



El futuro
es de todos

Minenergía



Plan Energético Nacional 2020 - 2050

Tomo 2: Transformación energética
para el desarrollo sostenible

Presentado por:

Lina Escobar

Subdirectora de demanda - UPME

lina.escobar@upme.gov.co

Diciembre 2020

El país emprendió el camino de la transformación energética, entendida como el cambio hacia un sistema descarbonizado, digitalizado y descentralizado.

La transformación es posible, sin embargo es un proceso que requiere tiempo, inversiones y política pública.



Tiempo para que la tecnología alcance etapas de comercialidad y se logren sustituir de forma efectiva los combustibles fósiles.



Inversiones para el recambio tecnológico tanto en la producción con nuevas fuentes de energía como en el recambio tecnológico de los equipos de uso final.



Políticas públicas que den certidumbre en las inversiones, que permitan la entrada de nuevas tecnologías, que incentiven la participación de nuevos actores y que alineen los intereses públicos con los privados.

1. Plan Energético Nacional 2020 – 2050

- Propósito
- Visión, pilares y objetivos
- Iniciativas
- Escenarios: Los 4 caminos explorados

2. Resultados de los escenarios energéticos de largo plazo

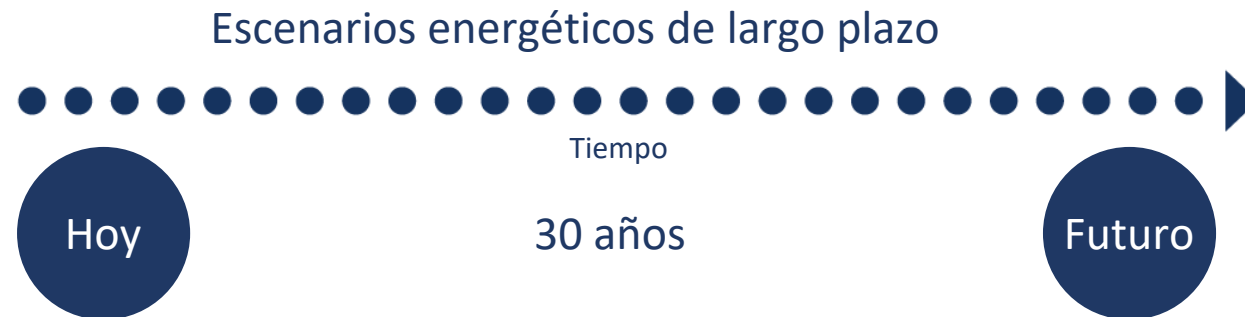
- Resultados energéticos
- Resultados ambientales
- Resultados económicos
- Análisis de riesgos

3. Mensajes principales del Plan Energético Nacional 2020 – 2050



PEN 2020 – 2050: Visión, pilares y objetivos

Propósito del PEN y los escenarios energéticos de largo plazo



El PEN 2020-2050 es un documento indicativo de prospectiva energética.

- Analizar aspectos tecnológicos y económicos asociados a la transformación energética
- Apoyo en las decisiones estratégicas en términos de: abastecimiento, aporte al cambio climático, riesgos tecnológicos y costos.

El propósito

- **Definir una visión de largo plazo para el sector energético colombiano e identificar las posibles vías para alcanzarla.**
- No pretende pronosticar cómo será el futuro, sino por el contrario, moldearlo.

Diagnóstico

- Visión multidisciplinaria
- Construcción colectiva
- Desafíos a 30 años
- Punto de partida

Estructura del PEN

- Visión
- Pilares
- Objetivos
- Iniciativas

Modelamiento a largo plazo

- Simulación de escenarios de oferta y demanda
- Trade-offs

Divulgación

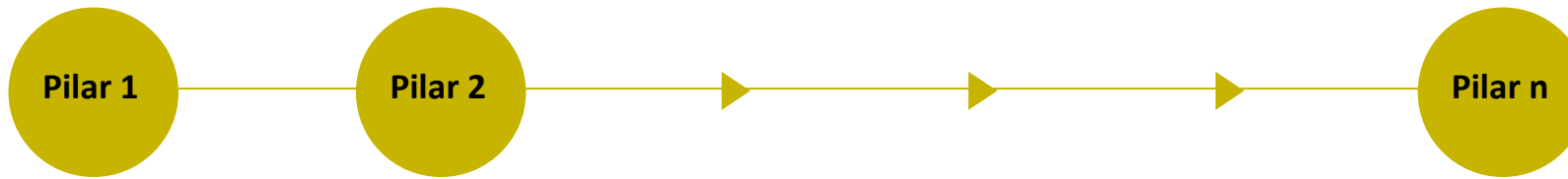
- Documento final
- Socialización resultados
- Publicación pág web

¿Cómo se formuló el PEN 2020-2050?: Planeación estratégica

Visión

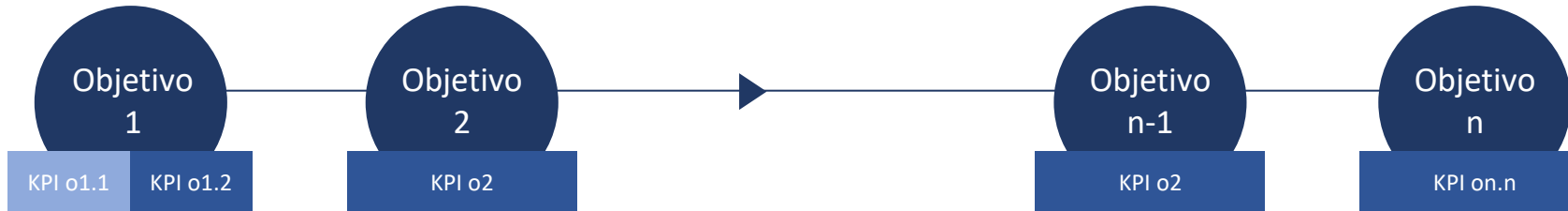
Punto al que se aspira llegar

Pilares



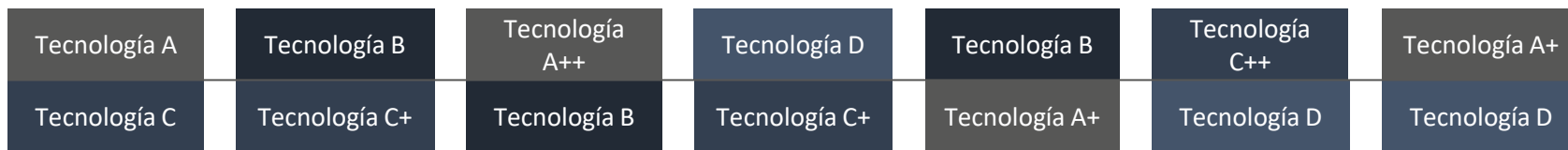
Áreas estratégicas que orientan la política pública en materia energética

Objetivos e indicadores



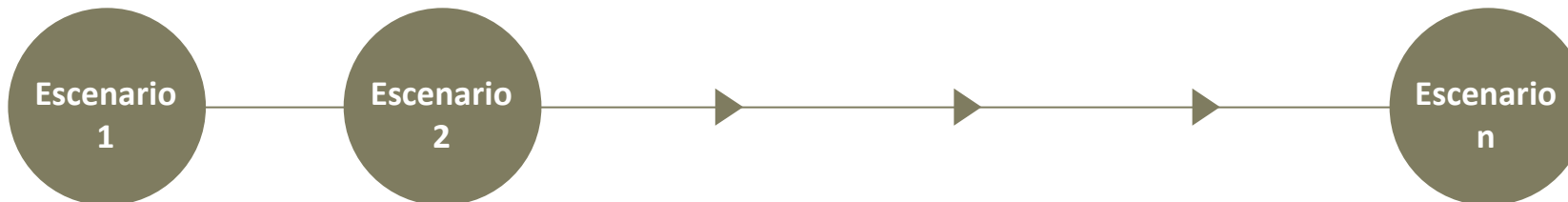
Acciones generales que describen los resultados que se quieren alcanzar e cada pilar

