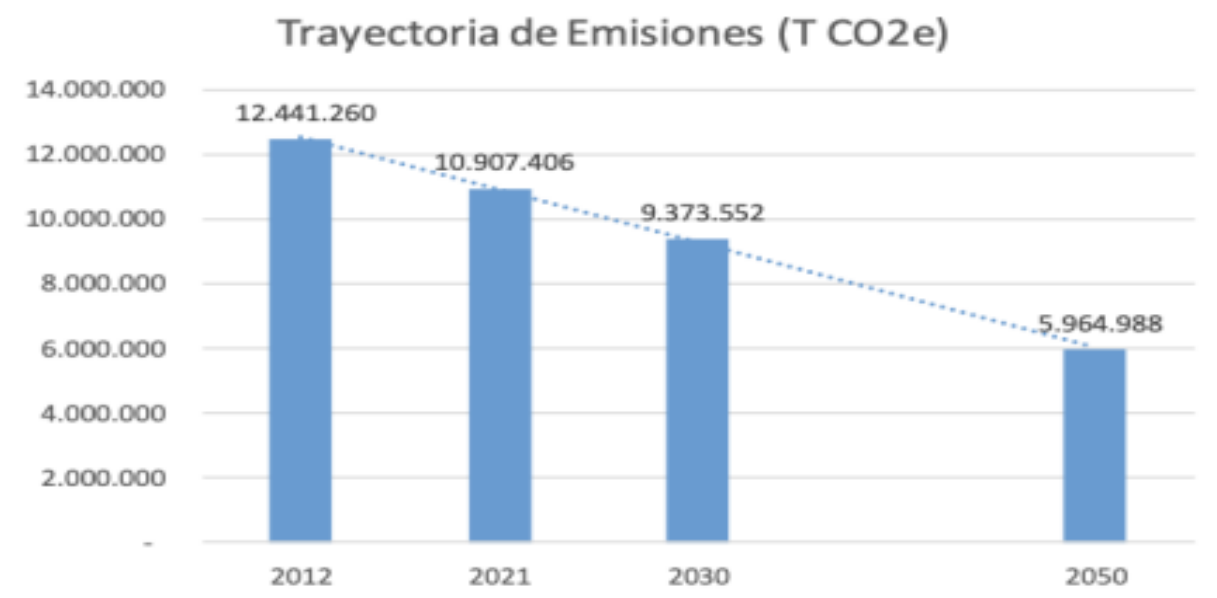
Nota. Adaptado de Evaluación tecno económica de celdas de combustible para un sistema híbrido de energías renovables en radio bases de telecomunicaciones remotas del ICE, 2019

Las emisiones contaminantes producto de la utilización de metanol y agua reducen en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero, según se observa. No obstante, utilizar amoníaco para la generación eléctrica no genera emisiones de gases de efecto invernadero, ya que

el uso de este combustible solamente rompe la molécula de amoniaco para producir nitrógeno molecular y agua. El N₂ constituye el 78% del volumen atmosférico naturalmente, por eso la generación de estos productos, utilizando celdas de combustible de AFC no supone un impacto ambiental de ningún tipo (Piña, 2019).

Figura 27

Trayectoria propuesta de las Emisiones Totales Netas de GEI de Costa Rica 2012-2050



Nota. Adaptado de Gobierno de Costa Rica, 2015.

El país se compromete a un máximo absoluto de emisiones de 9.374.000 TCO₂eq netas al 2030, con una trayectoria propuesta de emisiones per cápita de 1.73 toneladas netas per cápita para el 2030; 1.19 toneladas netas per cápita al 2050 y -0,27 toneladas netas per cápita al 2100. Este límite es consistente con la trayectoria global necesaria para cumplir la meta de 2°C. El compromiso nacional implica una reducción de emisiones de GEI de 44%, comparado con un escenario Business As Usual (BAU), y representa una reducción de emisiones de GEI de 25% contrapuesto con las emisiones de 2012. Para lograr su meta, Costa Rica tendrá que reducir 170,500 toneladas de GEI año con año, hasta el 2030 (Rica G. d., 2019).

¿Es el hidrógeno el futuro?

El hidrógeno (H₂) promete ser una de las armas clave de la humanidad en su batalla contra las emisiones de dióxido de carbono, pero se debe ser cautos y dar el contexto completo de todo, no solo de lo bueno que puede traer su uso, sino todo lo que conlleva.

El hidrógeno no es un combustible, pero puede almacenar energía limpia y pasarlo a través de una celda de combustible para producir electricidad, emitiendo agua como único deshecho. Transporta mucha más energía por un peso determinado que las baterías de litio, y es más rápido rellenar un tanque que cargar una batería. Es de ahí que se piense siempre en él para descarbonizar sectores donde las baterías no son prácticas, como la aviación, transporte marítimo o camiones de larga distancia.

Pero hay un problema, cuando se libera H₂ puede interactuar con otros gases en el aire y resultar perniciosos efectos de calentamiento. Un estudio del gobierno del Reino Unido analizó estas interacciones y ha determinado que el potencial de calentamiento del hidrógeno es el doble de lo que se creía hasta ahora: en un período de 100 años, una tonelada de hidrógeno en la atmósfera calentará la Tierra unas 11 veces más que una tonelada de CO₂, con una incertidumbre de ± 5 (Noticias.noches, 2022).

El hidrógeno es un elemento muy común, pero siempre forma parte de alguna otra molécula, es difícil encontrarlo por sí solo en la naturaleza, pues siempre interactúa con algún otro elemento. Por eso preocupan sus fugas. Según un informe de Frazer-Nash Consultancy, en un cilindro con hidrógeno comprimido se pierde entre el 0,12 y el 0,24 % todos los días. Y se escapará

de las tuberías y válvulas si se distribuye así. Las pérdidas serán un 20 % superiores a las del gas natural que llega a los domicilios e industria, si bien como es más liviano, será un 15 % del peso (Noticias.noches, 2022).

De hecho, las operaciones de ventilación y purga son comunes en todo el ciclo de vida del hidrógeno. Ocurren durante la electrólisis, durante la compresión, durante el reabastecimiento de combustible y durante el proceso de conversión en electricidad a través de una celda de combustible. Y es más que en una simple purga. Se habla de que los procedimientos de electrólisis actuales que usan ventilación y purga pierden entre el 3,3 y el 9,2 % de todo el hidrógeno producido. Esto es preocupante, sobre todo sabiendo que el hidrógeno se está pensando como el modo de almacenar el exceso de energía renovable que no puede absorber la demanda inmediata (Noticias.noches, 2022).

Hay solución, pues las emisiones de purga y ventilación podrían reducirse con sistemas para convertirlo de nuevo en agua y reintroducirla en el proceso. Eso sí, por ahora estas operaciones no son económicamente viables. En total, el informe Frazer-Nash calcula que en torno al 1 y el 1,5 % del hidrógeno escape a la atmósfera. La mitad será del transporte, una cuarta parte en la producción y otro tanto en el consumo (Noticias.noches, 2022).

El amoniaco toma ventaja en el aspecto de que ya es un compuesto químico bastante más comercializado que el hidrógeno, por lo tanto, problemas de fragilización, transporte, almacenamiento y demás no serán un problema, la problemática entra en la parte de los costes de CO₂ que produce el amoniaco para ser producido. El hidrógeno tiene más problemáticas, pero es más limpio, el amoniaco tiene menos problemáticas, pero es menos limpio y amigable con el medio ambiente que el hidrógeno hablando de ambos como combustibles. Todo esto será comentado y debatido más adelante hablando de la huella de carbono de cada uno de los elementos mencionados.

Hidrógeno como combustible

Es importante entender cómo funcionan los generadores de hidrógeno para vehículo, de aquí se parte la idea de si realmente será más sustentable su uso para transporte o la oportunidad que la electricidad tomará el control del futuro con sus carros eléctricos. Aquí se debe tomar en cuenta que Costa Rica posee una gran matriz eléctrica y eso hace pensar si valdrá la pena el cambio del uso del hidrógeno. Ambas opciones tienen sus pros y sus contras.

La concepción errónea más grande que se tiene sobre el hidrógeno es que se está creando combustible a partir del agua. Esto es completamente incorrecto, y en caso de que fuera cierto, violaría varias leyes de la física. No es posible generarlo a una tasa lo suficientemente rápida como para que sea usado como el combustible principal.

Los vehículos impulsados por hidrógeno sí existen y están diseñados para usarlo como combustible principal. El hidrógeno se crea con antelación. Tal y como cualquier vehículo ordinario, requiere un tanque para gasolina y es almacenado dentro de cilindros a bordo del automóvil.

Los generadores de HHO usan la electricidad de la batería del vehículo para separar el agua (H₂O) en sus elementos básicos, oxígeno e hidrógeno. El gas generado es inmediatamente inyectado al motor, donde se mezcla con el combustible existente. En un motor estándar, el ciclo de combustión es muy rápido: 0.007 segundos. La mayoría de las moléculas de combustible son demasiado grandes para quemarse completamente en este tiempo extremadamente limitado.

La situación se torna peor por el hecho de que la bujía solo enciende un pequeño porcentaje del combustible. El fuego generado debe pasar sucesivamente de una molécula de combustible a la siguiente a medida que se propaga a través de la cámara de combustión del motor. Esto hace que se desperdicie un tiempo valioso.

La ciencia tras este proceso de combustión ha demostrado y documentado los resultados. Desde hace más de 30 años se sabe que añadir hidrógeno al combustible fósil, quemado en motores internos de combustión, mejora la eficiencia del motor. Numerosos artículos y análisis de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) lo confirman (Technology, 2023).

El hidrógeno es un elemento químico que se presenta en la naturaleza en estado gaseoso y que, una vez obtenido y almacenado adecuadamente, puede ser utilizado como fuente de energía limpia y sostenible. En esta investigación, se trata el tema del futuro del hidrógeno como vector energético en el país.

Costa Rica ya es una de las naciones más avanzadas en el uso de las energías renovables como fuente principal para su matriz energética. Con una diversificación energética que incluye energías hidroeléctricas, eólicas, solares y geotérmicas, es uno de los países con menor huella de carbono en el mundo. Sin embargo, todavía hay mucho por hacer en cuanto a la movilidad y

transporte, ya que depende en gran medida de combustibles fósiles y es en estos casos cuando se le puede sacar una mejor partida al hidrógeno, el cual puede ser utilizado para la generación de electricidad para motores eléctricos o para su uso directo en motores de combustión de vehículos. Además, en comparación con los combustibles fósiles, el hidrógeno no emite dióxido de carbono o gases de efecto invernadero. Lo cual lo hace una solución muy interesante para mitigar el cambio climático.

