



Hoja de ruta de Transición Energética de Costa Rica

Un modelo energético sostenible para
Costa Rica al 2050

An aerial photograph of a dense, lush green forest. The trees are tightly packed, creating a textured canopy of various shades of green. The perspective is from directly above, looking down on the forest floor.

Han participado en el desarrollo del presente informe los siguientes profesionales de Deloitte:

- **Cristian Serricchio (Socio)**
- **Damián Grignaffini (Gerente)**
- **Tomás Cardozo (Senior)**
- **Sebastián Yopez (Senior)**
- **Clara Mackey (Senior)**

Contenido

Objetivos	4
Introducción por la Country Manager del Grupo Enel en Costa Rica	7
Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida	9
Resumen Ejecutivo	12
La lucha contra el cambio climático	13
El modelo energético costarricense al 2050	13
Transición energética	14
Impactos Económicos de la Descarbonización	17
Recomendaciones	18
1. La Lucha Contra el Cambio Climático	20
1.1. La reducción de emisiones es un reto global	21
1.2. Emisiones de GEI en Costa Rica en 2016	25
1.1. Contribuciones nacionales en la lucha contra el cambio climático	28
2. El modelo energético costarricense al 2050	33
2.1. Visión actual de Costa Rica para el 2050	34
2.2. El modelo energético en el marco de las ODS	35
2.3. Introducción a la metodología de modelización: TIMES	35
2.4. Transformaciones necesarias en el modelo energético	40
3. Transición energética	45
3.1. Nuevas políticas energéticas en Costa Rica	46
3.2. Planificación para una transición exitosa al 2050	47
3.3. Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde	47
3.4. La promoción de infraestructuras digitales y redes inteligentes	49
3.5. Fomentar la eficiencia energética y la electrificación en los usos finales	52
3.5.1. Electrificación de los sectores residencial, comercial y público	52
3.5.2. Electrificación del sector agricultura	56
3.5.3. Sustitución de combustibles en el sector industrial	57
3.5.4. Sustitución de combustibles en el sector transporte	58
3.6. El rol del Hidrógeno verde en la descarbonización de Costa Rica	62
3.7. Incentivos a modelos de producción sustentable – sector no energético	64
3.7.1. Sector AFOLU	65
3.7.2. Residuos Sólidos	66
3.7.3. Emisiones fugitivas y de procesos industriales	67
3.8. Análisis de inversiones y costos en el sistema	67
3.9. Beneficios de la descarbonización	69
4. Conclusiones	72
5. Recomendaciones de política energética para una descarbonización sostenible	75
Contactos	92

Objetivos



Objetivos

El presente informe ha sido impulsado por el Grupo Enel en Costa Rica y elaborado por Deloitte como una reflexión analítica y participativa sobre la necesaria transición hacia la descarbonización sostenible del modelo energético costarricense. Esta transformación se enmarca en el cumplimiento del objetivo nacional de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la consideración de otros aspectos clave de la política energética: la seguridad de suministro, la competitividad del sistema energético-económico, la compatibilidad con criterios de crecimiento y la sostenibilidad ambiental y social.

Somos conscientes de que el debate sobre la transición hacia una economía sostenible basada en tecnologías con bajas emisiones en carbono es un tema de especial relevancia para nuestra sociedad, por su innegable impacto en la sostenibilidad medioambiental y económica, pero también por su especial complejidad. En este contexto, los objetivos del estudio han sido los siguientes:

- Dar una visión de largo plazo de qué supone el cumplimiento de los compromisos internacionales de reducción de emisiones de Costa Rica al horizonte 2050 que sirva de referencia para definir la transición hacia un escenario de carbono neutralidad.
- Desarrollar el análisis de medio plazo que guíe la necesaria transición energética, con vista en el hito intermedio de 2030, con el fin de brindar una serie de recomendaciones de políticas energéticas para una descarbonización eficiente.

Este estudio ha contado con la participación voluntaria de diversos actores de reconocido prestigio y de perfiles diversos, con el objetivo de compartir y enriquecer los puntos de partida del mismo, recoger su visión sobre las cuestiones más relevantes e identificar potenciales vías de avance hacia un Costa Rica sin emisiones.

Buenos Aires, 17 de noviembre de 2022

Asunto: *Agradecimiento al Grupo Enel y equipo*

El presente informe y los estudios que lo facilitaron han sido promovidos en gran medida por Grupo Enel y equipo de trabajo. Su colaboración y participación ha sido fundamental para la confección del informe respecto de la transición hacia la descarbonización sostenible del modelo energético costarricense.

Deloitte quiere agradecer de manera especial al Grupo por haber promovido y sustentado materialmente la iniciativa; además de contribuir con expertise y el Know How de iniciativas similares desarrolladas en otros países. También nos acompañó en la presentación de la misma a los stakeholders costarricense, favoreciendo la difusión dentro del sector, y generando una fuerte toma de conciencia.

Atentamente,



Cristian Serricchio

Socio – Financial Advisory

Introducción por la Country Manager del Grupo Enel en Costa Rica



Introducción por la Country Manager del Grupo Enel en Costa Rica

Todos sabemos que el cambio climático es considerado como uno de los grandes desafíos del Siglo XXI, y permanece aún sin solución. Nos encontramos en una época de grandes retos que se transforman en oportunidades para acelerar la transición hacia una sociedad más justa y respetuosa del planeta. Para lograrlo necesitamos centrar nuestros esfuerzos en buscar soluciones innovadoras, oportunas y eficaces para el planeta y la humanidad. Sin duda, los impactos del cambio climático nos exigen priorizar acciones en el corto y largo plazo para adaptarnos y evitar efectos mayores.

Motivados por contribuir en esta construcción colectiva, el Grupo Enel pone a disposición y en sus manos el estudio "Hoja de ruta de Transición Energética de Costa Rica", realizado por la consultora internacional Deloitte con la participación inclusiva de diversas instituciones públicas, privadas, gremios, academia y expertos del país, como una propuesta técnica e inclusiva impulsada por Enel que busca acelerar la necesaria transición hacia la descarbonización sostenible del modelo energético en nuestro país, compartiendo y enriqueciendo los puntos de partida, recogiendo visiones sobre las cuestiones más relevantes e identificando potenciales vías de avance hacia un país sin emisiones.

Fomentamos esta iniciativa porque somos conscientes de que la transición energética no debe ser vista como un futuro posible, sino como nuestro presente y único futuro de cara a la reducción del impacto negativo que las personas e industrias tenemos en nuestro medio ambiente. Ese es el camino para seguir y asegurar que las nuevas generaciones reciban un mundo que les permita crecer y desarrollarse en todo su potencial.

Este estudio expedido en el año 2022 se realizó considerando la importancia que a nivel global tiene la lucha contra el cambio climático y el compromiso asumido por los países en la última COP26 de Glasgow. En ese sentido, aportamos este Estudio como contribución de otra perspectiva adicional en las reflexiones y debates nacionales que se realicen en torno al tema y en preparación para la participación del país a la COP27.

Esta propuesta abierta y colaborativa, en la que estuvieron involucrados más de cincuenta stakeholders, se llevó a cabo en tres talleres participativos y dos mesas de trabajo, logrando una convocatoria total superior a sesenta participantes y su valor más destacado está en la mirada integral de todos los aspectos necesarios para lograr un cambio sostenible y justo; entre ellos, la situación de la demanda energética presente y futura, la incorporación de tecnologías inteligentes y no convencionales, el desarrollo de la movilidad eléctrica, generación distribuida, hidrógeno verde, el análisis costo-beneficio para la economía del país y un análisis del impacto en el empleo que conllevará a la reconversión laboral y la creación de nuevas ofertas de trabajo.

Destacamos los esfuerzos que se han realizado en Costa Rica en el tema de la generación eléctrica con base en fuentes renovables, y enfatizamos en los retos que se mantienen en otros sectores y que podemos superar si todas las partes involucradas aportamos desde nuestros espacios.

Agradezco inmensamente a todas las personas que participaron en este Estudio, especialmente a las señoras Silvia Rojas, directora ejecutiva de Asomove y Susana Rodríguez, socia de Core Regulatorio, como líderes de las mesas de trabajo y a todas las personas que participaron como panelistas a lo largo de este ejercicio que contribuye a seguir avanzando en la construcción del país que soñamos.

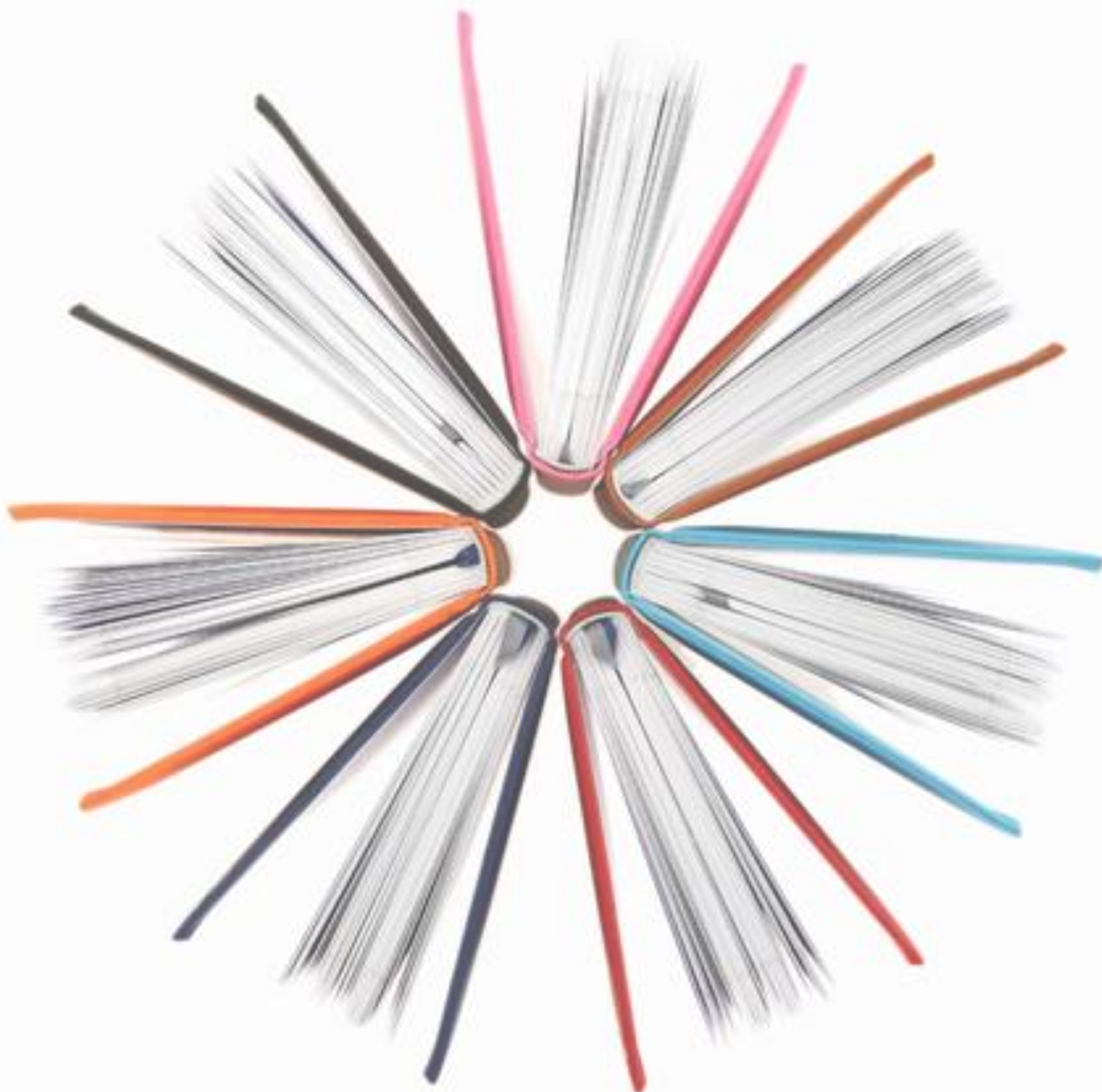
Este informe estará disponible en formato digital para que todos los interesados puedan descargarlo en el link: https://linktr.ee/TransicionEnergetica_CR

Karla Rodríguez Monge
Country Manager Costa Rica

Lucio Rubio
Head of Colombia & Central America

Maurizio Bezzeccheri
Head of Latin American Region

Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida



Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida

AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Uses (Agricultura, Forestación y Otros Usos de la Tierra)

CH4: Metano

CNFL: Compañía Nacional de Fuerza y Luz

CO2: Dióxido de Carbono

COP21: Vigésima primera Conferencia de las Partes

COP27: Vigésimo séptima Conferencia de las Partes

COVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano

DSOs: Operadores de Sistemas de Distribución

EV: Electric Vehicles (Vehículos Eléctricos)

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GtCO2eq.: Gigatonelada de dióxido de carbono equivalente

GW: Gigawatt

HFC: Gases Refrigerantes Hidrofluorocarburos

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

INGEI: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

IPCC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático

MER: Mercado Eléctrico Regional

MtCO2eq.: Megatonelada de dióxido de carbono equivalente

MW: Megawatt

NDC: Contribuciones Determinadas a nivel Nacional

NOx: Óxidos de Nitrógeno

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

PBI: Producto Bruto Interno

PFC: Perfluorocarbonos

REP: Responsabilidad Extendida del Productor

SF6: Hexafluoruro de azufre

TEP: Tonelada Equivalente de Petróleo

TWh: Terawatt-Hora

USCUSS: Uso de Suelos, Cambios en el Uso del Suelo y Silvicultura

USD: Dólares americanos

VEB: Vehículo Eléctrico a Batería



Los contenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones descritos en este informe no tienen por qué reflejar la opinión de cada uno de los expertos participantes. Se han manifestado visiones y opiniones diversas y, en algunas ocasiones, contrapuestas, que han servido para enriquecer y contrastar los aspectos fundamentales cubiertos en el estudio.

Resumen Ejecutivo



Resumen Ejecutivo

La lucha contra el cambio climático

El Acuerdo de París, alcanzado en la XXI Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, incluyó como objetivo el compromiso de contener el incremento de la temperatura media de la tierra "muy por debajo de los 2°C" con respecto al nivel preindustrial, y esforzarse para limitarlo en 1,5°C, así como alcanzar la neutralidad de emisiones entre 2050 y 2100.

Las partes alcanzaron un acuerdo para preparar, comunicar y mantener contribuciones nacionales en el futuro, poniendo en marcha medidas para la consecución del objetivo global planteado.

El modelo energético costarricense al 2050

El cambio en las formas de producción y consumo de energía entre hoy y 2050 es imprescindible para la reducción de emisiones.

Costa Rica emitió 10.96 MtCO₂eq. en el año 2016, de las cuales 7.29 millones provinieron de usos energéticos y los 3.67 millones restantes correspondieron a otros usos no energéticos.

El proceso de actualización de escenarios para la evaluación del modelo energético sostenible para Costa Rica en 2050 requirió, necesariamente, de la elaboración de la línea de base para contrastar los resultados (en esta oportunidad, hemos considerado como año base al 2016, dada la última actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero -INGEI-), y los impactos de las acciones y medidas de mitigación de cambio climático para el sistema en su conjunto.

A partir de esta premisa, se simuló el escenario tendencial o "Referencia" el cual mantiene el statu quo del año 2016 (en lo referente a la matriz productiva, energética y las emisiones) aunque considerando los avances tecnológicos y las tendencias de los mercados en cuanto a cambios en patrones de producción y consumo, bajo la suposición de que el crecimiento de la economía se mantiene constante un 3.2% (a partir del año 2027, previendo un efecto Covid-19 en los años correspondientes) hasta el año 2050. Como resultado de la proyección se obtuvo que las emisiones de GEI totales alcanzarían un valor cercano a los 14.73 MtCO₂eq a 2030 y a 24.25 MtCO₂eq a 2050.

Por su parte, el Escenario 1, representa un horizonte alternativo que permite una reducción en términos de emisiones de gases de efecto invernadero del 100% con respecto a la proyección realizada bajo el escenario de referencia a 2050.

En el **Escenario 1**, se introducen políticas de mitigación y cambios en la matriz energética orientados a maximizar los beneficios de la descarbonización en un contexto de apoyo internacional. En este sentido, dada la multiplicidad de opciones de mitigación disponibles, y no menos importante, la interrelación entre las mismas, estas se dividieron en cuatro vectores de descarbonización que resultan necesarios para alcanzar metas más ambiciosas al año 2050. Estos son:

- **Desarrollo de la matriz a partir de fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde:** Alcanzar la meta de carbono neutralidad a 2050 requerirá el desarrollo de una matriz que sea capaz de abastecer a una mayor demanda eléctrica, que sustente su expansión en el desarrollo de energías renovables no convencionales, de manera tal que se asegure una continuidad en lo que refiere a la generación de energía a partir de fuentes limpias, garantizando mantener una matriz de cero emisiones.
- **Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales:** Existe un gran potencial de reducir emisiones desacoplando el crecimiento económico del consumo de energía. Las oportunidades para reducir la intensidad energética en la producción de bienes, el potencial de ahorro de energía en el consumo residencial y sector servicios, así como la eficientización de procesos de transformación que incrementen la energía utilizada y minimicen los desperdicios. A su vez, se espera un cambio a fuentes primarias de energía con menores emisiones a través del reemplazo del carbón y del petróleo con altos

niveles de emisión por combustibles bajos en emisión, como la electricidad, los biocombustibles y el hidrógeno verde.

- **Desarrollo de infraestructura y digitalización:** La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono. El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.
- **Incentivar modos de producción sustentable:** En la industria y especialmente en la ganadería y agricultura se requiere adoptar modos de producción sustentables, que permitan reducir el nivel de emisiones.

Transición energética

El camino por recorrer en la transición deberá contar con una cuidada planificación que garantice el logro de ambiciosos objetivos ambientales, de modo que el esfuerzo conjunto que haga toda la sociedad, así como el importante volumen de inversiones, se plasmen de forma eficaz. En este sentido, el diseño y momento de las transformaciones deberán realizarse sin poner en riesgo la actividad económica ni la seguridad del suministro energético y al mismo tiempo optimizar los costos e inversiones.

Esta transición deberá avanzar sobre las cuatro grandes palancas mencionadas en el título anterior:

- ✓ *Desarrollo de la matriz energética a partir de fuentes primarias de energía libres de emisiones.*

El piso inicial para establecer el diseño de la matriz eléctrica libre de emisiones a futuro debe centrarse en fomentar el uso de fuentes renovables de energía para la producción de energía eléctrica. De cara al 2050 se espera que haya una fuerte penetración de generación de fuentes renovables, considerando la reducción de costos de las tecnologías y más aún si se incluyera el costo social de la emisión de carbono.

La capacidad instalada libre de emisiones proyectada para el **Escenario 1 alcanza el 85% (sin energía hidroeléctrica) y 100% (con energía hidroeléctrica), logrando llevar el porcentaje de la generación con base en fuentes limpias al 79% (sin energía hidroeléctrica) y 100% (con energía hidroeléctrica) a 2050.**

A su vez, la complementariedad que permite la generación hidroeléctrica y eólica, más la expectativa de incorporar la energía solar con el agregado de baterías posibilitó apuntar a una penetración agresiva de fuentes renovables no convencionales (eólicas y solares). En el **Escenario 1** se instalan 2.77 GW de potencia eólica y 8.76 GW de potencia solar, llegando en 2050 a un total de 3.05 GW y 9.76 GW respectivamente.

La mayor penetración de energía renovable variable requiere administrar la gestión de los picos de demanda, a través de la gestión activa de la demanda, utilizando como respaldo la flexibilidad del gas y aumentando la participación de tecnologías de almacenamiento. En particular las baterías y generación hidroeléctrica.

- ✓ *Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales*

La evolución hacia una matriz energética más limpia en términos de emisiones involucra también la reducción de intensidad energética, que se logra a través de la mejora en eficiencia energética. Todos los sectores de actividad a nivel nacional deberían estar alineados para disminuir el consumo energético del país, y, por ende, las medidas correspondientes han de afectar a cada uno de estos.

La regulación legislativa es una excelente herramienta para lograr impactos fuertes en materia de consumo energético. El Plan De Expansión De La Generación Eléctrica 2020-2035 tiene por objetivo plantear una estrategia de desarrollo del Sistema de Generación del país en el largo plazo que sirva de referencia para la toma de decisiones de los diferentes actores que participan en el desarrollo eléctrico del país. La Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 tiene por objetivo aumentar la diversificación de la matriz energética con mayor participación de las energías solar y eólica (energías que se caracterizan por su variabilidad

en periodos de tiempo cortos), integrar la electrificación del transporte y otros usos finales, así como lograr una mejora en su eficiencia operativa para lograr precios competitivos.

En lo que respecta a electrificación, para el año 2050 sería necesario alcanzar un nivel del 56% sobre el consumo final de energía en el Escenario 1. Por su parte, el consumo de derivados del petróleo debería reducirse hasta alcanzar una participación del 17% del consumo final de energía en dicho escenario, en comparación con el 58% de participación registrado en el año base.

- Electrificación de los sectores residencial, comercial y público

En el año 2016 (año base), el sector residencial, comercial y público, era responsable de la emisión de 0.26 MtCO₂eq. (un 2,4% de las emisiones totales de Costa Rica).

Para reducir sus emisiones, el consumo eléctrico en el Escenario 1 necesitaría aumentar hasta situarse en el 31% del consumo energético total.

Para alcanzar esta penetración desde los valores actuales, el consumidor residencial y comercial, así como el Estado para sus edificios e instalaciones públicas, necesitarán invertir en nuevos equipos de estufas eléctricas y en artefactos con un mayor nivel de eficiencia que pudieran aparecer en el mercado en años venideros. La adopción de una fuente de energía u otra vendrá derivada de la competitividad en costos de las distintas soluciones tecnológicas disponibles y de la reglamentación aplicable incluida la que incentive unas menores emisiones en estos consumos.

- Electrificación del sector agricultura

En los próximos 10 años se espera que se produzca una revolución tecnológica en la maquinaria agrícola a nivel global que provoque cambios de paradigmas productivos, comparables a los que produjo la irrupción del tractor diésel en las décadas 50 y 60 del siglo pasado. Por ello, si bien en Costa Rica el desarrollo de "robots" y/o maquinarias que utilizan baterías de recarga eléctrica o solar (ya disponibles en algunos países de Europa) aún se encuentra en etapa de diseño de prototipos, la construcción del Escenario 1, contempla la irrupción de este tipo de tecnologías de forma paulatina para el período 2016-2050.

Se espera que la eficientización de maquinarias existentes y la introducción de nueva maquinaria agrícola que utilice la energía eléctrica como insumo, contribuya a alcanzar la carbono neutralidad del sector en el Escenario 1 a 2050.

- Sustitución de combustibles en el sector industrial

La implementación de medidas que tiendan a mejorar la eficiencia energética en la industria permitiría reducir costos sustanciales a las empresas, logrando una optimización del uso de la energía y al mismo tiempo contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. El recambio tecnológico a equipos más eficientes también permitiría lograr avances significativos en materia de intensidad energética y emisiones. Específicamente en el caso costarricense, el recambio de equipamiento altamente difundido en las plantas fabriles como motores eléctricos y calderas (antiguos, de uso intensivo y de baja eficiencia media), contribuirían ampliamente en este sentido.

La implementación de dichas medidas en el Escenario 1 permitirá lograr una reducción de las emisiones totales – por consumo energético y procesos - del 51% al 2050 con respecto al escenario de referencia. Al mismo tiempo se avanzará en una industrialización sustentable y reducirá la brecha existente en la intensidad energética de nuestro país con relación a los países industrializados.

El hidrógeno verde puede utilizarse como sustituto del carbón, el petróleo y el gas en una gran variedad de aplicaciones. En esta actualización de la Hoja de Ruta de Transición Energética, hemos incluido el uso del hidrógeno verde a largo plazo (período 2030-2050) como vector de descarbonización dentro del Escenario 1. En dicho escenario, a 2050 se estima que aproximadamente el **11% del consumo energético del sector industrial estará sustentado en el hidrógeno verde.**

- Sector transporte

Las emisiones de GEI del sector transporte crecen, a nivel internacional, a la mayor tasa desde 1970.¹ Entre las razones se destaca el incremento de la motorización a medida que crece el PBI per cápita.

¹ Fuente: IPCC - https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf

Para mitigar las emisiones potenciales del sector, cinco líneas de acción son identificadas. En primer lugar, políticas tendientes a reducir la intensidad energética de los vehículos, y en conjunto con estas, medidas que tiendan a restringir la intensidad de carbón por combustible. Una mayor eficiencia, de todas maneras, será insuficiente, por lo que se requiere avanzar a modos de movilización libres de emisiones, como son los vehículos eléctricos y el cambio modal al tren, especialmente para el transporte de carga. Además, existen oportunidades importantes para incrementar el uso del transporte público, o modificar conductas que promuevan el uso de la bicicleta, compartir el uso del vehículo o disminuir la necesidad de moverse, como puede ser el trabajo remoto. Por último, en la presente Hoja de Ruta de Transición Energética para Costa Rica a 2050, se ha incorporado el **hidrógeno verde** con alguna participación sobre el consumo total de combustibles en el sector **ligado al transporte de carga pesada (aviación y navegación)**.

El desarrollo del Vehículo Eléctrico a Batería (VEB) es la apuesta más importante para descarbonizar el sector transporte. En el **Escenario 1** se proyecta una penetración de la movilidad eléctrica del 37% para 2030 y 98% para 2050 del total del parque de vehículos privados a partir de su abaratamiento relativo.

En lo que respecta al sector de transporte de cargas, las medidas apuntan a promover la participación de los camiones eléctricos para el transporte de carga liviana y reducir el uso del diésel como combustible. Es por ello, sólo en el **Escenario 1**, se contempla la introducción de este tipo de flota vehicular, alcanzando una participación del 10% a 2030 y 100% a 2050 sobre la flota total. Por su parte, en lo que refiere a transporte de carga pesadas, se propone la introducción del hidrógeno verde como vector de descarbonización mediante el desplazamiento del diésel como combustible, alcanzando un consumo total de 0.10 millones de TEP (toneladas equivalentes de petróleo) en 2050, lo cual representa un 8% del consumo energético del sector transporte.

Existen además oportunidades importantes para incrementar el uso del transporte público, o modificar conductas que promuevan el uso de la bicicleta, compartir el uso del vehículo o disminuir la necesidad de moverse, como puede ser el trabajo remoto. Se estima entonces una electrificación de los buses del 70% a 2030 y 99% a 2050.

✓ *Desarrollo de la infraestructura y la digitalización*

La red de transporte de electricidad de Costa Rica permite transportar grandes bloques de energía desde las centrales de generación que son constituidos como los puntos de inyección, que se encuentran ubicados principalmente en la zona norte, hasta los centros de carga donde es extraída, de manera que no se comprometa la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico del país; cumpliendo con los criterios económicos y ambientales establecidos dentro del marco de las políticas nacionales e institucionales en materia energética.

La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono. El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.

Es por ello que el **Plan de Expansión de la transmisión 2021 -2031** elaborado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) **incluye una serie de proyectos que permitirán optimizar el servicio de suministro eléctrico.**

En Costa Rica las inversiones en transmisión, tienen el propósito de satisfacer las necesidades de sus clientes actuales y futuros, garantizando el cumplimiento de los criterios técnicos, económicos, financieros y ambientales vigentes en todo momento. En este sentido, el crecimiento a nivel demográfico, el mayor nivel de actividad económica y el alcance de la electrificación de usos finales planteada en nuestro escenario de carbono neutralidad, llevan a considerar la necesidad de inversión en redes para poder dar soporte al crecimiento proyectado para la matriz energética al tiempo que se asegura el servicio a las nuevas demandas.

Para lograr los objetivos de electrificación a 2050, es necesario un esfuerzo adicional ya que se requerirá expandir en un total de 4,210 km de líneas de transporte eléctrico, que permitirán despachar 12.02 GW de potencia adicional para la descarbonización de Costa Rica.

Las nuevas infraestructuras de red en transporte y distribución son claves para impulsar el crecimiento de las energías renovables. En el horizonte 2030, se requerirán nuevas inversiones en las redes eléctricas tanto para permitir el acceso a sitios de alto potencial renovable, y para perseguir una red más interconectada que permita aumentar la confiabilidad del sistema.

Una red eléctrica moderna traerá diversos beneficios para la población y la economía del país. La digitalización de la red permitirá a los clientes de servicios públicos administrar y reducir mejor los costos de electricidad, cortes de energía más cortos y menos frecuentes, mejoras en las condiciones de trabajo y seguridad pública. Al mismo tiempo, reforzará el sistema eléctrico, aumentando así la confiabilidad y la capacidad de recuperación del servicio incluso en el caso de condiciones climáticas severas.

El despliegue masivo de medidores inteligentes proporcionará un retorno positivo tanto para el sistema como para los clientes. Los beneficios incluyen la eficiencia energética y la oportunidad para que los usuarios gestionen su demanda de manera activa y cambien los hábitos y renueven la tecnología, lo que brinda una mejor eficiencia.

✓ *Incentivar modos de producción sustentable (sector no energético)*

El sector no energético tiene una participación del 33% (3.67 MtCO₂eq.) sobre el total de emisiones en el año base. Explicado principalmente por los sectores ganadería y residuos.

Dentro del sector ganadería las medidas de mitigación tienen que ver con la optimización en el manejo de ganado a partir de mejoras en la calidad de los alimentos y suplementos dietarios, campañas de vacunación para el ganado con el objetivo de la reducción de emisiones de gas metano e implementación de prácticas de pastoreo rotativo (de corta duración y alta densidad) que permita una mejor regeneración de pastizales que sirvan como sumideros de carbono.

Por su parte, para el sector uso de los suelos, las medidas están asociadas con la reducción de la tasa de forestación conforme pasan los años, el proceso de reforestación y agroforestería, la mejora en los pastizales e implementación de mejores prácticas en los usos de las tierras para el cultivo.

En el sector de residuos las medidas de mitigación impuestas promueven la generación de energía eléctrica a partir de residuos y mejora en el tratamiento de las aguas residuales, un cambio de conducta hacia la reutilización, la reducción y el reciclaje.

En conjunto con lo arribado las medidas contempladas para la elaboración del **Escenario 1**, permiten proyectar una reducción del 118% respectivamente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al escenario de referencia al 2050.

Impactos Económicos de la Descarbonización

A fin de alcanzar la carbono-neutralidad al 2050 se necesitará una inversión total de USD 4.8 mil millones abarcando todos los sectores económicos, especialmente en la transformación de la matriz eléctrica, sector transporte e incluyendo los cambios modales. De esta inversión total, el 37% podrían financiarse mediante mecanismos de Carbon Pricing, con lo cual, las inversiones netas pasarían a ser de un total de USD 3 mil millones.

Por su parte, el estudio concluye que el proceso de descarbonización en el país generará un beneficio neto acumulado a valor presente de USD 1.7 mil millones al 2050.

Esta transición permitirá un incremento neto del PBI en un 1.8%, al que, si le incorporamos la estimación de daños climáticos evitados, puede alcanzar el 3% al 2050.

Por su parte, la Hoja de Ruta de Transición Energética contempla lo establecido en el Acuerdo de París en materia de reconocimiento de la necesidad de una transición justa, la cual apunta a aumentar la prosperidad y puede ser un motor clave en la creación de empleo. Implica tanto al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°8 de la ONU que busca promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo el trabajo decente para todos, como al ODS N°13 centrado en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

El estudio arroja que, mediante la implementación de mejores prácticas impuestas a nivel global, se podrían crear 293,198 puestos de trabajo netos en el país al 2050.

Recomendaciones

Tanto en la administración pública, como en el sector privado costarricense, se necesitan emprender acciones decididas para liderar el cambio de modelo energético. La lucha contra el cambio climático requiere cambiar patrones y modos de consumo, utilizar masivamente energías renovables y hacer enormes esfuerzos en eficiencia energética. Todo ello requiere movilizar a los distintos actores para facilitar las necesarias inversiones en generación, en infraestructuras, en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), en nuevas formas de edificación, y en los usos finales de la energía. Este cambio requerirá la implicación y concientización de la sociedad en su conjunto.

Para ello, se vuelve necesario que se instrumenten una serie de políticas que incentiven los cambios estructurales y establezcan nuevos marcos legales y regulatorios. Una intensa coordinación de la planificación y ejecución de acciones entre las diferentes instituciones públicas será esencial para la toma racional y eficiente de decisiones por parte de las empresas y los consumidores finales.

Para poder realizar una transición paulatina y competitiva, pero que debe ser decidida y con un compromiso de cambiar las estructuras de nuestro modelo energético, se propone un conjunto de recomendaciones para el desarrollo de una política de descarbonización que dé la necesaria importancia a la seguridad y competitividad del modelo energético.

“Se propone determinar objetivos vinculantes de descarbonización de cara a 2030 y a 2050”

- **Recomendaciones para la generación eléctrica a partir de una matriz verde**

Recomendación 1: Expansión de la matriz energética a partir de fuentes de energía libres de emisiones.

Recomendación 2: Impulsar el desarrollo de técnicas de almacenamiento de energía como soporte del desarrollo de las energías renovables, la mejora de la calidad de servicio y reducción de costos.

Recomendación 3: Impulsar técnicas de Gestión de Demanda (Respuesta de Demanda o Demand Response) y otros programas relacionados actualizando los valores de remuneración de estos servicios.

Recomendación 4: Propender a la integración energética con los países limítrofes reimpulsando una política regional para aprovechar los beneficios de mercados integrados.

Recomendación 5: Priorizar el desarrollo de una regulación que incentive las inversiones necesarias en las redes como urgencia en el corto plazo.

Recomendación 6: Potenciar los beneficios de la energía distribuida logrando la instrumentación completa de los beneficios de la ley de promoción de la energía distribuida, la adhesión de todas las regiones y una normalización de los precios de energía.

Recomendación 7: Acelerar la implementación de medidores inteligentes acompañado de un plan de comunicación por parte del gobierno sobre los beneficios de la tecnología.

Recomendación 8: Digitalizar la matriz de potencia eléctrica reconociendo el rol que cumple en la transición energética.

Recomendación 9: Diseñar una estructura tarifaria que represente precios adecuados para impulsar una respuesta activa por parte de la demanda.

Recomendación 10: Buscar la integración entre distribuidores y transportadores de energía para optimizar el manejo de la matriz.

Recomendación 11: Establecer a la Eficiencia Energética como política de Estado, para lo cual se promueve la sanción de una Ley de Eficiencia Energética Integral.

Recomendación 12: Satisfacer la creciente demanda de energía, abordando el cambio climático y los impactos sociales y de género.

- **Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en los sectores residencial, comercial y de servicios públicos**

Recomendación 13: Promover la reducción de emisiones de los sectores residencial y comercial.

Recomendación 14: Promover la reducción de emisiones del sector público.

- **Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector transporte**

Recomendación 15: Fomentar la movilidad sostenible en el transporte ligero.

- **Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector agricultura**

Recomendación 16: Promover la reducción de emisiones del sector agricultura.

- **Recomendaciones sobre sectores no energéticos**

Recomendación 17: Promover la reducción de emisiones de los sectores ganadería, silvicultura, y en lo que respecta a otros usos de los suelos.

Recomendación 18: Promover la reducción de emisiones del sector residuos y promover la economía circular en todos los sectores como acelerador transversal.

- **Recomendaciones sobre instrumentos económicos y políticas de Carbon Pricing**

Recomendación 19: Introducir una regulación específica para desarrollar una señal de precio efectiva del coste de las emisiones.

- **Introducción del hidrógeno verde como vector de descarbonización de los segmentos denominados "difíciles de descarbonizar"**

Recomendación 20: Avanzar en la promoción del desarrollo de hidrógeno verde para acelerar la transición energética.