Iniciativas



Tecnologías o acciones que apuntan a los objetivos planteados

Escenarios



Clasificación de iniciativas y agrupación según los criterios seleccionados

Propuesta PEN 2020-2050: Transformación energética para el desarrollo sostenible

Visión

En 2050 se consolidará la transformación energética que habilitará el desarrollo sostenible

Pilares

Seguridad y confiabilidad del abastecimiento

Aprovisionamiento confiable y seguro de energéticos para la demanda nacional

Mitigación y adaptación al cambio climático

Reducción de las emisiones de GEI y gestión de riesgos asociados al cambio climático

Competitividad y desarrollo económico

Uso de la mejor tecnología disponible para el aprovechamiento eficiente de los energéticos

Conocimiento e innovación

Gestión del conocimiento enfocado en la promoción de la transformación energética y el desarrollo sostenible

Objetivos

Permitir el acceso a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles

Diversificar la matriz energética

Contar con un sistema energético resiliente

Propender por un sistema energético de bajas emisiones

Adoptar nuevas tecnologías para el uso eficiente de recursos energéticos

Promover un entorno de mercado competitivo y la transición a una economía circular

Avanzar en la digitalización y uso de datos en el sector energético

Estimular la investigación e innovación y fortalecer las capacidades de capital humano

Clasificación de Iniciativas y definición de escenarios

Selección de iniciativas

Evaluación de iniciativas

Resultado

Recopilación de más de 50 tecnologías / prácticas para ser incluidas en el modelo del PEN

Dimensión	Pregunta de análisis	Criterios de evaluación
Incertidumbre tecnológica	¿Qué tan conocida de esta tecnología en Colombia?	<ul style="list-style-type: none"> Experiencia local en la implementación de esta nueva tecnologías Grado de desarrollo de la tecnología
Reto de transformación	¿Existen barreras que limiten la implementación de estas tecnologías?	<ul style="list-style-type: none"> Grado de resistencia a la implementación Brecha normativa / regulatoria Brecha de conocimiento a nivel nacional Costos
Aporte a la mitigación de cambio climático	¿Qué tanto le aporta esta tecnología a la reducción de emisiones de GEI?	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones directas de GEI

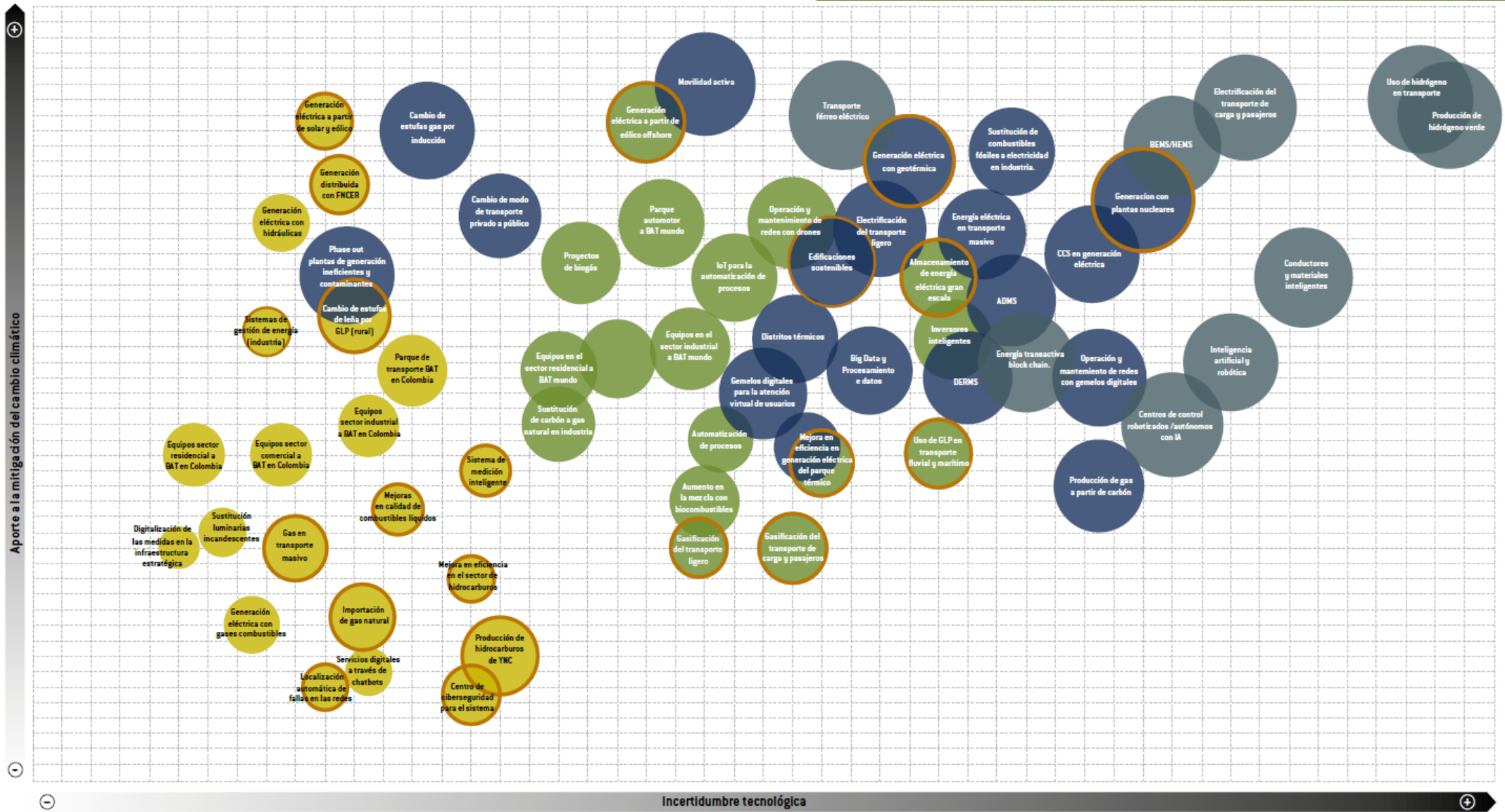
Escenario I: Actualización

Escenario II: Modernización

Escenario III: Inflexión

Escenario IV: Disrupción


Los 4 caminos explorados



- Actualización
- Modernización
- Inflexión
- Disrupción
- Iniciativas con lineamiento de política
- Reto de transformación (tamaño de la burbuja)

Los 4 caminos explorados

	<i>Escenario I: Actualización</i>	<i>Escenario II: Modernización</i>	<i>Escenario III: Inflexión</i>	<i>Escenario IV: Disrupción</i>
Crecimiento económico de LP	<i>En sintonía con las tendencias actuales</i>	<i>Gasificación como paso hacia la descarbonización</i>	<i>Comienzo de la electrificación de la economía</i>	<i>Innovación para encaminar al sector hacia la carbono neutralidad</i>
	3,1%	3,1%	3,5%	3,5%
Iniciativas oferta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Importación +YNC ▪ Escenario de expansión de generación UPME ▪ Mejoras en combustibles líquidos ▪ Eficiencia en el sector de hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Importación gas natural ▪ FNCER + eólico off shore ▪ Biocombustibles ▪ Biogás ▪ Eficiencia en plantas térmicas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geotermia ▪ Pequeños reactores nucleares ▪ <i>Phase out</i> plantas ineficientes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hidrógeno verde ▪ FNCER
Iniciativas demanda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adopción BAT Colombia 2050 ▪ Sustitución leña por GLP en el sector rural ▪ Metas de electrificación vehicular actuales ▪ Cambio de luminarias en el sector residencial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adopción BAT mundo en 2050 ▪ Gas en transporte masivo e industria ▪ Mayores participaciones de energía eléctrica en el transporte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adopción BAT mundo en 2040 ▪ Cambios de estufas por gas por inducción ▪ Leña 0 en el sector rural en 2050 ▪ Mayor electrificación en los sectores de transporte e industria 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adopción BAT mundo en 2030 ▪ Uso de hidrógeno en transporte ▪ Renovación acelerada de la flota vehicular con tecnologías de 0 y bajas emisiones