Costa Rica no es un gran productor de hidrógeno, pero si tiene el potencial para la obtención de hidrógeno verde, es decir, producido a partir de energías renovables. Su generación puede lograrse mediante procesos de electrolisis, en los cuales se utiliza la electricidad de fuentes renovables para separar el hidrógeno del oxígeno del agua, produciendo de esta manera hidrógeno y oxígeno puros.

Una posible opción para utilizar el hidrógeno en el país es la incorporación de vehículos con este combustible en su flota de transporte. Aunque la inversión inicial en este tipo de tecnología puede ser mayor, el hidrógeno tiene una densidad energética muy alta, lo que significa que puede proporcionar más kilómetros por unidad de combustible en comparación con los combustibles fósiles. Además, los vehículos de ese modo no emiten gases.

En conclusión, el hidrógeno verde puede ser una solución de interés para Costa Rica en el futuro, sobre todo en el ámbito del transporte. Resulta que, su producción basada en fuentes renovables lo hace un combustible muy atractivo desde el punto de vista ambiental. Con un compromiso serio y la inversión adecuada, esta tecnología puede contribuir al logro de la meta de carbono neutralidad en el país y a la lucha contra el cambio climático.

*Figura 29**Cantidad de hidrógeno requerida por tamaño de motor*

Engine Size (L)	Litres HHO per Minute
1	0.16
1.3	0.21
1.6	0.26
1.8	0.29
2	0.32
2.3	0.37
2.5	0.40
2.8	0.45
3	0.48
3.3	0.53
3.5	0.56
4	0.65
4.5	0.73
5	0.81
5.5	0.89
6	0.97
7	1.03
8	1.16
10	1.29
12	1.55
14	1.74
16	1.94

Nota. Adaptado de Fuel Technology, 2022.

Al observar la figura 29, se puede apreciar que la cantidad de hidrógeno requerida es determinada por el tamaño del motor. Por ejemplo, un motor de 3L logrará mejores resultados con un generador que produzca hidrógeno a una tasa de 0.5 L/minuto. El complemento de hidrógeno está sujeto a las leyes del rendimiento decreciente. Al mezclar HHO y combustible se mejora la eficiencia del motor, pero solo hasta un cierto punto. Las pruebas demuestran que ahogar el motor con demasiado hidrógeno reduce su eficiencia y rendimiento.

*Figura 31**Consumo de electricidad de generadores de hidrógeno*

Engine Size (L)	AMPs Required
1	2.5
1.3	3.25
1.6	4
1.8	4.5
2	5
2.3	5.75
2.5	6.25
2.8	7
3	7.5
3.3	8.25
3.5	8.75
4	10
4.5	11.25
5	12.5
5.5	13.75
6	15
7	16
8	18
10	20
12	24
14	27
16	30

Nota. Adaptado de Fuel Technology, 2023

Del análisis de la figura 31 se deja ver que entre 8 y 15 amperios crean suficiente HHO para un motor de vehículo medio (3 Litros). Es la corriente casi equivalente a encender la radio. Para poner en contexto a un mayor nivel, se explicará el caso de la Purdy Motor, la cual siempre ha sido una empresa que impulsa los carros eléctricos y ahora está apostando más por la implementación a futuro del hidrógeno.

Se asegura que, para este proceso, Toyota Motor Corporation entregará a Grupo Purdy Motor tres Toyota Mirai, para que el país pruebe la tecnología automotriz limpia más innovadora en la actualidad, la cual se apega al impulso del uso del hidrógeno que ha desarrollado el reconocido científico nacional, el Dr. Franklin Chang, con su empresa Ad Astra Rocket, ubicada en Liberia (Quiros, 2023).

Esto deja visualizar como empresas de gran impulso en varios ámbitos, también están optando por la inclusión del hidrógeno para próximos proyectos automovilísticos. Costa Rica fue elegido para realizar las primeras pruebas ambientales en Latinoamérica del Toyota Mirai, primer vehículo de hidrógeno en el mundo.

A su vez, Toyota tiene instaladas en Los Ángeles y San Francisco varias vallas de exterior que purifican el aire que hay alrededor de ellas y que muestran el Mirai, el auto desarrollado por ellos que está impulsado por una pila de hidrógeno y cuyas únicas emisiones tienen forma de vapor de agua. En total son 37 vallas que están activas y que durante un mes purificarán el aire con un equivalente a las emisiones de dióxido de nitrógeno generadas por 5.285 vehículos. (Toyota, 2023)

Por su parte, Grupo Purdy no se está quedando de brazos cruzados con el tema de la descarbonización en el país y por ello que anunció la fundación de una nueva empresa, que se dedicará a desarrollar energías alternativas. Se llamará Cavendish y funcionará de manera independiente del Grupo Purdy y se abrirá a otros inversionistas, nacionales y extranjeros, públicos y privados, que también sueñen con la meta de que el país llegue a tener carbono neutralidad.

El hidrógeno verde, energías renovables y diversas alternativas de transporte y movilidad limpias, serán algunos de los emprendimientos que desarrollará Cavendish, cuyo nacimiento fue anunciado ayer en la capital, San José. La empresa, que nace justo en el mes del ambiente, contribuirá al desarrollo de fuentes de energía que promuevan la descarbonización del país.

Hidrógeno en el sector eléctrico

El hidrógeno se está convirtiendo en una opción cada vez más atractiva en el sector eléctrico debido a su potencial como fuente de energía limpia y renovable. Este puede ser utilizado en el sector eléctrico de varias formas. Una de ellas es a través de las pilas de combustible de hidrógeno, que generan electricidad mediante una reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno

del aire, sin generar emisiones contaminantes. Este proceso, conocido como electrólisis, produce electricidad y vapor de agua como subproducto.

Además de su uso directo en pilas de combustible, el hidrógeno puede ser utilizado en plantas de generación eléctrica convencionales. En este caso, el hidrógeno se quema en una turbina de gas o se combina con el carbón en una planta de energía térmica, descubriendo así electricidad y liberando vapor de agua como su único residuo.

Otra aplicación prometedora del hidrógeno en el sector eléctrico es su capacidad para almacenar energía a largo plazo. El exceso de electricidad generada por fuentes renovables, como la energía eólica o solar, puede utilizarse para producirlo a través de la electrólisis del agua. Luego, este hidrógeno puede almacenarse y utilizarse posteriormente para generar electricidad cuando sea necesario, ya sea a través de pilas de combustible o mediante su combustión en plantas de generación.

El uso del hidrógeno en el sector eléctrico tiene varias ventajas. En primer lugar, es una fuente de energía limpia, porque no produce emisiones de gases de efecto invernadero ni contaminantes locales cuando se utiliza en pilas de combustible. En segundo lugar, puede contribuir a la diversificación de la matriz energética, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. Asimismo, ofrece flexibilidad en términos de almacenamiento y transporte, lo que lo convierte en una opción atractiva para integrar energías renovables intermitentes en la red eléctrica.

En ese sentido, también existen desafíos asociados con el uso del hidrógeno en el sector eléctrico. Su producción a gran escala a partir de fuentes renovables todavía enfrenta desafíos técnicos y económicos. Además, se requiere una infraestructura adecuada para almacenarlo, transportarlo y distribuirlo de manera eficiente.

En resumen, el hidrógeno tiene un gran potencial en el sector eléctrico como fuente de energía limpia, almacenamiento de energía y diversificación de la matriz energética. A medida que se superen los desafíos técnicos y económicos, es probable que su uso se expanda y contribuya a la transición hacia un sistema eléctrico más sostenible y eficiente.

Hidrógeno en el sector residencial

El hidrógeno en el sector residencial es una tendencia emergente en la búsqueda de alternativas energéticas más sostenibles y limpias. Y puede ser utilizado como combustible en sistemas de calefacción residencial, reemplazando a los combustibles fósiles tradicionales como el gas natural o el petróleo. Se puede utilizar en calderas, que funcionan de manera similar a las calderas convencionales, pero sin emitir gases de efecto invernadero.

Al dejar a un lado la inversión inicial y la necesidad de más espacio para acumuladores o unidades exteriores para la captación de energía renovable (solar o aerotermia), es posible encontrarse con limitaciones físicas a la hora renovar las calderas murales a gas. Si se quiere renunciar al confort y disponibilidad de potencia que ofrece una caldera en un formato compacto de generador de calor, se plantea seriamente ofrecer al mercado calderas a gas que utilicen gases renovables como puede ser el hidrógeno mezclado en distintas proporciones con gas natural o biometano o incluso con gas natural sintético o en el caso más extremo funcionando con hidrógeno al 100%.

Hidrógeno en el sector industrial

En procesos industriales el hidrógeno se utiliza como una materia prima clave. Por ejemplo, en la industria química, se utiliza para la producción de amoníaco, metanol y otros productos químicos. También se emplea en la refinación de petróleo y en la fabricación de acero, donde se utiliza como agente reductor en procesos metalúrgicos. En estos casos, se utiliza como reactivo o como fuente de energía en reacciones químicas. Su empleo en lugar de combustibles fósiles tradicionales puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, la empresa Repsol está adaptando sus infraestructuras de producción de hidrógeno convencional para la obtención de hidrógeno renovable a partir de biogás, empleando distintas tecnologías vinculadas con la economía circular, entre otras. De este modo, será capaz de producir hidrógeno a partir de residuos orgánicos de diferentes procedencias, como los residuos urbanos, biomasa o distintos subproductos de industrias agrícolas y ganaderas (REPSOL, 2021).

El hidrógeno renovable es uno de los principales vectores energéticos para alcanzar la descarbonización de la economía gracias principalmente a su versatilidad. Como compañía multienergética integrada, Repsol desplegará proyectos en toda la cadena de valor del hidrógeno renovable para aprovechar las sinergias que le proporciona esta situación de privilegio.

Actualmente, el 90% del hidrógeno se usa en el sector industrial como materia prima en el refino, en la producción de amoníaco, en la industria del acero y en la química, principalmente. Por ese motivo, la UE visualiza el despliegue del hidrógeno renovable en primer lugar en la industria y en aquellos sectores que no tienen en la electrificación una alternativa a corto y medio plazo para alcanzar la descarbonización (REPSOL, 2021).

La combinación de biocombustibles avanzados, combustibles sintéticos e hidrógeno renovable es la opción tecnológica más competitiva para superar los desafíos de la descarbonización en sectores donde actualmente la electrificación no es viable (Malango, 2021)

Propuestas a seguir sobre el uso del hidrógeno

Panamá está haciendo una apuesta importante en el hidrógeno verde y utilizará su posición geográfica para convertirse en un hub de este combustible en la región y para lograrlo el próximo 28 de abril, presentará su estrategia nacional. Adicionalmente, estarán dando a conocer cuatro estudios de prefactibilidad incluyendo el de una planta de transformación de hidrógeno que requerirá de una inversión de unos US \$500 millones.

Esa información la dio a conocer el Secretario Nacional de Energía, Jorge Rivera Staff durante el Foro sobre energías renovables organizado por la Unión Europea en cooperación con PROPANAMA, Wallonia Export Investment y las Cámaras de Comercio de Alemania, Francia y Holanda, en Panamá.