La Lucha contra el Cambio Climático



1. La lucha contra el cambio climático

1.1. La reducción de emisiones es un reto global

Análisis del contexto

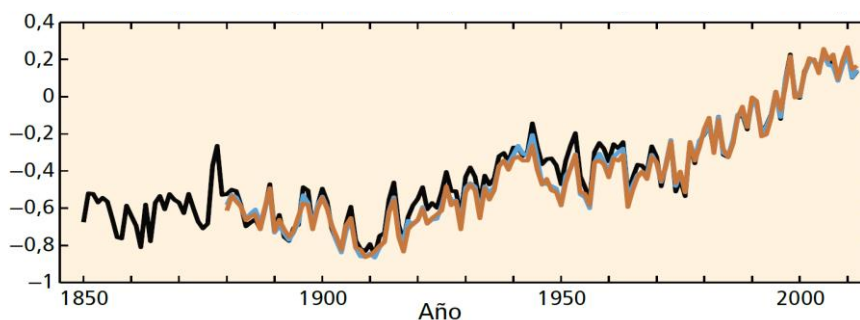
En el 2015 y en anticipación a las negociaciones multilaterales que se iban a desarrollar, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático afirmaba que la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son las más altas de la historia.² Las concentraciones en la atmósfera de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x) no tienen precedente, siendo la causa dominante del aceleramiento del calentamiento global desde 1950.

Las consecuencias de esta conclusión son variadas: además del calentamiento de la atmósfera y el océano, disminuyeron los volúmenes de nieve y hielo, se elevó el nivel del mar, y se incrementaron y generalizaron las olas de calor extremo y el número de precipitaciones intensas, aumentando el número de sequías, inundaciones, ciclones, e incendios forestales. La sucesión de fenómenos climáticos extremos demuestra la vulnerabilidad humana a las consecuencias del cambio climático. En ausencia de una acción global y urgente, los efectos futuros tendrán impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas a nivel global, siendo necesario reducir de forma sustancial las emisiones de GEI para limitar el daño del cambio climático.

“Por encima del calentamiento de 2°C, existe un alto riesgo de cambios climáticos irreversibles”

Reducir las emisiones solo es posible si existe un cambio de los patrones de consumo de energía, así como de las técnicas de producción en general, y específicamente, de forma sustentable cuando involucre el uso del suelo. Esto implica reducir la utilización de combustibles fósiles como el carbón, los derivados del petróleo y el gas natural - las principales fuentes de energía actuales- al resultar ser el primer causante de las emisiones de GEI. Cambiar los modos de producción y consumo de energía es el primer paso. También se debe trabajar sobre las emisiones de ciertos procesos industriales como la producción de cemento o la emisión de metano en la cadena de valor del gas natural, y procesos naturales asociados a la silvicultura y los otros usos del suelo.

Figura 1: Anomalía del promedio global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas, combinadas (°C)

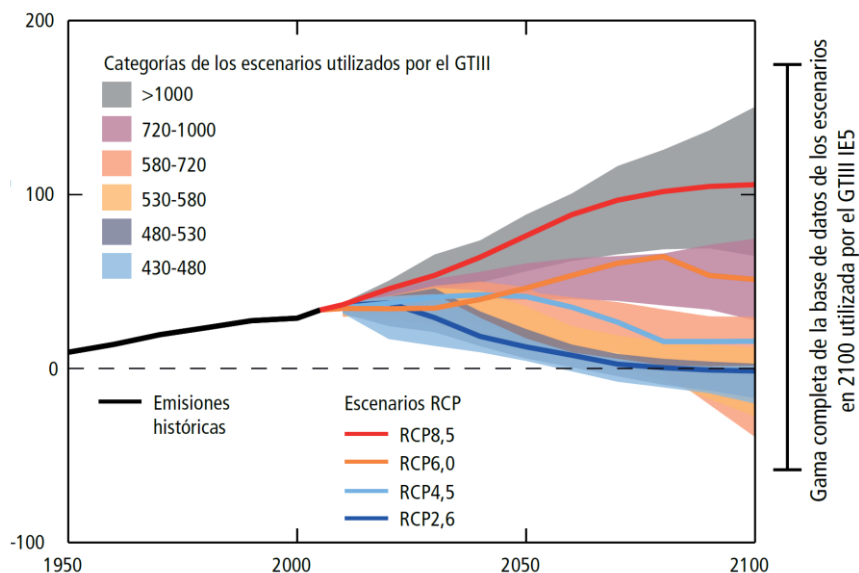


Fuente: IPCC, 2014: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

² Ver Figura 2

Los efectos del cambio climático dependen de las emisiones acumuladas de GEI. La comunidad científica estima que el límite de emisiones acumuladas en la atmósfera a partir del cual existe un elevado riesgo de cambios climáticos irreversible es de 3 GtCO₂³ equivalente, habiéndose emitido aproximadamente dos terceras partes de este límite. Este valor es compatible con un calentamiento global por debajo de los 2°C sobre las temperaturas preindustriales. Solo si se recortan drásticamente las emisiones de GEI durante los próximos decenios, a valores inferiores a 530 GtCO₂⁴ equivalentes anuales, se pueden reducir notablemente los riesgos que entraña el cambio climático al limitarse el calentamiento en la segunda mitad del siglo XXI.

Figura 2: Emisiones antropógenas de CO2 anuales (GtCO2/año)



Fuente: IPCC, 2014: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

En busca de un objetivo más ambicioso

Para informar a los gobiernos, la reunión de París invitó al IPCC a proporcionar un Informe Especial sobre 1.5°C en 2018 para evaluar las implicaciones de la meta y cómo podría lograrse.

El Informe Especial sobre 1.5°C evalúa tres temas principales:

- Lo que se requeriría para limitar el calentamiento a 1.5°C (vías de mitigación).
- Los impactos de 1.5°C de calentamiento, comparado con 2°C y más.
- Fortalecimiento de la respuesta global al cambio climático; opciones de mitigación y adaptación.

Tal como se mencionó anteriormente, a través de sus "contribuciones determinadas a nivel nacional" (NDC, por sus siglas en inglés), cada país presenta sus esfuerzos para reducir las emisiones y mitigar los impactos del cambio climático. Los científicos a menudo usan el término "promesas actuales" cuando se refieren a la reducción de emisiones en los primeros NDC.

En relación con el punto anterior, **el informe del IPCC evalúa las vías de desarrollo y las vías de emisión de gases de efecto invernadero consistentes con 1.5°C en comparación con 2°C, lo que ayuda a los formuladores de políticas a determinar si las promesas actuales son consistentes con el objetivo de temperatura y se espera que proporcionen conocimiento científico relevante para la preparación de sucesivos NDC.**

³ IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis

⁴ Ver Figura 2

Para lograr este objetivo, el Acuerdo de París proporciona un marco internacional sin precedentes para la acción climática al vincular esferas políticas, económicas, financieras y sociales. De esta manera, se define una nueva dinámica basada en:

- *Gobernanza multilateral*, que evalúa el progreso y monitorea el logro de la meta a largo plazo a través de un sistema sólido de transparencia y responsabilidad de los Estados.
- *Contribuciones nacionales determinadas* (NDC, por sus siglas en inglés) de los Estados que especifican sus objetivos climáticos
- *La acción climática* de actores públicos y privados no estatales.

Finalmente, el Acuerdo proporciona un mecanismo clave: evaluaciones del progreso (a la acumulación global) cada cinco años para garantizar que los países que han ratificado el Acuerdo conviertan su compromiso en acción.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2022, más comúnmente conocida como COP27, fue la 27ª conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que se llevó a cabo del 6 al 18 de noviembre de 2022 en Sharm El Sheikh, Egipto.

Esta cumbre COP27 fue una oportunidad para intercambiar ideas y visiones y trabajar arduamente para llegar a decisiones justas, equilibradas e integrales para acelerar la adopción de medidas reales. Acelerar el ritmo de la transición energética de aquí a 2030 y negociar un acuerdo de reparaciones para los países en vías de desarrollo son los grandes desafíos que se pondrán a consideración en la conferencia.

Para garantizar el éxito, se busca que todos los países se comprometan a alcanzar las emisiones netas cero lo antes posible, y a realizar nuevos recortes significativos para 2030, aprovechando la innovación y el compromiso de todos -ciudadanos, inversores, empresas, países, ciudades y regiones⁵.

El papel central del financiamiento en el Acuerdo de París

El financiamiento ha sido esencial con miras a lograr el consenso necesario para poder adoptar el Acuerdo de París, pues los países en desarrollo han entendido que es preciso asegurar la provisión de recursos financieros que estén en línea con sus necesidades, lo que constituye la contraparte imprescindible de los esfuerzos –en particular de mitigación– que deban realizar. Además, la inclusión de una meta referida al financiamiento echa luz sobre la significación que el financiamiento climático adquiere en cuanto a la viabilidad política del Acuerdo, y la importancia crucial que habrá de tener en su efectiva implementación. **Más aún, el Acuerdo reconoce formalmente la importancia del financiamiento en la implementación de las acciones de mitigación y adaptación.**

En materia de financiamiento climático el Acuerdo, encuadra explícitamente las obligaciones de los países en materia climática e incluye para eso tres elementos clave:

- **Aspecto institucional:** el Fondo Verde para el Clima (GCF, por sus siglas en inglés) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), entidades encargadas del funcionamiento del Mecanismo Financiero de la Convención, servirán también como mecanismo financiero del Acuerdo. Estas instituciones tendrán entonces la responsabilidad de asignar los recursos financieros incrementales que se canalicen para el financiamiento climático a partir de la entrada en vigor del Acuerdo.
- **Financiamiento público:** el financiamiento público tiene un rol crítico, en especial en las acciones destinadas a la mejora de la resiliencia y la adaptación, y también en tanto permite apalancar y movilizar recursos de otras fuentes, en particular fondos del sector privado. Por tanto, es importante que el Acuerdo haya dejado establecido que en el suministro de un mayor nivel de recursos financieros se debería buscar un equilibrio entre la adaptación y la mitigación, y que las Partes que son países desarrollados deberán comunicar bienalmente los niveles proyectados de recursos financieros públicos que se suministrarán a las Partes que son países en desarrollo, cuando se conozcan, asegurando, de esta manera, una mayor predictibilidad de los recursos financieros que se hagan disponibles.
- **Metas colectivas de financiamiento:** en las decisiones se emite una señal muy fuerte en esta materia, pues allí se indica la necesidad de expandir el apoyo financiero para asegurar la transición hacia

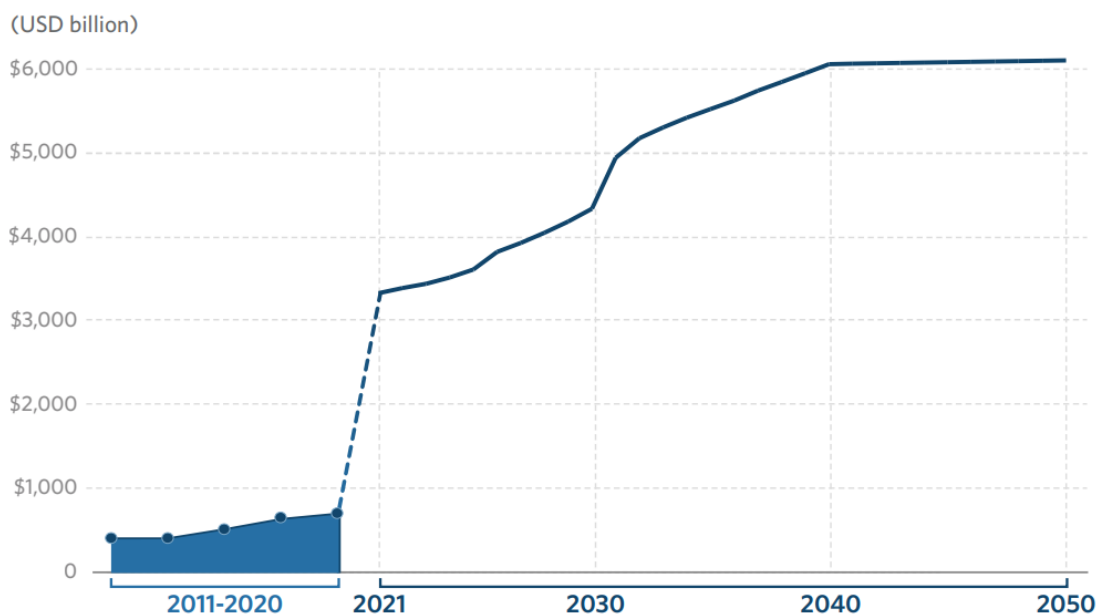
⁵COP27: <https://cop27.eg/#/>

economías bajas en carbono y resilientes al clima. Además, la Conferencia de las Partes podrá establecer en el futuro metas de contribuciones financieras para las Partes, en particular para los países desarrollados, una atribución a la que estos en general se habían opuesto.

Perspectiva actual en materia de financiamiento

A nivel global, el financiamiento climático total ha aumentado constantemente durante la última década, alcanzando los 632.000 millones de dólares en 2019/2020, pero los flujos se han ralentizado en los últimos años. Esta es una tendencia preocupante dado que, para alcanzar las metas de corto/mediano plazo (2030), se requiere un incremento de al menos el 590% en financiamiento climático anual, mientras que para las metas de largo plazo (2050) que refieren al cumplimiento del objetivo de carbono-neutralidad, la brecha entre el financiamiento anual actual y requerido se amplía al 850%.

Figura 3: Brechas de financiamiento climático⁶



Acuerdo de París: compromiso asumido por los países

Las conclusiones de la comunidad científica fueron el fundamento principal para que, en 2015, 196 países firmaran el Acuerdo de París⁷ en la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Estos asumieron el compromiso de coordinar los esfuerzos para traducir en acción las recomendaciones científicas de limitar las emisiones, conteniendo el incremento de la temperatura de la tierra “muy por debajo de los 2°C” con respecto al nivel preindustrial, y esforzarse para limitarlo en 1,5°C, así como alcanzar la neutralidad de emisiones entre 2050 y 2100.

Pese a que no es jurídicamente vinculante, las partes alcanzaron un acuerdo para preparar, comunicar y mantener contribuciones nacionales en el futuro, poniendo en marcha medidas para la consecución del objetivo global planteado. Estas contribuciones determinadas a nivel nacional deben ser revisadas con objetivos más ambiciosos cada cinco años, independientemente de sus respectivos plazos de aplicación. A su vez, de acuerdo con el artículo 4, párrafo 19, se invita a los países parte a formular y comunicar para ese año una estrategia de desarrollo a largo plazo con bajos niveles de emisiones de GEI. Esta invitación responde a que las comunicaciones previstas y determinadas a nivel

“Compromiso para contener el incremento de la temperatura de la tierra “muy por debajo” de los 2°C con respecto al nivel preindustrial”

⁶ <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/10/Full-report-Global-Landscape-of-Climate-Finance-2021.pdf>

⁷ https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_Paris_agreement.pdf

nacional son insuficientes para cumplir el objetivo del acuerdo, como lo muestra el último informe de brecha de emisiones a 2021⁸ emitido por las Naciones Unidas.

Existe una brecha de 15 GtCO₂eq. entre los niveles de emisión bajo la aplicación de las NDC condicionales y los coherentes con las vías de menor coste para alcanzar el objetivo de 2°C en 2030. Si sólo se aplican las NDC incondicionales la diferencia aumenta a 13 GtCO₂eq. La brecha para alcanzar el objetivo de 1,5°C es de 28 GtCO₂eq. La conclusión es que para cerrar la brecha a 2030 y alcanzar los objetivos a largo plazo de los países a ser discutido en el 2022 se requiere acelerar las acciones de corto plazo y ser más ambiciosos en los objetivos a largo plazo de los países.⁹

Uno de los principales beneficios de adoptar una economía verde es su potencial para aliviar el impacto ambiental causado por la contaminación; un beneficio de alcance global y local. A escala mundial, puede contribuir a la lucha contra el calentamiento global, la desertificación y la pérdida de biodiversidad. A nivel local y regional, la transición a una economía verde puede conducir a mejoras significativas en la calidad del aire, el agua y el suelo.

Además de los aspectos ambientales ya mencionados, una economía verde también tiene un gran potencial para conducir al crecimiento económico. En dicha transición, se crean nuevos mercados en áreas como la de los biocombustibles y las fuentes de energía renovables. Y los nuevos mercados traen ventajas internacionales con el potencial de ser financiadas completamente a través de las exportaciones, o un aumento en la actividad comercial nacional alimentada por regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

Los países emergentes en particular pueden beneficiarse de un cambio hacia una economía verde, ya que puede brindar la oportunidad de crear más ventajas económicas y sociales. Por ejemplo, al invertir en fuentes de energía alternativas, se puede mejorar el acceso a los servicios de energía y la infraestructura puede ser más eficiente. Esto también puede conducir a la disminución de la importación de energía y potencialmente a ahorrar dinero. También puede mejorar la eficiencia de los recursos ya que la producción agrícola se hará más limpia y, como consecuencia de nuevas técnicas agrícolas sostenibles, se mejorará la seguridad alimentaria. Además, las nuevas tecnologías que surgen como resultado de una economía verde ayudarán a proteger y mejorar la producción agrícola.

Invertir en una economía verde y en fuentes de energía renovables no solo conducirá a la creación de nuevos empleos¹⁰ sino también a beneficios en materia de población y salud ambiental, al tiempo que mejorará la seguridad energética a largo plazo.

1.2. Emisiones de GEI en Costa Rica en 2016

En conformidad con las Directrices del IPCC, la elaboración del INGEI 2017 ha implicado la actualización de las estimaciones previas de los años 2005, 2010, 2012 y 2015, de tal modo que las mejoras metodológicas son aplicadas a toda la serie temporal haciendo que los resultados anuales sean comparables entre sí.

El inventario de emisiones de GEI realizado en Costa Rica referido a las emisiones de 2015 (inventario empleado para la elaboración del año base del presente estudio) se estimó de acuerdo a las Directrices del IPCC de 2006 y arrojó un resultado total de 10.88 MtCO₂eq.¹¹, las cuales están compuestas en un 51.4% por emisiones de CO₂, 38.5% de CH₄ y 10.1% de N₂O. No se han estimado las emisiones de HFC, PFC, SF₆, CO, NO_x, CO₂DM ni SO_x debido a la falta de información.

Al analizar las emisiones según el sector, se observa que los sectores energía y residuos constituyen casi el 85.4% de las emisiones de GEI totales. Las emisiones derivadas de los usos energéticos aportaron el 66.3% del total, concentrándose principalmente en la utilización de combustibles aplicados al transporte, en las industrias, en la agricultura y en los hogares, en ese orden. El sector residuos alcanzó el 19.2% de las emisiones totales. Un 12.9% se compone de las emisiones que surgen de los propios procesos productivos de la industria y los materiales que ésta utiliza. Por último, un 1.6% de las emisiones totales se compone del sector AFOLU, compuesto principalmente por el sector USCUS (con poder de absorción de 1.7 MCO₂eq.) y la ganadería (emisor de 1.9 MCO₂eq.).

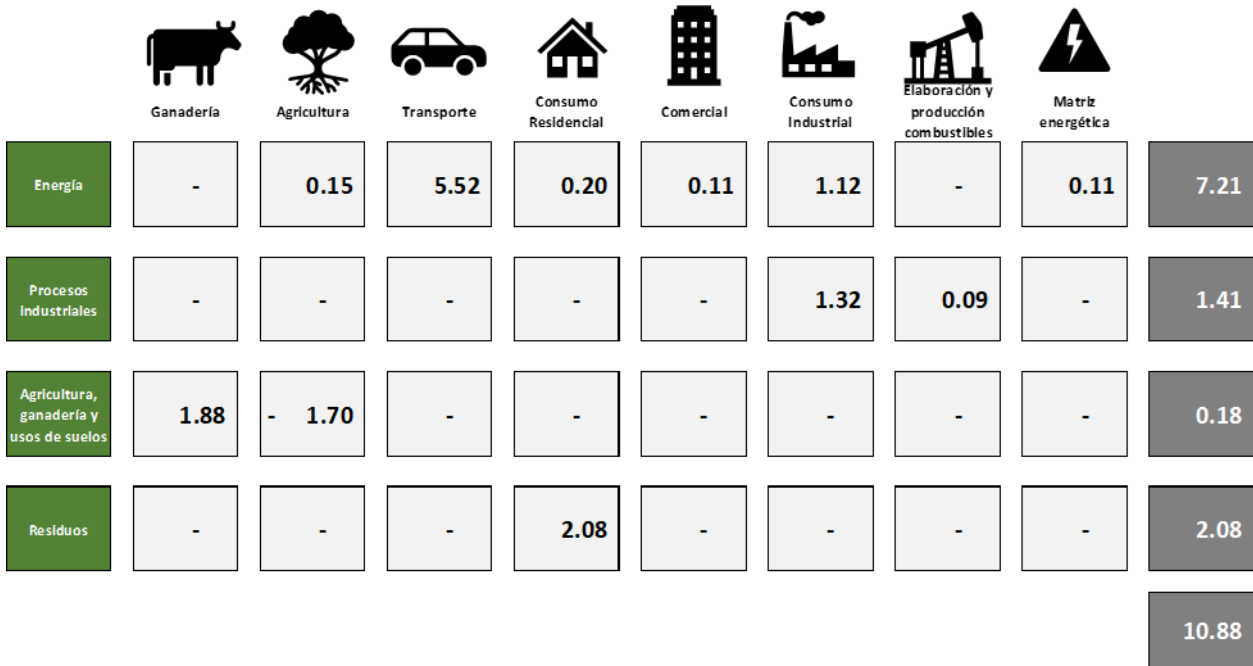
⁸ <https://www.unep.org/es/resources/emissions-gap-report-2021>

⁹ https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36991/EGR21_ESSP.pdf

¹⁰ Fuente: Renewable Energy and Jobs Annual Review 2021 - IRENA

¹¹ Ver Figura 3

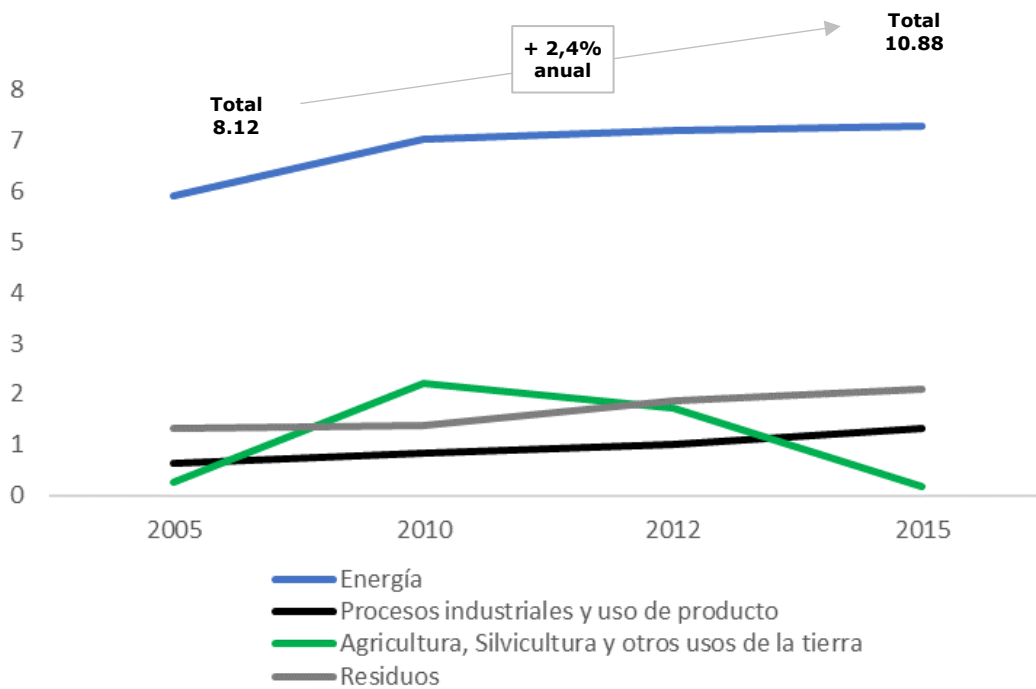
Figura 4: Inventario de emisiones GEI distribuidas por sector - año 2015 (% , MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte con base en el INGEI 2016 Costa Rica

El comportamiento histórico de las emisiones desde el año 2000 muestra una tendencia creciente en el tiempo, con un aumento de 2.77 MtCO2eq entre puntas¹², sin tener en cuenta el sector uso de suelos, cambio en uso de suelos y silvicultura. En total, las emisiones crecieron a una tasa anual del 2.39%, pero las que más contribuyeron a este aumento fueron las correspondientes al sector Procesos Industriales (9%), seguido de Residuos (7.5%) y Energía (1.82%).

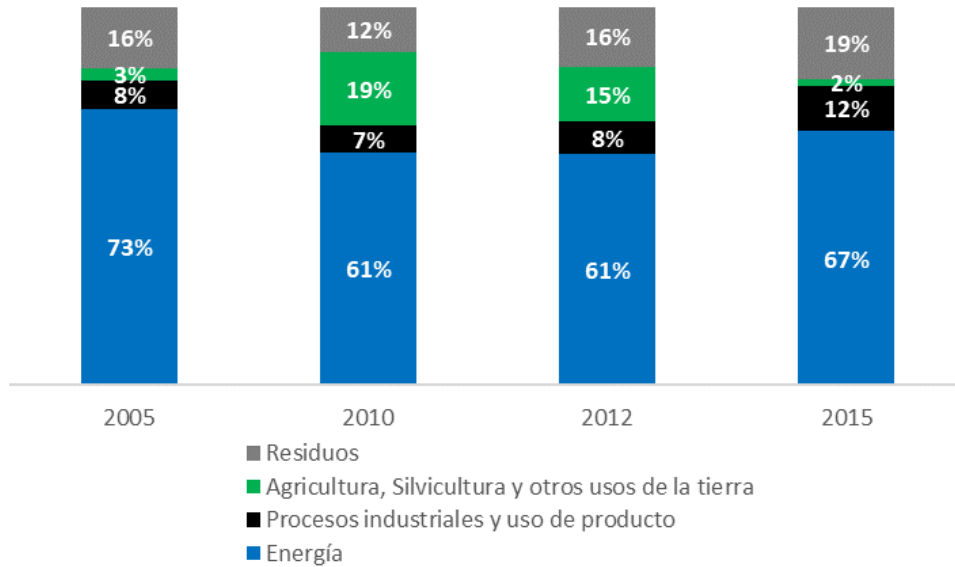
Figura 4.1: Evolución de emisiones GEI por sector - años 2000-2015 (% , MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte

¹²Ver Figura 4.1

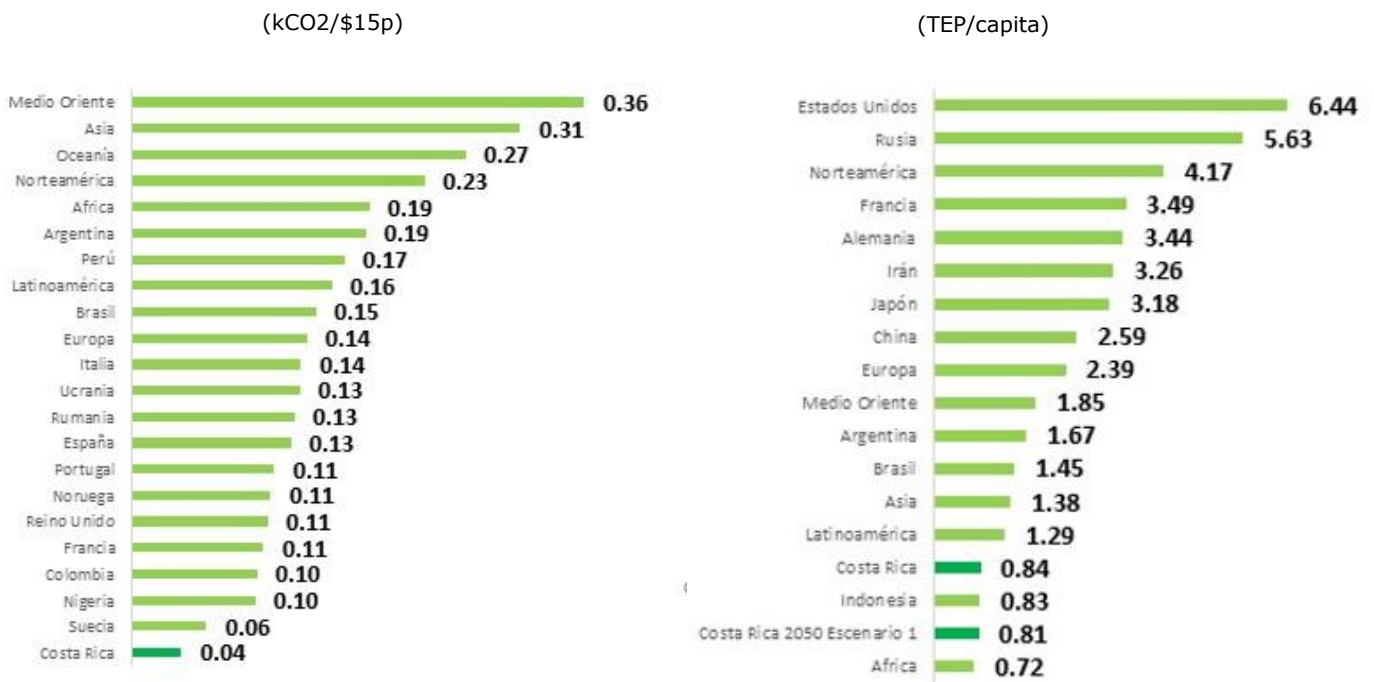
Figura 4.2: Evolución de emisiones GEI por sector - años 2000-2015 (% , MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte

A través de un benchmark de la intensidad energética de Costa Rica con relación a otros países, se observa que la intensidad energética de Costa Rica medida en términos per cápita es de las menores a nivel global¹³. Ello se ve reflejado en el indicador "TEP/cápita" para el año 2021, que alcanza los 0,84 TEP por habitante en Costa Rica. Se observa, además con respecto a las emisiones necesarias para producir una unidad de PBI, Costa Rica se encuentra un 75% por debajo del promedio de Latinoamérica.

Figura 5: Emisiones requeridas por unidad de PBI e intensidad per cápita - año 2021



Fuente: análisis Deloitte en base a ENERDATA 2021

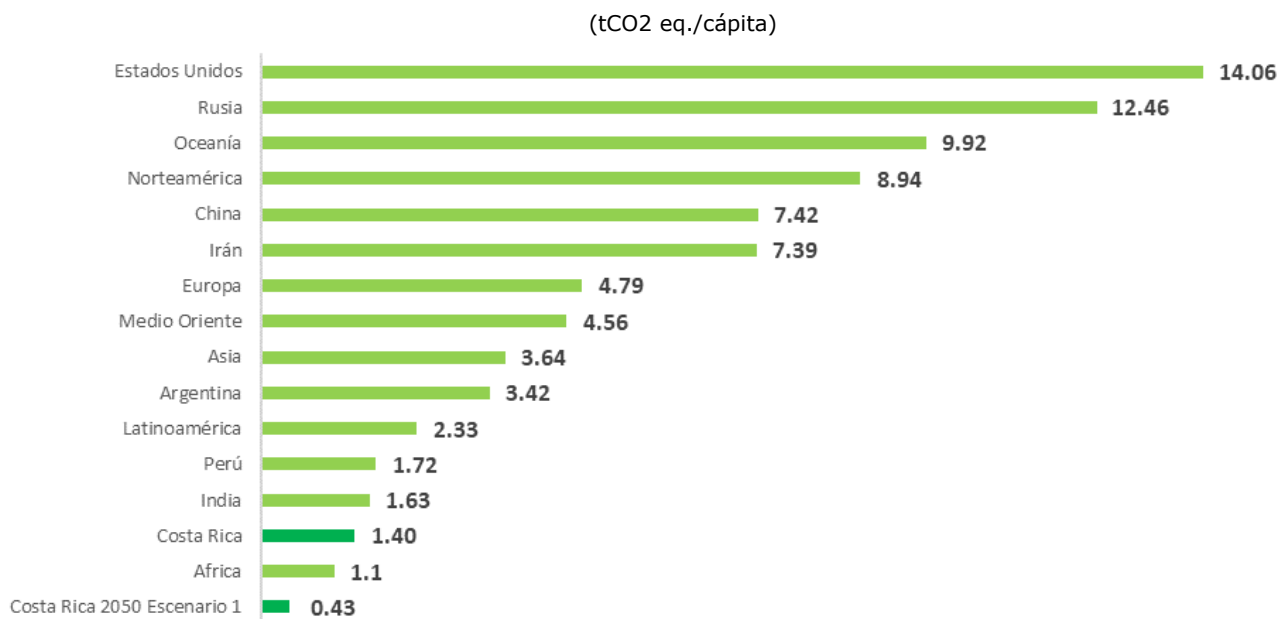
De forma análoga, a través de un benchmark de la intensidad de las emisiones de CO2 derivadas de la combustión de combustibles se observa que la intensidad de las emisiones de CO2 en Costa Rica – considerando el tamaño de la población - es un 40% inferior con relación al promedio de países de Latinoamérica¹⁴. Vale aclarar que esta afirmación sólo califica para las emisiones derivadas de la combustión

¹³ Ver Figura 5

¹⁴ Ver Figura 6

de combustibles, es decir, las que corresponden al sector energético y no sobre el total de las emisiones, que no se contrastan por falta de datos homogéneos para la comparación.

Figura 6: Indicadores de intensidad de las emisiones de CO2 procedente de la quema de combustibles - año 2021



Fuente: Análisis Deloitte en base a ENERDATA 2021

1.3. Contribuciones nacionales en la lucha contra el cambio climático

Contribuciones asumidas por Costa Rica – NDC

Costa Rica presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (iNDC, por sus siglas en inglés) en septiembre del año 2015 en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible. El 22 de julio de 2016, Costa Rica ratificó el Acuerdo de París y de acuerdo con las decisiones adoptadas y asociadas a dicho acuerdo, reafirmando y validando el compromiso asumido en las iNDC, convirtiéndose ahora en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) de Costa Rica. Por último, en 2020, la Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático aprobó la actualización de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional de Costa Rica (NDC), llevando el objetivo original de un máximo de emisiones de 9.4 MtCO₂eq. a 9.1 MtCO₂eq. a 2030 (lo cual significó un aumento en la ambición del gobierno costarricense en su lucha contra el cambio climático).

Metas en términos de mitigación

Costa Rica se compromete a un máximo absoluto de emisiones netas en el 2030 de 9.11 MtCO₂eq. incluyendo todas las emisiones y todos los sectores cubiertos por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Esta meta es consistente con la trayectoria del Plan Nacional de Descarbonización, la Estrategia de Largo Plazo presentada por Costa Rica en 2019, que busca emisiones netas cero en 2050 y es a su vez consistente con la trayectoria de 1.5 °C.

Costa Rica se compromete a un presupuesto máximo absoluto de emisiones netas para el periodo 2021 al 2030 de 106.53 MtCO₂eq. incluyendo todas las emisiones y todos los sectores cubiertos por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondiente.

Meta en términos de adaptación

Costa Rica se compromete a fortalecer las condiciones de resiliencia social, económica y ambiental del país ante los efectos del cambio climático, mediante el desarrollo de capacidades e información para la toma de decisiones, la inclusión de criterios de adaptación en instrumentos de financiamiento y planificación, la adaptación de los servicios públicos, sistemas productivos e infraestructura y la implementación de soluciones basadas en naturaleza.

Estrategias nacionales para la lucha contra el cambio climático

Costa Rica ha realizado la publicación de normativa y documentos de planificación que definen la agenda para la gestión del cambio climático en el país. Los de mayor relevancia para el caso específico de la gestión del cambio climático son:

- **Plan Nacional de Descarbonización**
- **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Decreto No. 41091-MINAE)**
- **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático De Costa Rica 2022-2026**
- **Actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada 2020**
- **Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2020–2035**
- **Ley N°9518: Incentivos y promoción para el transporte eléctrico**
- **Ley N°10086: Promoción y regulación de recursos energéticos distribuidos a partir de fuentes renovables**
- **Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031**

El **Plan Nacional de Descarbonización** sintetiza las acciones estratégicas que el Gobierno identifica para potenciar la descarbonización de la economía costarricense. La descarbonización y resiliencia se conciben como un medio para transformar el modelo de desarrollo a uno basado en la bioeconomía, el crecimiento verde, la inclusión y la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía.