**Resultados de los escenarios
energéticos de largo plazo:
Caminos para alcanzar la transformación**

Dimensiones de comparación de los escenarios

Energéticos

- Demanda total
- Composición de oferta primaria
- Importaciones
- Consumo por sectores por energético

Ambientales

- Emisiones totales
- Emisiones por sector de consumo

Económicos

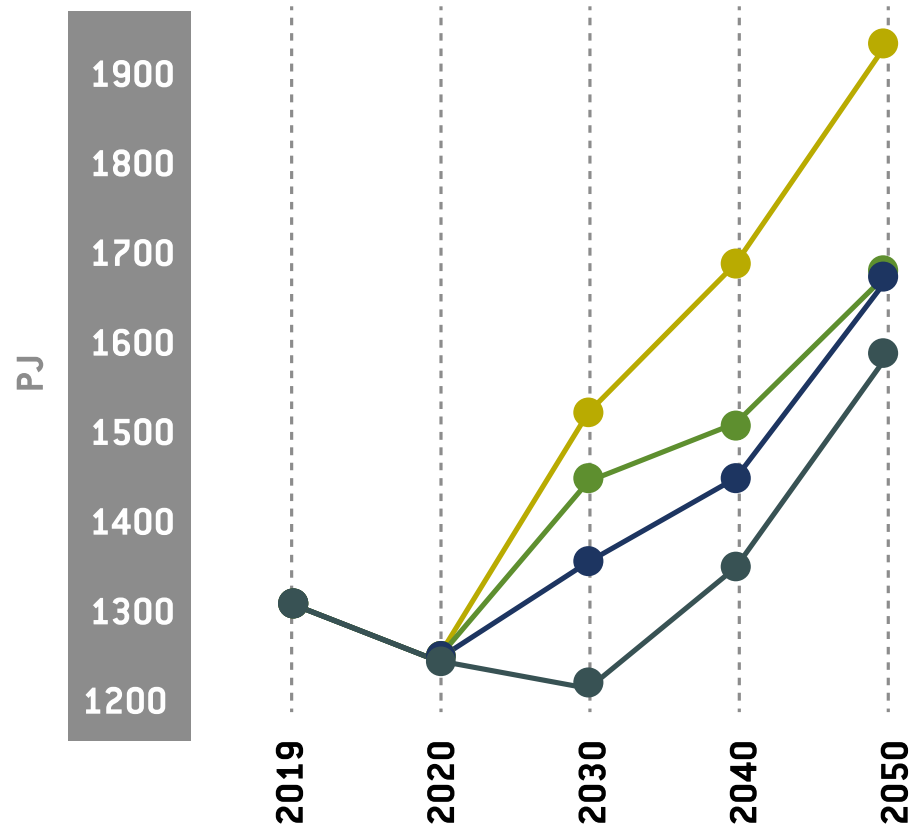
- Costo total estimado
- Energía útil sobre energía final

Riesgos

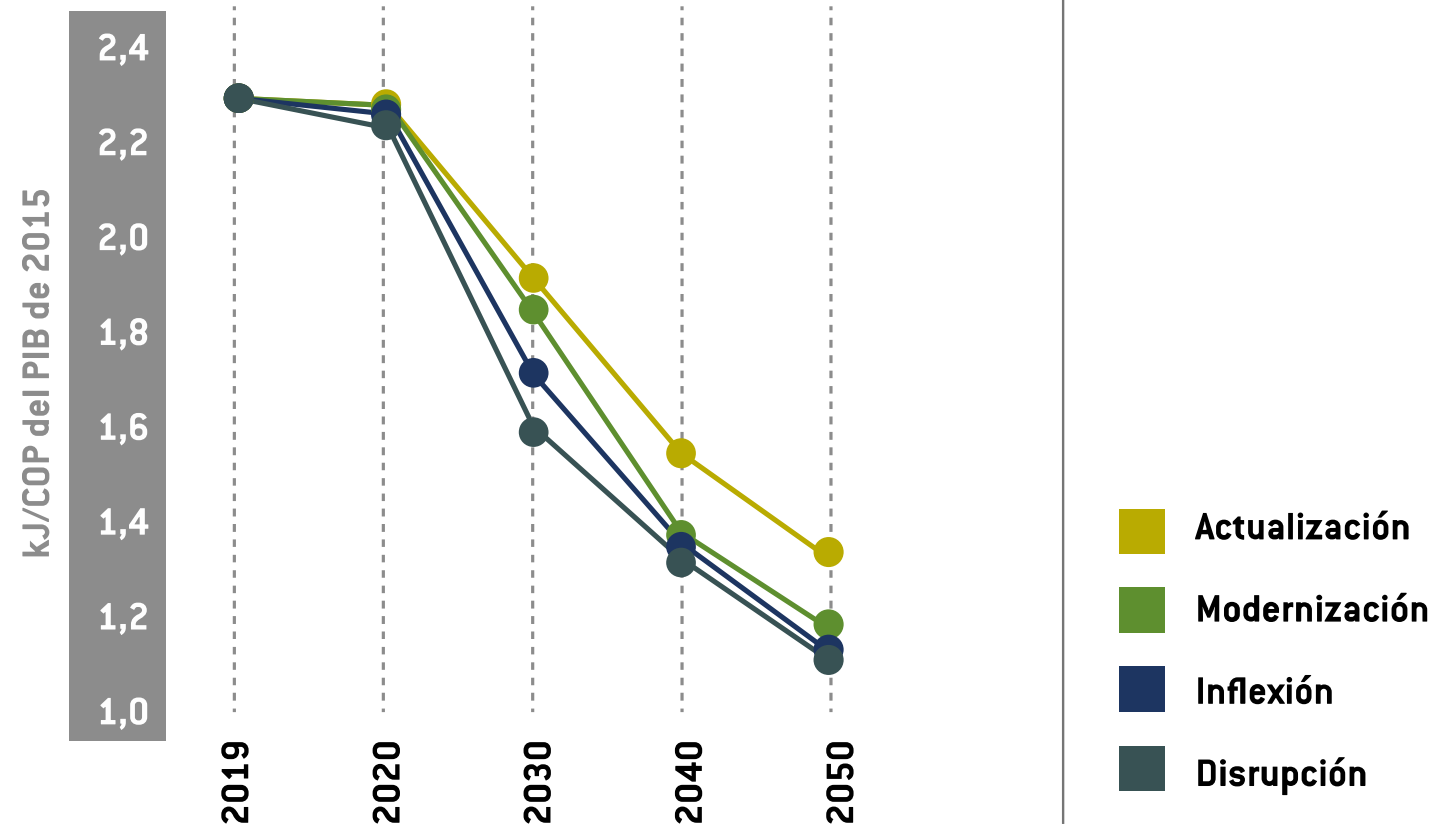
- Lock-in tecnológico
- Ambientales
- Capital humano