Este es el más importante estudio de prefactibilidad de una planta de transformación de hidrógeno verde a etanol, metanol y keroseno en Panamá, que tiene un valor aproximado de US \$500 millones y se está dando esta información a los inversionistas interesados para que no empiecen de cero (Staff, 2023).

En cuanto a la estrategia, el secretario de Energía indicó que estará basada en tres ámbitos de abordaje. El primero de estos es la producción de hidrógeno verde en el país. “Hay unas metas al 2030, 2040 y 2050 que se están estableciendo”, señaló el funcionario (Staff, 2023). El segundo ámbito sería la consolidación de ese hub de transformación de logística, almacenamiento y comercialización de estos vectores energéticos en Panamá.

Tomando en cuenta que ese país ya es un hub de combustible fósil sobre todo para los barcos que utilizan el Canal, ese mismo enfoque puede permitir el desarrollo de esta actividad con este otro vector como el amoniaco verde y el etanol verde que son productos derivados del hidrógeno verde que se pueden almacenar y transportar con mejores condiciones (Staff, 2023).

El tercer ámbito que están planteando es el uso y el desarrollo de hidrógeno en el mercado local y llevarlo también a la región centroamericana. Por su parte, Izabela Matusz, embajadora de la Unión Europea en Panamá calificó el plan de esa nación de ser un hub de hidrógeno verde como una política tan atractiva como ambiciosa, que creará importantes oportunidades de cooperación e inversión.

Queda mucho por desarrollar en el tema de hidrógeno verde, que resulta muy provechoso, pero también como cada tecnología nueva tiene retos, por lo que es oportuno ver hacia dónde va a ir el mundo: si va a ir hacia hidrógeno verde o hacia otra fuente de energía (Matusz, 2023).

Principales problemáticas con el hidrógeno

La fragilización por hidrógeno ocurre frecuentemente durante la soldadura y electro galvanización de aceros debido a que se forma hidrógeno en el acero catódico. La recocción de bajo hidrógeno (templado) contrarresta esto.

La fragilización por hidrógeno es un tipo de corrosión en la cual el hidrógeno atómico se difunde en el material y se deposita en la estructura reticular del metal. El hidrógeno sufre una recombinación molecular, en particular en defectos y límites de veta en el material. El incremento de volumen asociado puede conducir a una presión interna alta y, por consiguiente, a esfuerzos a tensión internos, lo que hace frágil al material y crea grietas (llamado agrietamiento inducido por hidrógeno). Los esfuerzos a tensión internos y los esfuerzos de cargas causan la fractura por fragilización. La aparición de este agrietamiento también puede ser retrasado debido al tiempo que tarde el hidrógeno en ser incorporado. Este proceso de incorporación inhibe el deslizamiento, lo que causa que un componente se rompa prácticamente sin deformación (ITEM, 2023).

Uno de las principales desventajas del hidrógeno es que es un gas muy ligero, que se almacena, distribuye y consume en estado gaseoso, lo que dificulta su almacenamiento y

transporte. Además, es un combustible que ocupa mucho sitio, por lo que se necesitan depósitos más grandes y tuberías más gruesas.

Una problemática más, es el elevado coste de producción que tiene, como se ha indicado anteriormente, que no está presente de forma libre en la naturaleza, de manera que no se puede utilizar directamente como fuente de energía, sino que es necesario obtenerlo a partir de recursos naturales, como el agua, con un importante consumo de energía.

Tanto el proceso de reformado con vapor de agua como la electrólisis son procesos caros que impiden a muchos países comprometerse con la producción masiva. Por ejemplo, con el método tradicional de electrólisis, para producir 2,99 kWh de energía se tiene que gastar 2.83 kWh de electricidad. Por eso, el hidrógeno producido por la electrólisis tiene los costes muy elevados porque se necesita mucha electricidad (Baxi, 2020).

En el tema de la seguridad el hidrógeno es una sustancia sumamente peligrosa, al igual que el gas natural, es inflamable y volátil. En parte, su mala fama como producto inflamable proviene a causa del accidente del dirigible LZ 129 Hindenburg, un Zeppelin que utilizaba hidrógeno en vez de helio como combustible, en el que una chispa causó un incendio en 1937 que conmovió a toda la sociedad de aquella época.

El hidrógeno es un gas difícil de detectar, es inoloro e incoloro. Pero no deja de ser menos peligroso que el gas natural, gas propano o butano. Es un gas muy ligero, esto hace que en el aire se disperse muy rápidamente. Hay que tener cuidado con los materiales que se utilizan. En volumen, el hidrógeno tendrá una tasa de fuga 3 veces superior a la del gas natural, pero como el poder calorífico en volumen es tres veces inferior, en términos de energía, la tasa de fuga será similar a la del gas natural (Baxi, 2020).

En Europa, los EEUU o China están apostando firmemente por el hidrógeno. La Unión Europea aprobó recientemente 5.200 millones de euros en subvenciones para proyectos de hidrógeno verde y Estados Unidos han concedido miles de millones de dólares en créditos fiscales para el hidrógeno verde en su 'Inflation Reduction Act'. Por su parte, China planea producir hasta 200.000 toneladas de hidrógeno verde de aquí a 2025 dentro de su Plan a medio y largo plazo para el desarrollo de la industria de la energía del hidrógeno (Kardoudi, 2022).

Para producir hidrógeno verde se utiliza energía renovable y cuando se usa como combustible no genera ningún tipo de emisiones perjudiciales para el medioambiente, tan solo agua. Pero para que esto sea así hay que asegurarse también que, durante su uso, producción, transporte, almacenamiento no haya fugas que acaben llegando a la atmósfera y contribuyan al calentamiento global. Los investigadores ya han avisado que si estas fugas llegaran a la atmósfera en cantidades cercanas al 10 por ciento sus efectos para el clima serían igual de perjudiciales que los de los combustibles fósiles (Kardoudi, 2022).

Las investigaciones realizadas en el último año apuntan que este perjuicio se debe a que las moléculas de hidrógeno son mucho más pequeñas y ligeras que las del metano, por lo que también son más difíciles de contener. Cuando el hidrógeno llega a la atmósfera afecta a otros gases contaminantes como el metano uno de los principales gases de efecto invernadero haciendo que éste permanezca más tiempo en el aire y tenga más impacto en el clima (Kardoudi, 2022).

Al partir del hecho de que cuando se quema el hidrógeno no se liberan elementos contaminantes a la atmósfera, la reacción que produce el hidrógeno al ponerlo en contacto con el oxígeno no produce emisiones contaminantes de CO₂, sino agua, por lo que no contamina. No emite gases de efecto invernadero durante la combustión. Es una fuente de energía limpia que solo emite vapor de agua y no deja residuos en el aire. Cabe resaltar que es tóxico y que no tiene la peligrosidad del monóxido de carbono.

Apoyo no a la producción de hidrógeno verde en el país

Existe una tendencia global muy clara a la descarbonización de las economías de los países considerados avanzados y Costa Rica, como país comprometido a esa descarbonización, puede y debe crear una economía de mercado basada, y en torno, en las energías renovables y limpias.

El hidrógeno, el elemento más numeroso del universo, sirve como un eficaz vector de energía limpia, logrando reemplazar en diversas áreas importantes de la economía nacional la energía generada con combustibles fósiles contaminantes. Naciones como Alemania, Canadá, Estados Unidos, Japón, China y la Unión Europea ya han establecido sus respectivas bases legales y financieras para el desarrollo de una economía de hidrógeno verde. Este auge global es el trampolín ideal para que el país aproveche sus vastos recursos energéticos renovables y limpios, para crear su propia economía de hidrógeno verde.

La importancia que tiene Costa Rica en el cumplimiento de las metas de descarbonización es relevante, ya que la electricidad producida en el país se da sin la intermediación de combustibles fósiles y de fuentes renovables y completamente amigables con el medio ambiente.

En consecuencia, el presente proyecto busca formas para promover el desarrollo económico del país mediante la consolidación de una industria que se encuentra en pleno auge global, con potencial de llegar a convertirse en una de las principales industrias a nivel mundial. Solo en Europa se calcula que la inversión en hidrógeno para el año 2050 será de USD 11 trillones de dólares, sin contar con los subsidios calculados en USD 150 billones de dólares. Sin considerar estas inversiones a largo plazo, actualmente existen cerca de USD 90 billones de dólares en inversiones para la producción de hidrógeno (de las tres categorías, verde (electrólisis), azul (producido con gas natural) y gris (producido con petróleo). Para el año 2020, el total de toneladas producidas llegó a aproximadamente 71 millones de toneladas, las proyecciones para el 2030 establecen como potencial demanda cerca de 160 millones de toneladas, considerando el giro que están tomando las empresas hacia una economía descarbonizada donde el hidrógeno verde es la columna vertebral (Legislativa, 2021).

De esta manera, se observa que se ofrece al país la oportunidad de generar espacios de innovación, potenciar el crecimiento y el empleo local, así como crear nuevas empresas de impacto social y ambiental, sacando provecho de la oportunidad única para desarrollar una industria competitiva de hidrógeno verde. Esto a partir de electricidad producida con recursos limpios y renovables de bajo costo permitirá producir un vector energético de uso local y de potencial exportación regional, impulsando una economía sustentable y limpia en torno a esta actividad. Y más allá del hidrógeno como vector energético están los usos que se le pueden dar en las industrias metalúrgicas, químicas, petroquímicas, que en sí forman sectores de demanda para su producción, ya sea en el país, o en mercados de exportación.

Todo parecía ser un gran plan para impulsar la producción de hidrógeno verde, pero la realidad fue que el plan no tuvo pies ni cabeza y fue desechado por su totalidad. Hubo mucha falta de apoyo cuando el plan fue presentado formalmente y la encargada de la destrucción de momento de la producción de hidrógeno verde fue la Sala Constitucional.

Lo anterior, debido a que se indicó que el proyecto no señala fuente de financiamiento de los estudios de factibilidad; no tiene análisis de mercado sobre qué demanda y/o aplicaciones

absorberían el hidrógeno verde producido; no habla de los costos de explotación ni de precios de materias primas o tasas de retorno de capital invertido; no tiene justificación técnica para los supuestos beneficios del proyecto; no tiene previsiones sobre los equipos necesarios ni sobre los riesgos; y no se cuantifican las emisiones de gas carbónico supuestamente evitadas con el hidrógeno verde en el país (Madrigal, 2022).

Por todo ello, las diputaciones acusaron que el proyecto viola el principio de razonabilidad técnica, el derecho de propiedad privada y el de intangibilidad del patrimonio privado. En específico, mencionan que, al incluir a Recope en el proyecto, mediante todo el Sistema Nacional de Combustible, se está forzando a las gasolineras a participar de un negocio en el que no han accedido libremente a ser incluidas, violando su propiedad privada (Madrigal, 2022).