Considerando que Costa Rica apunta a contar con una economía descarbonizada en 2050, que haya alcanzado el nivel de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática global – es decir; la meta de contener el incremento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C (e idealmente un límite de aumento a 1.5°C) con respecto a los niveles preindustriales. La adopción de este objetivo tiene implicaciones claras según la ciencia, se deberá llegar a una economía global de cero emisiones durante la segunda mitad del siglo, por lo que para el año 2050 deberán estar muy avanzados los principales procesos de cambio. Es por ello por lo que el Plan propone paquetes de política pública y actuaciones que se deben implementar desde hoy para alcanzar la meta al 2050. Las acciones se presentan en tres grandes etapas: a) etapa inicial (2018-2022), b) etapa de inflexión (2023-2030) y c) etapa de normalización del cambio o despliegue masivo (2031-2050)¹⁵.

La **Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Decreto No. 41091-MINAE)** tiene como objetivo transitar hacia un modelo de desarrollo resiliente de la sociedad costarricense, que evite las pérdidas humanas y modere los daños materiales generados por los efectos adversos del cambio climático, contribuya a la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables y aproveche las oportunidades para innovar y transformar los sectores productivos y asegurar la continuidad de los servicios públicos.

Por su parte, el decreto insta a las instituciones estatales a promover acciones para la adaptación basada en comunidades y ecosistemas, ya que constituyen soluciones costo-eficientes que toma en cuenta sus prioridades, necesidades, conocimientos tradicionales o ancestrales y capacidades para resolver los problemas que plantean la variabilidad y el cambio climático, aprovecha oportunidades y el uso de la biodiversidad y servicios ecosistémicos¹⁶.

El **Plan Nacional De Adaptación al Cambio Climático De Costa Rica 2022-2026** ha sido desarrollado por la Dirección de Cambio Climático (DCC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y funge como el primer Plan de Acción de la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica 2018 – 2030 (PNACC).

¹⁵Dirección de Cambio Climático del Gobierno de Costa Rica - Link: <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>

¹⁶Sistema Costarricense de Información Jurídica - Link: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86580&nValor3=112448&strTipM=TC

Su objetivo es orientar las acciones de la PNACC, durante el periodo de tiempo 2022-2026, hacia la consecución de un modelo de desarrollo que garantice la resiliencia climática de la sociedad costarricense, que evite las pérdidas humanas y modere los daños materiales generados por los efectos adversos del cambio climático, que contribuya a aumentar la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables, y que aproveche oportunidades para innovar y transformar los sectores productivos y asegurar la continuidad de los servicios¹⁷.

Por su parte, la **Actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de 2020** presenta una actualización y mejora de la primera contribución, presentada en 2015. Mediante este documento, Costa Rica aumenta la ambición y se compromete a tomar acciones alineadas con una trayectoria consistente con la meta global de limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1.5 °C. Ese es un aumento de ambición con respecto a la contribución anterior, que estaba alineada con la meta de 2 °C. Al mismo tiempo, las acciones resultantes de las contribuciones planteadas aumentan la capacidad de adaptación del país, fortalecen la resiliencia y reducen su vulnerabilidad al cambio climático.

El Plan De Expansión De La Generación Eléctrica 2020–2035 fue formulado atendiendo los criterios que Costa Rica ha dispuesto para el desarrollo de su matriz eléctrica, a través de las políticas nacionales en materia energética. Estos criterios se refieren a los siguientes elementos:

- ✓ **Favorecimiento de fuentes renovables.**
- ✓ **Baja dependencia de combustibles fósiles.**
- ✓ **Seguridad energética.**
- ✓ **Limitada exposición a importaciones.**
- ✓ **Diversificación de fuentes.**
- ✓ **Sostenibilidad ambiental y servicio al menor costo.**

El propósito del Plan de Expansión de la Generación es plantear una estrategia de desarrollo del Sistema de Generación del país en el largo plazo que sirva de referencia para la toma de decisiones de los diferentes actores que participan en el desarrollo eléctrico del país. El Plan de Expansión define un plan de largo plazo, focalizado en las decisiones estratégicas de la expansión de la generación¹⁸.

La Ley N°9518: Incentivos y promoción para el transporte eléctrico tiene por objeto crear el marco normativo para regular la promoción del transporte eléctrico en el país y fortalecer las políticas públicas para incentivar su uso dentro del sector público y en la ciudadanía en general.

Esta ley regula la organización administrativa pública vinculada al transporte eléctrico, las competencias institucionales y su estímulo, por medio de exoneraciones, incentivos y políticas públicas, en cumplimiento de los compromisos adquiridos en los convenios internacionales ratificados por el país y el artículo 50 de la Constitución Política¹⁹.

La Ley de Promoción y Regulación de Recursos Energéticos Distribuidos a Partir de Fuentes Renovables tiene como objetivo establecer las condiciones necesarias para promover y regular, bajo un régimen especial de integración eficiente, segura y sostenible, las actividades relacionadas con el acceso, la instalación, la conexión, la interacción y el control de recursos energéticos distribuidos basados en fuentes de energía renovables.

¹⁷ Dirección de Cambio Climático del Gobierno de Costa Rica - Link: https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP_Documento-2022-2026_VC.pdf

¹⁸ Grupo Ice - Link: https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/741c8397-09f0-4109-a444-bed598cb7440/PLAN+DE+EXPANSI%C3%93N+DE+LA+GENERACI%C3%93N+EL%C3%89CTRICA+2020%E2%80%932035_compressed.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nJADNyj

¹⁹SCIJ - Link: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=85810&nValor3=111104&strTipM=TC

Por medio de la presente normativa, se declara de interés público la investigación y el fomento de los recursos energéticos distribuidos, las energías de fuentes renovables y los sistemas de almacenamiento de energía que resulten de beneficio para la integralidad del SEN y la mejor satisfacción de interés público.

Se declaran servicios de interés general vinculados y complementarios al servicio de distribución:

- I. La generación distribuida para autoconsumo;
- II. El almacenamiento de energía para autoconsumo;
- III. La gestión de la demanda; y
- IV. El suministro de información energética

La finalidad de dicha declaración es la de lograr la reducción de pérdidas y la reducción de costos para el SEN, así como la protección de los derechos de los usuarios en cuanto a equidad, no discriminación, democratización y libre acceso en los servicios e instalaciones de transporte y distribución de electricidad²⁰.

Por último, la Estrategia Nacional de Redes Inteligentes (ENREI) es el resultado de un esfuerzo que tiene como fin mejorar la eficiencia en la operación del sistema eléctrico y lograr una reducción en el costo del servicio brindado, ofreciendo además múltiples beneficios al consumidor del servicio eléctrico. Estos beneficios pasan por la incorporación de innovaciones tecnológicas que generen además un impacto positivo en la competitividad del país y en el logro de sus objetivos ambientales.

Actualmente, el país cuenta con una alta participación de recursos energéticos renovables en la generación eléctrica y sus políticas nacionales se orientan a mantener este enfoque en los próximos años, bajo una mejora en la eficiencia operativa del sistema eléctrico. Para alcanzarlo, el sector tiene varios desafíos importantes que resolver, tales como aumentar la diversificación de la matriz energética con mayor participación de las energías solar y eólica (energías que se caracterizan por su variabilidad en periodos de tiempo cortos), integrar la electrificación del transporte y otros usos finales, así como lograr una mejora en su eficiencia operativa para lograr precios competitivos. Por lo tanto, el reto de las redes eléctricas inteligentes, desde el contexto nacional, es lograr incorporar su propuesta tecnológica de forma que contribuya a la construcción de un sector eléctrico moderno que responda a las metas nacionales en materia energética y de descarbonización.

Las nuevas tecnologías, en especial aquellas asociadas a la energía le conceden al usuario la capacidad de asumir un nuevo rol, al pasar de ser un simple consumidor de electricidad a un administrador de su demanda y participante en la generación eléctrica en pequeña escala y el almacenamiento de energía, aprovechando la disponibilidad de estas tecnologías a un costo cada vez menor. Por esta razón en el abordaje de esta estrategia, se incentiva la participación de los usuarios en su propia gestión energética, en aras de integrar este nuevo rol dentro de la cadena del sistema eléctrico nacional.

Las redes eléctricas inteligentes suponen un cambio importante en el sector eléctrico, al pasar de un modelo de gestión estático y unidireccional, a uno dinámico y bidireccional; apoyando los esfuerzos orientados a consolidar un mercado eléctrico nacional más eficiente.

La Estrategia Nacional de Redes Inteligentes (2021-2031) busca generar una perspectiva integral, que contemple la visión global del mercado y permita aprovechar los beneficios que aportan tanto a las empresas eléctricas como a los usuarios del servicio, mediante la promoción de la incorporación de redes inteligentes.²¹

Proceso de construcción del Escenario de referencia

²⁰ SCIJ - Link:

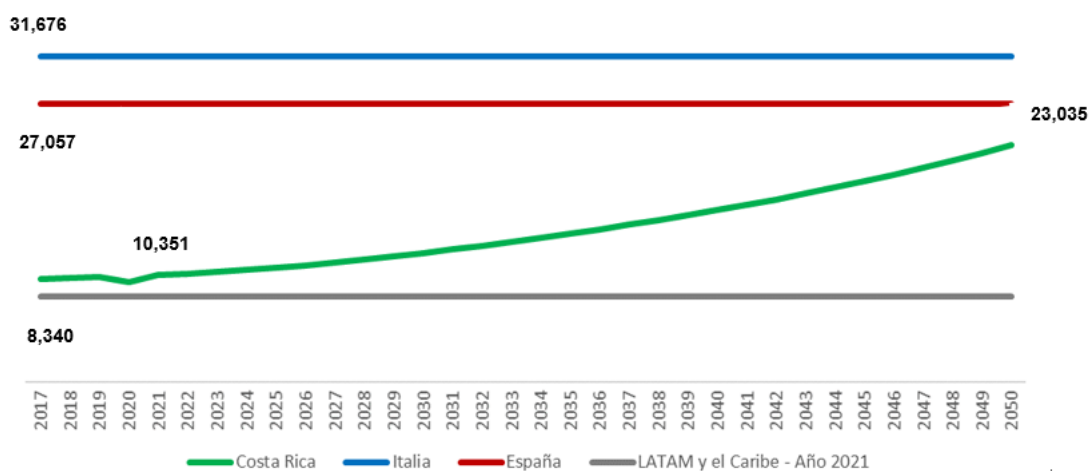
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=96064&nValor3=128505¶m2=1&strTipM=TC&IResultado=1&strSim=simp

²¹ ARIAE - Link: <https://www.ariae.org/servicio-documental/estrategia-nacional-de-redes-inteligentes-2021-2031>

El proceso de construcción de escenarios para la evaluación del modelo energético sostenible para Costa Rica en 2050 requirió, necesariamente, de la elaboración de la línea de base (año 2016) para contrastar los resultados y los impactos de las acciones y medidas de mitigación de cambio climático para el sistema en su conjunto. **A partir de esta premisa, se simuló el escenario tendencial o "referencia" el cual parte del estado de situación correspondiente al año 2015 en lo referente a la matriz productiva, energética y las emisiones (conciliando la información del balance energético nacional de dicho año con el inventario nacional de gases de efecto invernadero -INGEI-), y se proyecta a partir de información histórica para el período 2016-2021 (en lo que refiere a indicadores macroeconómicos, impacto del covid-19, cambios en la matriz energética y en patrones de consumo) y luego, siguiendo la tendencia en términos de evolución tecnológica hasta el 2050.** Como resultado de la proyección se obtuvo que las emisiones de GEI totales alcanzarían un valor cercano a los 14.73 MtCO₂eq. a 2030 y a 24.25 MtCO₂eq. a 2050.

El tamaño de la economía resultante de esta proyección a 2050 permitiría lograr un ingreso per cápita para Costa Rica mayor al que actualmente (2019) percibe América Latina y el Caribe, e inferior al que perciben países desarrollados como España e Italia.²²

Figura 7: PBI per cápita - años 2017-2050 (millones de USD)



Fuente: Análisis Deloitte en base a World Bank & The Economists Intelligence Unit (datos a 2021 e históricos)

²² Ver Figura 8

El modelo energético costarricense al 2050



2. El modelo energético costarricense al 2050

2.1. Visión actual de Costa Rica para el 2050

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un escenario de transición a 2050 que permita cumplir con el objetivo de carbono neutralidad a 2050, teniendo en consideración las condiciones iniciales del Costa Rica, los planes de mitigación desarrollados por las autoridades, las tecnologías disponibles o que se espera estén disponibles durante el periodo de estudio y las medidas regulatorias necesarias para que se realicen los escenarios.

En función de la multiplicidad de opciones de mitigación disponibles, y no menos importante, la interrelación entre las mismas, estas se dividieron en tres vectores de

descarbonización que resultan necesarios para alcanzar metas más ambiciosas al año 2050. Sin embargo, solo se consideraron medidas de mitigación a partir de tecnologías que, con la información actual, es razonable suponer que alcancen su madurez y sean viables comercialmente. Los tres vectores anteriormente mencionados son:

“Son tres los vectores de descarbonización que resultan necesarios para alcanzar metas más ambiciosas al año 2050”

- **Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde:** Para que la sustitución de fuentes primarias tenga un efecto duradero, es necesario que a su vez la electricidad se produzca a través de fuentes renovables. Ligado a ello, el desarrollo de infraestructuras digitales y las redes inteligentes es clave como agentes habilitadores capaces de acomodar la introducción de renovables, las tecnologías distribuidas y la participación de los prosumidores en el sistema energético.
- **Fomentar la eficiencia energética y la electrificación de los usos finales mediante la digitalización de redes:** Existe un gran potencial de reducir emisiones desacoplando el crecimiento económico del consumo de energía. Las oportunidades para reducir la intensidad energética en la producción de bienes, el potencial de ahorro de energía en el consumo residencial y sector servicios, así como la eficientización de procesos de transformación que incrementen la energía utilizada y minimicen los desperdicios. A su vez, se espera un cambio a fuentes primarias de energía con menores emisiones a través del reemplazo del carbón y del petróleo con altos niveles de emisión por combustibles bajos en emisión. Además, la actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono. El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.
- **Incentivo a modelos de producción sustentables:** En la industria y especialmente en la ganadería y agricultura se requiere adoptar modos de producción bajos en emisiones.

2.2 El modelo energético en el marco de los ODS

La agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la cual fue aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros, a la cual Costa Rica pertenece. Concretamente, en el ODS 7 "energía asequible y no contaminante" determina que la energía sostenible es una oportunidad que transforma vidas, economía y el planeta.

En Costa Rica, la falta de acceso al suministro de energía en algunas regiones es un obstáculo para el desarrollo humano y económico; razón por la cual, si en los hogares no se tuviera acceso a la energía eléctrica, se tendría un gran atraso en cuanto a desarrollo.

Tomando las consideraciones indicadas en el ODS 7, la energía se puede generar de diversas formas, pero lo recomendable es utilizar responsable y conscientemente los recursos renovables, para producir los impactos al cambio climático, ya que si se genera energía a través de la quema de combustibles con alto contenido de carbono, se producen altas cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), que favorecen al cambio climático y tienen efectos nocivos para el bienestar de la población y el medio ambiente.

Figura 8: Objetivos de Desarrollo Sostenible - PNUD



2.3 Introducción a la metodología de modelización: TIMES

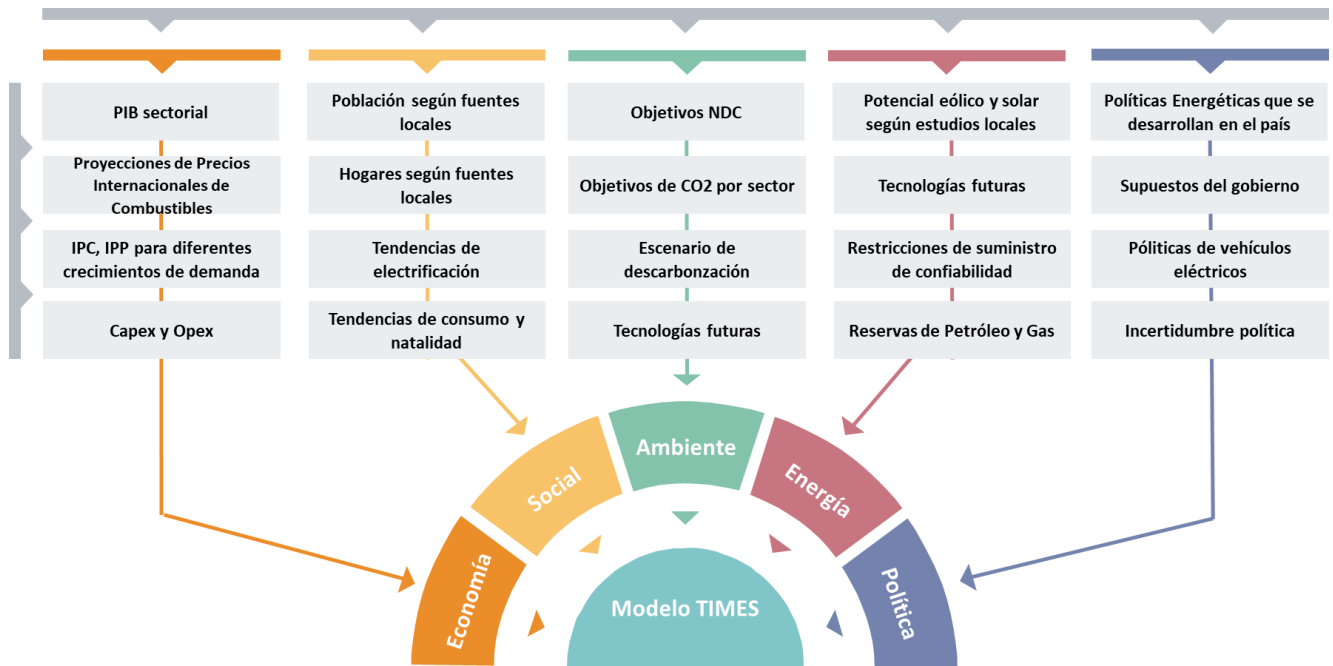
TIMES es una herramienta de modelización que combina dos enfoques sistemáticos para modelar la energía: un enfoque de ingeniería técnica y un enfoque económico.

La herramienta abarca todos los pasos, desde los recursos primarios hasta la cadena de procesos que transforman, transportan, distribuyen y convierten la energía en el suministro de servicios energéticos que demandan los consumidores de energía. Una vez establecidos todos los insumos, las restricciones y los escenarios, el modelo intentará resolver y determinar el sistema energético que satisfaga la demanda de servicios energéticos durante todo el horizonte temporal con el menor coste.

Por el lado de la oferta energética, comprende la extracción de combustibles, la producción primaria y secundaria y la importación y exportación exógena. Los "agentes" del lado de la oferta energética son los "productores". A través de diversos vectores energéticos, la energía se suministra al lado de la demanda, que se estructura sectorialmente en los sectores residencial, comercial, agrícola, de transporte e industrial. Los "agentes" del lado de la demanda de energía son los "consumidores". Las relaciones matemáticas, económicas y de ingeniería entre estos "productores" y "consumidores" de energía son la base de los modelos TIMES.

A continuación, se presentan los inputs, restricciones y otras variables importantes que se han tenido en cuenta a la hora de la construcción del modelo TIMES:

Figura 9: Inputs del Modelo TIMES



Toda esta información ha sido recopilada de diferentes fuentes oficiales que se detallan a continuación:

- Proyecciones económicas con fuente "The Economist Intelligence Unit"
- Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) 2020²³
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) – 2015 para la construcción del año base y 2017 para validar la trayectoria de las emisiones²⁴
- Balance Energético Nacional 2015
- Fichas técnicas por tecnología publicadas por IEA-ETSAP²⁵
- Estimaciones propias basadas en censos nacionales (se consideró la evolución histórica contemplando los censos del 2000 y 2011)
- Encuesta de Consumo Energético Nacional en el Sector Transporte 2013
- Encuesta de Consumo Energético Nacional en el Sector Comercio y Servicios Privados - 2014²⁶
- Resultados generales del Censo Agropecuario²⁷
- Encuesta de Consumo Energético Nacional en el Sector Público - 2015²⁸
- ENAHO. 2015. Características de las viviendas y acceso a servicios según zona y región de planificación, julio 2015²⁹
- Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de Costa Rica - 2018³⁰
- Estudio para la caracterización del consumo energético en el sector residencial - 2019³¹

²³ <https://cambioclimatico.go.cr/contribucion-nacionalmente-determinada-ndc-de-costa-rica/>

²⁴ <https://cambioclimatico.go.cr/inventario-nacional-de-gases-de-efecto-invernadero-ingei/>

²⁵ <https://iea-etsap.org/index.php/energy-technology-data/energy-demand-technologies-data>

²⁶ Informe publicado por la Dirección Sectorial de Energía

²⁷ <https://inec.cr/noticias/resultados-generales-del-censo-agropecuario>

²⁸ Informe publicado por la Dirección Sectorial de Energía

²⁹ <https://inec.cr/busqueda?searchtext=comercios%25202015&page=4>

³⁰ https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44285/1/S1800543_es.pdf

³¹ Estudio realizado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica Universidad de Costa Rica en favor del Ministerio de Ambiente y Energía y el Instituto Costarricense de Electricidad

Tecnologías

Las tecnologías son representaciones de dispositivos físicos que transforman mercancías en otras mercancías. Los procesos pueden ser fuentes primarias de materias primas, o actividades de transformación como plantas de conversión que producen electricidad, plantas de procesamiento de energía como refinerías, dispositivos de demanda de uso final como automóviles y sistemas de calefacción, entre otros.

Commodities

Los productos básicos (incluidos los combustibles) son portadores de energía, servicios energéticos, materiales, flujos monetarios y emisiones; un producto básico es producido o consumido por alguna tecnología.

Flujos de commodities

Los flujos de commodities son los vínculos entre los procesos y los commodities (por ejemplo, la generación de electricidad a partir del viento). Un flujo es de la misma naturaleza que una mercancía, pero está vinculado a un proceso concreto y representa una entrada o una salida de ese proceso.

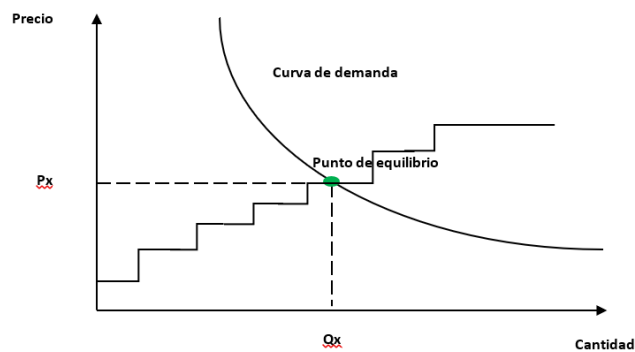
Estas tres entidades se utilizan para construir un sistema energético que caracterice al país o región en cuestión. Todos los modelos TIMES tienen un sistema energético de referencia, que es un modelo básico del sistema energético antes de que se modifique sustancialmente, ya sea para una región concreta o para un escenario determinado.

Funcionalidad

Una vez que se han colocado todas las entradas, restricciones y escenarios, el modelo intentará resolver y determinar el sistema energético que satisfaga las demandas de servicios energéticos durante todo el horizonte temporal al menor coste. Para ello, toma simultáneamente decisiones de inversión en equipos y decisiones de explotación, suministro de energía primaria y comercio de energía, por regiones. TIMES supone una previsión perfecta, es decir, que todas las decisiones de inversión se toman en cada periodo con pleno conocimiento de los acontecimientos futuros. Optimiza horizontalmente (en todos los sectores) y verticalmente (en todos los periodos de tiempo para los que se impone el límite).

Los resultados serán la combinación óptima de tecnologías y combustibles en cada periodo, junto con las emisiones asociadas para satisfacer la demanda. El modelo configura la producción y el consumo de los productos básicos (es decir, los combustibles, los materiales y los servicios energéticos) y sus precios; cuando el modelo iguala la oferta con la demanda, es decir, los productores de energía con los consumidores de energía, se dice que está en equilibrio. Matemáticamente, esto significa que el modelo maximiza el excedente del productor y del consumidor. El modelo está configurado de tal manera que el precio de producción de una mercancía afecta a la demanda de esa mercancía, mientras que al mismo tiempo la demanda afecta al precio de la mercancía. Se dice que un mercado ha alcanzado el equilibrio a precios p y cantidades q cuando ningún consumidor desea comprar menos de q y ningún productor desea producir más de q al precio p . Cuando todos los mercados están en equilibrio, se maximiza el excedente económico total (es decir, la suma de los excedentes de productores y consumidores).

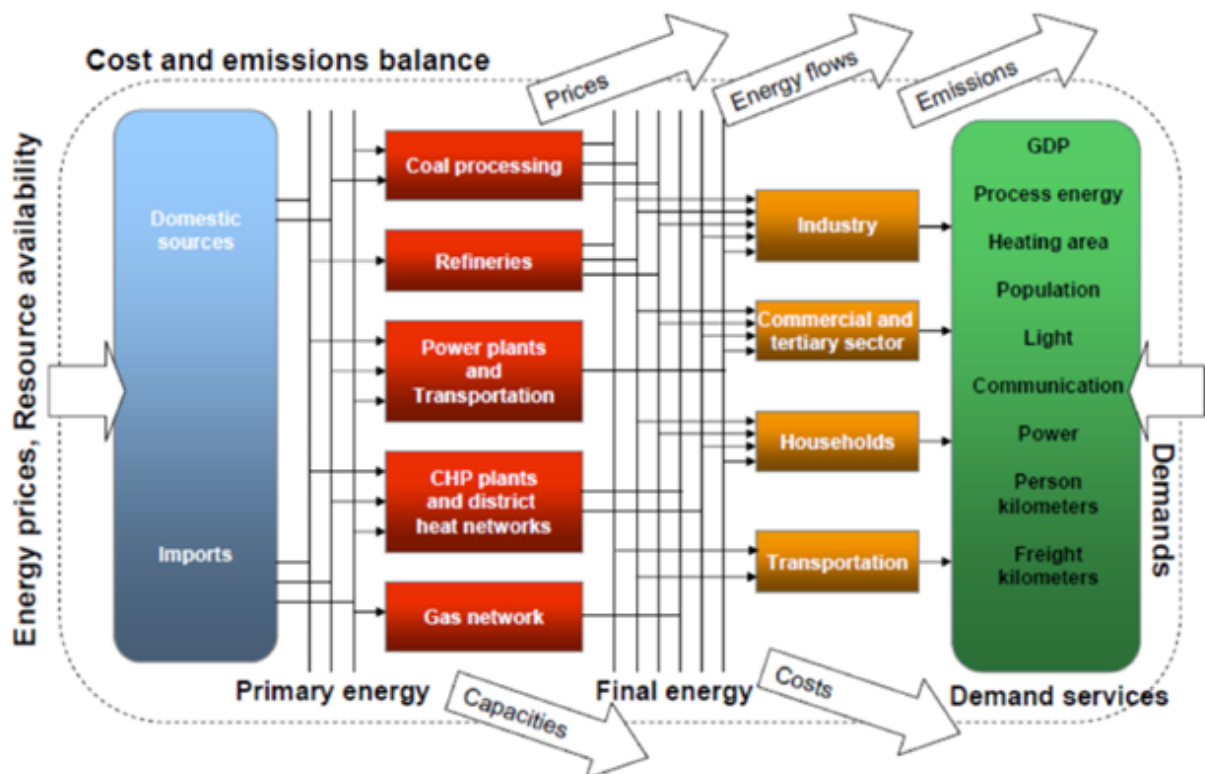
Figura 10: Diagrama de equilibrio del mercado en TIMES



Salidas

El principal resultado de TIMES son las configuraciones de los sistemas energéticos que satisfacen la demanda de servicios energéticos del usuario final al menor coste posible, respetando al mismo tiempo las distintas restricciones (por ejemplo, una reducción del 80% de las emisiones o una penetración del 40% de la electricidad renovable). En primer lugar, el modelo TIMES responde a la pregunta: ¿es factible el objetivo? Si un sistema energético es posible, se puede examinar entonces, ¿a qué coste? Los resultados del modelo son los flujos de energía, los precios de los productos energéticos, las emisiones de GEI, las capacidades de las tecnologías, los costes de la energía y los costes marginales de reducción de las emisiones. En la figura 11 se muestra un esquema del modelo TIMES junto con las flechas blancas de salida que muestran los resultados del modelo.

Figura 11: Esquema de las entradas y salidas de TIMES



Construcción de Escenarios a partir de la utilización del modelo TIMES

El modelo TIMES nos ha permitido generar los resultados del presente estudio bajo la óptica de dos escenarios diferentes:

- **Escenario de Referencia:** se trata de un escenario tendencial, sin esfuerzos adicionales en medidas de mitigación de gases de efecto invernadero. Este escenario reconoce los avances tecnológicos de cara a futuro, pero no concreta esfuerzos en términos de inversiones a efectos de facilitar la lucha contra el cambio climático. Como consecuencia, las emisiones proyectadas surgen como consecuencia de un incremento en los niveles de demanda energética derivado de un crecimiento demográfico y de un mayor nivel de actividad económica, que se deriva en mayor tasa de empleo y un mayor nivel de consumo por mejoras en el salario real.
- **Escenario 1:** si bien se alimenta de los supuestos básicos establecidos para el Escenario de Referencia, en el Escenario 1 se añaden los esfuerzos en términos de políticas de mitigación para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético. Para ello, se definen restricciones al modelo (principalmente, *targets* en términos de emisiones y consumos de energía por tipo de combustibles), y sobre estas premisas, el TIMES diseña una solución óptima en términos de costos, para alcanzar los lineamientos en términos de emisiones.

La construcción de ambos escenarios contempla un mismo punto de partida, al que en el presente estudio denominamos "año base". Para este año en particular, se definen las emisiones en función de lo reportado en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y la demanda energética por sector, derivada de los Balances Energéticos Nacionales. De forma tal que al asignar el consumo energético por sector y por tipo de combustible, a los usos finales (tecnologías), el resultado proveniente de la utilización de dichos insumos, den como resultado el volumen de emisiones reportadas en el inventario. A partir de allí, la curva de emisiones se proyecta como resultado de los criterios mencionados para cada escenario.

Sector no energético: modelización por fuera del TIMES

Tal como se menciona en el apartado anterior, el modelo TIMES se encarga de estimar las proyecciones de demanda por tipo de combustible para el sector energético (residencial, comercial, servicios públicos, transporte, industria y agricultura -en lo que refiere a uso de maquinaria agrícola-) y las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de dicho consumo.

En lo que refiere al sector no energético (Uso de Suelos, Cambio en el Uso de Suelos y Silvicultura -USCUSS-, ganadería, residuos, emisiones fugitivas y de procesos industriales), las proyecciones se realizan por fuera del modelo TIMES, y en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

El punto de partida (o año base) resulta de las emisiones reportadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). A partir de allí, la proyección de emisiones se rige por los siguientes lineamientos:

- **Escenario de Referencia:** al no realizarse esfuerzos adicionales en términos de implementación de políticas de mitigación, las emisiones derivadas del sector no energético tenderán a incrementarse, pudiendo incluso perder el estatus de carbono negatividad (lo cual equivale a decir que se pierde el potencial de captura neta de carbono) en sectores claves como USCUSS. El indicador (o indicadores) que incidirá en el incremento de las emisiones, dependerá de cada subsector. En el caso de las emisiones derivadas del sector USCUSS, la pérdida en el potencial de captura de carbono neta, y posterior registro de emisiones de gases de efecto invernadero, estará dado por el incremento en el nivel de actividad económica, pues un mayor despliegue de la actividad agrícola, sin reconocer la implementación de mejores prácticas, llevará inexorablemente a una mayor degradación de la tierra, eliminación de pastizales (que funcionan como sumideros de carbono) y mayor nivel de deforestación. Mismo comportamiento podrá evidenciarse en el sector ligado a la ganadería, donde el mayor nivel de actividad económica llevará al crecimiento del ganado y, por tanto, a un mayor volumen de emisiones de gas metano. Por su parte, las emisiones fugitivas y de procesos industriales, seguirán la trayectoria de las emisiones del sector industrial (dentro del sector energético). Por último, las emisiones derivadas de la gestión de residuos, estará íntimamente ligada al crecimiento demográfico y el mayor nivel de consumo.

- **Escenario 1:** sobre la trayectoria de las emisiones proyectadas en el escenario de referencia, las políticas de mitigación (sobre las cuales ahondaremos en el capítulo 3) nos permite fijar restricciones a las emisiones estimadas para el escenario de referencia. De este modo, la curva de emisiones de los diferentes subsectores estará definida como el resultante de la diferencia entre las emisiones proyectadas en el escenario de referencia y el potencial de mitigación de cada una de las medidas propuestas para estos sectores.

Construcción del análisis de costo-beneficio

Para comprender la metodología implícita en la elaboración del análisis de costo-beneficio (el cual se detalla en el capítulo 3 del presente informe), es necesario definir los siguientes conceptos:

- **Costo-Beneficio unitario:** costo o beneficio neto de una medida de mitigación por cada tonelada mitigada que se deriva de realizar la diferencia entre las inversiones de capital necesarias para desarrollar la medida (CAPEX), las variaciones en los costos operativos (OPEX) y el costo social de carbono (que representa el ahorro generado por cada tonelada de CO₂eq. Evitada). Cuando la variación en costos operativos (derivados de los ahorros generados por un uso eficiente de los recursos) y los ahorros generados en términos de costos social de carbono superan a la inversión de capital requerida (CAPEX), entonces decimos que la medida genera un beneficio unitario. Caso contrario, se tratará de una medida con un costo neto por tonelada mitigada.
- **Costo-beneficio total por medida de mitigación:** es el resultado de multiplicar el costo-beneficio unitario de la medida de mitigación por la cantidad de toneladas de CO₂eq. mitigadas por su implementación.
- **Costo-Beneficio total:** surge de estimar el costo-beneficio neto por sector (el cual resulta de la sumatoria del costo-beneficio total por medida de mitigación aplicable a cada sector). La suma del costo-beneficio neto de los distintos sectores (incluyendo el concepto de costo social de carbono), da como resultado el costo-beneficio total de la transición energética.

En cuanto a los resultados exhibidos en el capítulo 3, se debe destacar que los valores se encuentran expresados a valor presente. Esto se debe a que las operatorias explicadas en los ítems anteriormente mencionados aplican a todos los años comprendidos en el período bajo análisis y, por tanto, los flujos se generan en diferentes períodos. A efectos de expresar los resultados a valor presente neto, se ha empleado una tasa del 10%.

Mismo procedimiento se aplica para estimar el análisis del total de inversiones de capital (CAPEX) y financiamiento a través de mecanismos de *carbon pricing*:

- **El análisis de CAPEX** implica, para cada año, multiplicar el monto total por tonelada a ser invertido para la implementación de las medidas de mitigación de los diferentes sectores por el total de toneladas de CO₂eq. mitigadas. Al realizarse esta operatoria para todo el período bajo análisis, para el cálculo de los importes a valor presente neto, se aplica también la tasa de descuento del 10%.
- **El análisis de Carbon Pricing** señala el potencial de financiar una parte del total de inversiones requeridas para materializar la transición energética mediante los mercados de carbono. Los flujos de fondo se estiman multiplicando el total de toneladas de CO₂eq. mitigadas por año por el precio al carbono de cada tonelada. Al realizarse esta operatoria para todo el período bajo análisis, para el cálculo de los importes a valor presente neto, se aplica también la tasa de descuento del 10%.