Análisis energético: Demanda (PJ) por escenario

Demanda de energía por escenario



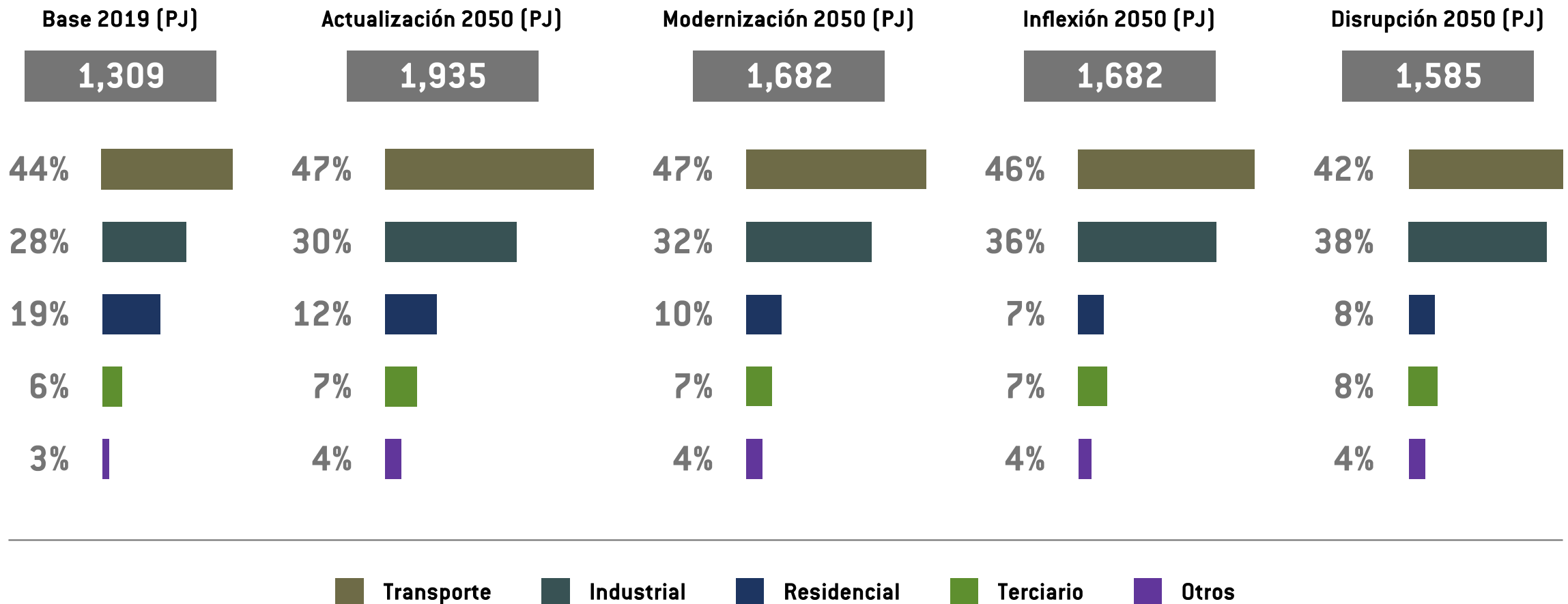
Intensidad Energética en el consumo final



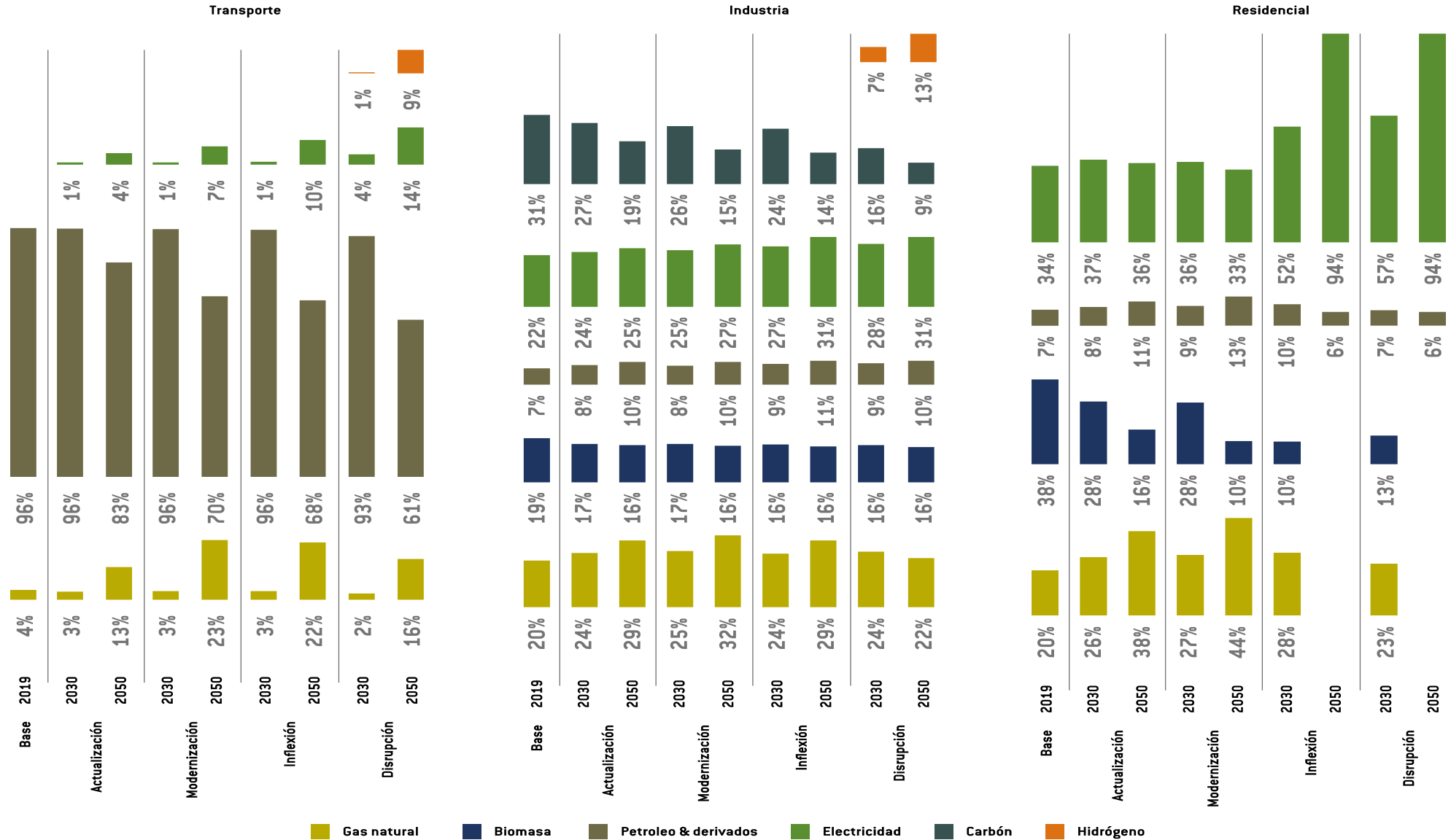
- Actualización
- Modernización
- Inflexión
- Disrupción

Análisis energético: Recursos (PJ) por escenario

Demanda energética (PJ) en 2050 para cada sector, por escenario

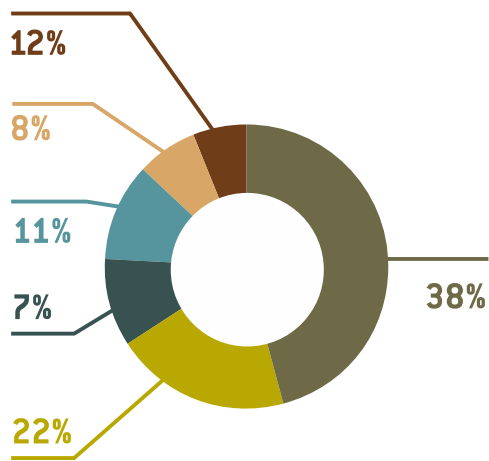


Análisis energético: Recursos (%) por sector de consumo



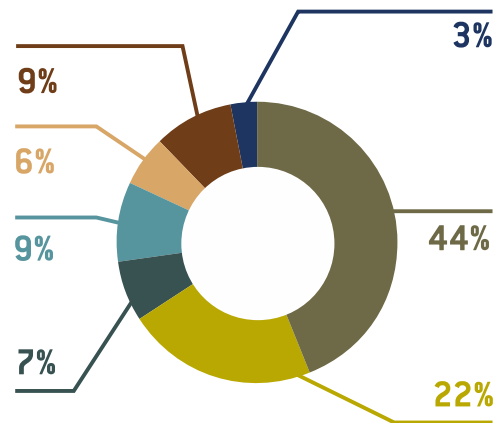
Análisis energético: Recursos energéticos (PJ)