Además, se acusó que el proyecto viola el principio de seguridad y certeza jurídica, claridad y no confusión normativa, razonabilidad técnica y equilibrio fiscal, porque los incentivos y exoneraciones establecidos en el proyecto no dicen si se darán por una única vez, o si quienes los reciben pueden volver a recibirlos. Tampoco se incluyeron criterios técnicos que justifiquen esos incentivos y el impacto que tendrán sobre las finanzas públicas, violando el principio de equilibrio presupuestario. Esto último se logra apreciar en el artículo 10 del plan, donde solo se beneficia al 100% a los que inicien actividades en los primeros 5 años, después de ese lapso los beneficios caen en grandes porcentajes.

Entre los incentivos que contiene el proyecto están una exoneración del Impuesto al Valor Agregado, Selectivo de Consumo, Sobre el Valor Aduanero a las Mercancías Importadas, Derechos Arancelarios de Importación; gravámenes, tasas o contribuciones derivadas de estas; Impuesto a la Importación y Compra Local de Bienes, Equipo y Maquinaria; así como exoneración del impuesto sobre las utilidades cuya base imponible se determine en relación con las ganancias brutas o netas.

Igualmente para incentivar la investigación, el almacenamiento, el transporte y uso final para el desarrollo de la economía de hidrógeno verde se pretende exonerar del IVA, impuesto selectivo de consumo, impuesto sobre el valor aduanero a las mercancías importadas, derechos arancelarios a la importación (DAI), así como los gravámenes, las tasas o las contribuciones derivadas de estas leyes, sobre la importación y compra local de los bienes, equipos y la maquinaria

necesarios y vinculados en el desarrollo de las actividades de investigación, almacenamiento, transporte y uso final del hidrógeno verde (Madrigal, 2022).

Los incentivos también se darían a los importadores, distribuidores y comercializadores de bienes, equipos, maquinaria e insumos necesarios y vinculados en la producción, transformación, investigación, almacenamiento transporte y uso final del hidrógeno verde.

La consulta también indica que el proyecto violenta el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, los principios de igualdad y no discriminación; el principio de jerarquía de la norma e inderogabilidad singular del reglamento; y el principio de objetivación de la tutela ambiental, ya que le otorga al ministro de Ambiente la potestad de determinar el trámite a seguir en proyectos de hidrógeno verde, cuando esa es una competencia otorgada a la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena), lo que politiza una decisión que es meramente técnica (Madrigal, 2022).

También se acusó que el proyecto no tiene estudios técnicos que sustenten la pretensión legislativa de que el MINAE-SETENA deba dar prioridad a los proyectos de hidrógeno verde al analizar viabilidades ambientales, por sobre cualquier otra iniciativa (Madrigal, 2022).

Finalmente, las diputaciones acusaron violación al principio de libre empresa, ya que por un lado sugiere que quienes produzcan alcohol a partir de hidrógeno verde no estarán sujetos a limitaciones que existen a esos productos, pero por otro, propicia la monopolización de esa actividad.

El producto final que se vendió con este proyecto era la iniciativa que se tuvo sobre la implementación de hidrógeno verde en las filas de producción para el país, pero, ese producto final está bastante lejos de llegar a tener una correcta formulación debido a la gran problemática con muchos de sus artículos. El hidrógeno si es limpio pero las personas que quieren abusar de su uso dentro de la matriz energética del país no tanto.

En ese tanto, el 22 de febrero, el Gobierno definió cuáles serán los beneficios del proyecto de ley para la Promoción del Hidrógeno. No obstante, el borrador de esta normativa nueva no menciona a los vehículos propulsados por hidrógeno verde (H₂). Este aspecto resulta llamativo ya que la Ley N° 26.123 aprobada en 2006 sí los contempla. Incluso, “declara de interés nacional el desarrollo de la tecnología, la producción, el uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible

y vector de energía”. Y agrega que uno de sus objetivos consiste en “fomentar la investigación y desarrollo de tecnologías que permitan la utilización del hidrógeno como combustible de uso vehicular”. Asimismo, vale mencionar que cada vez más países latinoamericanos avanzan en reglamentaciones vinculadas a los coches y camiones propulsados por este energético.

Por ejemplo, Costa Rica lanzó la Estrategia Nacional para el hidrógeno verde con metas en transporte y Panamá la publicará en el cuarto trimestre del 2023. Según el borrador preparado por el Ministerio de Economía, el proyecto de ley para la creación del Régimen de Promoción del Hidrógeno, que el Gobierno nacional enviaría al Congreso próximamente, tendrá una vigencia de 30 años, demandará una integración mínima de contenido nacional de hasta el 50% de los proyectos, creará un fondo destinado a financiar a la cadena de valor y la Agencia Nacional del Hidrógeno (ANHIDRO).

Esa estrategia tiene como fin contribuir con los procesos de descarbonización de las matrices energética y productiva, impulsando la utilización del hidrógeno de bajas emisiones en aplicaciones respecto de las cuales aquella resulte viable y segura, contribuyendo a alcanzar los objetivos del Acuerdo de París aprobados por Ley N° 27.270 (Altamirano, 2023).

Para ello buscará incentivar el desarrollo de toda la cadena de valor del elemento, en sus etapas de producción, transformación, logística y transporte, así como la industria de bienes de capital asociada con el fin de promover el establecimiento de polos productivos y la generación del empleo (Altamirano, 2023).

Asimismo, pretende fomentar el desarrollo científico y tecnológico, y el escalado de tecnologías y sus componentes críticos, en los procesos del hidrógeno verde, el azul (obtenido de combustibles fósiles con captura de carbono) y el rosa (de origen nuclear). También contempla las plantas electrolizadoras; la infraestructura de captura y almacenamiento de gases de efecto invernadero; las plantas de producción de vectores; las obras de infraestructura destinadas a la obtención, procesamiento, almacenaje y despacho del hidrógeno de bajas emisiones y sus vectores; y las de almacenamiento de energía y transmisión (Altamirano, 2023).

Al mismo tiempo, teniendo en cuenta que, según el documento, la Autoridad de Aplicación (de conformidad con la Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo y la ANHIDRO) podrá incorporar, modificar o eliminar tipos de inversiones elegibles de acuerdo al avance tecnológico,

persisten las esperanzas de que las iniciativas vinculadas al transporte sostenible puedan verse beneficiadas en algún aspecto.

Productividad laboral de Costa Rica y su comparativa con países centroamericanos

Una de las maneras de poder responder la pregunta de esta investigación, abordando concretamente la productividad energética, fue mediante el uso de la ecuación 5, la cual describe la productividad laboral dentro del país, conociendo mediante este indicador cuál puede ser la salida más sencilla y eficaz para determinar la productividad energética del país. Este indicador mide la cantidad de producción generada por cada unidad de trabajo o de horas trabajadas (OCDE, 2012).

Cabe resaltar que con este concepto se puede entrar en un debate acerca de qué tan productivo es un país, pero no solo se implica este término, al contrario, para conocer en profundidad la inmensidad de la palabra productividad energética, hay que indagar sobre otros indicadores que evalúan el desarrollo de una nación como lo pueden ser el desarrollo humano, la distribución del ingreso, la calidad de vida y el impacto ambiental, entre otros.

Se quiso cuantificar de una manera real que tan eficiente es el país y con esos valores hacer una comparativa con países centroamericanos para conocer datos reales y poner en contexto a la evolución energética que ha tenido Costa Rica. La investigación hace referencia a la preocupación de como medir y responder a la pregunta sobre la productividad nacional, también la importancia de la calidad de mano de obra, la influencia de la inteligencia artificial en la productividad y el impacto del desempleo en la riqueza del país, todos estos aspectos mencionados son importantes para responder a la a la pregunta sobre la productividad energética que se tiene.

Al llevar a cabo el correspondiente cálculo se tomó el valor del PIB de Costa Rica que en este caso se tomara el del 2022, el cual corresponde a 64.890 miles de millones de dólares. Por otro lado, los habitantes empleados de ese mismo año corresponden a 2.438.788 personas. Aplicando la ecuación 5, se brinda que la productividad laboral en Costa Rica es de 26.607,48 dólares por habitante durante un año, lo equivalente en colones a 14.397.608 colones por cada persona empleada en el país durante el 2022. Se conservará este número, por cuanto será el que dé una guía para determinar y comparar la productividad energética del país.

Se realizó el mismo procedimiento para los países centroamericanos, donde los resultados fueron los siguientes, todo en medidas de colones por cada habitante empleado durante ese año:

En el caso de México con un PIB de 18.3 billones de pesos mexicanos y un número total de habitantes empleados de 58.300.000, resulta que su productividad laboral en colones por habitante es de 10.051.640 para el 2022. Posteriormente, se calculó a Honduras con un PIB de 31.718 miles de millones de dólares, mientras que los habitantes empleados son 3.986.387 en el año 2022. Se hizo el correspondiente cálculo y arrojó que la productividad laboral fue de 4.305.395 colones por cada habitante empleado durante el 2022.

Guatemala, por su parte, con un PIB de 95003 millones de dólares, con una población empleada de 7.403.279 personas, su productividad laboral fue de 6.943.848 colones por cada habitante empleado durante el 2022. Siguiendo igualmente con el país vecino Nicaragua, el cual con un PIB de 15.672 miles de millones de dólares y una población empleada de 3.520.000 da que su productividad laboral es de 2.409.173 colones por cada empleado durante el periodo 2022. Para Panamá su PIB en 2022 fue de 76522 millones dólares, mientras que su población trabajadora fue de 1.846.363 habitantes, su productividad laboral fue de 22.426.352 colones por cada habitante empleado durante el 2022. En este punto se comienza a notar esas variaciones entre cada país, que hace las brechas más grandes sobre cuál país tiene una mejor productividad.

El siguiente país al que se le calculó su productividad laboral fue El Salvador, con un PIB de 32489 millones de dólares para el 2022. Del mismo modo, su población trabajadora fue de 2.782.179 personas, su productividad laboral rondó los 6.318.848 colones por cada habitante empleado durante ese año. Finalmente, se calculó la productividad laboral para Chile y así dar un poco de contexto con países suramericanos. Su PIB en 2022 fue de 267.562 millones de euros, mientras que su población trabajadora fue de 9.019.000 personas, dando una productividad laboral de 16.052.829 colones por cada habitante trabajador durante el 2022.