2.4 Transformaciones necesarias en el modelo energético

Construcción de escenarios ambiciosos de reducción de emisiones

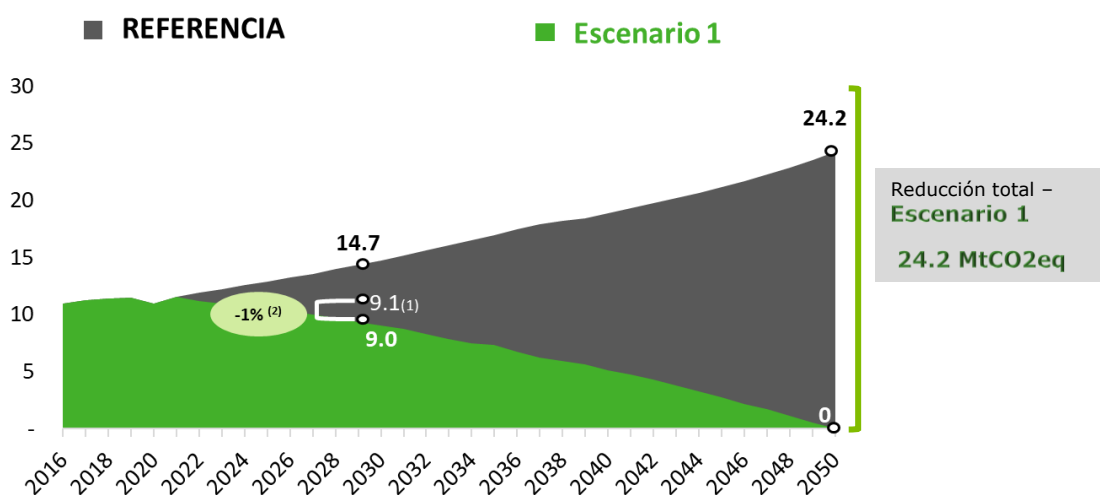
En el escenario que se desarrolla en el presente estudio (Escenario 1) se introducen políticas de mitigación y cambios en la matriz energética orientados a optimizar los resultados y aumentar la ambición de la descarbonización en un contexto de apoyo internacional.

Para integrar en este escenario la relación entre actividad económica, conductas, políticas públicas y avances tecnológicos, se utilizó la herramienta TIMES para realizar una modelización cuantitativa.

Los resultados obtenidos bajo el escenario desarrollado muestran que las soluciones propuestas para la transición energética en Costa Rica permiten alcanzar un elevado nivel de descarbonización en el medio y largo plazo para una economía que continúa su desarrollo.

Realizando un esfuerzo adicional para optimizar los resultados, en el 2050, las emisiones de GEI del sector energético del **Escenario 1** se reducen a 2.47 MtCO₂eq. Por su parte, el sector no energético, debido a su gran potencial de captura, alcanza una reducción de 2.47 MtCO₂eq. De esta manera, se logra alcanzar la meta de carbono neutralidad a 2050.

Figura 12: Sendero de emisiones de GEI (MtCO₂ eq.)



(1) Target 2030 NDC

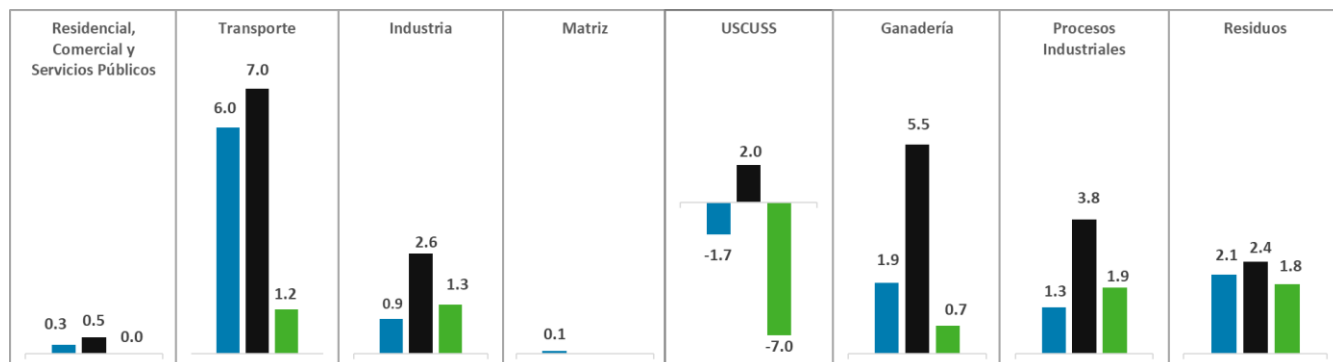
(2) Comparación nivel 2030 del escenario 1 con objetivo del NDC

Nota: Año base 2016

Fuente: Análisis Deloitte

En el **Escenario 1** en todos los sectores que demandan energías se hace el mayor esfuerzo factible (en términos de costo-eficiencia) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, **compensándose el remanente de las mismas mediante la captura de carbono en el sector no energético.**

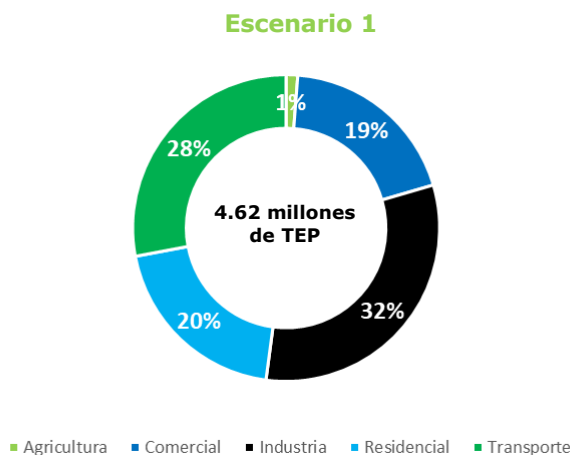
Figura 13: Emisiones de gases de efecto invernadero por sector (2016 - 2050) (MtCO₂ eq.)



Fuente: análisis Deloitte

Para mantener o reducir las emisiones resulta clave que se produzca un desacople del crecimiento económico del uso de la energía, reduciendo la intensidad energética del desarrollo. En el **Escenario 1** el consumo total de energía se reduce un 38% con respecto al escenario de referencia a 2050. En dicho escenario, los esfuerzos para reducir la intensidad energética son generalizados, pero además existe una serie de medidas destinadas específicamente a disminuir la intensidad del sector transporte, logrando a 2050 una reducción adicional de la demanda energética total del 52% con respecto al escenario de referencia.

**Figura 14: Consumo energético final total a 2050
– por sector (participación %)**



Fuente: Análisis Deloitte

Para que los esfuerzos de descarbonización sean efectivos, resulta necesario la sustitución del consumo de combustibles fósiles, de manera que su consumo no crezca o inclusive se reduzca. La opción más eficiente es promover la electrificación de la matriz energética. Si bien los biocombustibles pueden realizar un aporte adicional a la descarbonización, existen opiniones encontradas sobre el efecto neto a lo largo de su ciclo de vida, pudiendo ser el caso que no reduzcan las emisiones netas. En cambio, la mayor penetración de energías renovables en la matriz eléctrica es una estrategia probada para la reducción de emisiones y a la vez competitiva en términos económicos frente a otras alternativas.

CUADRO 1. Reducción de costo de las Energías Renovables

Las tecnologías energéticas con baja emisión de carbono tienen un rol clave en la transición energética, en particular en power sector, donde las tecnologías solar y eólica se presentan como opciones cada vez más competitivas a la luz de la continua disminución de sus costos.

Con base al relevamiento de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) realizado en 2022³², la reducción de costos medios de instalación para la tecnología solar fotovoltaica a escala industrial fue de un 88% sólo entre 2010 y 2021, alcanzando un precio promedio de 857 USD/kW en 2021. En el caso eólico, la disminución de los costos de instalación alcanzó el 67% entre puntas, destacándose la menor dispersión de precios existentes, con un rango en 2019 que va desde los 1.325 a 2.858 USD/kW.

Figura 15: Costo de instalación promedio mundial de la tecnología solar PV (USD 2021/kW)

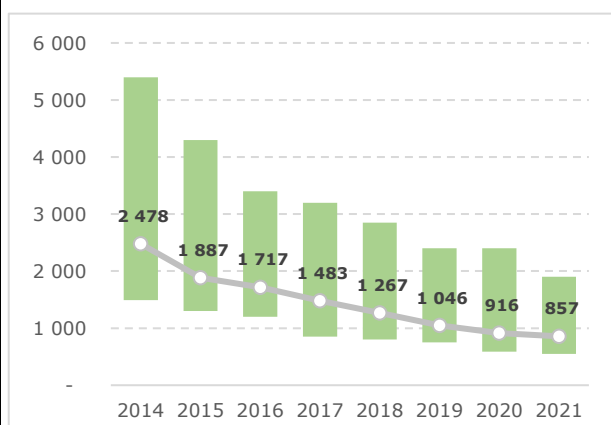
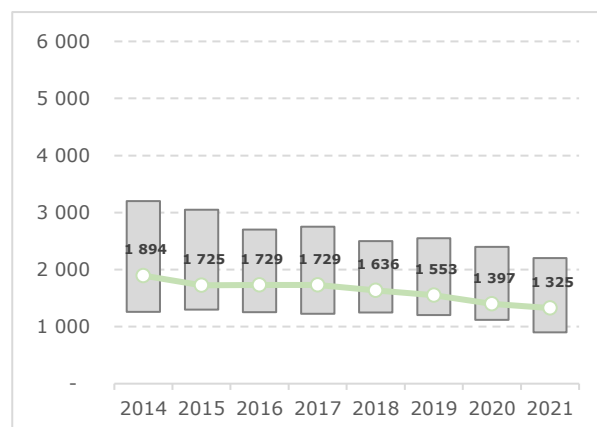


Figura 16: Costo de instalación promedio mundial de la tecnología eólica on-shore (USD 2021/kW)

³²Fuente: IRENA Renewable Power Generation Costs in 2021. (<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>)

Si además se mira el Costo Nivelado de la Energía (LCOE por sus siglas en inglés), un indicador que recrea el costo esperado de firmar un contrato de suministro a largo plazo (PPA por sus siglas en inglés) la caída es aún más pronunciada. Una de las causas se debe a las mejoras técnicas que permitieron un mayor rendimiento de los equipos, como así también la mayor participación que han ido adquiriendo regiones como Asia y Sur América con factores de capacidad notablemente más elevados respecto a zonas de mayor penetración. En el caso de los paneles fotovoltaicos el LCOE medio descendió 90% entre 2010 y los nuevos proyectos encargados para 2021, mientras que en las centrales eólicas el indicador cayó un 50% en el mismo período.

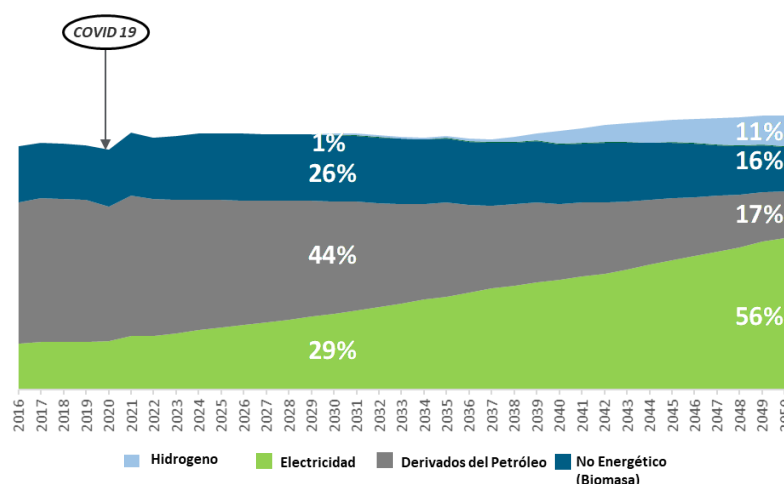


Hacia adelante IRENA ha identificado al menos tres grandes factores que permiten proyectar una nueva reducción de costos: **1) las mejoras tecnológicas**, que continúan siendo una constante en el mercado de generación de energía renovable y que irán reduciendo cada vez más los costos de instalación y aumentando el rendimiento de los equipos; **2) la adquisición en forma competitiva**, que permite beneficiarse de mejores precios a medida que aumente la escala; y **3) una gran base de desarrolladores de proyectos**, con experiencia internacional que busca activamente nuevos mercados.

La capacidad de sustitución de combustibles dependerá, en consecuencia, del avance en la electrificación de la demanda, y la incorporación de nueva generación renovable. En el **Escenario 1**, la electricidad aumenta a 67% del consumo total, logrando que los combustibles fósiles se reduzcan 38% y su participación en la matriz pase de 48% a 28% de la matriz hasta los 1.9 millones de TEPs.

Figura 17: Consumo energético final total – por combustible (Millones de TEPs)

Escenario 1



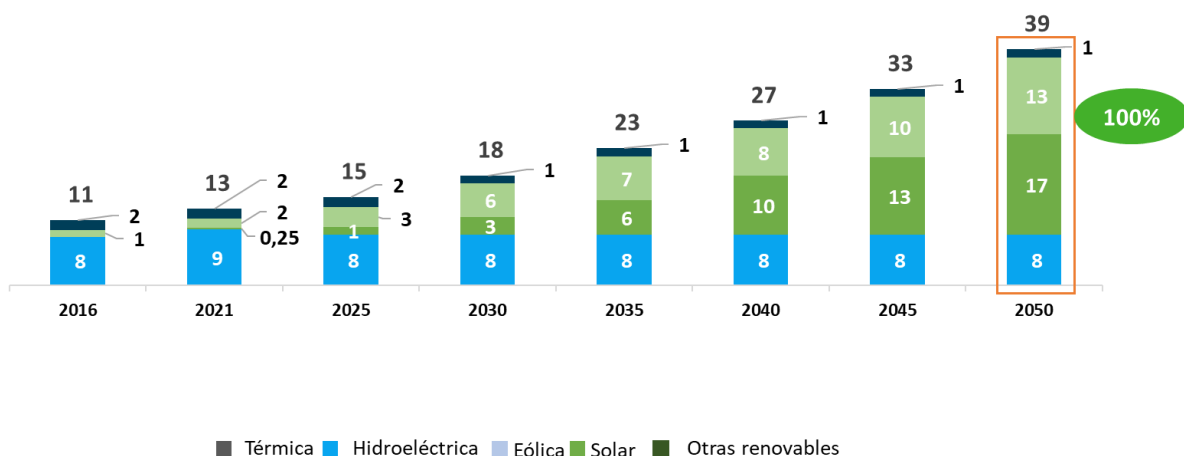
Fuente: Análisis Deloitte

La electrificación requiere acompañarse de un cambio en la matriz de generación hacia energías renovables o limpias de emisiones. En primer lugar, el consumo de energía eléctrica crecerá a una tasa anual del 4% en el **Escenario 1**.

En el **Escenario 1**, a 2050, la generación eléctrica pasa a ser 100% renovable, sustentada en un 79% por energías renovables no convencionales (solar, eólica y biomasa), y el 21% restante con energía hidroeléctrica.

Figura 18: Generación Eléctrica y penetración de renovables (TWh)

Escenario 1

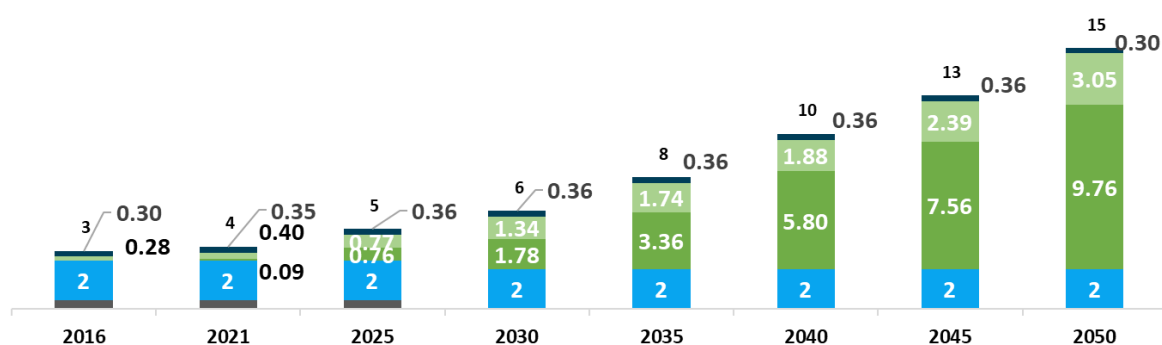


Fuente: Análisis Deloitte

Costa Rica tiene recursos naturales que permiten desarrollar un parque de generación eléctrica libre de emisiones y alcanzar los objetivos ambiciosos antes descritos. En este sentido, la capacidad instalada libre de emisiones establecida en el **Escenario 1** alcanza el 87% (sin energía hidroeléctrica) y 100% (con energía hidroeléctrica) a 2050.

El proceso de transformación de la matriz energética a 2050 en ambos escenarios se da principalmente con el desarrollo de proyectos de energía eólica y solar. En este sentido, en el **Escenario 1** se contempla la instalación de parques eólico por una potencia total de 2.77 GW y de parques solares por una potencia total de 9.76 GWR.

Figura 19: Capacidad Instalada (GW)



Fuente: Análisis Deloitte

Transición Energética



3. Transición energética

3.1. Nuevas políticas energéticas en Costa Rica

Proceso de implementación de medidas de mitigación en Costa Rica: planes sectoriales existentes y nuevos

En los últimos años la República del Costa Rica ha llevado a cabo planes, programas y acciones relacionados de manera directa e indirecta con la mitigación de GEI en varios sectores productivos y de consumo.

Entre las acciones en implementación, se pueden destacar en el sector energía dos leyes fundamentales: **Ley de Promoción y regulación de recursos energéticos distribuidos a partir de fuentes renovables (Ley N°10086)** cuyo objetivo es lograr la reducción de pérdidas y la reducción de costos para el SEN, así como la protección de los derechos de los usuarios en cuanto a equidad, no discriminación, democratización y libre acceso en los servicios e instalaciones de transporte y distribución de electricidad. También, se ha desarrollado un **Plan De Expansión De La Generación Eléctrica 2020–2035** el cual pretende establecer una estrategia de desarrollo del Sistema de Generación del país en el largo plazo que sirva de referencia para la toma de decisiones de los diferentes actores que participan en el desarrollo eléctrico del país.

En el sector transporte los esfuerzos se han concentrado principalmente en la creación de **Incentivos y promoción para el transporte eléctrico (Ley N°9518)** mediante el cual se estableció marco normativo para regular la promoción del transporte eléctrico en el país y fortalecer las políticas públicas para incentivar su uso dentro del sector público y en la ciudadanía en general. Además, la creación de la **Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031** que permitirá integrar la electrificación del transporte y otros usos finales, así como lograr una mejora en su eficiencia operativa para lograr precios competitivos.

En el sector de cambio de uso de los suelos y silvicultura (CUSS) se ha desarrollado el marco normativo e institucional para fomentar la plantación y el manejo sustentable de los recursos naturales y para establecer los presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sustentable de los mismos, así como de los servicios ambientales que estos brindan a la sociedad. Este marco institucional permitió llevar adelante un proceso de ordenamiento territorial de los recursos naturales existentes, estableciendo diferentes categorías de conservación. En este marco se creó la **Ley de Uso, manejo y conservación de suelos (Ley N°7779)** y la **Ley Forestal (Ley N°7575)**.

- **Ley N°7575:** Ley promulgada el 13 de febrero de 1996 que establece, como función esencial y prioritaria del Estado, velar por la conservación, protección y administración de los bosques naturales y por la producción, el aprovechamiento, la industrialización y el fomento de los recursos forestales del país destinados a ese fin, de acuerdo con el principio de uso adecuado y sostenible de los recursos naturales renovables. Además, velará por la generación de empleo y el incremento del nivel de vida de la población rural, mediante su efectiva incorporación a las actividades silviculturales³³.
- **Ley N°7779:** Ley promulgada El 30 de abril de 1998 que establece como fin fundamental proteger, conservar y mejorar los suelos en gestión integrada y sostenible con los demás recursos naturales, mediante el fomento y la planificación ambiental adecuada. La presente ley tiene como objetivos específicos los siguientes:
 1. Impulsar el manejo, así como la conservación y recuperación de los suelos en forma sostenida e integrada con los demás recursos naturales.
 2. Facilitar los mecanismos para la acción integrada y coordinada de las instituciones competentes en la materia.

³³ SCIJ -

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526

3. Promover la planificación por medio de inventarios ambientales, para el aprovechamiento balanceado entre la capacidad de uso y el potencial productivo, mejorando con ello las condiciones de vida de la población.
4. Fomentar la participación activa de las comunidades y los productores, en la generación de las decisiones sobre el manejo y conservación de los suelos.
5. Impulsar la implementación y el control de prácticas mejoradas, en los sistemas de uso que eviten la erosión u otras formas de degradación del recurso suelo.
6. Fomentar la agroecología, como forma de lograr convergencia entre los objetivos de la producción agrícola y la conservación de los recursos suelo y agua³⁴.

A su vez, para la construcción del **Escenario 1**, se han considerado medidas adicionales (sobre las que se brindará mayor detalle a lo largo del presente capítulo), especialmente en los sectores residencial, comercial y público e industrial, donde se prevé una mayor electrificación de las tecnologías actuales y una tasa de eficientización de las nuevas tecnologías acorde a estándares internacionales.

3.2. Planificación para una transición exitosa al 2050

El camino por recorrer en la transición deberá contar con una cuidada planificación que garantice el logro de los ambiciosos objetivos ambientales, de modo que el esfuerzo conjunto que haga toda la sociedad, así como el importante volumen de inversiones, se plasmen de forma eficaz. En este sentido, las transformaciones deberán realizarse sin poner en riesgo la actividad económica ni la seguridad del suministro energético y al mismo tiempo optimizar los costos e inversiones.

Además, y en términos generales, la concreción de las acciones específicas a llevarse a cabo en cada caso deberá contar al menos con las siguientes consideraciones:

- La secuencia de implementación de las medidas deberá priorizarse según el volumen de emisiones que estas eviten, o sobre los combustibles que más contaminen.
- Se deberá tener en cuenta la dimensión económica, eligiendo primero aquellas medidas más eficientes económicamente, en el caso de plantearse varias alternativas.
- El uso de tecnologías de transición que permitan la progresiva adopción por el mercado de otras más limpias, a medida que se reduzcan sus costos.
- El establecimiento de metas de mediano plazo sectoriales, que permitan un monitoreo de las variables críticas y la detección de posibles desvíos.

En las siguientes secciones del informe se profundiza acerca de estos aspectos, agrupándolos por cada uno de los vectores y detallando el conjunto de medidas elegidas para la transición hacia el modelo energético a 2050.

3.3. Cambiar a fuentes primarias de energía libres de emisiones, apuntando a una matriz eléctrica verde

La baja participación de las energías térmicas en Costa Rica comparado con otros países de la región (alcanzan un 36% en 2016) y, en contraposición, la alta participación de las fuentes hidroeléctricas (alcanzan un 64% en el año base), han llevado a que, comparativamente, su matriz eléctrica tenga una baja intensidad de emisiones.

Si bien la participación de energías térmicas es baja, para lograr una mayor reducción, es necesario generar un esfuerzo adicional. **Por este motivo, la capacidad instalada libre de emisiones establecida en el Escenario 1 alcanza el 100% para 2050.** A su vez, la complementación que permite la generación hidroeléctrica y eólica, más la expectativa de complementar la energía solar con la incorporación de baterías,

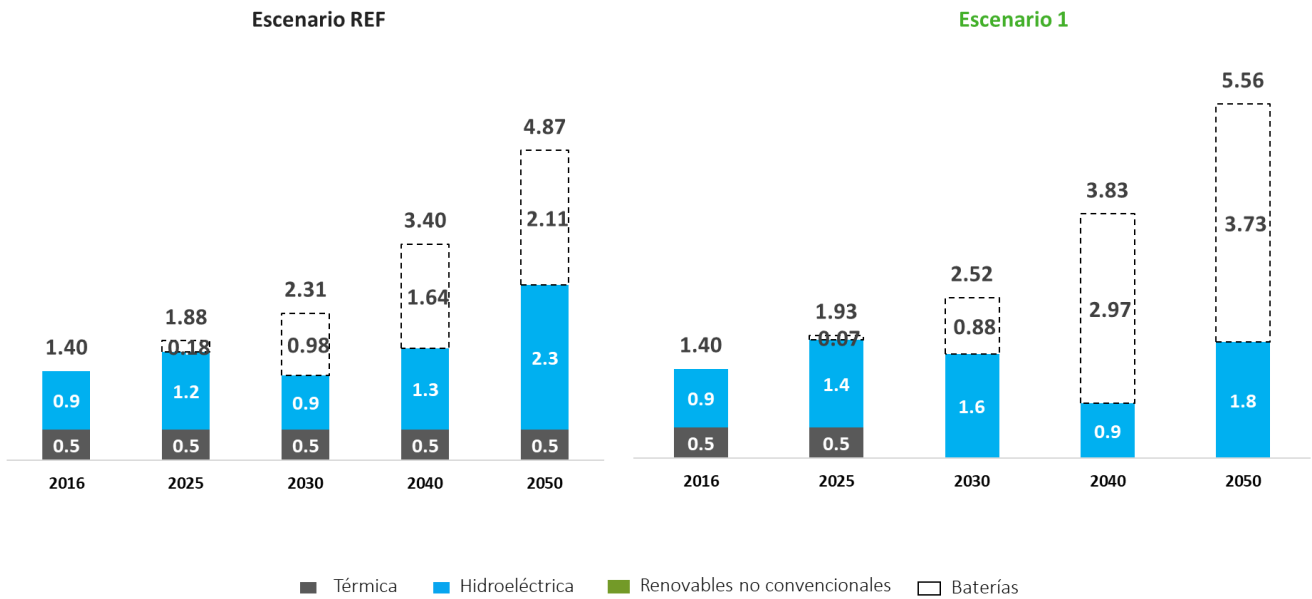
³⁴ INTA - http://www.inta.go.cr/Normativa/Reglamento_Ley_Suelos.pdf

posibilita apuntar a una penetración agresiva de fuentes renovables no convencionales como la eólica y la solar.

En el Escenario 1 se instalan 2.77 GW y 9.76 GW de potencia eólica y solar - en sus diversas variantes - que se incrementa hasta llegar a 3.05 GW y 9.76 GW a 2050.

La mayor penetración de energía renovable variable no convencional requiere administrar la gestión de los picos de demanda, a través de respuesta de la demanda, utilizando como respaldo la energía renovable no convencional (eólica y solar) y aumentando la participación de tecnologías de almacenamiento.

Figura 20: Potencia para cubrir el pico de demanda (GW)



Fuente: Análisis Deloitte

CUADRO 2. Proyecciones para la reducción de costo del almacenamiento mediante baterías

Los sistemas de almacenamiento o electricity storage system (ESS por sus siglas en inglés) brindan importantes ventajas para los sistemas eléctricos en donde las tecnologías variables como la energía solar y eólica ganan participación. Las aplicaciones estacionarias de las baterías permiten profundizar la inserción de las energías renovables, en la medida que permiten acumular energía no consumida en el momento de la generación y estar disponible para cuando se requiera, suavizando así las fluctuaciones de las condiciones climáticas que aparecen durante el día, semanas o incluso meses. Además, brindan un mayor grado de flexibilidad a los operadores de la red, garantizando un funcionamiento suave y confiable y/o reacción a los cambios inesperados en la demanda, evitando así daños a los aparatos eléctricos y cortes de suministro. Otra ventaja del storage electricity es que puede reducir las congestiones en la red de transmisión en horas de generación pico y puede aplazar la necesidad de grandes inversiones en infraestructura en este segmento.

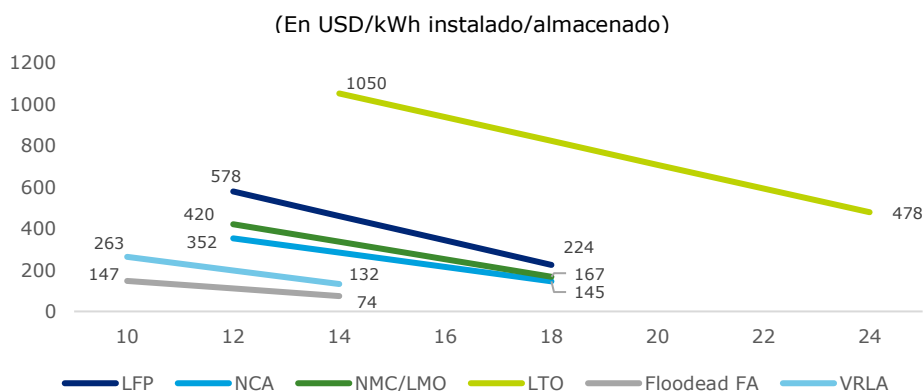
Las baterías además juegan un rol importante en la descarbonización de segmentos clave de uso de energía, como en el transporte con la e-movilidad y en el caso de baterías para sistemas domésticos y mini-redes que operan fuera de la red. Estas últimas están emergiendo como parte de la solución para aumentar el acceso a la electricidad, así como proporcionar servicios de estabilidad a mini-redes, mejorando la calidad de la energía y reemplazando sistemas que dependen en gran medida del combustible diésel.

El desarrollo de baterías más eficientes, el aumento de su vida útil y la tendencia hacia una rápida caída en su costo, ubican a esta tecnología en el corazón de la transición energética como una alternativa competitiva, al proporcionar servicios de valor en toda la cadena del sector eléctrico y en los consumidores finales. La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA por sus siglas en inglés) en su trabajo "Almacenamiento de electricidad y renovables: costos y mercados hasta

2030" (2017) señala que el costo de las baterías de ion-litio ha caído hasta un 73% entre 2010 y 2016 para aplicaciones de transporte, pudiendo trasladar estos beneficios de mayor escala de fabricación a las baterías para aplicaciones estacionarias, que hoy tienen un costo de instalación más alto debido a ciclos de carga / descarga más sofisticados que requieren sistemas y hardware de administración más costosos.

Se estima que el costo de instalación de baterías de ión de litio para aplicaciones estacionarias podrían disminuir entre 54% y 61% hasta 2030.³⁵ Esto reflejaría una caída en el costo total de instalación de entre USD 207/kWh y USD 572/kWh, dependiendo de la composición química de las baterías. Como se muestra en el gráfico, las opciones de plomo ácido serán todavía más económicas, pero encuentran un límite a la expansión de su vida útil que las hace menos competitivas.

Figura 21: Proyección de costo y vida útil de baterías seleccionadas por tecnología - Años 2016 y 2030.⁽¹⁾



Nota (1): Baterías de Iones de Litio (LFP, LTO, NCA y NMC/LMO) y de plomo ácido (Floodead FA y VRLA). Fuente: análisis Deloitte en base a IRENA.

3.4. La promoción de infraestructuras digitales y redes inteligentes

Análisis del contexto

La red de transporte de electricidad de Costa Rica permite transportar grandes bloques de energía desde las centrales de generación que son constituidas como los puntos de inyección, que se encuentran ubicadas principalmente en la zona norte, hasta los centros de carga donde es extraída, de manera que no se comprometa la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico del país; cumpliendo con los criterios económicos y ambientales establecidos dentro del marco de las políticas nacionales e institucionales en materia energética.

Esta red opera en alta tensión con dos niveles de voltaje 138 y 230 kV; siendo el más importante el de 230 kV por su ubicación, permitiendo el transporte de grandes bloques de energía desde la zona norte a los centros de consumo. El nivel de 138 kV se ubica principalmente en la zona central y la península de Nicoya.

En la actualidad, el transporte de la energía del principal foco de generación de electricidad ubicado en la zona norte del país se realiza mediante cuatro corredores de líneas de 230 kV incluyendo la línea SIEPAC hacia el centro de carga, donde es transformada a un nivel de tensión en 138 kV para luego alimentar las principales subestaciones.

Esta red de transmisión se encuentra conformada por un total de 69 subestaciones; permitiendo al país interconectarse a nivel regional a través de cinco interconexiones, dos con Nicaragua y tres con Panamá y a la vez crear nuevas conexiones de generación y clientes de alta tensión, así como la atención del suministro eléctrico de las empresas de distribución.

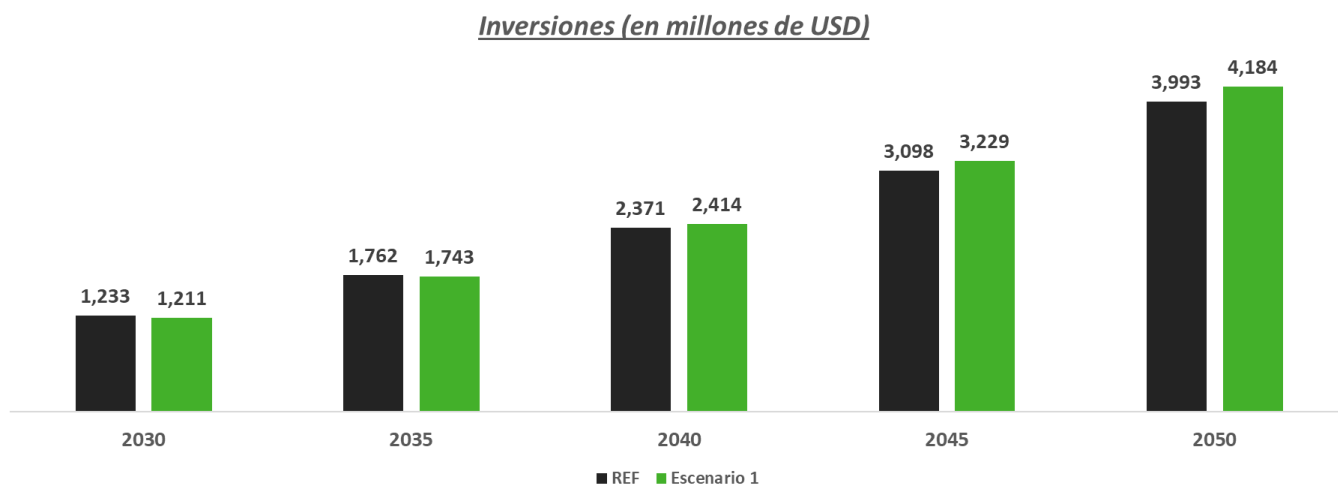
Territorialmente se extiende desde Peñas Blancas al Norte (Frontera con Nicaragua) hasta el sur en Paso Canoas (Frontera con Panamá), y desde Puerto Limón en el Caribe hasta Cóbano, en el extremo de la Península de Nicoya, en el Pacífico. Atravesando las 7 provincias del país, y con infraestructura desde el nivel del mar hasta los 3,500 metros de elevación. Desde el punto de vista de kilómetros de líneas de transmisión, Costa Rica ronda los 2,986 km, distribuidos en las tensiones de 230 y 138 kV, de los cuales un 18 % corresponde a líneas de transmisión en propiedad de entes privados y un 82% corresponde a infraestructura ICE.³⁶

³⁵ Ver Figura 22

³⁶ Plan de Expansión de la Transmisión 2021-2031 - Instituto Costarricense de Electricidad

Para lograr los objetivos de electrificación a 2050 establecidos en el **Escenario 1** de nuestro modelo, será necesario realizar un esfuerzo adicional ya que se requerirá expandir un total de 4,210 km de líneas de transporte eléctrico, que permitirán despachar 12 GW de potencia adicional.

Figura 23: Inversiones en líneas de transmisión eléctrica (en millones de USD)



Fuente: Análisis Deloitte

Perspectivas

La actualización de la infraestructura y la digitalización son la piedra angular para sostener la transición hacia un modelo de energía sostenible con bajas emisiones de carbono.³⁷ El incremento de la demanda de electricidad debería llevar a un cambio de paradigma que permita pasar de un sistema tradicional a un sistema completamente flexible que se adapte al aumento de las energías renovables y la generación descentralizada.

Las nuevas infraestructuras de red en transporte y distribución son claves para impulsar el crecimiento de las energías renovables. En el horizonte 2030, se requerirán nuevas inversiones en las redes eléctricas tanto para permitir el acceso a sitios de alto potencial renovable, y para perseguir una red más interconectada que permita aumentar la confiabilidad del sistema. Para ello, se necesita un número mayor de puntos de conexión disponibles para futuras subastas en programas de desarrollo de energías renovables. Por su parte, en el horizonte de 2050, se espera que la terminación de las redes de las principales áreas urbanas y los nuevos refuerzos en la red aumenten enormemente los sitios potenciales de generación distribuida para energía eólica y solar.