Escenario Base (2019)

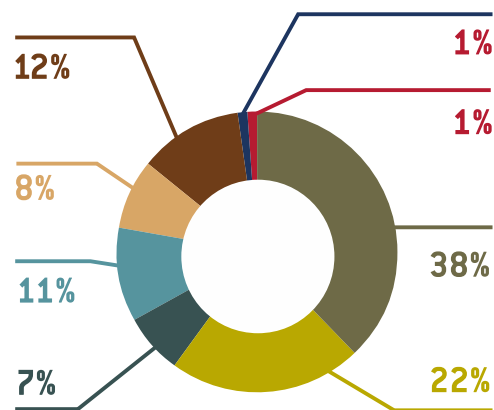


1,877 PJ

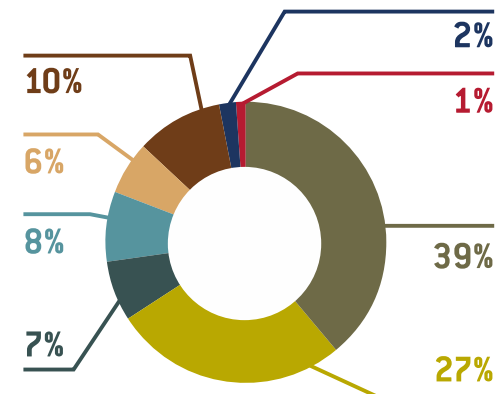
Actualización 2050 (2.398 PJ)



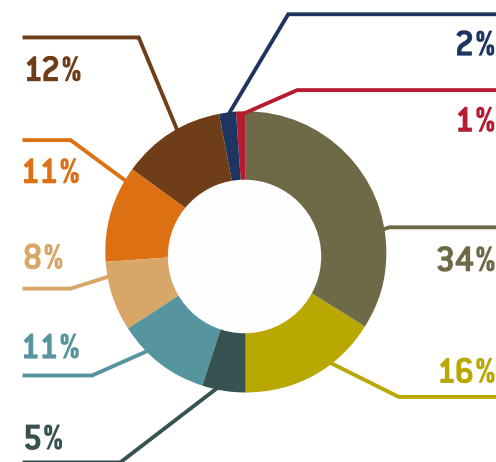
Inflexion 2050 (2.104 PJ)



Modernización (2.090 PJ)



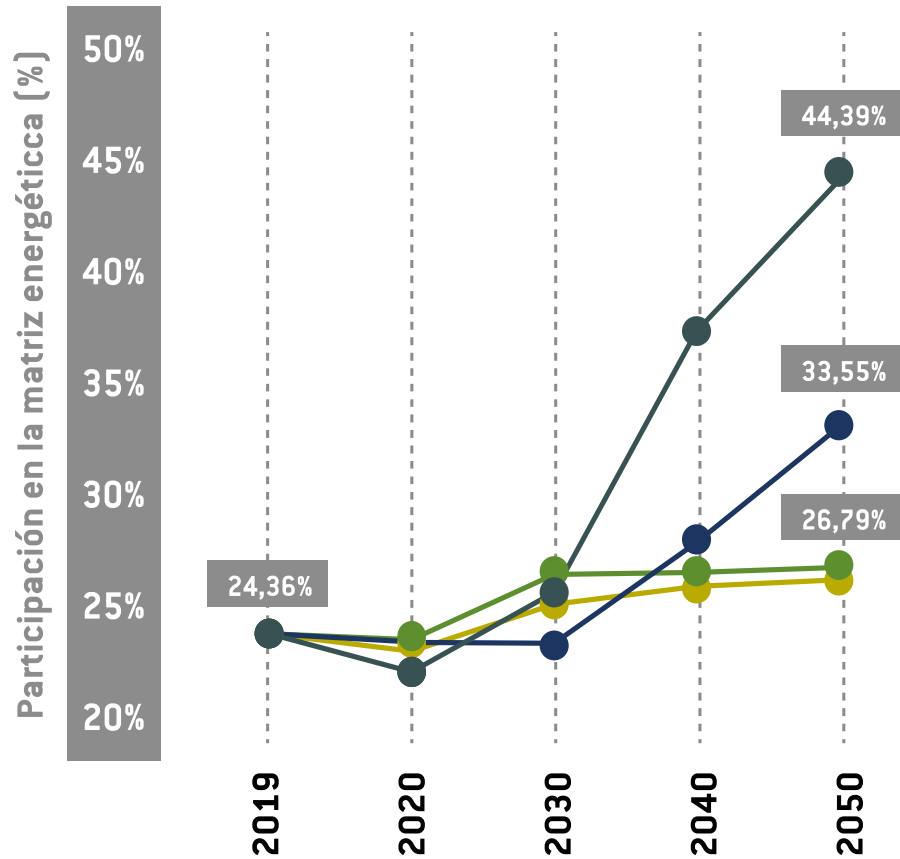
Disrupción 2050 (2.031 PJ)



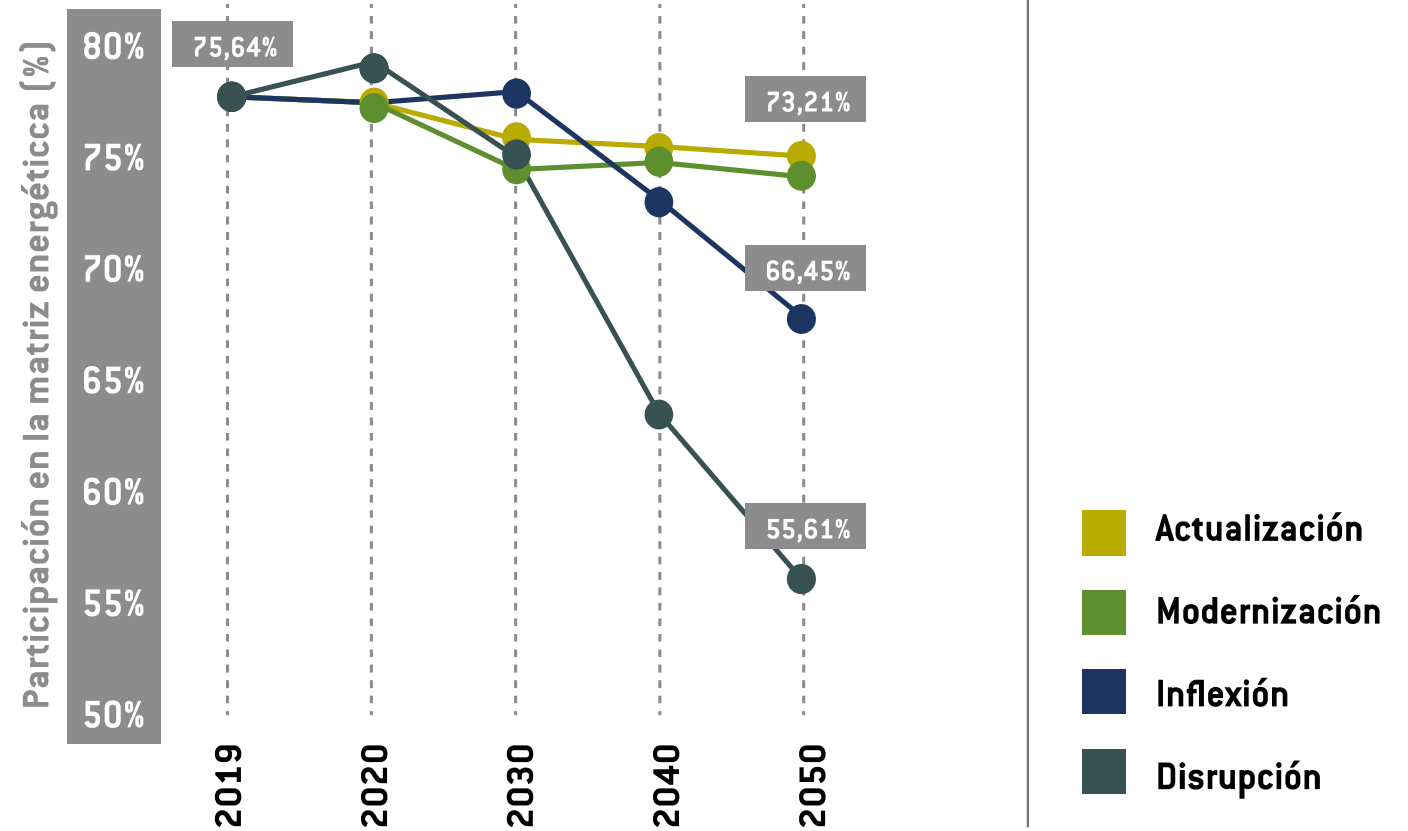
- Petroleos y derivados
- Gas natural
- Carbón
- Hidráulica
- Solar y eólico
- Hidrógeno
- Otros renovables
- Leña
- Otros