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación cualitativo

Matriz de codificación: enfoque cualitativo

Objetivos	Categoría de análisis	Subcategoría	Definición conceptual	Instrumento	Ítem
Establecer la situación actual y la futura tendencia temporal de los indicadores económicos energéticos en Costa Rica por medio de la interpretación de la información de diferentes entidades tanto nacionales como internaciones.	Indicadores Económicos	Tipos: <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad energética • Sendero energético • Eficiencia energética • Sectores primarios y secundarios • Generación de electricidad 	<p>Intensidad Energética: La intensidad energética, es una medida resultante de la relación entre el consumo de energía y un indicador macroeconómico, en este caso, el producto interno bruto</p> <p>Sendero energético: Es aquel que muestra la imagen de la evolución de los consumos de energía, la intensidad energética y el grado de desarrollo socioeconómico</p> <p>Eficiencia energética: Es la adecuación de los sistemas de producción, transporte y consumo de energía, con su objetivo principal que es lograr el mayor desarrollo sostenible con los medios tecnológicos al alcance.</p>	Investigación en: Artículos, sitios web, reportes, investigaciones	Sitios web: OLADE, Fondo Monetario Internacional CEPAL ICE MINAE Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de Costa Rica

<p>Determinar las necesidades y fortalezas del país, haciendo una comparación de los indicadores económicos energéticos de otros países en América Latina. De esta manera dar a conocer la estructura de la matriz energética del país.</p>	<p>Comparación de los diferentes indicadores económicos</p>	<p>Determinar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estrategias energéticas • Políticas que ayuden a las necesidades energéticas del país 	<p>Haciéndose la debida comparación entre los diferentes indicadores económicos establecer y analizar las diferentes estrategias y políticas energéticas que puedan dar contexto sobre la actual y futura proyección del país.</p>	<p>Investigación en: Artículos, sitios web.</p>	<p>Sitios web: OLADE Blog sobre como impulsar los indicadores económicos Estrategias energéticas sustentables de los países del SICA ICE CEPAL CNFL MINAE</p>
<p>Establecer el desarrollo en investigaciones y avances de la utilización del hidrógeno de manera nacional e internacional.</p>	<p>El hidrógeno como opción para el futuro</p>	<p>Los avances del hidrógeno y el desarrollo que ha tenido en los diferentes aspectos socioeconómicos de la región.</p>	<p>El hidrógeno como uso de: combustible, residencia, generación eléctrica, producción industrial.</p>	<p>Investigación en: Sitios web</p>	<p>Grupo ICE, Reportes Sostenibles Plan nacional de energía 2015-2030 MINAE</p>

Determinar la huella de carbono desde la producción hasta la utilización, por medio de los elementos químicos más utilizados para la generación de hidrógeno.	La huella de carbono	La huella de carbono de los diferentes compuestos químicos más utilizados para la producción de hidrógeno.	Huella de carbono de: amoníaco, metanol, diésel.	Investigaciones en sitios web, Tesis relacionadas al tema y reportes de diferentes páginas de internet.	Tesis, análisis de la huella de carbón de diferentes compuestos químicos
Efectuar un análisis sobre las políticas y tendencias energéticas vinculadas a los aspectos económicos de Costa Rica.	Comentarios críticos sobre políticas y tendencias energéticas	Comentarios y observaciones sobre las leyes y aspectos socioeconómicos del apoyo que se le da a la producción de hidrógeno en el país.	Leyes sobre la aprobación del uso del hidrógeno	Investigación en: Artículos, sitios web	Sitios web: Repositorio de la CEPAL MINAE Ley nacional del hidrógeno Estrategia Nacional de Hidrógeno verde de Costa Rica

Fuente: Elaboración propia, 2023.

CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS

Se debe poner contexto el cambio climático y sus repercusiones, para establecer que Costa Rica posee una matriz energética muy limpia, que lleva años en constantes avances para fortalecer su huella de carbono. Además, es uno de los pocos países que tiene una matriz energética 99.91% limpia según lo que muestra la figura 19 para año 2021, lo que deja mucho que decir sobre su evolución energética. Aunque, no hay que dejar de lado un aspecto importante dentro de sus fundamentos, acerca de qué tantas emisiones de CO₂ ha producido el país hacia la atmosfera.

Esto se aprecia en la figura 2, en la que el año 2019 se indica que Costa Rica tuvo una producción de 8,24 megatoneladas de CO₂. Con respecto a cada habitante serían 1,62 toneladas de CO₂, para el caso en la misma figura se aprecia que también Estados Unidos es partícipe de esta estadística. Aquí lo curioso es observar cómo cada habitante estadounidense para ese mismo año produjo 14,7 toneladas de CO₂. Esto brinda un poco de contexto y se evidencian esas diferencias de emisiones de CO₂ que se pueden llegar a denotar según el país analizado.

Por un lado, Costa Rica que tiene una matriz muy limpia y, por otro, Estados Unidos que tiene gran parte de su matriz energética generada en base a los combustibles fósiles. Gracias a esta figura se logra apreciar que el país norteamericano es muchas veces más generador de emisiones de CO₂ que Costa Rica. Todo esto hay que ponerle un contexto, porque EUA tiene una población mucho más grande y está mucho más globalizado y de primer mundo. Aun así, sirve de comparación para saber un estatus cercano sobre la producción de emisiones de CO₂ en el país.

Adicionalmente, el PIB, la población y consumo primario de energía son tres indicadores económicos que dan pistas muy claras sobre la evolución energética que ha tenido la nación. Al respecto, en la figura 4 se deja ver cómo con el paso de los años han estado en constante cambio, pero define la futura tendencia que tendrán esos indicadores económicos. De esa misma gráfica se puede distinguir que a partir del 2008 los indicadores se desacoplan y entre 2009 y 2012 la economía se recupera, alcanzando un promedio anual de crecimiento del 4,7%, mientras el consumo primario de energía sigue decreciendo a un promedio anual de 0,3%. Entre 2012 y 2014 se ralentiza el crecimiento del PIB en un promedio anual de 3%, pero el consumo primario de energía cambia su tendencia y crece un 2,2%. Para 2015 el PIB vuelve a crecer un 4,7% y el consumo primario de energía asciende a tan solo un 0,4%. El consumo final de energía tuvo una tasa de crecimiento promedio anual de 3,6% en el período de estudio; pasó de 1.603 ktep en 1990

a 3.854 ktep en 2015. Este consumo se vio dominado por el sector de transportes, que ha mantenido un crecimiento sostenido del parque vehicular y debido a las particularidades del sector, mantiene una tasa de crecimiento anual promedio de 4,8% en el consumo energético del período en estudio. Este crecimiento fue superado solamente por el sector terciario con un 5,2%.

En la figura 5 se aprecia a nivel global, que el consumo primario y final de energía presentan un crecimiento promedio anual de 3,6% y 3,7% para el período de estudio (1990-2015). Este crecimiento se ralentiza drásticamente para el último lustro (2010-2015), en el que llega a ser de tan solo 0,6% y 1% en promedio anual, respectivamente.

En la figura 6 se muestra la variación de la composición del consumo entre 2000 y 2015. Se observa una reducción relativa leve de los derivados de petróleo, aunque siguen representando más de la mitad del consumo energético (61% para 2015). La participación de la electricidad aumenta un 2% y la de biomasa disminuye un 3%, debido en parte a que se dejó de usar leña en los hogares, estos datos relatan el consumo final de energía por cada fuente donde se refleja la importancia de la electricidad la cual para el año 2015 ya comenzaba a dar pasos de incremento.

La energía final es la suministrada al consumidor para ser convertida en energía útil, es decir, es la que llega finalmente al cliente y de cuyo consumo se tienen datos a través de los contadores o suministradores y disponibles en el mercado en forma de combustible, calor y electricidad. Analizando la figura 7, se evidencia el impacto de la generación renovable, ya que cuanto más cerca a uno es mayor la generación renovable. En 1994 se observa la mayor diferencia entre consumo final y primario debido a que fue el año en el que hubo mayor generación térmica. En cambio, en 2015 la alta participación del recurso renovable favoreció una mejor relación entre ambos consumos.

La estructura del consumo final de energía por fuente para los años 2000 y 2015 y su importancia dentro la proyección a futuro, se establece apuntando que para el 2015 presenta una distribución en la figura 8 muy similar al año 2000, con un aumento de 3% en el consumo de diésel y electricidad, y de 1% en el consumo de LPG, así como una disminución del consumo de otros derivados (fuel oil y otros) de 6%; el consumo de biomasa también disminuye al pasar de 19% a 16%.

La eficiencia energética en el transporte se define como la energía final consumida por unidad de transporte, de tal manera que se evalúa la capacidad de cada modo de transportar viajeros y mercancías con el menor gasto energético posible. Por lo tanto, concretamente en la figura 9 se muestra el consumo secundario de energía en transporte para los años 2000 y 2015. En este rubro de transportes la distribución se ha mantenido constante para el diésel en un 44%, los otros derivados de petróleo aumentan del 8% al 9%, y la gasolina disminuyó de un 50% en 2000 a un 47% en 2015.

En la figura 10 se observa el consumo final de energía para el sector terciario, en el que se señala que el consumo de electricidad pasa de 66% en 2000 a 83% en 2015, mientras que el consumo de los derivados de petróleo, a excepción del GLP, pasan de 22% a 3%, respectivamente. El consumo de LPG disminuye 4%, y aumenta el de biomasa en 5%. Estos cambios responden, en parte, al tipo de actividad que presenta el sector, con el turismo ecológico como una de las actividades más fuertes. La creciente oferta de servicios eco amigables, como hoteles de montaña y turismo verde, ha influido también en las preferencias de los consumidores de productos en esta línea, dándole valor agregado a proyectos más eficientes y con fuentes de energía menos contaminantes que el petróleo y sus derivados. Su alta eficiencia y fácil acceso, posicionan la electricidad como la fuente de preferencia.

Por otro lado, con respecto a las comparativas que se realizaron con algunos países de Centroamérica entre ellos, Panamá, México, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Guatemala y finalmente cruzando un poco por el sur de América, en Chile, se presentaron una serie de afirmaciones que ayudan con el desarrollo de la investigación, utilizando datos como el PIB, población trabajadora, población total matrices energéticas, capacidades instaladas y demás para poner en contexto la situación actual del país y su futura tendencia acerca de la productividad energética. Las comparaciones arrojaron datos tales como que Costa Rica es el único país entre los comparados, que superaba el 60% de su capacidad instalada para la energía generada mediante represas hidroeléctricas. Del mismo modo, el país reflejaba un consumo en combustibles fósiles bastante bajo en comparación con los demás.

De seguido, también en esa misma comparativa, Costa Rica resultó ser uno de los países con mayor capacidad instalada, quedando en tercer lugar solo superado por México y Guatemala.

Esto teniendo en cuenta datos demográficos, importantes para determinar un verdadero avance por parte del país para mejorar su huella de carbono y, por ende, su productividad energética.