Por su parte, la digitalización de la red es el habilitador clave de la transición requerida, que trae beneficios significativos en términos de ahorro en el gasto de energía, eliminación de emisiones de GEI y mejora de la calidad del aire. La transición a 2050 requerirá, entre otras cosas, una inversión en la red eléctrica, tanto en el sector de la transmisión como en el sector de la distribución. Las inversiones requeridas en las redes de distribución permitirán integrar completamente la nueva capacidad renovable, la mayoría de las cuales se conectará a las redes de baja y media tensión, gestionará el desarrollo de la movilidad eléctrica y apoyará la electrificación del consumo en los sectores residencial y de servicios.

Una red eléctrica moderna traerá diversos beneficios para la población y la economía del país. La digitalización de red permitirá a los clientes de servicios públicos administrar y reducir mejor los costos de electricidad, cortes de energía más cortos y menos frecuentes, mejoras en las condiciones de trabajo y seguridad pública. Al mismo tiempo, reforzará el sistema eléctrico, aumentando así la confiabilidad y la capacidad de recuperación del servicio incluso en el caso de condiciones climáticas severas.

El despliegue masivo de medidores inteligentes proporcionará un retorno positivo tanto para el sistema como para los clientes. Los beneficios incluyen la eficiencia energética y la oportunidad para que

³⁷ El análisis de esta sección se sustentó mayormente en un informe de Deloitte realizado previamente: “Hacia la descarbonización de la economía: la contribución de las redes a la transición energética”, 2018. (<https://perspectivas.deloitte.com/contribucion-redes-electricas>)

los usuarios gestionen su demanda de manera activa y cambien los hábitos y renueven la tecnología, lo que brinda una mejor eficiencia.

Los medidores inteligentes pueden ayudar a crear patrones de demanda activos y un sistema más confiable y predecible. Las tarifas hora por hora deben desarrollarse, si no es en tiempo real, para permitir un efecto de aplanamiento de la demanda. Una curva de carga más aplanada requerirá una demanda menor y una demanda menos firme, lo que permitirá una mejor planificación y optimización de la generación. La masificación de los medidores inteligentes será la base para el desarrollo de las redes inteligentes y para la optimización en la planificación de las inversiones en la distribución.

Es recomendable que se otorguen incentivos para las inversiones en la distribución para reconfigurar y modernizar las redes (que son puramente radiales) hacia modelos más resilientes y acordes a la digitalización de esta, que permita para llegar a niveles óptimos de calidad y gestionar de manera eficiente el ingreso de la movilidad eléctrica, la generación distribuida, respuesta a la demanda, optimización de las inversiones, entre otros servicios

3.5. Fomentar la eficiencia energética y electrificación de los usos finales

Fomento de la eficiencia energética

La evolución hacia una matriz energética más limpia en términos de emisiones involucra también la reducción de intensidad energética, que se logra a través de la mejora en eficiencia energética.

Todos los sectores de actividad a nivel nacional deberían estar alineados para disminuir el consumo energético del país, y, por ende, las medidas correspondientes han de afectar a cada uno de estos.

La regulación legislativa es una excelente herramienta para lograr impactos fuertes en materia de consumo energético. Hoy el principal instrumento normativo es la **Ley N°7447 de Regulación del Uso Racional de la Energía** se propone establecer los mecanismos para alcanzar el uso eficiente de la energía y sustituirlos cuando convenga al país, considerando la protección del ambiente. Esos mecanismos se basarán en tres postulados:

1. La obligación de ejecutar proyectos de uso racional de la energía en empresas de alto consumo;
2. El control sobre los equipos y las instalaciones que, por su uso generalizado, incidan en la demanda energética;
3. El establecimiento de un sistema de plaqueo que informe a los usuarios de su consumo energético.

Además, introducir conceptos de Eficiencia Energética en la currícula de la educación formal, tanto en los niveles primarios y secundarios, así como en ambientes técnicos y universitarios afines, incorporar sistemas de gestión de la energía en empresas, generar regulación específica en construcciones y difundir nuevos procesos industriales, son solo algunas de las cuestiones que debería tratar la ley, en pos de alentar un cambio de paradigma en la conducta de la población y las empresas. El desarrollo de actuaciones dirigidas a realizar procesos de forma más eficiente, o simplemente no desperdiciar energía en consumos innecesarios, son maneras mediante las cuales, tanto el usuario con capacidad de gestión como el pequeño usuario, pueden colaborar en el aumento de eficiencia.

Rumbo a una mayor electrificación en los usos finales

En 2050 sería necesario alcanzar un nivel de electrificación del 56% sobre el consumo total de energía final en el Escenario 1. De la misma manera, el consumo de derivados del petróleo debería representar el 17% del total del consumo de energía final, frente a un nivel actual de 58%. Esto representa una reducción del 1.96% anual, como resultado del traspaso de tecnologías convencionales a tecnologías eléctricas.

3.5.1. Electrificación de los sectores residencial, comercial y público

En el año 2016 (año base), el sector residencial, comercial y público, era responsable de la emisión de 0.3 MtCO₂eq. (un 2% de las emisiones totales de Costa Rica en aquel entonces). En el **Escenario 1**, el consumo eléctrico en el sector residencial, comercial y de servicios públicos propuesto por el modelo

TIMES en consideración del mix de medidas de mitigación propuestas para alcanzar los objetivos de emisiones a 2050, necesitaría aumentar hasta situarse en el 78%.

Para alcanzar esta penetración desde los valores actuales, el consumidor residencial, así como el Estado para sus edificios e instalaciones públicas, necesitarán invertir en nuevos equipos para usos térmicos, en estufas eléctricas y en artefactos con un mayor nivel de eficiencia que pudieran aparecer en el mercado en años venideros. La adopción de una energía u otra vendrá derivada de la competitividad en costos de las distintas soluciones tecnológicas disponibles y de la reglamentación aplicable, incluida la que incentive unas menores emisiones en estos consumos.

CUADRO 3. Refrigeradores

Los aparatos de refrigeración y frío son tecnologías maduras cuyo mercado ha alcanzado el nivel de saturación en los países más desarrollados, con tasas de penetración de casi el 100%.³⁸

El mercado de hoy se caracteriza por una disminución significativa en el tamaño del congelador, con un aumento de refrigeradores combinados. Los dispositivos de refrigeración comercial (gabinets de servicio y de explosión, cámaras frigoríficas, unidades de condensación empaquetadas, enfriadores de procesos) se utilizan en restaurantes, hoteles, pubs, cafés, supermercados y en procesos industriales. En algunos tipos de edificios comerciales (por ejemplo, supermercados), la refrigeración representa hasta el 50% del consumo de energía del edificio^{39,40}. Todos estos dispositivos incluyen compresores, válvulas de expansión, condensadores y evaporadores, ventiladores de evaporador y fluidos de proceso apropiados. En lo que respecta al fluido del proceso, en las últimas décadas del siglo XX, los gases a base de freón, CFC y HCFC se han utilizado ampliamente porque son eficientes, estables y seguros. Sin embargo, las regulaciones para proteger la capa de ozono atmosférica han llevado a la eliminación gradual de la mayoría de estos gases, y se han desarrollado gases de hidrofluorocarbono (HFC) alternativos y se utilizan actualmente. Los fluidos con un potencial de calentamiento global más pequeño están actualmente en desarrollo. La demanda de energía para los aparatos de frío puede reducirse mediante mejoras de eficiencia, como el aislamiento térmico por vacío y las espumas de poliuretano, los descongeladores adaptativos, los intercambiadores de calor, compresores y ventiladores más eficientes y el control electrónico.

En 2016, los refrigeradores en Costa Rica representaban aproximadamente el 22% del consumo eléctrico total, para fines de 2050 se espera que su participación sobre el consumo eléctrico total del sector alcance el 30% en el **Escenario 1**, lo cual nos indica que, al ser una tecnología madura, su potencial para alcanzar mayor eficientización es menor que otras tecnologías de uso doméstico.

CUADRO 4. Iluminación

La iluminación representa aproximadamente el 19% de toda la electricidad generada en todo el mundo. El consumo de energía de iluminación puede reducirse mediante mejoras en la eficiencia energética de los sistemas de iluminación, que se componen de lámparas, luminarias y balastos. (Este último para lámparas de descarga). Las mejoras clave de eficiencia están asociadas con la elección de la lámpara. Los principales tipos de lámparas utilizadas en el sector doméstico incluyen las tradicionales (ineficientes) lámparas incandescentes de filamento de tungsteno (servicio de iluminación general, GLS), lámparas halógenas (HL), las lámparas fluorescentes compactas más eficientes (CFL) y luminarias con tecnología LED.

La transición propuesta para los sectores residencial, comercial y de servicios públicos, contempla para ambos escenarios una rápida transición hacia las tecnologías LED. Entre los principales beneficios de implementar este tipo de tecnologías se encuentran:

- **Elevados niveles de ahorro de energía:** la tecnología LED se caracteriza por su alta eficiencia energética. Las luces LED consumen entre un 80% y un 90% menos de energía que las luces tradicionales. Si bien la compra de luminarias LED pueden suponer un coste más elevado, los efectos de su uso a largo plazo generan importantes beneficios en términos de ahorro en consumo de luz.

³⁸ IEA, Key World Energy Statistics

³⁹ IEA, Cool Appliances: Policy Strategies for Energy Efficient Homes

⁴⁰ Cold appliances data, ODYSSEE

- **Mayor vida útil:** los LED tienen una vida útil más larga que las iluminaciones halógenas. La vida útil de la iluminación LED puede oscilar entre las 15.000 y 50.000 horas. Es decir, desde un mínimo de dos años hasta superar los 10 años.

CUADRO 5. Estufas

En los países desarrollados, los aparatos de cocción son tecnologías maduras con una penetración de mercado muy alta.

Por su parte, en las economías en desarrollo, la energía para estufar es un uso final más importante en comparación con las economías desarrolladas: en la India, la cocción representa el 90% del consumo doméstico de energía.⁴¹

El equipamiento doméstico puede clasificarse ampliamente en hornos, parrillas, fogones y microondas. Al 2016, la tecnología más utilizada en Costa Rica es la estufa eléctrica, con una participación de mercado del 52,8%, mientras que la participación de las estufas a GLP aún resulta significativa (41,7%), lo cual evidencia la necesidad de seguir trabajando en materia de electrificación de usos finales⁴²

CUADRO 6. Calefacción y refrigeración mediante bombas de calor

Las bombas de calor no son una tecnología nueva y se han utilizado en todo el mundo durante décadas. De hecho, ejemplos de este tipo de tecnología son los aires acondicionados frío-calor. Las bombas de calor proporcionan calefacción y refrigeración de espacios en edificios que utilizan principalmente electricidad como fuente de alimentación principal. El costo de capital de las bombas de calor para la calefacción de espacios podría ser mayor que el costo del equipo de combustión tradicional en algunos casos, sin embargo, el costo de la tecnología está disminuyendo. Si bien las bombas de calor son una tecnología madura, se espera que su eficiencia aumente en 2030 en un 16-17% para la calefacción y refrigeración, y en 2050 en un 38-40%. Se esperan reducciones de costos como consecuencia de las mejoras tecnológicas, la penetración en el mercado y la sinergia con los sistemas de almacenamiento térmico. Los costos de funcionamiento de las bombas de calor son más bajos que el calentamiento del aceite y son comparables al calentamiento por gas, y con la conveniente ventaja de proporcionar también enfriamiento durante las estaciones más cálidas.

Entre las principales ventajas de las bombas de calor está el hecho de que su principio de funcionamiento les permite usar menos cantidad de energía que el calor que proporcionan, lo que les permite alcanzar fácilmente rendimientos estacionales del 200% al 300%, en comparación con un máximo del 100% alcanzable por un Caldera de gas o aceite de primera clase. Las bombas de calor modernas son adecuadas para cualquier condición climática, y esto se ve corroborado por la amplia penetración que tienen las bombas de calor en los mercados del norte y nórdicos. La energía extra recuperada por el proceso sobre la base del 100% cuenta como energía renovable, ya que no se necesita energía primaria adicional para producirla. Con la mezcla eléctrica promedio en América Latina, las bombas de calor emiten menos CO₂ que cualquier otro dispositivo de calefacción. Si las bombas de calor se adoptaran ampliamente para aplicaciones de calefacción de agua y espacios en edificios, podrían reducir las emisiones globales de CO₂ en 1.250 millones de toneladas en 2050, según la Agencia Internacional de Energía.^{43 44}

CUADRO 7. Sistemas para calentar el agua

En los países desarrollados, se han producido modestas mejoras de eficiencia en el calentamiento del agua en los últimos años. El calentamiento de agua suele ser el tercer uso final de energía doméstica más grande después de la calefacción / refrigeración de espacios y la iluminación. Esta demanda puede ser atendida

⁴¹ D. K. a. M. R. S.D. Pohekar, Dissemination of cooking energy alternatives in India - a review

⁴² Censo Nacional de Población y Vivienda 2017 - INEI

⁴³ Buildings roadmap - International Energy Agency

⁴⁴ Energy Technology Perspectives - International Energy Agency

por sistemas de calentamiento de agua dedicados o por sistemas combinados que también desempeñan un papel de calefacción de espacio primario.⁴⁵

Los sistemas dedicados pueden caracterizarse ampliamente como sistemas de almacenamiento, dispositivos instantáneos o sistemas alternativos, incluidas bombas de calor y sistemas solares. Las divisiones de combustible varían sustancialmente; la mayoría de los países dependen principalmente del gas y la electricidad, aunque el uso de petróleo y biomasa puede ser significativo.

En el sector comercial, el consumo de calefacción de agua contribuye a una menor proporción del consumo total y se concentra en tipos de edificios limitados. El equipo de calentamiento de agua comercial generalmente se amplía en comparación con el equipo doméstico, en términos de potencia y capacidad de almacenamiento o tasa de flujo, con una importante superposición entre los equipos pequeños.

Sector residencial

Según el censo publicado por INEC, en el año 2016 había 1.4 millones de hogares habitados en Costa Rica, y la proyección de población realizada por el mismo organismo espera unos 1.9 millones para 2050.

Para la construcción de los escenarios se ha considerado el traspaso de tecnologías convencionales a tecnologías eléctricas en los principales rubros de demanda energética del hogar: calefacción, ventilación y aires acondicionados (HVAC por sus siglas en inglés), estufa y otros usos (principalmente, calentamiento del agua). A su vez, se espera que la mayor eficiencia de las nuevas tecnologías lleve a un menor consumo energético por dispositivo (mayor en términos absolutos respecto del año base).

Sector comercial

En línea con últimos censos e informes publicados⁴⁶, en 2016 se registraban 60 mil comercios en Costa Rica. Si tomamos para la proyección la tasa de crecimiento del PBI⁴⁷, en 2050 la cantidad de comercios debería ascender a aproximadamente 187 mil.

De la misma manera que en el sector residencial, se espera que los nuevos locales construidos estén adaptados para la utilización de artefactos eléctricos. A su vez, se estima un traspaso gradual de tecnologías convencionales a tecnologías eléctricas a medida que estas últimas consigan mayores niveles de eficiencia.

Sector público

Se espera que, con el transcurso de los años, los edificios (tales como colegios y hospitales) de carácter público que se inauguren se encuentren adaptados para la utilización de artefactos eléctricos. A su vez, los establecimientos públicos existentes reemplazarán paulatinamente los artefactos no eléctricos por eléctricos conforme estos últimos se vuelvan más eficientes.

A modo resumen podemos enumerar las siguientes medidas para el rubro de servicios públicos:

- En lo que respecta a luminarias, el traspaso del 100% de luminarias convencionales a luminarias LED para 2050.
- Electrificación de artefactos para el calentamiento del agua.
- Electrificación de estufas en comedores públicos

⁴⁵ IEA ETSAP - Technology Brief R03

⁴⁶ Costa Rica: características económicas y financieras de las empresas comerciales (ejercicio económico 2014) - INEC

⁴⁷ Estimaciones propias en función de proyecciones realizadas por "The Economist Intelligent Unit"

Figura 24: Consumo energético final – sectores Residencial, Comercial y de Servicios Públicos
(Miles de TEPs)

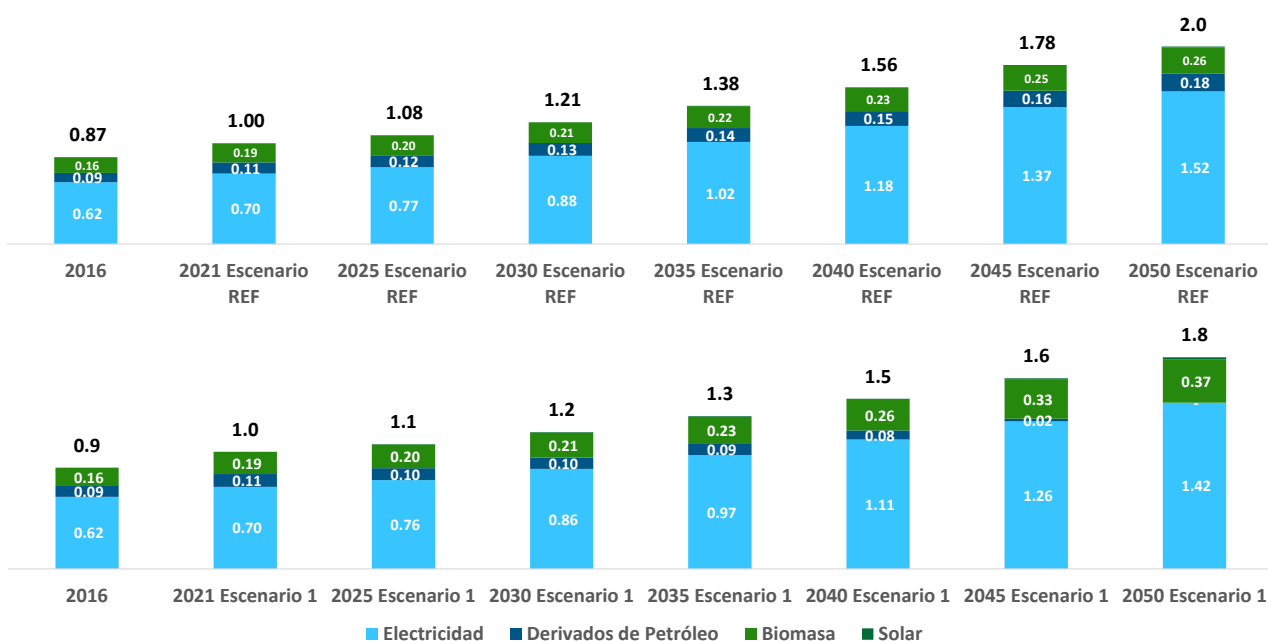
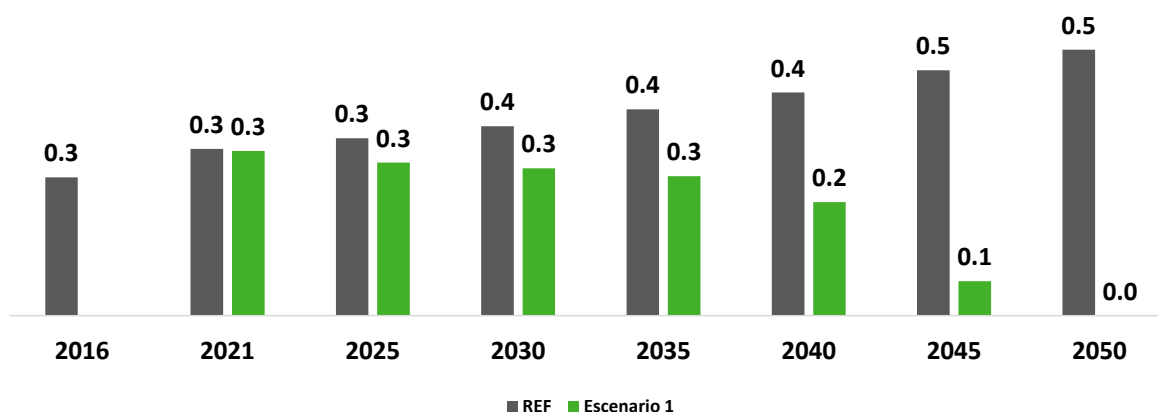


Figura 25: Emisiones directas – sectores Residencial, Comercial y de Servicios Públicos (MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte.

3.5.2. Electrificación del sector agricultura

En los próximos 10 años se espera que se produzca una migración tecnológica en la maquinaria agrícola global que provoque cambios de paradigmas productivos, comparables a lo que produjo la irrupción del tractor diésel en las décadas del 50/60 del siglo pasado.⁴⁸ Por ello, si bien en Sudamérica el desarrollo de “robots” y/o maquinarias que utilizan baterías de recarga eléctrica o solar (ya disponibles en algunos países de Europa) aún se encuentra en etapa de desarrollo y diseño de prototipos, la construcción del **Escenario 1** contempla la irrupción de este tipo de tecnologías de forma paulatina para el período 2016-2050.

En términos de eficiencia energética, se espera que la electrificación de maquinarias agrícolas genere una reducción del 100% en el consumo energético respecto del escenario de referencia a 2050.

⁴⁸ Fuente: “La maquinaria agrícola, innovaciones y tendencias al 2030” - INTA

Figura 26: Consumo energético final – sector agricultura (Millones de TEPs)

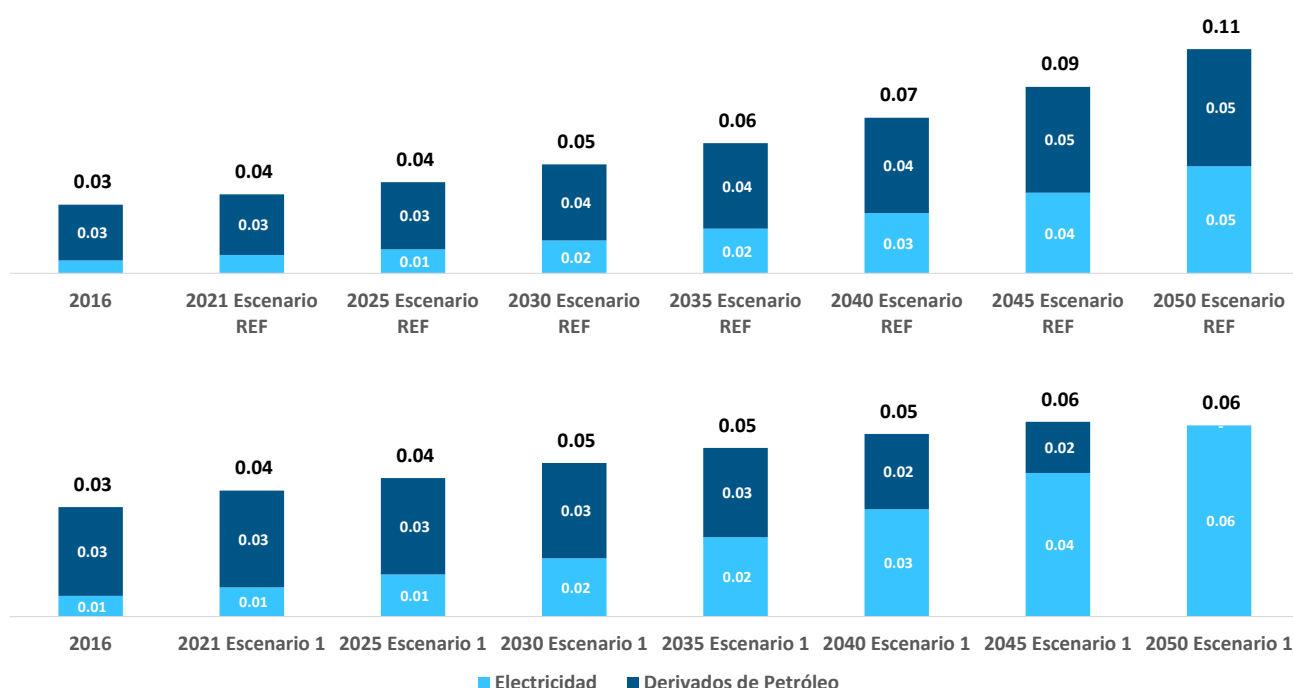
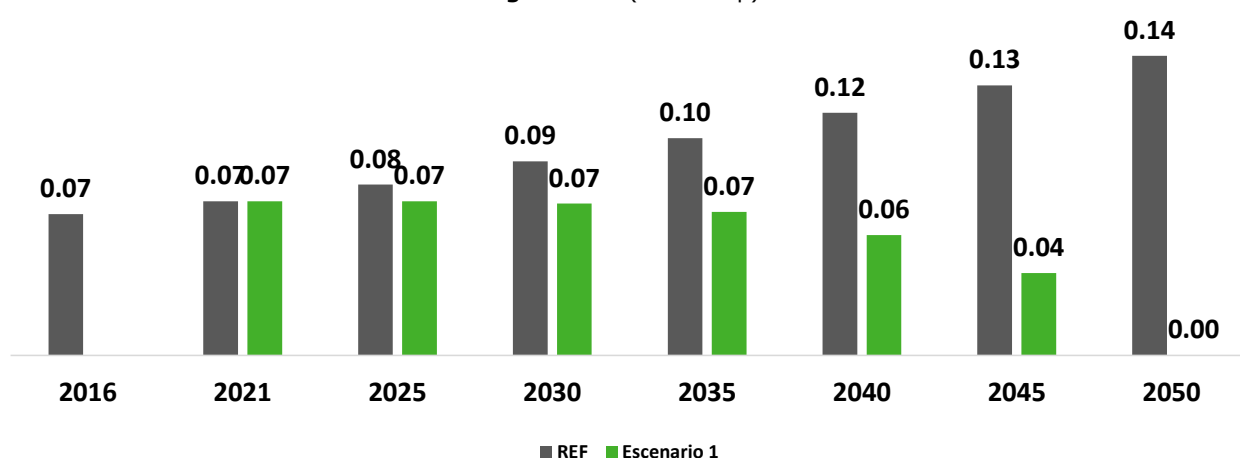


Figura 27: Emisiones directas – sector agricultura (MtCO2 eq.)



3.5.3. Sustitución de combustibles en el sector industrial

El recambio de motores y luminarias, la penetración del hidrógeno verde como vector de descarbonización y el cambio en los métodos de producción, permite importantes posibilidades de reducción de emisiones GEI para los horizontes 2030 / 2050 a partir de la sustitución de combustibles. Una mayor utilización de desechos industriales para generación eléctrica a partir de biomasa, uso de hidrógeno verde en la sustitución de procesos industriales o una mayor electrificación de los procesos con base de generación libre de emisiones, son todas alternativas de fuentes limpias de energía que la industria puede explotar y así disminuir la intensidad de las emisiones generada por su consumo energético.

La implementación de medidas que tiendan a mejorar la eficiencia energética en la industria permitiría reducir costos sustanciales a las empresas, logrando una optimización del uso de la energía y al mismo tiempo contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. El recambio tecnológico a equipos más eficientes también permitiría lograr avances significativos en materia de intensidad energética y emisiones.

Un exitoso proceso de descarbonización del sector industrial que logre estabilizar las emisiones a medida que la industrialización avanza requeriría la adaptación gradual de los procesos industriales locales a la vanguardia tecnológica a nivel mundial, sobre todo en sectores intensivos en emisiones de GEI. La reconversión tecnológica (incluye sustitución de materia prima) a los nuevos estándares internacionales que incorporan una visión ambiental, permitiría no sólo reducir la intensidad de las emisiones sino estabilizarlas en términos absolutos.

La implementación de las medidas identificadas para la industria permitiría lograr una reducción de las emisiones totales – por consumo energético y procesos - del 50% en el Escenario 1 a 2050 con respecto al escenario de referencia. Al mismo tiempo se avanzaría en una industrialización sustentable y achicaría la brecha existente en la intensidad energética de nuestro país con relación a la de los países industrializados.

Figura 28: Consumo energético final – sector industrial (Millones de TEPS)

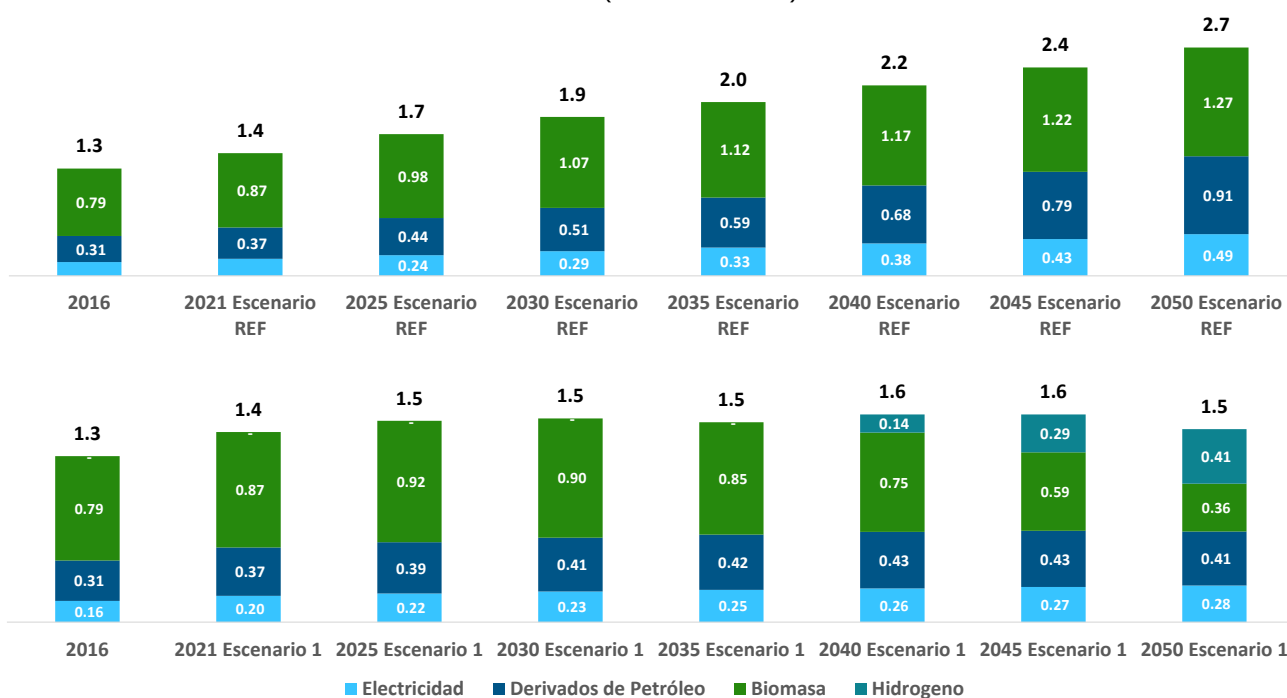
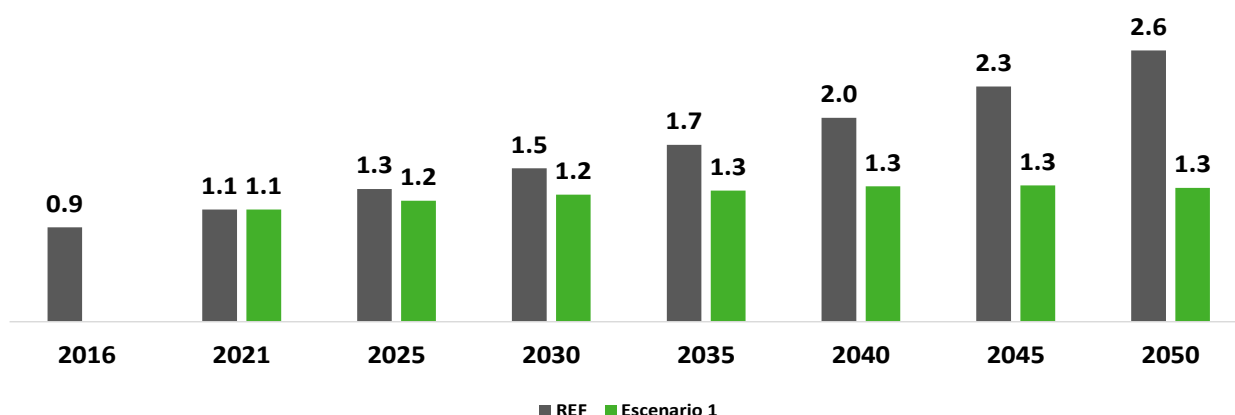


Figura 29: Emisiones directas – sector industrial (MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte

3.5.4. Sustitución de combustibles en el sector transporte

Las emisiones de GEI del sector transporte crecen, a nivel internacional, a la mayor tasa desde 1970.⁴⁹ Entre las razones se destaca el incremento de la motorización a medida que crece el PBI per cápita. Para mitigar las emisiones potenciales del sector, cuatro líneas de acción son identificadas. En

⁴⁹ Fuente: IPCC - https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf

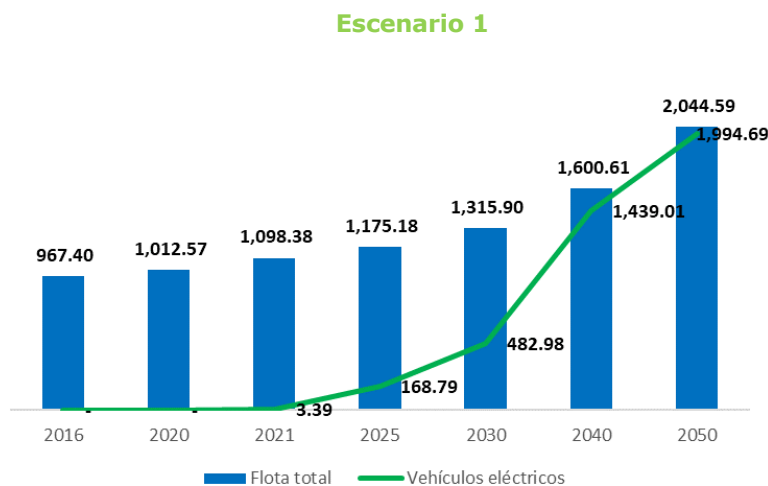
primer lugar, políticas tendientes a reducir la intensidad energética de los vehículos, y en conjunto con estas, medidas que tiendan a restringir la intensidad de carbón por combustible. Una mayor eficiencia, de todas maneras, será insuficiente, por lo que se requiere avanzar a modos de movilización libres de emisiones, como son los vehículos eléctricos y el cambio modal al tren, especialmente para el transporte de carga. Por último, existen oportunidades importantes para incrementar el uso del transporte público, o modificar conductas que promuevan el uso de la bicicleta, compartir el uso del vehículo o disminuir la necesidad de moverse, como puede ser el trabajo remoto.

El desarrollo del Vehículo Eléctrico a Batería (VEB) es la apuesta más importante para descarbonizar el sector transporte. Habiendo alcanzado ventas a nivel global de 3 millones de unidades, como IEA señala en su informe "Global EV Outlook 2022", el objetivo propuesto por varios países es alcanzar una penetración del 30% para 2030, y de 60% para 2050. El despliegue de una estrategia de alta penetración del VEB requerirá cambios sustanciales en la infraestructura necesaria para su uso.

En un escenario sin incentivos monetarios por parte del Estado, ni restricciones a la circulación de autos con motores de combustión interna, significaría una penetración muy baja del EV en los primeros años.