Análisis energético: Oferta energía primaria(PJ)

Renovables + Nuclear + Hidrógeno



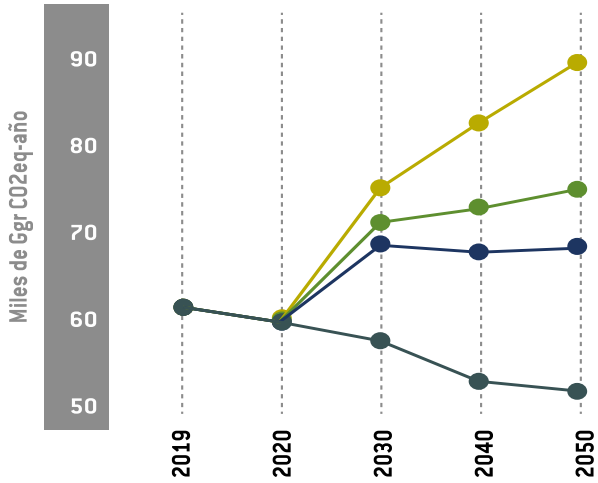
Combustibles fósiles



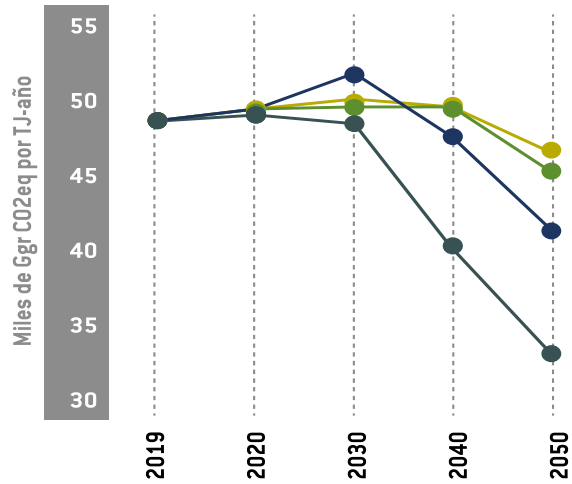
- Actualización
- Modernización
- Inflexión
- Disrupción

Análisis ambiental: Emisiones CO2 (Gg) por escenario

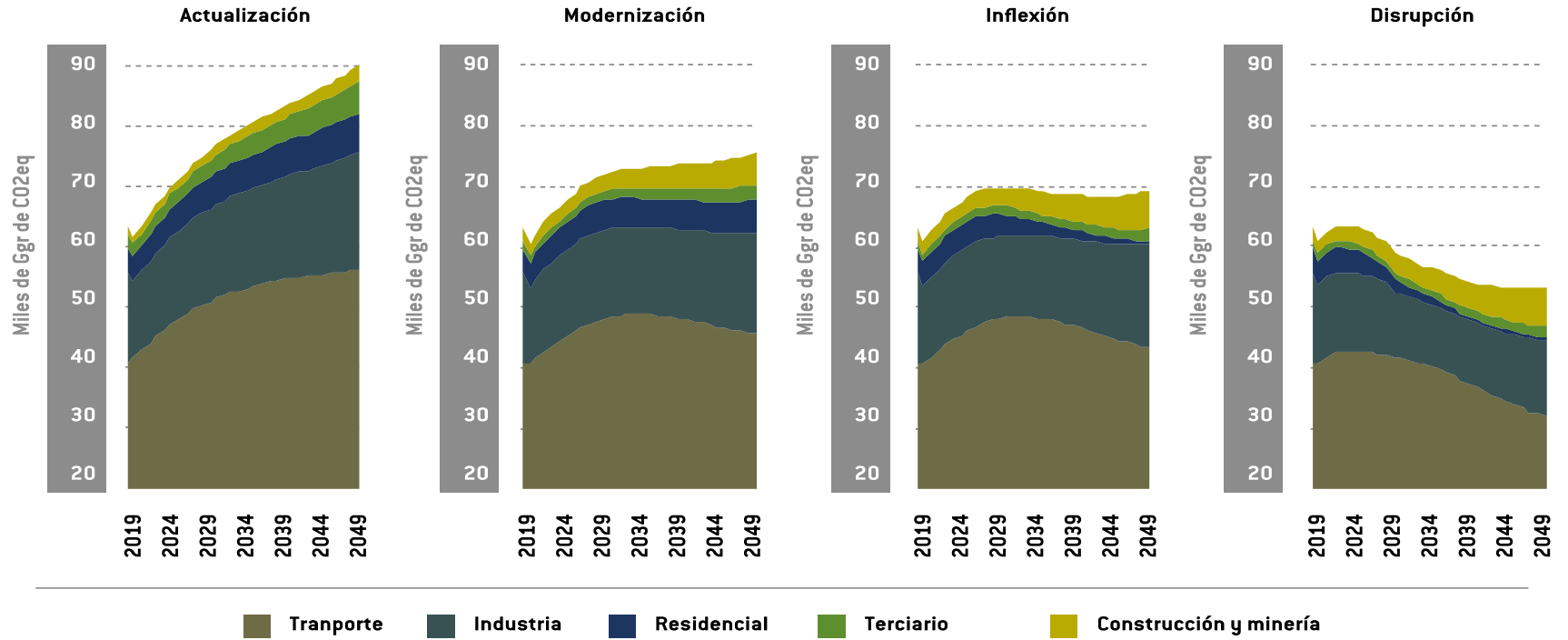
Emisiones de CO2 consume de energía – (Gg-año)