Una parte fundamental de esta investigación es darle respuesta al planteamiento del problema, el cual propone determinar el nivel de productividad energética que tiene el país y su proyección sobre el próximo quinquenio. Con estos fines se tomará como indicador principal la productividad laboral. Cabe resaltar, que la respuesta a esta pregunta es el agrupamiento de los diferentes indicadores y demás aspectos que se analizaron y determinaron en este estudio. Los resultados que arrojaron los cálculos mediante la ecuación 5 fueron los siguientes, tomando los datos más recientes para cada país al que se le hizo la comparación; además, la mayoría están actualizados al menos al 2021-2022 para una mejor proyección y exactitud.

Lo realizado en el capítulo de desarrollo para este apartado sobre la productividad energética consistió en tomar la ecuación 5 ya descrita anteriormente, para determinar la productividad laboral, no solo en Costa Rica, sino en varias naciones de Centroamérica y de esta manera realizar las comparaciones y analizar sus resultados.

Con respecto a los datos, los cálculos de las ecuaciones arrojaron los siguientes datos con base en la productividad laboral:

Costa Rica es de 26607.48 dólares por habitante durante un año, lo equivalente en colones a 14.397.608.

En el caso de México resulta que su productividad laboral en colones por habitante es de 10.051.640 para el 2022.

Posteriormente, con Honduras se hizo el correspondiente cálculo y arrojó que la productividad laboral fue de 4.305.395 colones por cada habitante empleado durante el 2022.

Con respecto a Guatemala, su productividad laboral fue de 6.943.848 colones por cada habitante empleado durante el 2022.

Igualmente, con el país vecino Nicaragua, como resultado se tiene que su productividad laboral es de 2.409.173 colones por cada empleado durante el periodo 2022.

Para Panamá su productividad laboral fue de 22.426.352 colones por cada habitante empleado durante el 2022.

El siguiente país al que se le calculó su productividad laboral fue El Salvador, la cual anduvo por los 6.318.848 colones por cada habitante empleado durante el año 2022.

Finalmente, se calculó la productividad laboral para Chile y así dar un poco de contexto con países suramericanos, obteniéndose una productividad laboral de 16.052.829 colones por cada habitante trabajador durante el 2022.

De los datos previamente indicados, se debe resaltar que Costa Rica es el tercer país con una mayor productividad laboral superada por Panamá y Chile, los cuales poseen un alto PIB, que les impulsa en esa productividad laboral.

Es importante destacar también una comparativa con México, país que cuenta con una población trabajadora de 58 millones a la par de los 2.5 millones de costarricenses, donde Costa Rica aparece con mejores resultados energéticos que aquel país, teniendo en consideración que el PIB de México para el 2022 fue de 1,082 billones de dólares en comparación con el nacional que fue de 64,89 miles de millones. Esto representa una diferencia abismal, tanto en PIB como en población trabajadora. Y es ahí donde entra en contexto que Costa Rica a pesar de tener minoría en cada indicador, revela que su producción laboral total para el año 2022 sigue siendo mayor, explicando la mejor relación que existe entre el PIB y la población trabajadora.

Se requiere hacer énfasis que, frente a los países centroamericanos exceptuando a Panamá, Costa Rica se posiciona como la nación con la mayor productividad laboral de la zona, con la desventaja en contra que es el que tiene menos cantidad de población trabajadora. De igual forma, se ve reflejado que a pesar de ser un país pequeño tiene un PIB muy alto y gran porcentaje de su población se mantiene trabajando.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1) La medición de la productividad de un país es un proceso complejo que implica el análisis de diversos factores económicos y sociales. La productividad corresponde a un indicador que define cuántos productos o servicios se han llegado a producir por cada uno de los recursos utilizados en su elaboración. En esa dirección, dar respuesta al planteamiento del problema es tomar en cuenta muchos indicadores económicos y para el caso de esta investigación se decidió enfocarlo en la productividad laboral, un indicador que ayuda a entender mejor la productividad. Además, se cuantificó el concepto de productividad y arrojó datos bastantes interesantes sobre la situación actual y la futura proyección que se tendrá en los próximos años.

La productividad laboral para Costa Rica fue de 14 millones de colones por cada habitante trabajador durante el año 2022, aspecto que se evidencia como parte de su desarrollo. Esto por sí solo no sería más que un número, pero poniendo en contexto una comparativa con distintas naciones de Centroamérica, se observa que la productiva laboral costarricense está bastante bien situada y con amplios espacios de mejora. Es en este punto donde entran aspectos importantes, como el implemento del uso del hidrógeno y otros más que son tratados en esta investigación para poder alcanzar las metas acerca de la huella de carbono.

Es importante resaltar que la medición de la productividad es un proceso complejo y su interpretación puede variar según los enfoques y metodologías utilizados. Asimismo, la productividad no es el único indicador para evaluar el desarrollo de un país, ya que también es necesario considerar otros aspectos como el desarrollo humano, la distribución del ingreso, la calidad de vida y el impacto ambiental, entre otros. Costa Rica está y se mantendrá por encima de la mayoría de las naciones centroamericanas con respecto a su productividad energética determinada por los diferentes indicadores económicos estudiados en esta investigación.

2) A Costa Rica, al tener una productividad energética primaria muy focalizada en el sector eléctrico, le queda bastante limitada la utilización del hidrógeno como principal proveedor de energía. Esto se refleja de distintas maneras en la investigación y como se puede observar en la figura 4, el consumo final primario no tiene una tendencia a crecer con el paso de los años, porque como se ve graficado, ese consumo tendrá una tendencia a mantenerse constante. A pesar de que

el hidrógeno es un compuesto muy limpio como producto final, el proceso de elaboración no lo es tanto, con estas problemáticas y demás que afrontará el país con el paso de los años, el hidrógeno no será la solución al menos para el sector primario.

En consecuencia, en la figura 10 se aprecia el consumo final de energía para el sector terciario, en el que se observa que el consumo de electricidad pasa de 66% en 2000 a 83% en 2015, mientras que el consumo de los derivados de petróleo, a excepción del GLP, pasan de 22% a 3%, respectivamente. El consumo de LPG disminuye 4% y aumenta el de biomasa en 5%. De esto se puede concluir que la demanda eléctrica no va a aumentar y, por lo tanto, el país enfrentará una sobreproducción de energía eléctrica, a lo que hay que sumarle que hay varios factores demográficos que influyen en su desarrollo, tales como un descenso en los matrimonios, lo que conlleva a una disminución en las tasas de natalidad, de modo que con menos personas menos consumo de energía eléctrica habrá y más sobreproducción de la misma.

3) Por su parte, en la figura 17 se visualiza que, en un año promedio, el 67% de la matriz energética corresponde a hidroelectricidad, mientras que el restante 33% se logra mediante geotermia, biomasa (principalmente bagazo de caña), eólica y solar. Esto muestra la relevancia que ha tenido el sector eléctrico en el país y deja más que en evidencia que el hidrógeno no será el sustituto para el consumo primario en Costa Rica.

El hidrógeno tiene la oportunidad de crecimiento en el sector del transporte, tomando en cuenta que los coches eléctricos tienen y tendrán diferentes problemáticas a futuro la implementación del hidrógeno tiene vía libre para bajar los consumos de diésel o gasolina en el sector del transporte. Esas problemáticas se dan en cuanto a batería, vida útil, consumos y demás que hacen a los consumidores dudar si deberían adquirir un vehículo eléctrico.

A su vez, el uso del hidrógeno también tiene ciertas dificultades para su utilización al 100%, presentando situaciones problemáticas como el transporte, el almacenamiento, los costos de producción, la fragilización de los materiales y la seguridad que representan desventajas que tiene su uso. Sin duda alguna donde el hidrógeno tiene camino a ser un sustituto, es en el porcentaje de uso del diésel y gasolina del transporte pesado. Y refiriéndose a pesado como camiones y barcos, los cuales cuentan con capacidades grandes de almacenamiento para el hidrógeno. Por ese motivo, es que se considera que siempre se cuente con este combustible para descarbonizar sectores donde las baterías no son prácticas, como la aviación, transporte marítimo o camiones de larga distancia.

4) Con base en la capacidad instalada de cada país que se realizó la comparación, se refleja que, en los siguientes datos que dan contexto sobre las observaciones que se hicieron, la mayor capacidad instalada corresponde a México con unos considerables 83100 MW, seguidos de Guatemala con 4110 MW; Costa Rica con 3585 MW; Honduras con 2938 MW; El Salvador unos 2360 MW; Nicaragua con 1619 MW y, finalmente, Panamá con 1155,51 MW de capacidad instalada. De lo anteriormente mencionado, hay que resaltar que Costa Rica no es el primer país con la mayor capacidad instalada; no obstante, si es la nación con la matriz energética más limpia y verde.

De esos 3585 MW que se señala que posee Costa Rica, un porcentaje muy bajo corresponde a combustibles fósiles, siendo la matriz tica 99.91% limpia, conformada por energías renovables, algo que los países centroamericanos no pueden decir con facilidad. El porcentaje del uso de combustible fósil de las diferentes naciones para sus respectivas capacidades instaladas fue para, México con 64,5% para combustibles fósiles, seguido de Panamá con 36% de su total de capacidad instalada; Nicaragua con un 54,84% para el uso del combustible fósil; Guatemala con 30,36%; Honduras con 35,8% y, por último, El Salvador con 32,67% . Con estas cifras se define que Costa Rica se encuentra en una posición favorable con respecto a su matriz energética, debido a lo limpia y amigable que es con el medio ambiente y por el amplio espacio para la mejora sobre algunas tendencias.

5) Al observar la figura 19 y tomando datos de cada país de entre 2021 y 2022, se denota a Costa Rica con una capacidad instalada de 3585 MW, donde se resalta un 74% para la generación de energía hidroeléctrica, siendo la única nación que superó el 70% para este tipo de energía, seguido de Panamá (53.5%), Guatemala (38.38%), Honduras (28.6%), Salvador (24.3%), México (15.17%), Nicaragua (9,73%) y, finalizando con Chile con un 5%. Cada una evaluada y analizada según la capacidad instalada de cada país. Costa Rica no solo es el que posee el mayor porcentaje de energías limpias en su matriz energética, también hay que darle mérito, porque también es el tercer país con menos extensión y población de los seleccionados para la comparación. Estos datos se corroboran y explican en el desarrollo y análisis de resultados, dando aún más crédito a lo hecho por Costa Rica en este campo.

6) Cuando se trata del hidrógeno es fácil pensar y llegar a la conclusión de que al ser un compuesto químico que tiene como producto final tan solo vapor de agua, cuál es y será la mejor

opción para incentivar proyectos renovables y demás como fuente de energía. Pero lo que no se toma en cuenta es el procedimiento de cómo se obtiene y cómo afecta al planeta de diferentes maneras.