Para lograr una curva acelerada de adopción del VEB debería seguirse una política de promoción del vehículo eléctrico, con incentivos para adoptar la tecnología y restringir la circulación de autos a combustión interna, y en particular promover la electromovilidad en el transporte público de pasajeros, así como el uso de vehículos no motorizados. Como consecuencia, en el **Escenario 1** se logra una curva acelerada de penetración de mercado alcanzando un 37% de participación de mercado al 2030 y una participación del 98% al 2050. Un mecanismo de súper-créditos que vincule a los productores de automóviles a una determinada cuota de créditos de vehículos cero-emisiones, como los adoptados en China, California y Canadá podría resultar muy efectivo para el incremento de la movilidad sostenible. Otras posibilidades incluyen la introducción de requisitos de instalación de puntos de recarga en edificios nuevos y existentes. La tasa de penetración en las nuevas ventas del EV privado se muestra a continuación:

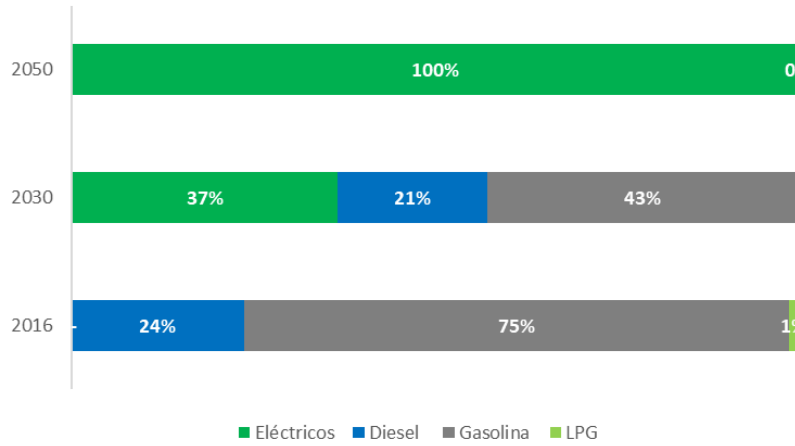
Figura 30: Electrificación de los vehículos privados (en millones)



Fuente: Análisis Deloitte

Si se analizan las tendencias en el costo nivelado de la energía y en el precio de las baterías, podríamos concluir que, en un futuro cercano, la posibilidad de introducir una nueva tecnología como el VEB en el parque automotor de Costa Rica sería económicamente factible, lo cual permitiría la reconversión de los consumidores frente a una tecnología más competitiva.

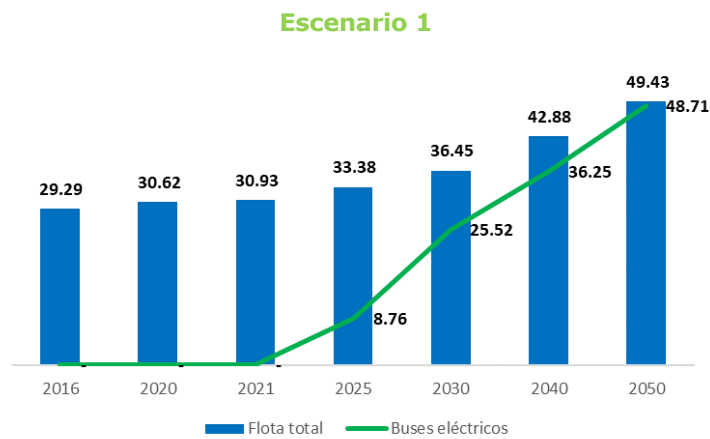
Figura 31: Vehículos privados (% pasajeros – km.)



Fuente: Análisis Deloitte

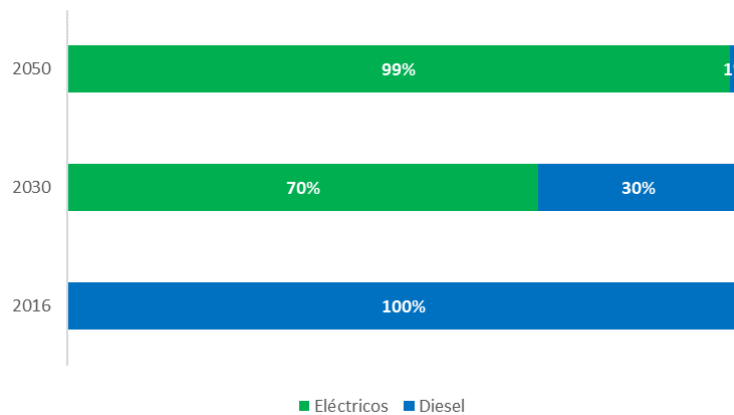
En el **Escenario 1**, la tasa de penetración de los buses eléctricos a 2030 es del 70%, mientras que a 2050 se estima una tasa de penetración para los buses eléctricos del 99%.

Figura 32: Electrificación de los buses (en miles)



Fuente: Análisis Deloitte

Figura 33: Buses (% Passenger – Km.)

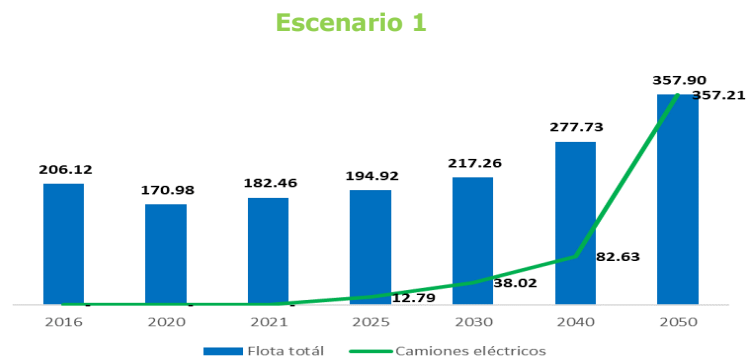


Fuente: Análisis Deloitte

En lo que respecta al transporte de cargas, las medidas apuntan a promover la participación de los camiones eléctricos para el transporte de carga liviana y reducir el uso del diésel como combustible, por su parte, para el transporte de carga pesada, se incluye el uso del hidrógeno verde como vector de descarbonización. De esta manera, se alcanza una tasa de penetración de los camiones eléctricos a 2050 del 100%.

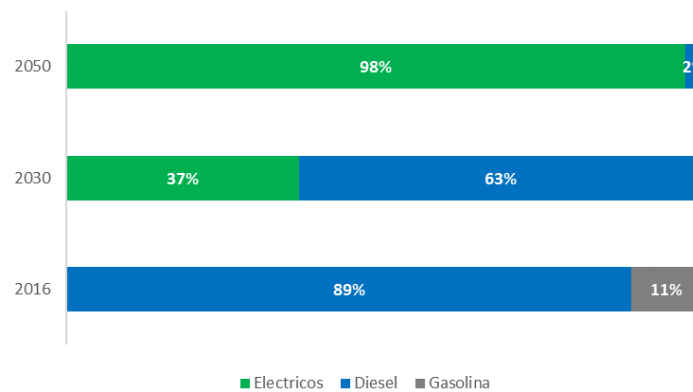
Mediante la electrificación de los vehículos de carga y la adopción de nuevas normas con los mayores estándares de emisiones de CO₂, Costa Rica obtendrá un impacto sustancial en las emisiones de GEI y una reducción significativa en la flota a combustible.

Figura 34: Electrificación de los camiones (en miles)



Fuente: Análisis Deloitte

Figura 35: Transporte de carga (% Passenger - Km.)



Fuente: Análisis Deloitte

Para el sector de transporte de pasajeros y de carga (tanto naval como aéreo), las medidas de mitigación están enfocadas a la eficientización de tecnologías existentes con el fin de lograr una reducción en el consumo de combustibles fósiles.

En suma, todas estas medidas nos permiten reducir la demanda energética en un 52% en el **Escenario 1** para el año 2050 con respecto al escenario de referencia.

Con respecto a las emisiones de gases, se espera una reducción directa de 5.2 MtCO₂eq. en el **Escenario 1** con respecto a los valores proyectados en el escenario de referencia a 2050.

Figura 36: Consumo energético final – sector transporte (Millones de TEPs)

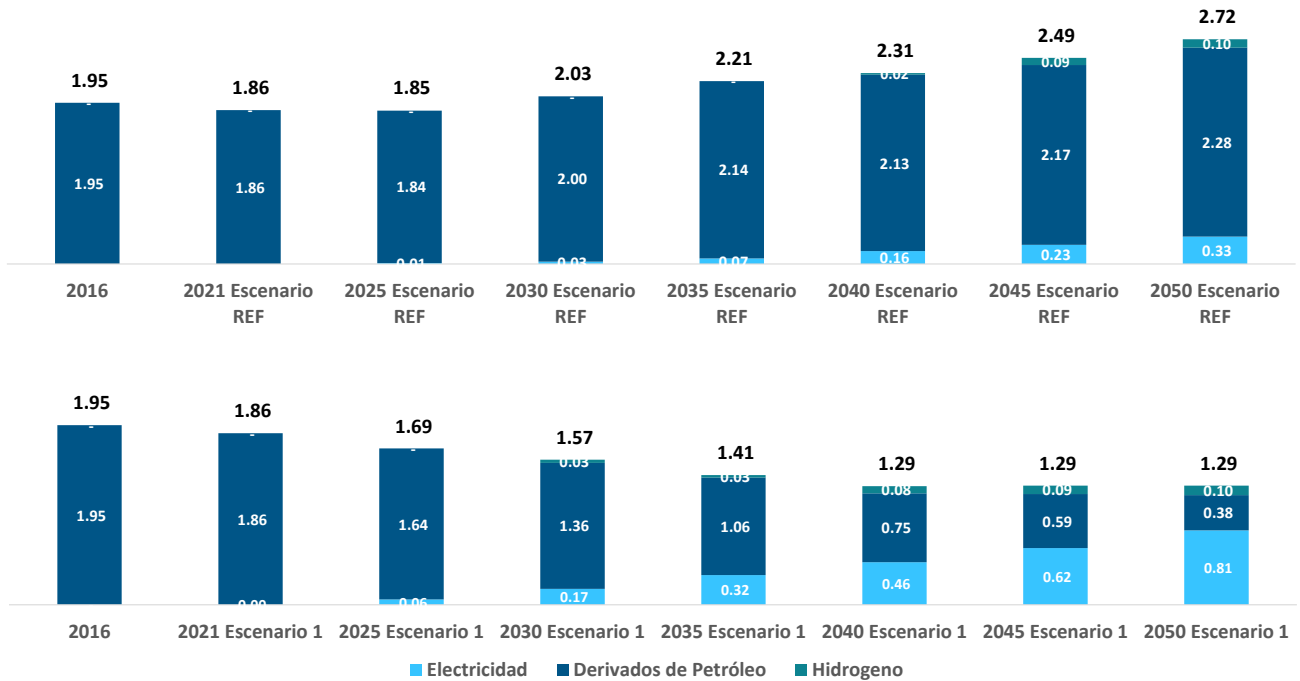
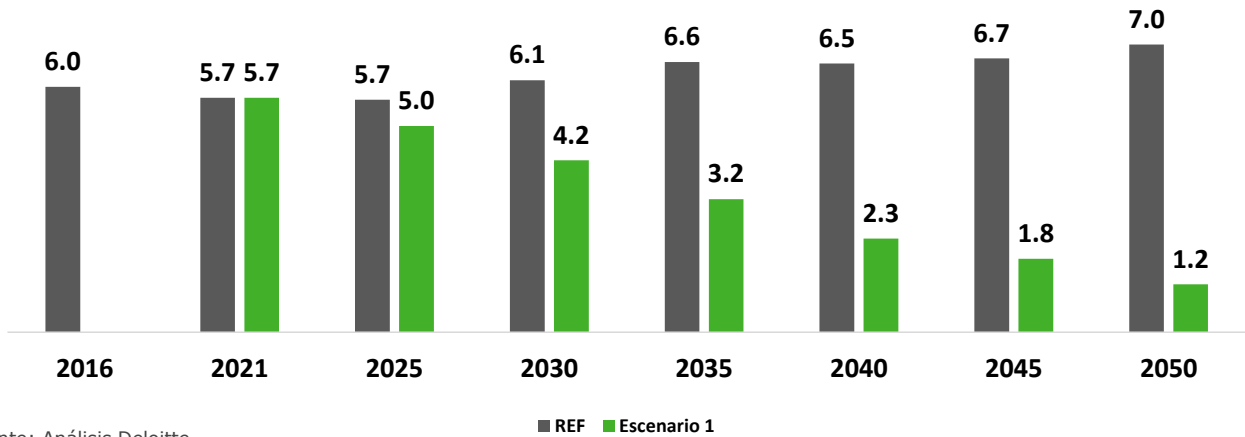


Figura 37: Emisiones directas – sector Transporte (MtCO₂ eq.)



Fuente: Análisis Deloitte

3.6. El rol del hidrógeno verde en la descarbonización de Costa Rica

Introducción del hidrógeno verde como fuente de energía limpia

El Hidrógeno verde es la mayor reserva de combustible no contaminante del mundo. Este gas se puede generar a partir de fuentes renovables, almacenarse y ser utilizado, a través de pilas de combustible, para generar electricidad sin contaminar.

El hidrógeno verde permite una verdadera integración de las energías renovables en todos los sectores: energía eléctrica, transporte, gas, industrias pesadas estratégicas como minería, fertilizantes verdes, refinerías, entre otros; y una descarbonización de **sectores donde no es viable la electrificación.**

En el caso de Costa Rica, donde ya se lleva años trabajando en la transformación de la matriz energética mediante el uso de fuentes de energía renovable, la introducción del hidrógeno verde se encuentra sujeta principalmente a un abaratamiento en los costos asociados al proceso de generación (electrólisis del agua).

En este sentido, **se espera que el hidrógeno verde alcance paridad económica en 2030**: el costo nivelado estimado para el hidrógeno azul es de 1,4 a 1,8 USD/kg mientras que, para el hidrógeno verde, este valor podría estar entre los 1,5 USD/kg para los proyectos off-grid del orden de 1 GW de potencia eólica y de entre 1,6 y 2,7 USD/kg para proyectos on-grid de hasta un orden de 100 MW. Esto facilitaría la adopción de tecnologías de hidrógeno y su masificación, sobre todo para la industria y la movilidad.

Contexto local

Desde comienzos de la segunda década del siglo XXI se han hecho esfuerzos importantes en el desarrollo de la industria del hidrógeno en Costa Rica. En 2013 se inauguró en la ciudad de Liberia, Guanacaste, la primera planta piloto de generación y dispensado de hidrógeno verde en la región centroamericana. Este proyecto demostró la viabilidad técnica de generar hidrógeno por electrólisis y almacenarlo a altas presiones. Se aprendió sobre los procesos de diseño, integración y operación de la planta con la normativa de seguridad adecuada. Actualmente, el hidrógeno es utilizado en varios vehículos particulares y un bus de celdas de combustible (FCEVs).

En 2018, la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE), que forma parte del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), conformó la **Comisión de Hidrógeno**, integrada por instituciones del Gobierno, representantes del sector energético y el Comité Técnico Nacional de Hidrógeno, que tiene a su cargo la tropicalización de las normas y estándares internacionales requeridos para el diseño y operación de sistemas para la producción, almacenamiento, transporte y uso de hidrógeno. Adicionalmente, se han creado asociaciones de similar naturaleza, lo cual refleja el interés y compromiso de actores de diferentes los sectores económicos. La Asociación Costarricense del Hidrógeno y la Alianza por el Hidrógeno están compuestas tanto por actores públicos como privados, y tienen como objetivo propiciar el desarrollo de las tecnologías y del mercado del hidrógeno verde.

En 2021, se elaboró un estudio de mercado para conocer el potencial de producción de hidrógeno verde del país, así como su demanda tanto a nivel nacional como internacional. El documento abordó el potencial impacto macroeconómico del desarrollo de esta industria en Costa Rica. Los principales resultados indicaron que a 2050:

- Costa Rica demandaría cerca de 611 kton de hidrógeno verde al año, con más del 90% dirigida al sector transporte.
- Podría instalarse una producción de 5.927 kton de hidrógeno verde al año.
- Se generarían entre 180 mil y 220 mil empleos directos e indirectos.
- El mercado del hidrógeno verde podría llegar a contribuirle a la economía un total de US\$ 484 millones, alrededor del 0,3% del PBI proyectado a 2050.
- Se podría llegar a reducir la emisión de 861 kton de CO₂eq al año.

Con base en las oportunidades para Costa Rica que muestran este y otros estudios, el MINAE anunció a finales de 2021 que liderará el proceso de **construcción de la Estrategia Nacional de Hidrógeno**, la cual fue presentada en noviembre de 2022.

El rol que asume el hidrógeno verde como vector de descarbonización en la presente Hoja de Ruta de Transición Energética para Costa Rica a 2050 (resultados de nuestro estudio)

Una de las principales novedades que trae el presente estudio es la profundización que se le ha dado al análisis del hidrógeno verde como vector de descarbonización. En este sentido, hemos incorporado este insumo como una realidad que se materializa con mayor fuerza en el **Escenario 1**, dado que las actuales tendencias de mercado empiezan a mirar con mayor optimismo la factibilidad para el desarrollo de esta fuente de energía.

Considerando las proyecciones de costos de este insumo y las restricciones propias del modelo que resultan de un nivel de ambición compatible con el logro del objetivo de optimizar los resultados de reducciones a 2050, **el hidrógeno verde se presenta como una solución costo-eficiente para aquellos sectores**

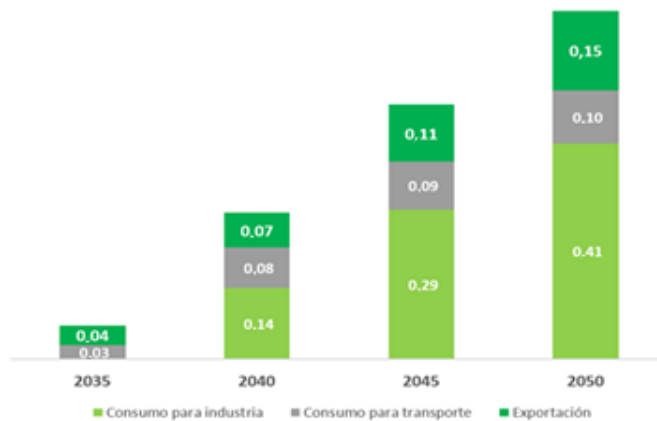
denominados difíciles de descarbonizar (principalmente, los referidos a industria y transporte de carga pesada).

De esta manera, el modelo nos arroja como resultado para el **Escenario 1**, una producción total a 2050 de 0.67 millones de TEP.

En cuanto a la utilización del hidrógeno verde como vector de descarbonización, el mismo se emplea en el sector industrial (0.41 millones de TEP a 2050) y el sector de transporte de carga pesada (0.10 millones de TEP a 2050).

Además, el modelo contempla el potencial de Costa Rica para ser un **país exportador de hidrógeno verde**. Según el **Escenario 1**, 0.15 millones de TEP a 2050 serán destinados a la exportación.

Figura 38: Consumo interno + Exportaciones de Hidrógeno verde



Fuente: Análisis Deloitte

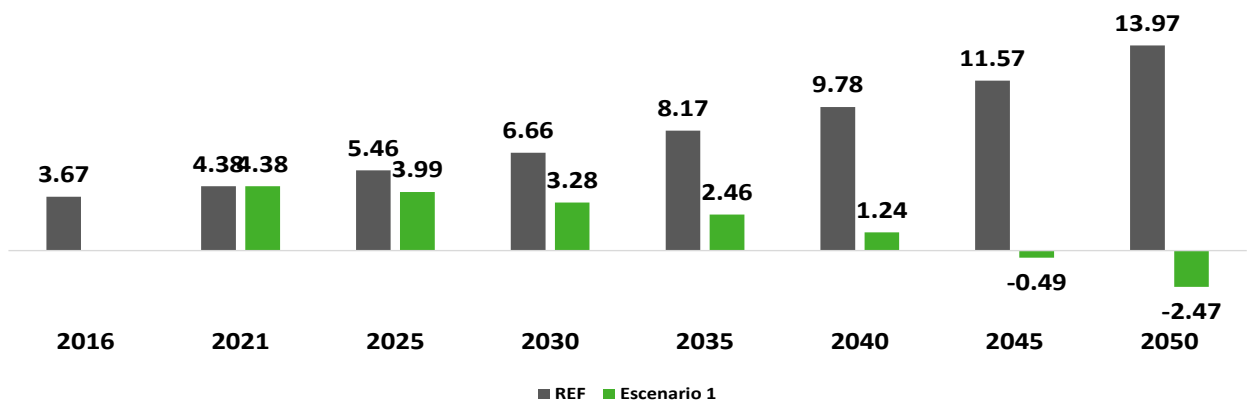
3.7. Incentivo a modelos de producción sustentable – sector no energético

El sector “no energético” comprende las siguientes ramas:

- Ganadería, silvicultura y otros usos de los suelos
- Tratamiento de residuos
- Emisiones fugitivas y de procesos industriales

Dada la relevancia del sector no energético para constituir sumideros de carbono que permitan alcanzar la carbono neutralidad a 2050, se proponen fuertes medidas de mitigación. Mientras que, en el escenario tendencial, se espera un incremento en el nivel de emisiones hacia 2050 (alcanzando un total de 14 MtCO₂eq.), en el **Escenario 1**, las medidas disruptivas llegan incluso a lograr un potencial de captura de 2.5 MtCO₂eq., compensando de esta manera las emisiones remanentes del sector energético.

Figura 39: Emisiones – sector no energético (MtCO₂ eq.)



Fuente: análisis Deloitte.

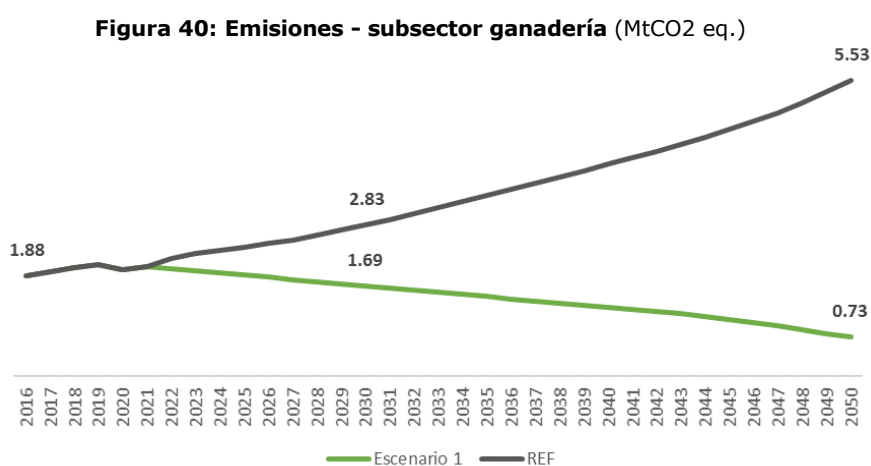
3.7.1. Sector AFOLU

Ganadería

En el año 2016, el sector ganadero fue responsable de la emisión de 1.88 MtCO₂eq. Si estos niveles continuaran con la misma tendencia creciente, proyectando hacia 2030 y 2050, los niveles de emisiones se hallarían en torno a los 2.83 y 5.53 MtCO₂eq. respectivamente.

Con respecto a las emisiones ligadas a la actividad ganadera, los esfuerzos en distintas palancas a través de diversas medidas en lo que respecta al manejo del ganado, ayudan a lograr resultados más favorables que los reflejados en el escenario tendencial. De esta manera, el **Escenario 1** muestra reducciones por el 40% y el 87% en 2030 y 2050 respectivamente, con respecto a los niveles del escenario de referencia.

Estas reducciones se logran, como se remarcó anteriormente, mediante la implementación de medidas de mitigación de carácter sistémico, ambiciosas y estratégicas, que abarcan al subsector entero. La promoción de buenas prácticas y la mejora de procesos mediante el desarrollo de planes y programas públicos de extensionismo rural es fundamental para lograr estas metas.



Fuente: Análisis Deloitte

Usos de los suelos

El sector Uso de Suelos, Cambio de Uso de Suelos y Silvicultura (USCUSS) generaba una remoción total de 1.70 MtCO₂eq. en 2016.

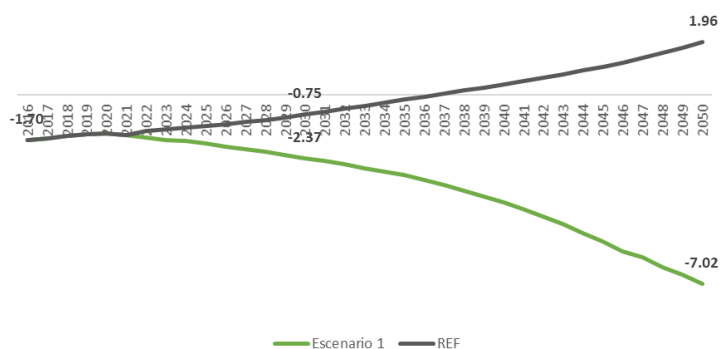
Por su parte, en el **Escenario 1** se propone medidas en torno a la forestación, mejora en pastizales y el mejor uso de tierra para cultivo que buscan incrementar el nivel de captura, contribuyendo a la descarbonización con un potencial de captura total de 7.02 MtCO₂eq. en 2050 y logrando absorber las emisiones remanentes de los demás sectores.

La reducción de la deforestación y la promoción del aumento de la superficie de las plantaciones forestales es fundamental para que lograr las metas.

A continuación, se muestran las medidas a implementar en el sector con el objetivo de alcanzar la carbono-neutralidad de Costa Rica mediante la reducción y absorción de las emisiones de GEI:

- **Manejo de cultivos:** restauración de tierras destinadas a la actividad agrícola.
- **Manejo forestal sostenible:** mecanismos de conservación de bosques en comunidades nativas, asignación de derechos de tierras no categorizadas y mayor intensidad en el **Escenario 1** mediante el desarrollo de programas de reforestación y agroforestería.
- **Mejora en el manejo de pastizales.**

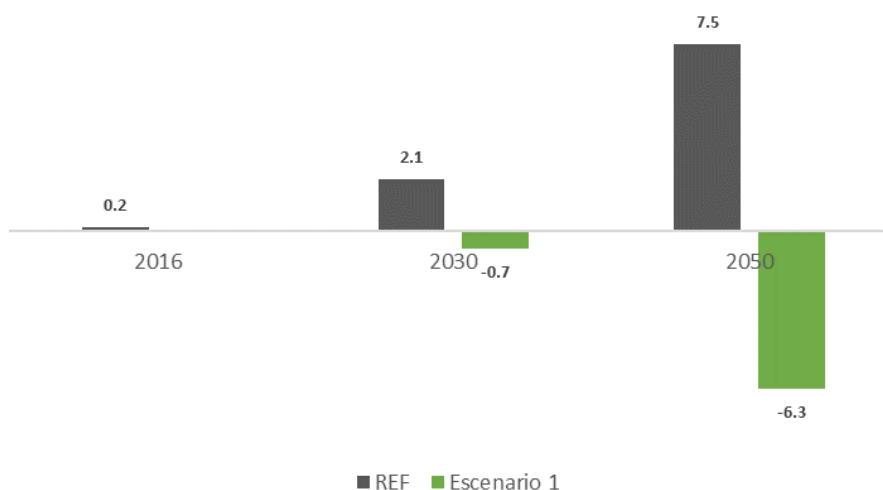
Figura 41: Emisiones - subsector otros usos de los suelos (MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte

La ganadería y el uso de suelos, en conjunto con otras actividades relacionadas a la agricultura, componen la totalidad del sector que denominamos AFOLU, que reportó un nivel neto de emisiones por 0.2 MtCO2eq. en 2016. El **Escenario 1** propone reducciones en las emisiones relacionadas al sector ganadero y un incremento acelerado del potencial de captura de carbono, principalmente mediante medidas de impacto forestal, alcanzando un potencial neto de captura de carbono de 6.3 MtCO2eq.

Figura 42: Emisiones - AFOLU (MtCO2 eq.)



Fuente: Análisis Deloitte

3.7.2. Residuos Sólidos

Las emisiones de GEI del sector residuos ascendieron en 2016 a 2.1 MtCO2eq. (representando un 19% del total de emisiones de ese año), compuesto casi en su totalidad de emisiones de metano. La principal fuente de emisión es la subcategoría "Eliminación de desechos sólidos" representando el 56% de las emisiones del sector, seguido de la subcategoría "Tratamiento y eliminación de aguas residuales" con el 39% y el 5% restante proveniente de "Incineración e incineración abierta de residuos".⁵⁰

Las medidas de mitigación consideradas en el Escenario 1 podrían reducir las emisiones del sector en un 76% para el 2050 con respecto al escenario de referencia. Las mismas se centran en lo siguiente:

- Recuperación y valorización material y energética de los residuos a través de reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento. Disposición final de los residuos en la infraestructura respectiva a través de la implementación de tecnologías que permitan la reducción de GEI.
 - Construcción de rellenos sanitarios con tecnología semiareobia y con captura y quema centralizada de biogás.

⁵⁰ "Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Ministerio del Ambiente, Costa Rica

- Segregación de residuos sólidos orgánicos para su valorización material en plantas de compostaje.
- Aprovechamiento del biogás generado en rellenos sanitarios para su valorización energética.
- Aumento de la cobertura actual de los servicios de saneamiento, considerando tecnologías que permitan la reducción de emisiones de GEI en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tales como otros sistemas de coberturas, sistemas de instalación de geomembranas tuberías de recolección de gas, digestores para el tratamiento de lodos, quemadores u otras tecnologías.
 - Mejorar el tratamiento de aguas residuales y control de presiones en los servicios de agua potable.
 - Construcción de nuevas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para el cierre de brechas del sector de saneamiento.
 - Cobertura de lagunas anaerobias y quema de metano, e instalación de digestores anaerobios de lodos de PTAR para la captura y quema de metano.
 - Aprovechamiento de aguas residuales tratadas y biosólidos

3.7.3. Emisiones fugitivas y de procesos industriales

Las emisiones fugitivas y de procesos industriales ascendieron en 2016 a 1.41 MtCO₂eq. Es importante mencionar que, en caso de no aplicarse ningún tipo de medida de mitigación, el total de emisiones a 2050 ascenderían a 4.05 MtCO₂eq.

Dentro de las principales medidas de mitigación se consideran las siguientes:

- Sustitución de clinker para disminuir la relación clinker/cemento produciendo cementos adicionados.
- Actualización o modificación de los equipos existentes.
- Cambios en prácticas operativas, incluyendo inspección directa y mantenimiento.
- Instalación de nuevo equipamiento.

En el **Escenario 1** la implementación de las medidas antes descritas, logran una reducción en el nivel de emisiones del 51% a 2050 con respecto a los valores alcanzados en el escenario tendencial. De esta manera, en este escenario de carbono neutralidad, las emisiones del sector ascienden a 1.89 MtCO₂eq. a 2030 y 1.98 MtCO₂eq. a 2050.

3.8. Análisis de inversiones y costos en el sistema

Inversiones necesarias durante el periodo 2016-2050

Los cambios planteados en los escenarios requerirán de inversiones incrementales con relación al escenario de referencia, que a valor presente alcanzan USD 4.8 MM⁵¹. Las inversiones abarcan todos los sectores económicos, especialmente la transformación de la matriz eléctrica y las políticas de mitigación ligadas al desarrollo de la industria, que resultan ser los más significativos en cuanto a erogaciones requeridas.

La literatura reciente producida desde distintas organizaciones para la lucha contra el cambio climático, observa en la fijación de precios del carbono, o en los llamados esquemas *Carbon Pricing* que penalizan las emisiones, una poderosa palanca política para apoyar la descarbonización y financiar las inversiones necesarias en la transición, al tiempo que estimulan la competitividad, la creación de empleos y la innovación.⁵² En la

⁵¹ Todos los valores se encuentran descontados a 2016, a la tasa utilizada por los organismos internacionales para países emergentes del 10%.

⁵² Fuente: Coalición de Liderazgo para la Fijación del Precio del Carbono (CPLC, por sus siglas en inglés), una alianza mundial puesta en marcha durante las negociaciones sobre el clima en París, con el objetivo de reunir el apoyo público y privado para la fijación del precio del carbono en todo el mundo.

actualidad, alrededor de 40 gobiernos nacionales y 23 Gobiernos subnacionales han implementado mecanismos de fijación del precio del carbono, con lo que se cubre el 12 % de las emisiones mundiales⁵³.

De las inversiones totales del **Escenario 1**, una parte se logra financiar mediante *Carbon Pricing*. A valores de 2016, hemos estimado que este mecanismo permitiría obtener un fondeo por un total de USD 1.8 MM, lo que equivale a decir que el **37% del total de inversión podrá ser financiado por carbon pricing**. De esta manera, las inversiones netas serían de USD 3 MM.

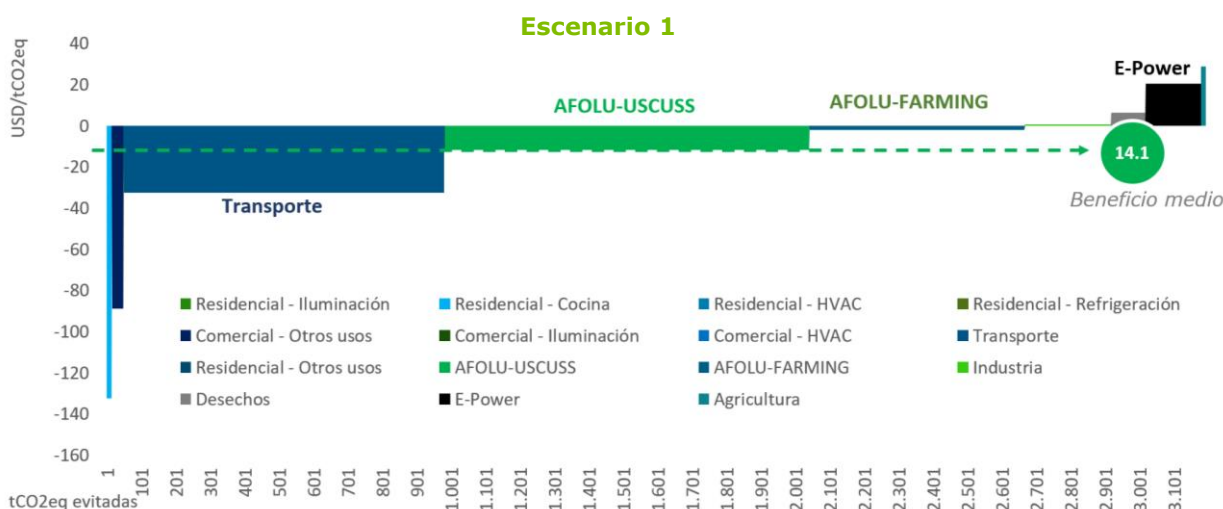
Figura 43: CAPEX total (miles de millones de USD)⁽¹⁾



Fuente: Análisis Deloitte

Cuando realizamos un análisis del costo-beneficio por medida de mitigación incluyendo, por un lado, el costo de implementación de los paquetes de medidas y, por otro, los beneficios generados por ahorros en costos operativos (derivados de un menor consumo energético) y los generados en concepto de costo social de carbono⁵⁴, arribamos que **el beneficio medio por tonelada de CO₂eq. es de USD 14.1**.

Figura 44: Curva de Costo – Beneficio (en signo negativo) Medio por Medida/Sector (USD/tCO₂eq y en millones de tCO₂eq) ⁽¹⁾



3.9 Beneficios de la descarbonización

Las inversiones incrementales necesarias para alcanzar el escenario de carbono neutralidad son más que compensadas por los ahorros logrados por la descarbonización. En el **Escenario 1**, el beneficio neto total para la economía en el período 2016 - 2050 es de USD 1.7 MM de dólares a 2016. Esto se

⁵³ Fuente: CPLC, Año 2016 (<https://www.cdp.net/CDPResults/carbon-pricing-in-the-corporate-world.pdf>)

⁵⁴ Por costo social de carbono se entiende al valor económico por la tonelada CO₂eq. adicional de emisiones evitada.

debe por un lado a los ahorros por la mayor eficiencia energética, y por otro, por el beneficio generado en términos de costos sociales de carbono evitados.

Como resultado podemos concluir que el esfuerzo requerido para alcanzar el objetivo de carbono neutralidad a 2050 permite a su vez alcanzar beneficios totales netos en términos económicos.