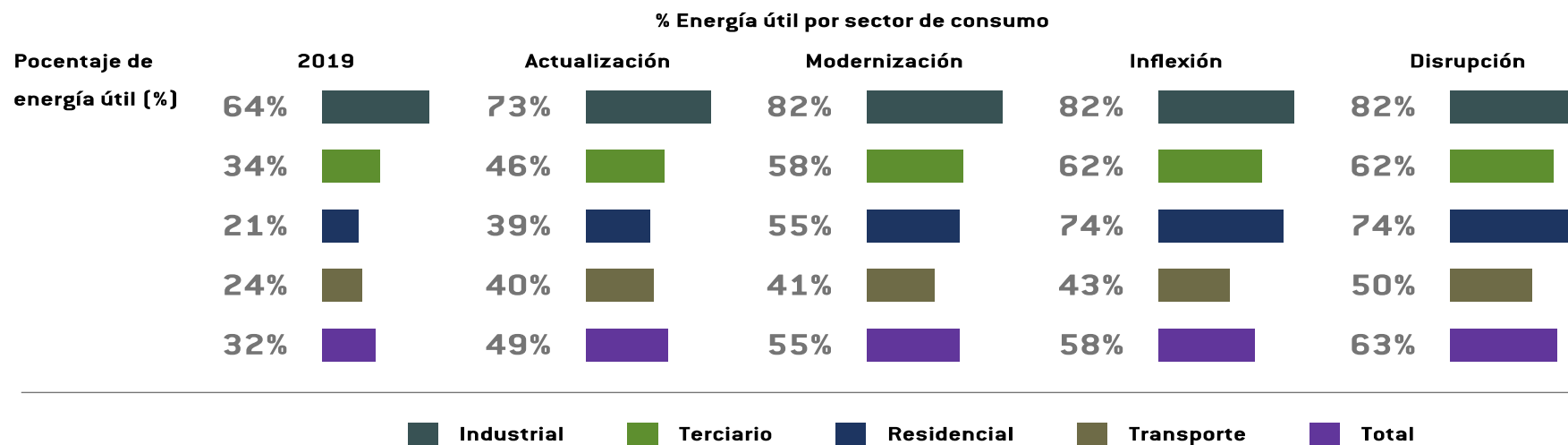
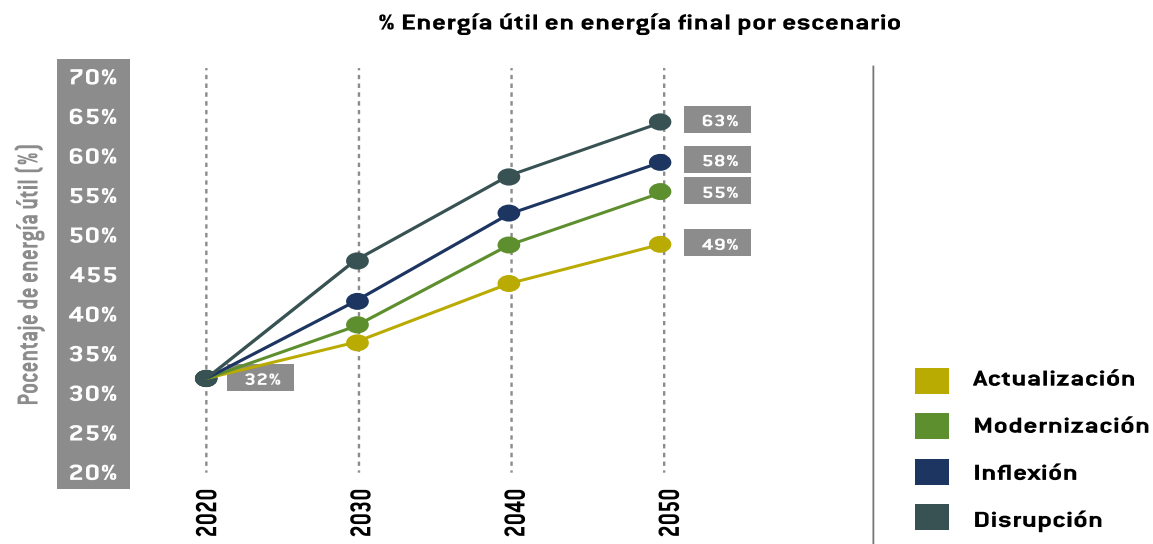
Emisiones (Ggr CO2 por TJ-año)



- Actualización
- Modernización
- Inflexión
- Disrupción

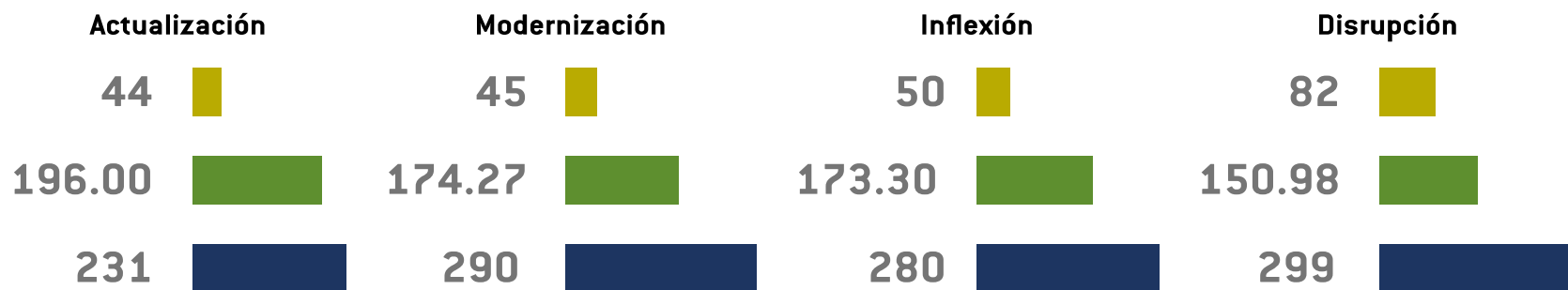


Análisis económico: Energía útil (%) sobre energía final



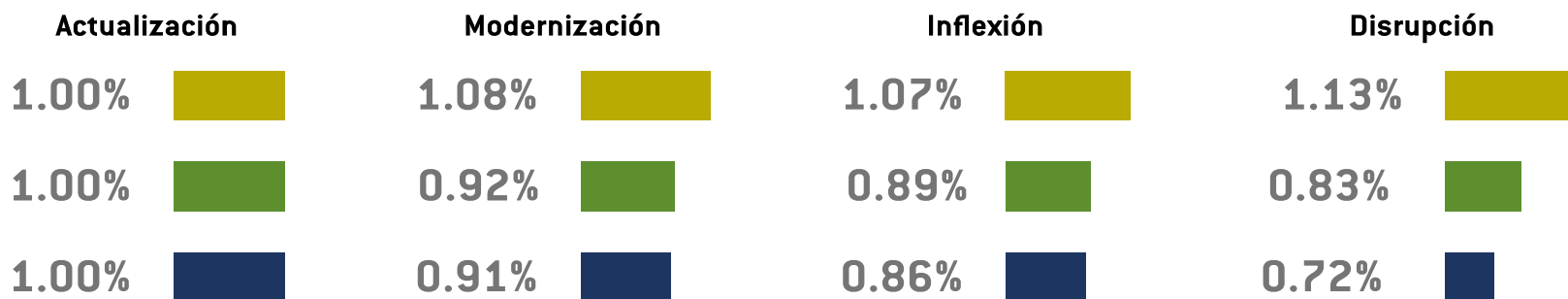
Análisis económico: Costos totales por escenario

Costos totales (Miles de millones de dólares)



■ Capex oferta
 ■ Costos variables oferta
 ■ Capex demanda

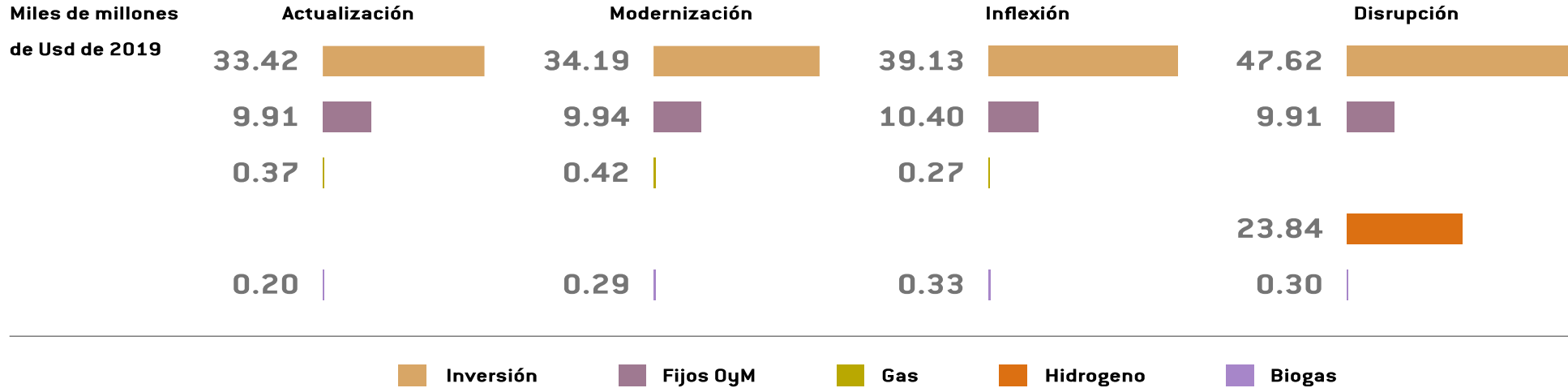
Porcentaje de diferencia con respecto a Actualización en 2050