Al respecto hay un problema, ya que cuando se libera H₂ puede interactuar con otros gases en el aire y resultar en perniciosos efectos de calentamiento. En ese orden de ideas, un estudio del gobierno del Reino Unido analizó estas interacciones y ha determinado que el potencial de calentamiento del hidrógeno es el doble de lo que se creía hasta ahora: en un período de 100 años, una tonelada de hidrógeno en la atmósfera calentará la Tierra unas 11 veces más que una tonelada de CO₂. Según lo investigado en este trabajo., el hidrógeno es y no es la solución actualmente y es por eso por lo que se deben poner en contexto, tanto sus ventajas como desventajas, aspecto que es importante para una buena definición al planteamiento del problema. Se han citado diferentes soluciones al problema de las emisiones de CO₂ que produce el hidrógeno. Las operaciones de ventilación y purga son comunes en todo el ciclo de vida del hidrógeno. Ocurren durante la electrólisis, durante la compresión, durante el reabastecimiento de combustible y durante el proceso de conversión en electricidad a través de una celda de combustible, pero de momento estas soluciones no son costeables económicamente hablando por lo que el uso del hidrógeno para un futuro cercano sigue en duda.

7) El hidrógeno ha sido parte significativa de diferentes ámbitos, como lo son los sectores de transporte, eléctrico, industrial y el sector residencial, pero en estos ninguno ha terminado siendo fundamental, lo que hace concluir que este combustible tiene una carencia de apoyo. Esto en gran medida por parte del marco legal, el cual a estas alturas no le ha dado aprobación a algunos proyectos de ley que involucren la ruta del hidrógeno verde en sus filas. Eso evidentemente justificado por la forma en cómo se han planteado los proyectos de ley, los cuales solo benefician o están hechos para gratificar ciertos sectores privilegiados. Para nadie es una mentira el potencial que tiene el hidrógeno, pero hay una barrera que impide su crecimiento.

Un correcto apoyo a los proyectos de ley que involucren el hidrógeno trae ventajas como que se ofrezca al país la oportunidad de generar espacios de innovación, potenciar el crecimiento y el empleo local. De igual manera, crear nuevas empresas de impacto social y ambiental, sacando provecho de la oportunidad única para desarrollar una industria competitiva de hidrógeno verde que, a partir de electricidad producida con recursos limpios y renovables de bajo costo, permitirá

producir un vector energético de uso local y de potencial exportación regional, impulsando una economía sustentable y limpia en torno a esta actividad.

8) Una de las mayores problemáticas que enfrenta el hidrógeno es el proceso del cual se obtiene, en este caso se ha centrado la investigación en dos de las fuentes principales de hidrógeno, el metano y el amoníaco, con todas las incertidumbres por conocer y averiguar sobre cuál compuesto es mejor o cuál compuesto químico es más amigable o cuál tiene menos huella de carbono. Se determinó que el amoníaco es menos contaminante, siendo más económico que el metano inclusive. Se puede ir más allá, hablando del amoníaco como combustible, porque como se detalló antes es más fácil de almacenar que el hidrógeno y, no obstante, con eso el amoníaco puede llegar a ser 30 veces más barato. Asimismo, se describe que un litro de amoníaco es capaz de transportar 70 veces más energía que un litro de hidrógeno cuando ambos gases se llevan a bajas temperaturas.

Las emisiones contaminantes, producto de la utilización de metano y agua, reducen en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero, según se observa en la figura 22. Sin embargo, utilizar amoníaco para la generación eléctrica no genera emisiones de gases de efecto invernadero, debido a que la utilización de este combustible solamente rompe la molécula de amoníaco para producir nitrógeno molecular y agua. El N₂ constituye el 78% del volumen atmosférico naturalmente, por eso la generación de estos productos, utilizando celdas de combustible de AFC no supone un impacto ambiental de ningún tipo.

Ahora corresponde aclarar por qué el amoníaco no ha revolucionado la industria si tan bueno es. Pero esto se debe a lo peligroso que puede resultar para el ser humano y, por lo tanto, debe transportarse siguiendo muchas precauciones y medidas de seguridad. También hay un problema en la eficiencia: la energía resultante de usarla como combustible es sólo un 19% de la que se necesita para crear el amoníaco.

Recomendaciones

1) Con los mencionados excedentes de producción eléctrica que tiene o tendrá Costa Rica, sería una muy buena idea buscar alguna manera de comenzar a involucrar el uso del hidrógeno con esa electricidad sobrante, en caso de que existan dichos excedentes. Es relevante darle la debida importancia a un compuesto que tiene tanto potencial de crecimiento y mejora, sin contar lo amigable que es con el medio ambiente. Se puede hablar de producción para consumo interno del país y hasta de exportación, el cual tiene una gran demanda en el consumo europeo.

Algunas regiones, en especial en Europa y el noreste de Asia, se están preparando para ser grandes importadores de hidrógeno. Por otro lado, otras sueñan con ser grandes exportadores o incluso, como en el caso de Australia, superpotencias en energía renovable. También es importante mencionar el caso de Panamá, que está haciendo una apuesta importante con el hidrógeno verde y utilizará su posición geográfica para convertirse en un hub de este combustible en la región. Además, presentará su estrategia nacional y al mismo tiempo, cuatro estudios de prefactibilidad, incluyendo el de una planta de transformación de hidrógeno que requerirá de una inversión de unos US \$500 millones, como se describió en esta investigación. Panamá dará un gran paso acerca del uso del hidrógeno verde y será apoyado por todos los ámbitos para poder apreciar sus frutos para los años 2030, 2040 y en su etapa final en 2050.

2) Hacer hincapié en los beneficios de los proyectos que incentiven el uso del hidrógeno, que se puede lograr promoviendo o proponiendo mejores proyectos de ley que usen el hidrógeno como fuente principal. De igual manera, gratificar y seguir con un constante apoyo a proyectos legales que tengan bajo su tutela el bien común de la población, procurando obtener una matriz energética más limpia para poder alcanzar una óptima huella de carbono.

Las economías en desarrollo deberían contar con asistencia financiera y tecnológica, de forma que puedan beneficiarse del auge del hidrógeno verde. Los costos deben disminuir aún más y la producción debe intensificarse. Los gobiernos pueden contribuir a eliminar el riesgo de invertir en la oferta de hidrógeno limpio, para ello pueden crear demanda duradera en sectores “útiles en todo caso” mediante instrumentos de política, como la contratación pública y los “contratos por diferencia” para el carbono.

Por lo tanto, el hidrógeno limpio tiene la capacidad de cambiar drásticamente la geopolítica de la energía tal y como se le conoce. Podría surgir una nueva geografía del comercio en torno al

hidrógeno limpio y sus derivados, tales como el amoníaco. Los países dotados de abundante sol y viento podrían emerger como grandes exportadores de combustibles verdes o zonas de industrialización verde.

La competencia industrial podría intensificarse a medida que los países aspiren al liderazgo tecnológico en torno a segmentos clave de la cadena de valor del hidrógeno. En general, el crecimiento del hidrógeno limpio podría fomentar una intensa competencia geoeconómica, estimular nuevas alianzas y colaboraciones, y engendrar nuevos nodos de poder en torno a futuros centros de producción y uso de hidrógeno. Además, este combustible no es tóxico ni corrosivo. Y cabe destacar, también, que es muy eficiente. Tiene un poder calorífico por cada kg de combustible que es tres veces superior a la mayoría de las fuentes de combustible de origen fósil

3) Centrar el uso del hidrógeno en los campos donde realmente se le pueda sacar un buen provecho, en caso de Costa Rica y muchos países más, el sector del transporte. El uso del hidrógeno como sustituto en la energía primaria nacional no es una posibilidad ni tendrá sentido, por lo tanto, buscar la incorporación del hidrógeno en sectores secundarios es una buena opción para dar los primeros pasos dentro del mundo del hidrógeno como fuente de energía.

4) La adopción del hidrógeno como factor de producción requerirá una capacitación y formación adecuada para los trabajadores del sector energético. Esto puede impulsar el desarrollo de habilidades técnicas y especializadas en tecnologías de hidrógeno, lo que a su vez puede mejorar la productividad laboral y la competitividad de Costa Rica en la economía global.

En resumen, la incorporación del hidrógeno como factor de producción en el sector energético del país puede tener el potencial de diversificar la matriz energética, fomentar la innovación, reducir las emisiones y desarrollar capacidades técnicas. Sin embargo, es fundamental abordar los desafíos asociados, como la disponibilidad de recursos y la planificación adecuada, para garantizar un impacto positivo en la productividad y la sostenibilidad nacional.

Bibliografía

- Acciona. (2020). *Acciona.com*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894
- Acciona. (2020). *Acciona.com*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894
- Altamirano, J. (Febrero de 2023). *portalmovilidad.com*. Obtenido de <https://portalmovilidad.com/gobierno-define-beneficios-del-proyecto-de-ley-para-hidrogeno-pero-se-olvida-de-la-movilidad/>
- Arias, A. S. (23 de Marzo de 2012). *economipedia.com*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/producto-interior-bruto-pib.html>
- Baxi. (2020). *Baxi.es*. Obtenido de <https://www.baxi.es/ayuda-y-consejos/normativa-y-renovables/hidrogeno-ventajas-y-desventajas#:~:text=La%20principal%20desventaja%20de%20este,y%20contribuyen%20al%20ca lentamiento%20global.>
- BBVA. (enero de 2022). *bbva.com*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-combustible-fosil-la-energia-que-se-obtiene-de-la-materia-organica/>
- Cepal. (2022). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de Costa Rica*.
- CESUMA, A. (2022). *CESUMA.mx*. Obtenido de <https://www.cesuma.mx/blog/que-es-la-economia-mundial.html#:~:text=Por%20econom%C3%ADa%20mundial%20se%20entiende,interact%C3%B Aan%20en%20el%20mercado%20exterior.>
- Cristina Martín Romera, J. G. (2011). *Recursos Energeticos y Minerales*. Obtenido de <http://www.jgvaldemora.org/blog/cienciasnaturales/wp-content/uploads/2011/05/Ud-13-RECURSOS-ENERG%C3%89TICOS-Y-MINERALES.pdf>
- Dane. (2017). *Dane informacion para todos*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-flujos-de-energia/intensidad-energetica/hoja-metodologica-intensidad-energetica.pdf
- Datosmacro. (2021). *Datosmacro.com*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/costa-rica#:~:text=Costa%20Rica%20sube%20sus%20emisiones%20de%20CO2&text=Las%20emisiones%20de%20CO2%20en%202021%20han%20sido%20de%208%2C091,de%20menos%20a%20m%C3%A1s%20contaminantes.>
- Declarando. (2023). *Declarando.es*. Obtenido de <https://declarando.es/glosario/magnitudes-macroeconomicas#:~:text=En%20econom%C3%ADa%2C%20seg%C3%BAAn%20la%20RAE,la%20econom%C3%ADa%20de%20ese%20pa%C3%ADs.>