Figura 45: Valor presente neto (miles de millones de USD)

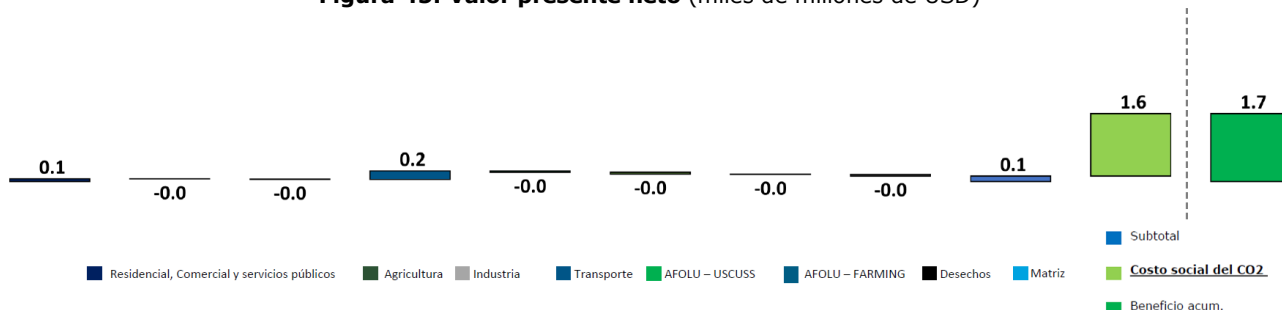


Figura 46: tCO₂eq. evitadas



- (1) Los valores positivos indican beneficios netos y los negativos costos netos resultantes de las medidas por sector, a valor presente neto descontado a una tasa del 10%.
- (2) No considera el uso de redes inteligentes que permitan reducir el pico de demanda.
- (3) Por costo social de carbono se entiende al valor económico por la tonelada CO₂eq. adicional de emisiones evitada. Calculado a USD 44 la tCO₂eq.

Fuente: Análisis Deloitte

El camino hacia una transición justa

En el Acuerdo de París se reconoce la necesidad de que la transición sea rápida y equitativa para los trabajadores y para la comunidad. La transición aumentará la prosperidad y puede ser un motor clave en la creación de empleo. Implica tanto al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°8 de la ONU que busca promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo el trabajo decente para todos, como al ODS N°13 centrado en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Alcanzar el Objetivo N°8 implica la creación de +600 millones de nuevos empleos para 2030, siguiendo el ritmo de crecimiento de la población mundial en edad de trabajar. El cambio climático incontrolado podría revertir los logros en prosperidad económica, progreso social y reducción de la pobreza.

La reducción de emisiones de GEI implica cambios dentro y entre sectores económicos, así como cambios entre las diferentes regiones a nivel global. Una transición mundial hacia una economía sostenible y con bajas emisiones de carbono tiene efectos positivos y negativos en el empleo. A nivel general, en las industrias y servicios descarbonizadas la producción y el empleo crecerán, mientras que los sectores intensivos en energía y recursos probablemente se estancarán o contraerán. Esto resultará en:

- **Creación de empleos** dada por la expansión de productos, servicios e infraestructura de bajo consumo de carbono
- **Sustitución de empleos** como resultado de cambios en la economía en cuanto a eficientización, menor contaminación en procesos de producción y descarbonización.
- **Eliminación de empleos** cuando las actividades económicas contaminantes y de uso intensivo de energía y materiales se reducen o se eliminan por completo.
- **Transformación y redefinición de empleos** cuando se respeten las prácticas laborales cotidianas, los conjuntos de habilidades, los métodos de trabajo y los perfiles laborales.

Otra dimensión que es importante tener en cuenta junto con el cambio en el número de puestos de trabajo es la calidad del empleo. Los empleos creados en la transición deben ser “decentes”, es decir que deben

proporcionar ingresos adecuados y protección social, condiciones de trabajo seguras, respeto de los derechos en el trabajo y diálogo social. Además, los derechos de los trabajadores deben garantizar que tanto hombres como mujeres tengan igualdad de oportunidades, estén protegidos contra la discriminación, y tengan acceso a la política de licencias de maternidad y paternidad.

La escala y el alcance de estos cambios dependen de la velocidad y amplitud de los cambios tecnológicos y de mercado en la transformación verde. Tales impactos deben ser suavizados a través de la creación de políticas de transición justa para trabajadores afectados y su comunidad⁵⁵.

En América Latina la descarbonización puede generar 15 millones de puestos de trabajo netos en la región para 2030: resultado de 22,5 millones de puestos de trabajo creados y 7,5 millones de empleos eliminados⁵⁶.

La transición energética de Costa Rica generará 293,198 puestos de trabajo netos (tanto dentro, como fuera del país, dependiendo de la naturaleza de cada sector), provenientes de la creación de 437,609 nuevos puestos de trabajo para el 2050 de los cuales 305,889 pertenecerán al sector de la construcción, 65,598 al de minería de cobre (impacto generado fuera de Costa Rica), otros 43,783 estarán relacionados a las energías renovables y los 22,339 restantes pertenecerán a la manufactura de insumos eléctricos (pudiendo los mismos tener impacto en mano de obra nacional, en caso de desarrollar la industria en Costa Rica). Por otro lado, 144,411 puestos de trabajo, relacionados especialmente a la cadena de valor ligada al petróleo y combustibles fósiles (124,193 puestos afectados, principalmente fuera del país por la naturaleza propia de la cadena de valor) y a la minería y generación de electricidad por carbón (20,218), se verán amenazados⁵⁷.

En el camino hacia una transición justa se deben identificar las mejores prácticas impuestas a nivel global. Se debe abordar el problema de la competitividad internacional a través de los precios del carbono y los ajustes fiscales en la frontera.

Tres recomendaciones que llevan a una transición energética justa para todos⁵⁸:

1. **Apoyar la intromisión de tecnologías eléctricas** a través de Bonos de Inversión de Transición Energética, Clústeres Energéticos Nacionales sobre tecnologías de electrificación, Esquemas financieros innovadores para tecnologías maduras y Concientización.
2. **Gestionar el empleo y las oportunidades** a través de medidas sociales para los trabajadores (ej.: jubilación anticipada), nuevos programas educativos (ej.: economía circular) y el desarrollo e implementación de programas de capacitación.
3. **Promover una redistribución justa de los costos de transición**, revisando los componentes de costos dentro de la factura de electricidad y/o eliminando impuestos/gravámenes indebidos de la factura de electricidad.

Una transición justa hace hincapié en un enfoque participativo de la sostenibilidad ambiental y social. El diálogo social que da voz a las preocupaciones y necesidades de trabajadores, empleadores y comunidades, afectados por la transición hacia cero emisiones netas, ayuda a crear confianza y forja el consenso.

Impacto en el PBI de las medidas de mitigación

La combinación de reformas económicas con políticas ambiciosas sobre el clima puede estimular el crecimiento económico al tiempo que moviliza la inversión necesaria para lograr objetivos climáticos a largo plazo. **Los resultados sugieren que una "transición decisiva" colectiva puede propiciar un crecimiento económico de hasta un 3% si se considera el impacto de los daños climáticos evitados.**

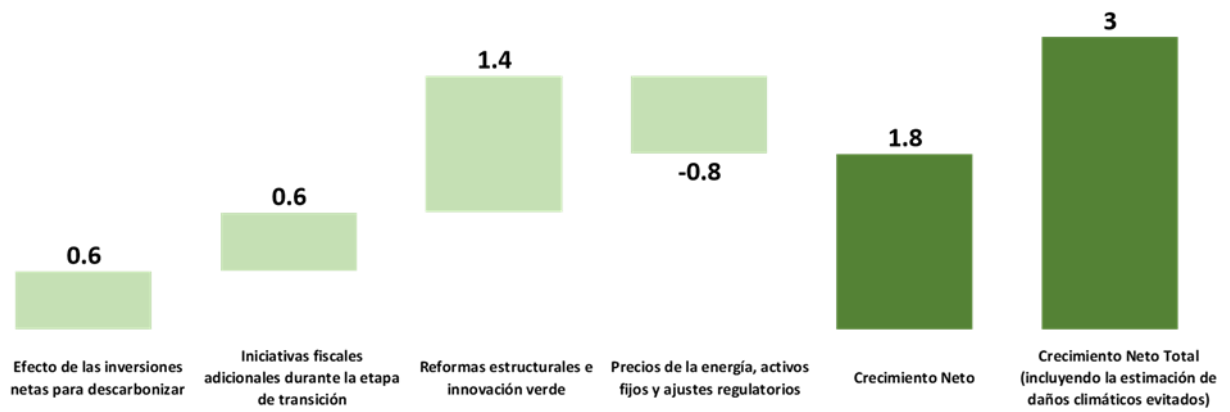
⁵⁵ "Just Transition of the Workforce, and the Creation of Decent Work and Quality Jobs", Technical Paper, United Nations.

⁵⁶ "El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe", Organización Internacional del Trabajo

⁵⁷ Análisis Deloitte en base a lo publicado por la Organización Internacional del Trabajo en su artículo "El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe"

⁵⁸ Análisis Deloitte en base "Just E-volution 2030" Study; Enel, Enel Foundation, The European House – Ambrosetti, 2019

Figura 46: Efectos positivos sobre el PBI en Costa Rica a 2050 (diferencia vs. BAU)



Fuente: Análisis Deloitte en base a Organización Internacional del Trabajo - "El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe", OECD "Investing in Climate, Investing in Growth" y "Just E-volution 2030" Study; Enel, Enel Foundation, The European House - Ambrosetti, 2019

Conclusiones



4. Conclusiones

El NDC de Costa Rica, estimula la reducción de GEI por parte del sector público y privado, además de brindar flexibilidad e incentivos para promover la transición hacia una economía baja en carbono. Se requiere de apoyo financiero para encaminar al país a un desarrollo resiliente al cambio climático y bajo en emisiones.

Energía

En relación con la contribución en términos de emisión de GEI, para el 2050, en el **Escenario 1**, Costa Rica logra reducir sus emisiones del sector energético en un 76% con respecto a las registradas en el escenario de referencia, principalmente, al lograr un mayor nivel de electrificación de usos finales (56% del consumo energético total) y por el rol que asume el hidrógeno verde como vector de descarbonización en los denominados segmentos "difíciles de descarbonizar" (representando a 2050 un 11% del consumo energético final)

Según los resultados del modelo TIMES, para el 2050 Costa Rica reducirá sus emisiones en 76% y al menos 29% para 2030 en comparación con el escenario de referencia

Sector No Energético

En relación con la contribución en términos de emisiones GEI, se llevará a cabo la restauración forestal de 49,764 hectáreas, contribuyendo con aproximadamente 7.2 MtCO₂eq. absorbido en 2050 en comparación al nivel de emisiones previstos para el escenario de referencia.

En cuanto al conjunto de medidas del sector USCUS, se producirá un incremento en la capacidad de absorción de carbono en un 8.98 MtCO₂eq. con respecto al Escenario de Referencia al 2050.

Cuando a este potencial de captura se le incorporan las emisiones del sector ganadero, de la generación de residuos y de los procesos industriales (no energéticos), llegamos a que el sector en su conjunto tiene un potencial de absorción de 2.47 MtCO₂eq., permitiéndole a Costa Rica compensar las emisiones del sector energético, alcanzando de esta manera la carbono neutralidad a 2050.

Resultados de la transición energética

Alcanzar la carbono neutralidad a 2050 le permitirá a Costa Rica alcanzar un beneficio total de USD 1.7 mil millones a valor presente, especialmente por los costos evitados de cada tonelada de CO₂eq. que se hubiese emitido.

Asimismo, esta transición representa una oportunidad para el mercado laboral, ya que permite generar de manera neta más de 290,000 puestos de trabajo a 2050, logrando a su vez un mayor grado de inclusión laboral para el segmento femenino en la industria ligada al desarrollo de las energías renovables.

Por último, ofrece al país la capacidad de crecer un 3% adicional en términos de generación del PBI, cuando se consideran las inversiones que se requerirán para materializar esta transición y los daños climáticos evitados.

Comparativa con las NDC nacionales

Las NDC de Costa Rica, estimula la reducción de GEI por parte del sector público y privado, además de brindar flexibilidad e incentivos para promover la transición hacia una economía baja en carbono. Para lograr este

objetivo, se requerirá de apoyo financiero para encaminar al país a un desarrollo resiliente al cambio climático y bajo en emisiones.

A través de sus NDC, Costa Rica se compromete a un máximo absoluto de emisiones netas en el 2030 de 9.11 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) incluyendo todas las emisiones y todos los sectores cubiertos por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondiente. En tal sentido, el resultado del presente estudio valida esta meta de mediano plazo al lograr reducir el nivel de emisiones a 9 MtCO₂eq. a 2030 mediante la aplicación de las diferentes medidas de mitigación para cada sector (energético y no energético) conforme lo expuesto en los capítulos anteriores.

Por su parte, a 2050 el **Escenario 1** nos confirma que es posible alcanzar la carbono neutralidad, resultado de los esfuerzos adicionales en implementación de medidas de descarbonización (en línea con lo establecido en el Plan Nacional de Descarbonización).

Recomendaciones de política energética para una descarbonización sostenible



5. Recomendaciones de política energética para una descarbonización sostenible

A partir del análisis de la visión a largo plazo del modelo energético costarricense a 2050 y del período de transición, se plantean un conjunto de políticas a considerarse para direccionar a Costa Rica hacia una descarbonización eficiente.

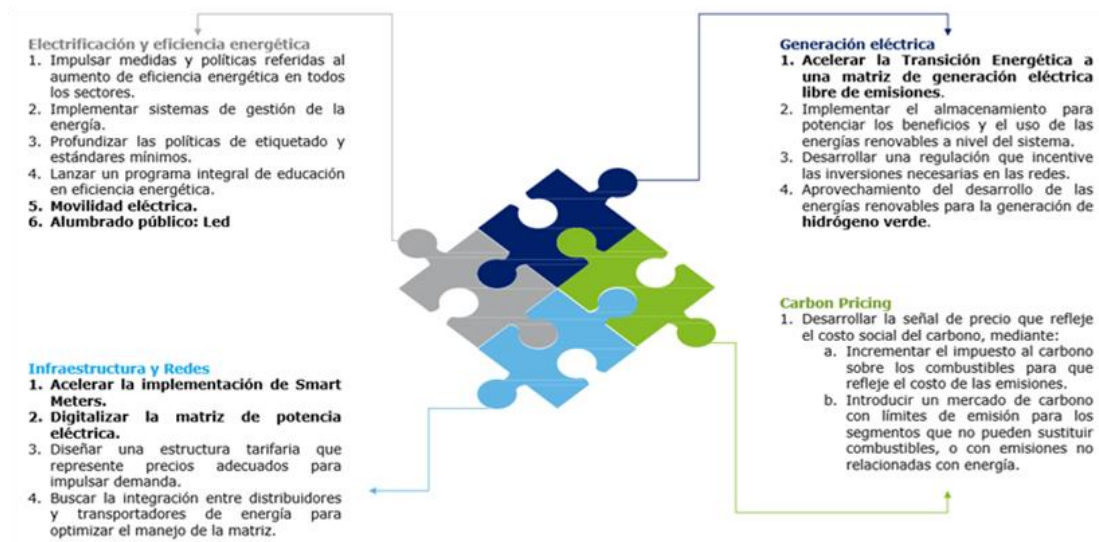
En primer lugar, se propone determinar objetivos vinculantes de descarbonización de cara a 2030 y a 2050 en todas las áreas que impacten en los niveles de demanda energética, manteniendo una matriz de generación y transformación de energía limpia (apoyada en el desarrollo de las energías renovables no convencionales), y sobre lo que respecta al sector no energético. Dentro de cada categoría, se debería apuntar a nivel de cada subsector con políticas concretas que modifiquen y alteren las condiciones, funcionamiento y niveles de eficiencia, entre otras cuestiones, para lograr los objetivos planteados en el marco de reducción de gases de efecto invernadero (GEI).

“Se propone determinar objetivos vinculantes de descarbonización de cara a 2030 y a 2050.”

Se espera que estos objetivos y las políticas relacionadas sirvan de guía para entidades reguladoras con el fin de incentivar la descarbonización a nivel nacional, contando con el aporte de los distintos agentes económicos y los consumidores de energía.

A continuación, se puede observar un resumen de las recomendaciones incluidas en la presente sección.

Figura 47: Recomendaciones de política energética para direccionar nuestro modelo energético hacia la descarbonización



Fuente: Análisis Deloitte

5.1. Recomendaciones para la generación eléctrica a partir de una matriz verde

En el marco del Acuerdo de París, se propone una mayor utilización de la energía eléctrica como fuente de energía, dado el potencial que Costa Rica tiene para el desarrollo de dicho recurso. De hecho, cuenta con las condiciones necesarias para convertirse en uno de los mercados de energías renovables más atractivos de América Latina (proceso en el que ya lleva años trabajando y que le ha permitido tener en la actualidad una matriz de generación eléctrica sustentada en energías renovables). La amplia variedad y disponibilidad de recursos naturales proporciona una diversidad de características geográficas y microclimas que pueden favorecer el desarrollo de distintos tipos de tecnologías.

El cumplimiento de los objetivos de carbono neutralidad a 2050 representa un esfuerzo en términos de expansión de la matriz energética, respaldando la generación requerida para satisfacer las nuevas demandas (sean las mismas producto del crecimiento demográfico, del mayor nivel de actividad económica o de una mayor participación de la energía eléctrica en el consumo energético total) con el desarrollo, en especial, de las energías renovables no convencionales.

En materia de desarrollo de la matriz energética, el objetivo al que debe apuntar Costa Rica pueda mantener en el tiempo una matriz completamente renovable, apalancado principalmente por el desarrollo de energías renovables no convencionales, cuya participación debería alcanzar al 79% de la generación a 2050.

A su vez, al considerar un diseño de matriz costo-eficiente que logre dar respuesta a la demanda de energía eléctrica, el resultado del ejercicio de modelización sugiere la necesidad de **desarrollar el potencial de generación distribuida, llegando a una potencia instalada total de 1 GW de energía solar.**

Todas estas medidas, se darán en un marco de incremento de la demanda energética, donde **la electrificación de usos finales debiera alcanzar una participación del 55% del consumo final de la energía**, pasando de un consumo total de 0.78 millones de toneladas equivalentes de petróleo en el año base a 2.56 millones en 2050.

A su vez, este crecimiento en los niveles de demanda energética, sumado a la necesidad de interconexión de las nuevas plantas de energía eólica y solar, requerirá de una inversión total de USD 4.2 MM, lo cual permitirá expandir la red en un total de 4,210 km.

En definitiva, para poder llevar adelante todas estas transformaciones, se recomienda trabajar sobre los siguientes pilares:

Recomendación 1: Expansión de la matriz energética a partir de fuentes de energía libres de emisiones.

El Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2020-2034 es el puntapié inicial para establecer el diseño de la matriz eléctrica del futuro. A partir de los escenarios de planificación de largo plazo y objetivos de reducción de emisiones, se deberán establecer las políticas e incentivos para satisfacer la nueva demanda de cara a 2050

El propósito del Plan de Expansión de la Generación a largo plazo es plantear una estrategia de desarrollo del Sistema de Generación del país que sirva de referencia para la toma de decisiones de los diferentes actores que participan en el desarrollo eléctrico del país. Tal como hemos desarrollado en el capítulo anterior, esta expansión de la generación puede encontrar sustento en un crecimiento de la matriz energética impulsado principalmente a través de la inversión en energía solar y eólica, basado en un criterio de competitividad en términos de costos y procurando siempre la maximización de los beneficios de la transición energética.

Esta planificación deberá considerar el mínimo costo para el usuario, tomando en cuenta además el costo social de la emisión de carbono. Para esto resultará necesario monitorear y actualizar periódicamente el plan elaborado con base en la evolución de los costos de las tecnologías.

La configuración esperada de la matriz debe dar lugar a una reforma del mercado eléctrico mayorista para que remunere de forma competitiva la generación de energía como el respaldo de potencia, diseñando un mercado de capacidad compatible con la alta penetración esperada de energía renovable variable. Entre las reformas se debe analizar si el costo marginal de corto plazo sigue siendo una señal de precio eficiente no solo para el despacho de la generación a mínimo costo, sino para expandir la oferta, e introducir nuevos

mercados de negociación o licitación de energía acorde a los cambios en el funcionamiento del mercado mayorista.

Propuesta regulatoria:

Para acelerar el desarrollo de nuevas centrales se sugiere dinamizar el sector privado a través de la contractualización mediante mecanismos competitivos de mediano y largo plazo que independice la decisión del mercado de energía de la política y que logre reducir los costos operativos, y, por ende, el precio final de la tarifa del servicio. A partir del 2023 la energía de los agentes dependientes del Estado tendrá como destino la garantía del abastecimiento prioritario de las demandas residenciales atendidas por los agentes distribuidores. La obligación de abastecimiento de los usuarios mayores de 10KW correrá por su cuenta dando una ventana de tiempo que permita escalonar los contratos y desarrollar nueva generación instalada. Los usuarios deberán contractualizar su demanda mediante un contrato físico pactando un precio, un volumen de entrega de energía por un periodo determinado y una garantía de potencia asociada al mismo. Así mismo se debe contemplar en la legislación la figura de los proveedores de programas de "Gestión de Demanda"

Recomendación 2: Impulsar el desarrollo de técnicas de almacenamiento de energía como soporte del desarrollo de las energías renovables, la mejora de la calidad de servicio y reducción de costos.

Los avances en la reducción del costo de almacenamiento con baterías han sido importantes en los últimos años y se espera que a partir de 2030 sean competitivos, o antes dependiendo el precio de los combustibles fósiles. Se debe considerar su utilización junto con la generación solar como capacidad firme para la satisfacción del pico de demanda anual.

El uso de este tipo de baterías, muchas de ellas modulares y portátiles, deberá impulsarse para lo siguiente:

- En centrales del tipo renovable, para mitigar los efectos de la variabilidad de los recursos solares y eólicos sobre la variación de producción de este tipo de centrales (mitigando por lo tanto los efectos de la alternancia sobre la calidad de servicio eléctrico y la necesidad de utilización de reserva rotante de origen fósil como alternativa). Para este efecto se debe destacar también los avances en electrónica de potencia que permiten resolver desbalances de suministro prácticamente en tiempo real (de manera automática). Esta práctica permitirá a este tipo de centrales ofrecer mayor firmeza en su producción, favoreciendo temas contractuales e incrementando seriamente el factor de uso de estas.
- En la transmisión, remplazando el uso de generación forzada ineficiente debido a restricciones en las redes de AT, por la disponibilidad de energía almacenada equivalente y de rápida respuesta dado el uso de la electrónica de poder.
- En la demanda final, permitiendo al usuario hacer uso de la energía almacenada ante variaciones en la red y poder participar de servicio de "respuesta de demanda" (ver más adelante). En este sector, se recomienda que la legislación contemple que los vehículos eléctricos puedan devolver energía a la red en el momento que el sistema lo requiera (o en horarios preestablecidos) con una tarifa diferencial por bandas horarias y/o emergencia. Será necesario el impulso de medición inteligente y de sistemas electrónicos que permitan esta operación.

Estas prácticas tienden a reducir los costos operativos generales del sistema, pero se deberá tener en cuenta que la autonomía del uso de baterías es limitada, por lo que la regulación deberá impulsar la reducción de los tiempos de interrupción y fomentar la eliminación de las restricciones de transporte, mediante políticas tarifarias que apunten en ese sentido, de otra manera el rendimiento técnico/económico analizado con base en estas prácticas no se alcanzará.

Por lo tanto, deberá impulsarse una regulación que no contemple solamente disponer de un nivel de remuneración para aquel usuario que disponga de sistemas de almacenamiento que permita el desarrollo, si no también que analice la evolución del sistema y su inserción.

Deberá hacerse foco en que el desarrollo de los sistemas de almacenamiento requerirá de estudios técnico y económicos para la definición de los mejores módulos de almacenamiento y tecnologías, pero debe ser coordinado con el desarrollo de la matriz de generación.

De acuerdo con los resultados de nuestro estudio, **el uso de baterías cumplirá un rol fundamental en el cubrimiento del pico de la demanda, es por ello que se requerirá una fuerte inversión en el desarrollo de tecnologías que permitan una penetración más agresiva en el período 2040-2050**, considerando que de los 0.88 GW de capacidad instalada en 2030 se espera que den un salto del 236% en solo 10 años, alcanzando una capacidad instalada de 2.97 GW a 2040 y de 3.73 GW a 2050 (lo cual implica otro salto del 26% en los últimos 10 años de la proyección).

Recomendación 3: Impulsar técnicas de Gestión de Demanda (Respuesta de Demanda o Demand Response) y otros programas relacionados actualizando los valores de remuneración de estos servicios.

La "Respuesta de demanda", forma parte de la denominada gestión de energía y en términos simplificado representa las acciones que un usuario del sistema eléctrico puede realizar en beneficio del sistema de abastecimiento en su conjunto, históricamente la primera acción a tener en cuenta es a auto cortar su propia demanda para evitar colapsos mayores en el sistema y por esta acción el usuario recibe un beneficio económico.

El desarrollo de los sistemas de almacenamiento (inclusive a nivel de usuario final) permite hoy día que la gestión de demanda pueda participar adicionalmente aportando energía a la red (es decir no solo participar reduciendo demanda cuando se necesite, sino también aportando al sistema cuando este lo requiera).

Esta capacidad permitiría al agente (pudiendo este ser un transportista, un distribuidor o un usuario final, si la futura regulación lo permite, cosa que debería impulsarse) participar de otros servicios (regulación primaria y secundaria de frecuencia, recorte de punta de carga, generación forzada y en definitiva los servicios equivalentes de un generador).

Estos servicios requerirán de una remuneración acorde al nivel de inversión necesaria, teniendo en cuenta que no solamente deberá disponerse de un sistema de almacenamiento, sino también de sistemas de comunicaciones acordes a la operación, equipamiento electrónico de potencia que permita dicha operación.

Será necesario por lo tanto una revisión de los valores de remuneración, por ejemplo, de regulación primaria, secundaria, y los correspondientes a la gestión de reservas operativas (incluido arranque y parada) dado que la Gestión de demanda podría tomar estos valores como referencia.

Recomendación 4: Propender a la integración energética con los países limítrofes reimpulsando una política regional para aprovechar los beneficios de mercados integrados.

La mayor variabilidad de la generación renovable no convencional (eólica y solar) requiere de una mayor integración regional para gestionar los excedentes o déficits de generación local. Se requiere coordinar los sistemas de transmisión a nivel país con el objetivo de minimizar la reducción forzada de generación (curtailment) a nivel regional, permitiendo mayores intercambios. No obstante, es importante comprender que no solo alcanza con coordinar los sistemas de transmisión (parte técnica), dado que ya existen interconexiones, pero con bajo factor de uso como consecuencia de cuestiones políticas o criterios de auto seguridad del país. Un ejemplo de ello es el Sistema de Interconexión Eléctrica para Países de América Central (SIEPAC), cuya red incluye una línea de transmisión a lo largo de 1.790 kilómetros con una tensión de 230 mil voltios y una capacidad de transmisión de 300 megavatios entre Guatemala y Panamá, un total de 15 estaciones de transmisión.⁵⁹

Recomendación 5: Priorizar el desarrollo de una regulación que incentive las inversiones necesarias en las redes como urgencia en el corto plazo.

La expansión del sistema de transmisión debe planificarse de modo tal que permita atender el pico de demanda del sistema y la integración regional. Esta inversión debe analizarse considerando los beneficios incrementales de todo el transporte energético.

Se debe profundizar sobre los lineamientos que la Estrategia Nacional de Redes Inteligentes (ENREI) ha pautado para el corto y mediano plazo a efectos de definir cursos de acción para cumplir con las

⁵⁹ <http://crie.org.gt/wp/siepac/>

inversiones requeridas para el desarrollo de una matriz energética que logre a su vez satisfacer la creciente demanda de los consumidores derivada de:

- I. La mayor electrificación de usos finales.
- II. El crecimiento demográfico.
- III. El mayor nivel de actividad económica.
- IV. El mayor poder de consumo por habitante.

Recomendación 6: Potenciar los beneficios de la energía distribuida logrando la instrumentación completa de los beneficios de la ley de promoción de la energía distribuida, la adhesión de todas las regiones y una normalización de los precios de energía.

La regulación debería generar las condiciones necesarias para poder incentivar la conversión de usuarios a usuarios-generadores logrando así beneficios no solo para ellos mismos sino también para las empresas distribuidoras y el mercado eléctrico en general dado que el ingreso de generación distribuida operando en horas de punta de demanda descarga la subtransmisión y la distribución, permitiendo mayor flexibilidad de las redes eléctricas en conjunto con la mayor penetración de energías renovables.

En este sentido, tal como se mencionó anteriormente, Costa Rica cuenta con la Ley de Promoción y Regulación de Recursos Energéticos Distribuidos a Partir de Fuentes Renovables (Ley N°10086) que busca precisamente promover el desarrollo de fuentes de energías renovables distribuidas. Resulta clave continuar profundizando sobre los beneficios que deberán considerarse para materializar los objetivos de la presente Ley, ya que, de acuerdo con los resultados de modelo, la concreción de un escenario de carbono neutralidad bajo una óptica de solución costo-eficiente, requerirá que a 2050 Costa Rica haya logrado instalar una capacidad total de 1 GW de energía solar distribuida.

Recomendación 7: Acelerar la implementación de medidores inteligentes acompañado de un plan de comunicación por parte del gobierno sobre los beneficios de la tecnología

La red eléctrica es una infraestructura clave en toda sociedad, y lo será aún más en la transición energética. Una red moderna e inteligente que incorpore las tecnologías de información y el internet de las cosas permitirá obtener mayores beneficios por cada peso invertido. Los medidores inteligentes son el corazón de las redes inteligentes que permite la medición del flujo bidireccional de la energía y son condición habilitante de la energía distribuida, del manejo eficiente de la demanda y de los servicios que brinde la electromovilidad mediante cargadores bidireccionales a la red. Modernizar la red para hacerla más "inteligente" y más resiliente mediante el uso de tecnologías, equipos y controles de vanguardia que se comuniquen y trabajen en conjunto para suministrar electricidad de manera más confiable y eficiente redundando en mejores servicios a los usuarios, entre otros reducir en gran medida la frecuencia y duración de los cortes de energía, y restaurar el servicio más rápido cuando ocurren interrupciones.

El consumo de energía no es homogéneo a lo largo del tiempo. La red de distribución debe expandirse atendiendo la demanda máxima que se espera en el futuro. Este diseño tradicionalmente se ha realizado en base a la experiencia pasada de consumo. No obstante, a futuro se esperan cambios sustanciales en el perfil de consumo de los usuarios, que resulta fundamental poder anticipar para optimizar las inversiones. La implementación inmediata de un plan de introducción de medidores inteligentes tiene como objetivo proveer esa información.

Los medidores inteligentes además permiten obtener beneficios inmediatos. Entre ellos se destacan minimizar las pérdidas de la red y la reducción del costo operativo de los servicios públicos (costo de lectura del medidor). Los consumidores podrán administrar mejor sus propios costos y consumo de energía porque tienen un acceso más fácil a sus propios datos con un acceso a la información de consumo en tiempo real y nuevas herramientas para auto gestión del consumo, permitiendo la mejora en los hábitos de consumo. Las empresas de servicios también se benefician de una red modernizada, que incluye seguridad mejorada, cargas máximas reducidas, mayor integración de las energías renovables y menores costos operacionales. La implementación de los medidores inteligentes permitirá la implementación de tarifas horarias/diferenciadas, adicionalmente permitirá a las distribuidoras, mejorar la calidad del servicio, disminuir tiempos de atención de reclamos (servicio y comerciales), agilizar la atención de solicitudes (corte y reconexión), realizar medición remota, detectar oportunamente fraudes; y realizar servicios de gestión de la demanda. Una implementación masiva permitirá la incorporación de los beneficios relevantes de la tecnología y el desarrollo de nuevos perfiles y competencias en los proveedores de servicio, para la instalación, configuración y mantenimiento de los equipos y finalmente crearía la necesidad para realizar la producción de equipos en el País. Adicionalmente, se mejorará la calidad de servicio ya que las empresas distribuidoras podrán acceder a diferentes estrategias para limitar la potencia consumida por cada cliente conectado a un CT que en ese momento se encuentre saturado. De esa forma se evitará la salida de servicio de un CT por sobrecarga.

Propuesta regulatoria:

Profundizar sobre los lineamientos planteados en la Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031, proponiendo los siguientes hitos:

- El reemplazo masivo de los medidores tradicionales existentes por medidores inteligentes en un periodo de 8-10 años financiado a través de un cargo específico a la demanda.
- Para los nuevos edificios se propone que se instalen únicamente medidores inteligentes en las unidades funcionales pagando el costo de conexión equivalente al "costo de conexión especial" que podrá ser financiado en cuotas por el distribuidor.

Recomendación 8: Digitalizar la matriz de potencia eléctrica reconociendo el rol que cumple en la transición energética

La transformación digital, junto con la electrificación, favorece la transición de todo el sector de la energía, de la gestión de las centrales de generación eléctrica a los nuevos servicios para los consumidores, pasando por las redes inteligentes.

Uno de los aspectos más importantes, junto al crecimiento de la capacidad instalada de la matriz de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía, es la digitalización, que debería transformar los procesos de producción, distribución y consumo de energía.

La digitalización de la matriz eléctrica debe ser impulsada con prioridad, manteniendo al día el uso de las nuevas tecnologías.

La digitalización apunta principalmente a mejorar la calidad de servicio del sistema de abastecimiento en su totalidad, reduciendo tiempos de desabastecimiento y costos operativos y permitiendo satisfacer los crecimientos de demanda de manera ordenada y previsible y la mejor utilización de los nuevos recursos de suministro.

La transición energética es un fenómeno que va más allá de la simple generación de electricidad limpia y a través de la digitalización, interesa a todos, tanto productores como consumidores.

La digitalización de la energía debería impulsarse en:

- Centrales de generación: impulsando en aquellas que todavía no lo tienen y hasta donde la tecnología lo permita, la operación automatizada. Difundir el uso de softwares innovadores que permitan observar eventuales datos anómalos y por lo tanto detectar un riesgo potencial. Maximizar el mantenimiento predictivo e identificar en tiempo real acciones que permite mejorar la eficiencia de las centrales. Los programas para impulsar deberían basarse en algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial.
- Redes de transmisión: En las redes de EAT y AT las primeras soluciones utilizadas en la actualidad son los equipamientos de telecontrol, que permiten la operación a distancia de los mismos en condiciones normales o ante una falla, y la automatización de algunas acciones basadas en sistemas inteligentes (Sistemas de DAG, DAD, RAG o RAD, muy difundidos en nuestra red de 500kV y 132kV) adicionalmente muchas estaciones transformadoras en esos niveles de tensión hoy son totalmente automatizadas y operadas a distancia. Se deberá recomendar el avance en el uso de sistemas de inteligencia artificial para la operación y mantenimiento de estas redes, uso de realidad virtual y simulación 3D para la operación y control en tiempo real. Será necesario revisar la remuneración del transporte para permitir este desarrollo.
- Redes de distribución: impulsar iniciativas que generan un alto impacto en el incremento de la resiliencia de la red frente a las consecuencias de eventos climáticos; el telemando en redes de MT y BT, mejoran de forma significativa a la calidad del servicio prestado a los clientes; el empleo de drones para la inspección de las redes, la aplicación de realidad aumentada en tareas presenciales, la elaboración de los gemelos digitales de la red (réplica digital 3D), que entre otras iniciativas contribuyen a la aceleración de los tiempos a la hora de realizar y planificar tareas de reparación, ampliación y renovación dentro de las mismas, aportando al mismo tiempo de manera relevante a la seguridad de los trabajadores en la ejecución de las dichas actividades.

- **Consumidor:** la digitalización a nivel usuario favorecerá el proceso de transición energética. Los beneficios que la digitalización brindará a los clientes las interfaces digitales gracias a las cuales los nuevos medidores inteligentes facilitarán información casi en tiempo real sobre consumo y producción y habilitarán los nuevos servicios mencionados como la respuesta a la demanda además de proveer soluciones inteligentes a distancia para gestionar sistemas de seguridad, uso de electrodomésticos, regulación de temperatura, entre otros.
Los clientes pasarán de ser usuarios pasivos e inconscientes a protagonistas activos y exigentes del sistema eléctrico, aumentando su propia conciencia energética.
Para los prosumidores, o sea los clientes que son al mismo tiempo productores y consumidores de energía, gracias a la digitalización ellos también contribuyen a su vez a crear una matriz eléctrica con menos emisiones.

A través de la incorporación de tecnología y soluciones digitales innovadoras se logrará un sistema de abastecimiento resiliente, participativo y sustentable.

- a) **Resiliente** para que la red sea capaz de soportar los efectos que ya vivimos del cambio climático garantizando un servicio esencial que cada vez será más relevante con la electrificación;
- b) **Participativo** dado que el cliente jugará un rol activo y central. En este nuevo esquema de interacción, los usuarios pasan a convertirse en un componente activo en el que no solo demandan energía proveniente de las redes, sino que también evolucionan para convertirse en protagonistas que aportan al equilibrio consumo-producción, incorporándose como un agente que es capaz de suministrar energía al sistema cada vez que tiene la posibilidad de realizarlo. Mas allá de lo anterior, los usuarios ya no solo demandarán energía eléctrica, sino que al mismo tiempo transitarán hacia requerir nuevos servicios, orientados especialmente hacia la gestión de sus consumos y más importante aún, a la adquisición de datos para la toma de decisiones. Es en este escenario que los DSOs se vuelven actores fundamentales para afrontar los nuevos requerimientos de los usuarios.
- c) **Sustentable** aumentando los esfuerzos para garantizar 100% de acceso a la energía en condiciones de calidad y seguridad, y a su vez generando condiciones de generación de empleo, desarrollo socio económico y mejorando su calidad y aplicando un enfoque industrial circular. Las actualizaciones de la matriz también permitirán un uso mayor y más eficiente de los recursos, reducirán la pérdida de electricidad debido a la transmisión a largas distancias y aumentarán el uso localizado de nuevos tipos de generación y almacenamiento de electricidad. En general, la creación de una matriz eléctrica más inteligente dará como resultado un mejor sistema eléctrico.

Recomendación 9: Diseñar una estructura tarifaria que represente precios adecuados para impulsar una respuesta activa por parte de la demanda

- Deben establecerse medidas específicas que garanticen la disponibilidad de redes de telecomunicaciones de alto rendimiento a un precio adecuado para permitir plenamente redes eléctricas inteligentes. Un requisito previo es tener una amplia disponibilidad en el territorio, a costos adecuados, de redes de telecomunicaciones con características de baja latencia y omnipresencia. Deben promoverse los servicios de conexión ad hoc a precios 'atractivos' por parte de las empresas de telecomunicaciones.
- Deberían considerarse procedimientos basados en incentivos y simplificados para la adopción de tecnologías inteligentes por parte de los consumidores a fin de involucrarlos activamente en el sector de la energía. A través de tales tecnologías, los consumidores deberían poder leer fácilmente datos e información sobre el consumo y tomar sus decisiones de consumo en consecuencia. La adopción tecnológica debe incentivarse al menos en las primeras etapas de despliegue de Smart Grids. El procedimiento para vincular dispositivos inteligentes y dispositivos con medidores inteligentes debe ser simple y no discriminatorio para los consumidores. Una toma más rápida de electrodomésticos inteligentes por parte de los consumidores debería ser impulsada por medidas destinadas a superar barreras no económicas. Las iniciativas de financiación (por ejemplo, distribución de riesgos y líneas de crédito dedicadas), respaldadas efectivamente por campañas de información, podrían permitir a los operadores promover tecnologías inteligentes y que los consumidores las utilicen para responder a la demanda.
- La estructura tarifaria debe diseñarse de modo que envíe señales de precios adecuadas que puedan impulsar demand response y los comportamientos energéticos eficientes. Deben promoverse tarifas dinámicas y tarifas de tiempo de uso para dar la señal de precio correcta a los consumidores, pasando el costo real de la energía del mercado mayorista al minorista. Con respecto a las tarifas de red,

considerando que los costos subyacentes asumidos por los operadores de red están relacionados con la capacidad, debería existir una mayor proporción de componentes relacionados con la capacidad. Además, los costos que no están directamente relacionados con el costo industrial de servir, como los costos de la política energética, impuestos y gravámenes, deben eliminarse de las facturas de electricidad para evitar la introducción de sesgos tecnológicos.

Recomendación 10: Buscar la integración entre distribuidores y transportadores de energía para optimizar el manejo de la matriz

Una regulación que aproveche el rol de distribuidores y promueva una interacción bien diseñada entre estos y las nuevas partes interesadas es fundamental para optimizar la asignación de recursos en las comunidades locales. Los municipios, otras empresas de servicios públicos y los distribuidores pueden cooperar para optimizar el desarrollo de la infraestructura mientras se aprovechan las posibles sinergias y se evitan las duplicaciones. Esto incluye, por ejemplo, sinergias entre los sectores energéticos, como la medición múltiple, el transporte o las sinergias entre la electricidad y las infraestructuras de Telco (por ejemplo, alojamiento / alquiler). Con el objetivo de reducir los costos generales para los clientes finales, las intervenciones de los Distribuidores deben permitirse e incentivarse económicamente.

Recomendación 11: Establecer a la Eficiencia Energética como política de Estado, para lo cual se promueve la sanción de una Ley de Eficiencia Energética Integral:

Basándose en los lineamientos establecidos por la Ley N°7447 de Regulación del Uso Racional de la Energía, la cual propone los mecanismos para alcanzar el uso eficiente de la energía y sustituirlos cuando convenga al país, considerando la protección del ambiente, se deberán implementar las siguientes medidas:

- Impulsar medidas y políticas ambiciosas referidas al aumento de eficiencia energética en todos los sectores, reduciendo el impacto sobre el medio ambiente y asegurando el suministro de energía para un país en crecimiento.
- Implementar sistemas de gestión de la energía.
- Crear la figura del usuario con capacidad de gestión: la gestión energética debería ser llevada a cabo por el propio usuario, en el caso de que se tratase de grandes usuarios, o por el distribuidor, para el caso de usuarios chicos como residencias, por ejemplo.
- Extender la política de etiquetado y estándares mínimos con objetivos de mejora en base a los realizar los inventarios de equipamiento existente y que luego fije las trayectorias de mejora, al establecer niveles máximos de consumo energético por artefacto y mínimos de eficiencia energética de todo equipo consumidor). Para lograr una mejora relevante resulta necesario conveniente realizar el recambio de los artefactos existentes, una vez se garantice la producción local a los niveles de eficiencia deseado. Esta política debe ser complementada con la recuperación de los materiales para su reutilización en los procesos industriales.
- Desarrollar una regulación específica para construcciones, aplicada tanto a nuevas como existentes, que establezca estándares de cumplimiento mínimo y obligatorio en eficiencia energética, referidos particularmente a la construcción (aislamiento térmico y climatización mediante aberturas y cerramientos, iluminación natural, entre otros).
- Continuar con los programas de educación en eficiencia energética, dirigido a los niveles escolar y superior, y que involucre cursos, seminarios, capacitaciones, y autodiagnósticos, al igual que promover campañas de sensibilización para lograr los cambios conductuales tanto en el ahorro de energía como en el reciclado de materiales.
- Fomentar la investigación y desarrollo (I&D) en eficiencia energética, brindando incentivos fiscales a las empresas que inviertan en I&D en Eficiencia Energética (Internet de las Cosas y la investigación en Ciudades inteligentes).

Recomendación 12: Satisfacer la creciente demanda de energía, abordando el cambio climático y los impactos sociales y de género

En el Acuerdo de París se reconoce la necesidad de que la transición sea rápida y equitativa para los trabajadores y para la comunidad. La transición aumentará la prosperidad y puede ser un motor clave en la creación de empleo.

En este sentido, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones para lograr que los beneficios lleguen a los más necesitados y se materialicen en la generación de empleo:

- Apoyar la intromisión de tecnologías eléctricas;
- Gestionar el empleo y las oportunidades utilizando técnicas de upskilling (enseñar a un trabajador nuevas competencias para optimizar su desempeño generando mayor especialización) y reskilling o reciclaje profesional (formar a un empleado para adaptarlo a un nuevo puesto generando mayor versatilidad)
- Promover una redistribución justa de los costos de transición.

5.2 Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en los sectores residencial, comercial y de servicios públicos

Las medidas de mitigación relacionadas a los sectores residencial, comercial y de servicio público refieren a la necesidad de adoptar el cambio tecnológico para lograr un uso más eficiente de la energía. Asimismo, se busca el reemplazo de tecnologías generadoras de emisiones de gases de efecto invernadero por tecnologías eléctricas (de cero emisiones directas e indirectas, al considerar una matriz de generación 100% renovable), de acuerdo con las metas fijadas en términos de electrificación de usos finales.

Implementar estas medidas requerirán por supuesto, que se definan códigos de edificación que sean consistentes con la introducción de estas nuevas tecnologías y que se readecúen las edificaciones existentes con el mismo fin.

De esta manera, **la introducción de tecnologías más eficientes, permitirán reducir el consumo energético en un 10% a 2050 con respecto a los valores proyectados en el escenario tendencial, permitiendo al mismo tiempo alcanzar el carbono neutralidad en el sector al eliminar el consumo de fuentes de energía contaminantes.**

A efectos de lograr estos impactos positivos se propone:

Recomendación 13: Promover la reducción de emisiones de los sectores residencial y comercial.

- Lanzar campañas de información que remarquen las ventajas de la electrificación en materia de reducción de emisiones y que propongan medidas para lograrla, y promover la adhesión a este programa de cambio con incentivos económicos y financiamiento. Se busca de esta manera:
 - Reemplazar tecnologías existentes por eficientes en el rubro "refrigeración": incrementar la adopción de políticas que acompañen la utilización de equipos y técnicas de alta eficiencia energética. En este sentido, para poder adoptar técnicas y tecnologías amigables con el medio ambiente, **se deberá desarrollar una Guía de Eficiencia Energética.**
 - Reemplazo de las estufas a GLP por estufas eléctricas: **se deberá fomentar el uso de energías limpias a partir del incremento en los subsidios a la energía eléctrica.**
 - Reemplazar luminarias tradicionales por luminarias LED, siguiendo las tendencias del mercado que apuntan a que se dejen de comercializar las lámparas halógenas. **Para lograr los resultados de reducción de emisiones a 2050, se deberá alcanzar un 100% de adopción de luminarias LED en el sector.**
- Asegurar que la tarifa eléctrica sea una señal de precio que recoja los costes reales del suministro, eliminando aquellos sobrecostes derivados de políticas que distorsionen la señal de precio.
- Desarrollar también campañas de concientización sobre emisiones en edificios y equipamiento.

- En lo que respecta al sector comercial, se deberían establecer obligaciones, sujetas a revisión e inspección, de realizar inversiones en eficiencia energética, al mismo tiempo en que se crean incentivos (beneficios fiscales, por ejemplo) y se facilita el acceso al financiamiento para que se desarrollen proyectos atractivos.

Recomendación 14: Promover la reducción de emisiones del sector público.

- Definir un plan de adaptación de los edificios públicos que se vayan inaugurando a futuro (tales como colegios y hospitales), para que se encuentren aptos para la utilización de artefactos eléctricos.
- Reemplazar paulatinamente los artefactos no eléctricos por eléctricos en los establecimientos públicos existentes.
- Incorporar un plan de traspaso de luminarias tradicionales a tecnología LED a través de programas de licitación pública para efectuar dichos reemplazos.

5.3 Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector transporte

El desarrollo del Vehículo Eléctrico a Batería (VEB) es la apuesta más importante para descarbonizar el sector transporte. Para lograr una curva acelerada de adopción del VEB debería seguirse una política de promoción del vehículo eléctrico, con incentivos para adoptar la tecnología y restringir la circulación de autos a combustión interna, y en particular promover la electromovilidad en el transporte público de pasajeros, así como el uso de vehículos no motorizados. Como consecuencia, en el **Escenario 1** se logra una curva acelerada de penetración de mercado alcanzando un 37% de participación de mercado al 2030 y una participación del 98% al 2050. Un mecanismo de súper-créditos que vincule a los productores de automóviles a una determinada cuota de créditos de vehículos cero-emisiones, como los adoptados en China, California y Canadá podría resultar muy efectivo para el incremento de la movilidad sostenible. Otras posibilidades incluyen la introducción de requisitos de instalación de puntos de recarga en edificios nuevos y existentes.

Recomendación 15: Fomentar la movilidad sostenible en el transporte ligero

El 3 de junio de 2022, en Costa Rica se sancionó la Ley N°10209 de incentivos al transporte verde, con el fin de reformar los artículos 8, 9, 10 y 12 del capítulo III de la Ley 9518 (Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico). El objeto de la presente normativa responde a la necesidad de promoción de los incentivos de carácter económico, tributarios y de facilidades de uso en circulación para el incentivo a la introducción del vehículo eléctrico.

De acuerdo con la normativa legal, el servicio público de transporte eléctrico debe establecerse como prioridad nacional, la utilización de la energía eléctrica renovable en el transporte público nacional, tanto en las modalidades de ferrocarril, trenes, buses, taxis, como cualquier otro medio público de movilización, el cual se ajustará a las posibilidades del país. Para tales efectos, se estipula la importación y la producción local de tecnologías tendentes al desarrollo de este tipo de transporte.

En cuanto a la implementación de centros de recarga, el marco legal establece que la construcción y puesta en funcionamiento de los centros de recarga en el país le corresponde a las distribuidoras de electricidad. El Ministerio de Ambiente y Energía tendrá la obligación de velar por la construcción y el funcionamiento de los centros de recarga. En este sentido, y tomando en consideración los estándares internacionales, en carreteras nacionales deberá construirse y ponerse en funcionamiento por lo menos un centro de recarga cada ochenta kilómetros (80km), en caminos cantonales deberá construirse y ponerse en funcionamiento por lo menos un centro de recarga cada ciento veinte kilómetros (120km).

Profundizando sobre los lineamientos generales enunciados en la normativa de Costa Rica, se deberá trabajar sobre los siguientes aspectos:

- Acelerar el cronograma de introducción de normativas que limiten la contaminación ambiental y de consumo de combustible proveniente de automotores con motores de combustión interna. Costa Rica, en línea con los cambios internacionales que se producen en el sector, debe avanzar rápidamente a la convergencia de las normas internacionales más exigentes, estableciendo plazos claros y perentorios para su cumplimiento.

- Introducir en el marco de las normas antes mencionadas, un objetivo de emisión de dióxido de carbono a nivel flota por fabricante o importador, con límites crecientes a la emisión de GEI y/o mecanismos tipo súper-créditos. Incluir una meta mínima a 2030 y 2050 de participación en las ventas al mercado interno de vehículos híbridos o eléctricos a batería, estableciendo suficientes los incentivos necesarios para alcanzar las metas establecidas.
- Las metas e instrumentos deben ser planificados con suficiente tiempo de antelación y discusión para que sea la futura base de la configuración de la industria automotriz.
- El desincentivo a la adquisición del auto a combustión interna deberá lograrse a través de mayores impuestos tanto a su adquisición como en el uso de este, incluyendo los impuestos en el combustible.
- Complementar los objetivos de penetración de vehículo eléctrico con incentivos a su adquisición o reemplazo de vehículos a combustión de alta antigüedad, incluyendo exención a impuestos internos y montos mayores en la desgravación en el impuesto sobre el valor agregado (IVA) y el impuesto a la renta. **Los resultados del estudio nos muestran que, para lograr la descarbonización del sector transporte, se requerirá que a 2030, el 38% de la flota de automóviles sea eléctrica, mientras que para el 2050, esta participación deberá llegar al 98% de la flota.**
- Establecer medidas que reduzcan el tráfico de vehículos convencionales, restringiendo su circulación, especialmente en los centros urbanos, promocionando el auto eléctrico otorgando beneficios en el estacionamiento en la vía pública, o fomentando los esquemas de movilidad alternativa al vehículo, como bicicleta y transporte público.
- Incentivar la electrificación del total del transporte público urbano. La primera medida es completar la electrificación de los buses que circulan a diésel. **En un escenario que apunte a la carbono neutralidad, se requerirá que a 2030 el 70% de la flota de buses sea eléctrica, mientras que para el 2050, esta participación deberá llegar al 99% de la flota.**
- Desarrollar la infraestructura de recarga en las zonas urbanas de forma coordinada entre los sectores públicos y privado para cubrir progresivamente de manera eficiente y completa la disponibilidad suficiente de puntos de recarga, por ejemplo, incluyendo requisitos de puntos de recarga en nuevas construcciones y edificaciones existentes. Esta planificación deberá considerar también la infraestructura mínima necesaria en las rutas nacionales. **Se estima que para el tamaño proyectado de la flota eléctrica a 2050, se requerirán 137 mil puntos de recarga pública en Costa Rica.**
- Resulta necesario establecer un marco normativo específico a esta nueva realidad, estableciendo claramente los roles entre las distribuidoras de electricidad, agentes de recarga, y usuarios que incentive la inversión privada en la infraestructura de recarga. Algunos aspectos normativos/regulatorios a definir son:
 - El Ente Regulador, deberá establecer tarifas horarias específicas para la recarga (valle, pico, resto) para brindar señales de precio que promuevan la eficiencia.
 - Se deberá asegurar un despliegue de medidores inteligentes dado que son necesarios para recopilar la información y mediciones de energía hacia los vehículos eléctricos y desde los vehículos eléctricos al hogar o la red; permitiendo así la incorporación de tarifas horarias o específicas para este sector para incentivar al usuario la recarga eficiente a través de señales de precio.
 - Definición de normas- estandarización de conectores, niveles de tensión en base al tipo de recarga, protocolos de comunicación y demás parámetros para permitir la interoperabilidad y maximizar los beneficios de la electromovilidad.

5.4 Recomendaciones dirigidas a la reducción de emisiones en el sector agricultura

Si bien las emisiones reportadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) vinculadas al uso de la energía para la actividad agrícola no resultan relevantes, entendemos que la transición energética constituye un esfuerzo que debemos realizar entre todos y que abarca a su vez a todas las cadenas de valor.

Es por ello que las recomendaciones ligadas al sector energético del rubro "agricultura", refieren principalmente a la renovación de tecnología y electrificación de usos finales. De este modo, de acuerdo con los resultados arrojados por el modelo, vemos que **existe un potencial de mejora en términos de eficiencia energética, que permitiría reducir en un 50% el consumo energético final a 2050 con respecto al escenario tendencial y, al contar con una mayor tasa de penetración de las tecnologías eléctricas, Costa Rica estará alcanzando la carbono neutralidad en este sector.**

Recomendación 16: Promover la reducción de emisiones del sector agricultura.

- Crear un programa de incentivos económicos para el desarrollo, promoción e implementación de maquinarias agrícolas eléctricas:
 - Programas de financiamiento a través de líneas de crédito que el gobierno otorgue específicamente para estos fines.
 - Otorgamiento de garantías que permitan a las compañías del rubro obtener financiamiento a un costo más bajo.
- Promover buenas prácticas como promoción de rotaciones equilibradas de cultivos. Promoción del uso del polímero inhibidor de la acción de la ureasa NBPT, el cual disminuye 10 veces la volatilización de la urea aplicada superficialmente. Promoción del uso de fijadores biológicos, libres y simbióticos, de nitrógeno atmosférico en cultivos y en praderas consociadas. La opción genera un impacto sobre las emisiones de GEI a través del reemplazo relativo de fertilizantes sintéticos, incrementando la productividad. Promoción de estrategias de fertilización variable para ajuste de dosis de N. Prevenir la quema de caña de azúcar mediante el uso de la cosecha integral de caña en verde y aprovechar el potencial de cogeneración de energía utilizando los residuos de cosecha (RAC) y molienda (bagazo) de la caña.
- Promover la incorporación de generación renovable distribuida que permita la expansión del riego, y de esta forma mejorar los rendimientos de los cultivos, permitirá tanto incrementar la producción como la frontera agrícola sin incrementar las emisiones. Juntamente con el aprovechamiento energético de las importantes cantidades de biomasa producidas por dichas actividades.

5.5. Recomendaciones sobre sectores no energéticos

Dado su potencial de captura, el sector no energético permite compensar las emisiones generadas por el resto de los sectores. Tal como se mencionó en el capítulo anterior, en el **Escenario 1** a partir de la incorporación de medidas disruptivas se puede incrementar el potencial de captura de carbono, logrando una reducción de 8.98 MtCO₂eq. con respecto a los niveles de emisiones del escenario de referencia a 2050.

Recomendación 17: Promover la reducción de emisiones de los sectores ganadería, silvicultura, y en lo que respecta a otros usos de los suelos.

- Desarrollar buenas prácticas en el desarrollo y manejo del ganado.
 - Promoción de campañas de vacunación para el ganado contra bacterias metanogénicas a fin de reducir las emisiones de gas metano.
 - Campañas para la promoción de buenas prácticas en el manejo de ganado en lo que respecta a alimentos y suplementos dietarios para ganado.
 - Implementación de prácticas de ganadería sustentable ligadas a mecanismos de pastoreo de corta duración y alta densidad, que permita una regeneración óptima de pastizales (que funcionan como sumideros de carbono y permiten compensar las emisiones de gas metano).

En nuestro estudio se estima un 80% de porcentaje de adopción de estas prácticas, permitiendo una reducción total de 4.8 MtCO₂eq. a 2050 con respecto al escenario de referencia.

- Reducir las emisiones causadas por el uso indebido e irresponsable de la tierra.
 - Impulsar medidas que prevengan la deforestación, tales como:
 - ✓ Ofrecer incentivos a los propietarios de tierras forestales para facilitar la conservación de los bosques y la adopción de actividades de bajo impacto.

- ✓ Fomentar el uso responsable de la pulpa de madera.
- Incentivar la forestación de pastizales, incorporando de esta manera sumideros de carbono forestal que sirvan para la captación de dióxido de carbono. Determinar con antelación la existencia y disponibilidad de los terrenos a forestar, que dependerá de la necesidad de suministrar alimentos para la población creciente.
- Desarrollar un plan de reforestación de tierras degradadas.
- Definir un plan para incentivar y desarrollar el manejo eficiente y consiente de pastizales, cultivos y ganado, e impulsar la restauración de la tierra.
 - Aumentar la productividad de pastizales, implementando sistemas de riego eficientes y aumentando intensidad de pastoreo.
 - Promoción de mejores prácticas agronómicas, rotando cultivos, aplicando sistemas de cultivo menos intensivos y mejorando el manejo de nutrientes.
 - Desarrollo de planes de revegetación y la conserva de agua con el fin de lograr la restauración de tierras.

A partir de la implementación de este paquete de medidas, se espera generar un potencial de captura de carbono en 7.02 MtCO₂eq. a 2050, que permitirá compensar las emisiones de los demás sectores, permitiendo alcanzar el objetivo de carbono neutralidad.

Recomendación 18: Promover la reducción de emisiones del sector residuos y promover la economía circular en todos los sectores como acelerador transversal.

- Acelerar la transición mediante la inclusión de esta temática en la Agenda Política construida colectivamente y la adopción de modelos de economía circular en todos los sectores y hacia modelos de urbanización circular, en todos los sectores involucrados en el desarrollo sostenible de las ciudades, ~~por~~ la competitividad económica, la innovación tecnológica, la sostenibilidad ambiental y la inclusión social.
- Implementación de mecanismos compensatorios a través de beneficios fiscales que promuevan el cambio hacia un modelo de economía circular y la adopción de mecanismos punitivos a través de multas que penalicen incumplimientos de metas / objetivos establecidos.
- Implementación de leyes de REP (responsabilidad extendida del productor), más allá de los envases fitosanitarios y las pilas. Contar con una normativa de REP permitiría que todos los actores involucrados comiencen a trabajar de manera conjunta para que el sistema de gestión de envases funcione. Esto se debe a que las legislaciones de este tipo pueden abarcan a toda la cadena de manera diferenciada: productores, autoridades, recuperadores, recicladores y consumidores.

En lo que refiere a gestión de residuos, desde julio de 2010 rige en Costa Rica la Ley No. 8839 para la Gestión Integral de Residuos y el Uso Eficiente de los Recursos, la cual tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación.

A efectos de cumplir con el objeto de la normativa, la propia ley propone la siguiente jerarquización en la gestión integral de residuos:

- I. Evitar la generación de residuos en su origen como un medio para prevenir la proliferación de vectores relacionados con las enfermedades infecciosas y la contaminación ambiental.
- II. Reducir al máximo la generación de residuos en su origen.
- III. Reutilizar los residuos generados ya sea en la misma cadena de producción o en otros procesos.
- IV. Valorizar los residuos por medio del reciclaje, el coprocesamiento, el reensamblaje u otro procedimiento técnico que permita la recuperación del material y su aprovechamiento energético.

Se debe dar prioridad a la recuperación de materiales sobre el aprovechamiento energético, según criterios de técnicos.

- V. Tratar los residuos generados antes de enviarlos a disposición final.
- VI. Disponer la menor cantidad de residuos, de manera sanitaria, así como ecológicamente adecuada.

Considerando los lineamientos trasados en la legislación nacional, se deberá profundizar sobre la implementación de las siguientes medidas:

- **Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Construcción de rellenos sanitarios con captura de gas de rellenos sanitarios (GRS), generación de energía eléctrica a partir de la captura de biogás de relleno sanitario (GRS), generación de energía térmica a partir de la captura de biogás de relleno sanitario (GRS), promover entre los generadores la separación de los RSU (la separación puede ser sólo entre residuos reciclables y no reciclables y/o involucrar la separación de los residuos reciclables por categorías preseleccionadas (vidrio, envases, diarios, cartón y plásticos, entre otros).
 - **Aguas Residuales Domésticas/Comerciales (ARD):** Construcción y puesta en funcionamiento de plantas de tratamiento de efluentes domésticos con captura de biogás.
 - **Aguas Residuales Industriales (ARI):** Construcción y puesta en funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales con captura de biogás.
- Incorporar los conceptos de economía circular en el proceso de abastecimiento

El crecimiento de las tecnologías de energías renovables presenta grandes desafíos en términos de abastecimiento de los materiales, producción y gestión de fin de vida. Si no son abarcados desde la perspectiva de economía circular, podrían crearse nuevos problemas ambientales en el futuro.

Por ejemplo, el crecimiento de residuos de paneles fotovoltaicos -cuya vida útil media es de unos 30 años- implica un nuevo desafío ambiental a nivel global, pero a la vez presenta oportunidades para crear valor y promover nuevas actividades económicas relacionadas a la recuperación de materiales de los paneles y el desarrollo de nuevas industrias de reciclaje. Los principales componentes de los paneles de silicio, incluyendo vidrio, aluminio y cobre, pueden ser recuperados a porcentajes mayores a 85%. La gestión de la cadena de suministro de paneles solares desde una perspectiva circular requiere un enfoque de dos partes. En primer lugar, es necesario asegurarse de que los paneles actualmente instalados se recuperen al final de su ciclo de vida de una manera que maximice el valor recuperado y, en segundo lugar, es necesario aplicar el concepto circular desde el inicio de la fase de diseño para el nuevo.

En el caso de la energía eólica la mayoría de los componentes de un aerogenerador -que tiene una vida útil media de unos 20 años- también son reciclables, ya que está compuesto por piezas metálicas; sin embargo, las palas representan los componentes más difíciles de recuperar por los materiales compuestos con que están hechas, principalmente, resinas reforzadas con fibra de vidrio y, en los parques eólicos más recientes, con fibra de carbono. En este sentido, en los países con un estado de implementación de la tecnología más maduro, se están estudiando alternativas de reutilización y reciclaje de las palas. Se han realizado pruebas demostrando que, al sinterizar y extruir los materiales de las palas de la turbina, se pueden producir ladrillos para su uso en el sector de la construcción, también se están evaluando posibles soluciones de economía circular para incorporar pellets de fibra de vidrio provenientes de palas en desuso en la producción de otros productos reciclados para el sector de la construcción.

Este reto también se dará con la penetración del auto eléctrico y el reciclaje de su batería.

Para hacer frente al desafío del reciclaje se requiere un enfoque multidisciplinario y multisectorial que integre la innovación tecnológica y la creación de modelos de negocio con el desarrollo de un marco regulatorio y la definición de nuevos estándares.

Asimismo, entre los materiales de los componentes para las energías renovables y almacenamiento hay muchas sustancias incluidas en la lista de materias primas críticas de la Unión Europea. Es necesaria una visión amplia y estratégica, compatible con la conservación de los recursos, vinculada a la economía circular y a la responsabilidad social de los países que permita dar respuesta a la demanda creciente que estos minerales experimentarán en los próximos años. Todo esto plantea un escenario donde el reciclaje y la correcta gestión de residuos pueden permitir un ahorro económico y ambiental, reduciendo el consumo de materias primas escasas.

A partir de la implementación de este paquete de medidas, se espera reducir el nivel de emisiones en lo que respecta a generación y tratamiento de residuos en 0.59 MtCO₂eq. a 2050 con respecto al volumen de emisiones del escenario tendencial.

5.6. Recomendaciones sobre instrumentos económicos y políticas de carbon pricing

Recomendación 19: Introducir una regulación específica para desarrollar una señal de precio efectiva del coste de las emisiones.

- A nivel internacional y de acuerdo con el Banco Mundial, existen 68 iniciativas de precio de carbón que cubren el 23% de las emisiones de GEI. Ante el menor avance al esperado, ciertos países o regiones, como Europa, tienen previsto incorporar un impuesto de igualación en frontera, en el cual las importaciones deberán pagar en función de su nivel de emisión y los impuestos equivalentes que existan en su país.
- La recomendación internacional es avanzar en la incorporación de señales de precio para incentivar la transición energética, si bien se reconoce que cada país debe adoptar su propia política, sin que exista un criterio de homogenización.
- La introducción de señales de precio efectivas en el país debe hacerse con atención a los avances internacionales y en los sectores que tengan mayor probabilidad de estar sujetos a igual precio en los mercados de exportación.
- Los dos instrumentos más utilizados son un impuesto aplicado sobre la emisión de CO₂ (impuesto al carbono) o estableciendo un mercado de negociación de certificados de emisiones. Una desventaja del impuesto al carbono es que el mismo se traslada a todos los consumidores en precio causando en una pérdida del poder adquisitivo con mayor impacto a aquellos más vulnerables. Sugerimos que se desarrollen medidas que permitan reducir el impacto en tarifas a partir de la incorporación de subsidios de acuerdo con el nivel de ingresos de sus consumidores.
- Promover el mercado de carbono, comenzando con aquellas industrias o sectores que más se pueden ver afectados por los impuestos de igualación de frontera establecidos por Europa y otros países que se implemente. El objetivo es internalizar en el país los recursos que de otra manera serían capturados por los consumidores de los países importadores.
- Realizar un estudio que pueda cuantificar el costo social del carbono en Costa Rica. Esto es, los impactos derivados de la emisión de GEI en términos de actividad, salud y daño al medio ambiente, como criterio general para ser incluido en los análisis de costo beneficio de las inversiones públicas y valor objetivo de las señales de precio necesario para incentivar la transición energética.

5.7. Introducción del hidrógeno verde como vector de descarbonización de los segmentos denominados “difíciles de descarbonizar”

Recomendación 20: Avanzar en la promoción del desarrollo de hidrógeno verde para acelerar la transición energética.

El hidrógeno verde representa una oportunidad para acelerar la transición energética y posicionar a Costa Rica como líder regional.

De esta manera, para poder fomentar el crecimiento y el desarrollo productivo del país y un aprovechamiento de las capacidades y recursos nacionales se deben implementar las siguientes medidas:

- Llevar a cabo una planificación energética para la formulación de políticas públicas acertadas. Se deben emprender estudios, análisis y consultas para poder recabar evidencia empírica sólida y con ella formular las correspondientes políticas públicas. Estas comprenden las proyecciones nacionales, las diversas tecnologías disponibles y necesarias para la producción, el almacenamiento, la conversión

y el transporte del hidrógeno. También el análisis de los costos, tanto de producción como de logística, y los posibles precios que se van a suscitar fruto de la demanda esperada; fomentar la producción local a través de un marco regulatorio que contribuya a apoyar a las industrias y sectores intensivos en hidrógeno, los cuales serán los actores catalizadores en esta transición.

- Se debe construir estrategias con objetivos de descarbonización específicos por sector para migrar a un hidrógeno verde con un marco regulatorio robusto, con reglas claras y de largo plazo, junto a un financiamiento competitivo (en este sentido, Costa Rica ya publicó su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde).
- Se deben realizar esfuerzos para posicionar a Costa Rica, considerando su matriz ya desarrollada en torno a la generación de energía libre de emisiones, como país de relevancia para el desarrollo del hidrógeno verde promoviendo generar demanda local y global, para exportar atendiendo la demanda de los países del mundo que tienen objetivos de hidrógeno verde y derivados. Los principales usos del hidrógeno verde son: refinado, amoníaco para fertilizantes metanol, hierro (hierro de reducción directa), entre otros. Los e-fuels deben promoverse por su relevancia en la descarbonización del sector transporte (mediante la captura del CO₂ de la atmósfera + hidrógeno verde produciendo metanol) y porque alcanzarán en poco tiempo niveles competitivos.
- Hasta que el precio del hidrógeno verde (que depende en gran medida del costo de la energía renovable y el costo de los electrolizadores) no sea competitivo, se requerirán incentivos (temporales) por parte de los gobiernos para promover la demanda y así dar señales que permitan aumentar la capacidad de fabricación y cadena de suministro.
- Requisitos progresivos serán necesarios para que la industria se mueva en esa dirección y - para que sea económicamente viable el hidrógeno verde requiere escala- de esa manera todos los sectores a través de señales e incentivos hará que avance la industria del hidrógeno verde. Un mecanismo que puede ser aplicado es crédito fiscal a la producción de hidrógeno verde con base al nivel "verde" de producción. Asimismo, la economía de escala mejorará aún más si se dan incentivos en cuanto a estándares de combustibles bajos en carbono.

Parte de una política de promoción para el desarrollo, producción y uso de una industria del H₂V implica estructurar sistemas de incentivos tributarios, arancelarios, financieros y de fomento de la demanda; así como adopción de una ley de promoción del H₂V.

Se espera que a partir del año 2030 Costa Rica ya cuente con la capacidad de generar hidrógeno, en primera instancia, para autoconsumo en el sector transporte, empleándose a partir de 2036 también en procesos industriales. **Hacia 2050, se espera que el país cuente con una capacidad de generación de 0.7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEPs)**, de las cuales, 0.1 millones de TEPs estarán destinados al uso en transporte de cargas pesadas, 0.4 millones de TEPs irán dirigidos a la descarbonización del sector industrial, y los 0.2 millones de TEPs restantes serán exportados generándole a Costa Rica un ingreso de divisas producto de esta actividad.

Contactos



Contactos



Cristian Serricchio

Socio de Finanzas Sostenibles, FA
Deloitte Spanish Latin America
cserricchio@deloitte.com



Damián Grignaffini

Gerente de Finanzas Sostenibles, FA
Deloitte Spanish Latin America
dgrignaffini@deloitte.com



Tomás Cardozo Etcheverry

Senior de Finanzas Sostenibles, FA
Deloitte Spanish Latin America
tcardozoetcheverry@deloitte.com



Sebastián Yepéz

Senior de Finanzas Sostenibles, FA
Deloitte Spanish Latin America
syepéz@deloitte.com



Clara Mackey

Senior de Finanzas Sostenibles, FA
Deloitte Spanish Latin America
cmackey@deloitte.com



Deloitte.

Deloitte se refiere a una o más de las firmas miembros de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, una compañía privada del Reino Unido limitada por garantía, y su red de firmas miembros, cada una como una entidad única e independiente y legalmente separada. Una descripción detallada de la estructura legal de Deloitte Touche Tohmatsu Limited y sus firmas miembros puede verse en el sitio web www.deloitte.com/about