- Endesa. (17 de Diciembre de 2021). *Endesa.com*. Recuperado el 2023, de <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-hidraulica#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20hidr%C3%A1ulica%20es%20un,corrientes%20o%20saltos%20de%20agua>.
- EnergíaVM. (22 de mayo de 2018). *energyavm.com*. Obtenido de <https://www.energyavm.es/energia-geotermica/>
- Equipo editorial, E. (Junio de 2021). *Recursos energeticos Concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/recursos-energeticos/>.
- Etecé, E. e. (2 de Febrero de 2022). *Concepto.de*. Obtenido de <https://concepto.de/poblacion-economicamente-activa/>.
- Factorenergía. (23 de Julio de 2018). *Factorenergia.com*. Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- Fundación YPF. (2022). *energiasdemipais.educ.ac*. Obtenido de https://energiasdemipais.educ.ar/edmp_lecturas/matriz-energetica/
- G., L. (Enero de 2023). *autonocion.com*. Obtenido de https://www.autonocion.com/noruega-desplome-electricos-enero-2023/?utm_source=Facebook&utm_medium=Social&utm_campaign=dlvrit&fbclid=IwAR1_PXZy68vcAcEWnf3AtBVhpc_PxpGtVHwbPDEShcgqtiYvBspZIMWSTb8
- Herrera, W. (2020).
- IAEA. (3 de Noviembre de 2021). *iaea.org*. Obtenido de <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/ques-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>
- ICE, G. (2022). *Boletín 9*. Obtenido de <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/boletines/grupo01/numero-9/Boletin-9.htm#:~:text=Tanto%20en%20Costa%20Rica%20como,produce%20contaminaci%C3%B3n%20en%20el%20ambiente>.
- IMF. (3 de Mayo de 2017). *imf.org*. Obtenido de <https://www.imf.org/es/Publications/REO/APAC>
- IMF. (4 de 2022). *imf.org*. Obtenido de <https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2022/04/19/world-economic-outlook-april-2022>
- INEC. (2020). *Inec.cr*. Obtenido de <https://inec.cr/noticias/disminuye-fecundidad-ultima-decada>
- ITEM. (2023). *glossar.item24.com*. Obtenido de <https://glossar.item24.com/es/indice-de-glosario/articulo/item//fragilizacion-por-hidrogeno.html>
- Kardoudi, O. (12 de Diciembre de 2022). *elconfidencial.com*. Obtenido de https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2022-12-22/problema-hidrogeno-energia-cientificos_3546647/

- Legislativa, A. (17 de Febrero de 2021). *vlox.co.cr*. Obtenido de [https://vlex.co.cr/vid/ley-promocion-
implementacion-economia-858016436](https://vlex.co.cr/vid/ley-promocion-implementacion-economia-858016436)
- limpias, I. n. (Octubre de 2018). *gob.mx*. Obtenido de [https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-
la-energia-de-
biomasa?idiom=es#:~:text=Tambi%C3%A9n%20conocida%20como%20bioenerg%C3%ADa%2C%
20es,y%20sus%20restos%20no%20vivos.&text=La%20biomasa%20se%20caracteriza%20por,de%
20ox%C3%ADgeno%20y%20compuestos%20vol](https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-energia-de-biomasa?idiom=es#:~:text=Tambi%C3%A9n%20conocida%20como%20bioenerg%C3%ADa%2C%20es,y%20sus%20restos%20no%20vivos.&text=La%20biomasa%20se%20caracteriza%20por,de%20ox%C3%ADgeno%20y%20compuestos%20vol)
- Lobo, K. (2022). *RadioemisorasUCR*. Obtenido de <https://radios.ucr.ac.cr/2022/10/interferencia/energias-renovables-cr/>
- Madrigal, L. M. (Agosto de 2022). *delfino.cr*. Obtenido de [https://delfino.cr/2022/08/votacion-final-de-
ley-sobre-hidrogeno-verde-frenada-por-consulta-a-sala-iv](https://delfino.cr/2022/08/votacion-final-de-ley-sobre-hidrogeno-verde-frenada-por-consulta-a-sala-iv)
- Malango, T. (2021). *automaticaeinstrumentacion.com*. Obtenido de [https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/3827455/importancia-
hidrogeno-nuestra-
industria#:~:text=Actualmente%2C%20el%2090%25%20del%20hidr%C3%B3geno,y%20en%20la
%20qu%C3%ADmica%2C%20principalmente.](https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/3827455/importancia-hidrogeno-nuestra-industria#:~:text=Actualmente%2C%20el%2090%25%20del%20hidr%C3%B3geno,y%20en%20la%20qu%C3%ADmica%2C%20principalmente.)
- Matusz, I. (23 de Abril de 2023). *noticiaspanamá*. Obtenido de [https://noticiasdepanama.com/economia/panama-presentara-estrategia-para-hidrogeno-verde-
incluye-una-planta-por-us500-
millones/#:~:text=Panam%C3%A1%20est%C3%A1%20haciendo%20una%20apuesta,de%20prefa
ctibilidad%20incluyendo%20el%20de](https://noticiasdepanama.com/economia/panama-presentara-estrategia-para-hidrogeno-verde-incluye-una-planta-por-us500-millones/#:~:text=Panam%C3%A1%20est%C3%A1%20haciendo%20una%20apuesta,de%20prefa%20ctibilidad%20incluyendo%20el%20de)
- Mbomio, M. (2021). *guineainformarket.com*. Obtenido de [https://www.guineainformarket.com/economia/2021/06/15/el-banco-mundial-predice-un-
crecimiento-economico-del-28-para-africa-subsahariana-en-2021/](https://www.guineainformarket.com/economia/2021/06/15/el-banco-mundial-predice-un-crecimiento-economico-del-28-para-africa-subsahariana-en-2021/)
- MINAE. (2015). *cambioclimatico.go.cr*. Obtenido de [https://cambioclimatico.go.cr/wp-
content/uploads/2018/08/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf](https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf)
- Noticias.noches. (21 de Mayo de 2022). *Noticias.coches.com*. Obtenido de <https://noticias.coches.com/noticias-motor/fugas-de-hidrogeno/461484>
- OCDE. (27 de 11 de 2012). *BTK.com*. Obtenido de [https://businessfokus.com/2012/11/27/productividad-
laboral-por-pais-segun-la-ocde-
ojo/#:~:text=Definen%20productividad%20laboral%20de%20un,pa%C3%ADses%20miembros%2
0de%20esa%20organizaci%C3%B3n.](https://businessfokus.com/2012/11/27/productividad-laboral-por-pais-segun-la-ocde-ojo/#:~:text=Definen%20productividad%20laboral%20de%20un,pa%C3%ADses%20miembros%20de%20esa%20organizaci%C3%B3n.)
- OECD. (4 de 2021). *Repositorio.cepal.org*. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47518/2100931full_es.pdf?sequence=4&
isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47518/2100931full_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- OLADE. (2011). *biblioteca.olade.org*. Obtenido de [https://biblioteca.olade.org/opac-
tmpl/Documentos/old0202.pdf](https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0202.pdf)
- OLADE. (2020). *olade.org*. Obtenido de <https://www.olade.org/sistemas-de-informacion-energetica/>

- Piña, j. C. (2019). *Evaluación tecnoeconómica de celdas de combustible para un sistema híbrido de energías renovables en radiobases de telecomunicaciones remotas del ICE*.
- Quiros, A. (2023). *toyotacr.com*. Obtenido de <https://www.toyotacr.com/blog/toyota-mirai-en-costa-rica>
- RadiosUCR. (2022). *Radioemisoras UCR*. Obtenido de <https://radios.ucr.ac.cr/2022/10/interferencia/energias-renovables-cr/>
- REPSOL. (2021). *automaticaeinstrumentacion.com*. Obtenido de <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/3827455/importancia-hidrogeno-nuestra-industria#:~:text=Actualmente%2C%20el%2090%25%20del%20hidr%C3%B3geno,y%20en%20la%20qu%C3%ADmica%2C%20principalmente.>
- Review, G. E. (2022). *Global Electricity Review 2022*. Think Tank Ember .
- Rica, E. N. (21 de Setiembre de 2021). *cicr.com*. Recuperado el 2023, de https://cicr.com/wp-content/uploads/2022/10/Est_Na_Plan_Accion_Hidrogeno_Verde_CR_220921.pdf
- Rica, G. d. (2019). *led.slac.org*. Obtenido de https://ledslac.org/wp-content/uploads/2020/05/EdC-Carbono-Neutralidad-Costa-Rica-ene20_mod.pdf
- Rica, G. d. (2019). *ledsalc.org*. Obtenido de https://ledslac.org/wp-content/uploads/2020/05/EdC-Carbono-Neutralidad-Costa-Rica-ene20_mod.pdf
- Rica, G. d. (2019). *ledslac.org*. Obtenido de https://ledslac.org/wp-content/uploads/2020/05/EdC-Carbono-Neutralidad-Costa-Rica-ene20_mod.pdf
- Rock, B. (2018). *blackrock.com*. Obtenido de <https://www.blackrock.com/mx/intermediarios/estrategias/megatendencias/cambio-demografico-y-social#:~:text=Los%20cambios%20demogr%C3%A1ficos%20en%20todo,gobiernos%20como%20para%20las%20empresas.>
- sTA, R. (s.f.).
- Staff, R. (23 de Abril de 2023). *noticiasdepanamá*. Obtenido de <https://noticiasdepanama.com/economia/panama-presentara-estrategia-para-hidrogeno-verde-incluye-una-planta-por-us500-millones/#:~:text=Panam%C3%A1%20est%C3%A1%20haciendo%20una%20apuesta,de%20prefactibilidad%20incluyendo%20el%20de>
- Technology, F. (2023). *hh1-1.com*. Obtenido de <https://www.hho-1.com/datos-hidrogeno-hho/?lang=es/#hho-explained>
- Telefonica. (23 de Febrero de 2022). *Telefonica.com*. Obtenido de <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/la-innovacion-tecnologica-es-la-llave-para-mejorar-la-eficiencia-energetica-de-las-empresas/>
- Toyota. (2023). *Toyotacr*. Obtenido de <https://www.toyotacr.com/blog/las-vallas-del-toyota-mirai-limpian-el-aire>

- Unidas, N. (2022). *un.org*. Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Se%20estima%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,millones%20para%20mediados%20de%202080>.
- Universidades, P. f. (2023). *obsbusiness.school*. Obtenido de <https://www.obsbusiness.school/actualidad/informes-de-investigacion/informe-obs-la-importancia-del-sector-energetico-en-la-economia#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20se%20ha%20convertido,producir%20sus%20bienes%20y%20servicios>.
- Wirth, E. (2022). *Sube el petróleo y el precio de la gasolina se dispara*. The Conversation .
- Xataka. (2021). *Xataka.com*. Obtenido de <https://www.xataka.com/vehiculos/amoniaco-como-combustible-fortescue-cree-ello-probara-barco-2022#:~:text=El%20amon%C3%ADaco%20es%20NH3%2C%20de,en%20motores%20de%20combusti%C3%B3n%20verdes>.