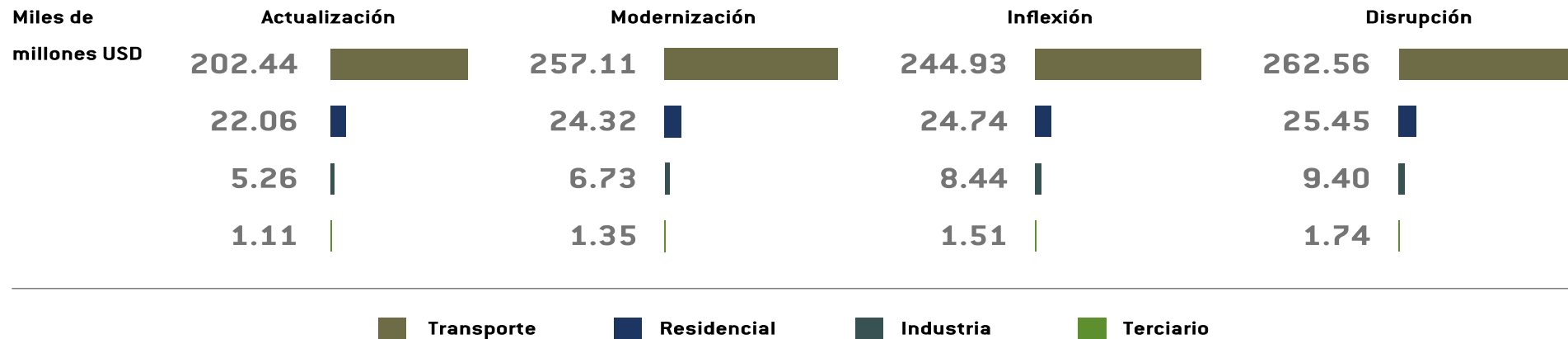
■ Total costos
 ■ Ahorro de energía
 ■ Reducción de emisiones

Análisis económico: Costos fijos: Oferta y Demanda

CAPEX oferta (Miles de millones de USD)

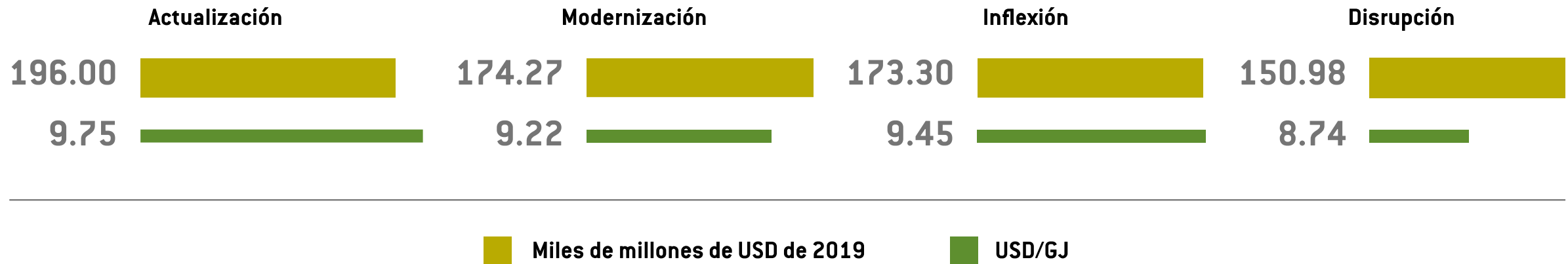


CAPEX Demanda (Miles de millones de USD)




Análisis económico: Costos variables y unitarios

Costos variables (Miles de millones USD) y costos unitarios (USD/GJ)



Análisis de riesgos

Riesgo	Actualización	Modernización	Inflexión	Disrupción
Lock in tecnológico	<p>Alto</p> <ul style="list-style-type: none"> Pocas posibilidades de modularidad Se conservan las economías de escala y de red 	<p>Medio – Alto</p> <ul style="list-style-type: none"> Existen posibilidades modulares y descentralizadas para la importación y transporte de gas. 	<p>Medio-Bajo</p> <ul style="list-style-type: none"> Alternativas modulares y descentralizadas en la cadena de valor. Necesidad de estándares para asegurar la interoperabilidad de equipos. 	<p>Sin información</p>
Ambiental	<p>Medio-Alto</p> <ul style="list-style-type: none"> Las emisiones de GEI Poca información de efectos de YNC en el país. La experiencia internacional correlaciona YNC con contaminación y cambios en el suelo, modificaciones bióticas, movimientos en masa entre otros. 	<p>Medio</p> <ul style="list-style-type: none"> Emisiones y concentración de GEI en la atmosfera. Aumento de la generación de RAEES Necesidad de grandes espacios de terreno que podrían implicar deforestación y pérdida de biodiversidad 	<p>Medio-Alto</p> <ul style="list-style-type: none"> Generación de RAEES La generación geotérmica puede emitir sustancias químicas a la atmósfera. La energía nuclear esta asociada con riesgos sobre los residuos, la extracción de uranio y accidentes nucleares. 	<p>Medio</p> <ul style="list-style-type: none"> Generación de RAEES. El impacto de la producción y uso de las celdas de batería contempla emisiones de CO2, CO, SO2 y COV. El litio y otros elementos puede generar impactos al agua, aire y suelo.
Capital humano:	<p>Bajo</p> <ul style="list-style-type: none"> El sector educativo tiene programas en estas áreas Existe capital humano disponible a nivel nacional. 	<p>Medio</p> <ul style="list-style-type: none"> Brecha en capital humano formado para operar y mantener los nuevos equipos. Pocos centros de investigación que puedan proponer innovaciones para el contexto local. 	<p>Medio-Alto</p> <ul style="list-style-type: none"> Escasez de programas y capital humano para el desarrollo de proyectos de FNCER, energía nuclear y una adopción de las BAT a nivel mundial. Insuficiencia de RRHH en instalación de redes en edificios inteligentes, cableado estructural y en el tendido de redes de baja, media y alta tensión. 	<p>Alto</p> <ul style="list-style-type: none"> La oferta educativa, investigación y capital humano capacitado escaso en áreas como el aprovechamiento de FNCE e hidrógeno, IA, gemelos digitales, manejo, gestión y análisis de Big Data, entre otros. Necesario de fortalecer I+D en materiales para la industria fotovoltaica, la transmisión y el almacenamiento.



Mensajes principales del Plan Energético Nacional 2020 – 2050

La demanda de energía del país será creciente en las próximas décadas

El crecimiento económico y de población implica que la demanda de energía aumentará (21%-48%). En PEN se analizaron las posibilidades con FNCE, hidrógeno y biogás. Sin embargo, hay otras opciones a analizar como los biocombustibles avanzados, la interconexión internacional, la producción de gas a partir de carbón y el hidrógeno azul y gris.

La oferta de energía primaria seguirá teniendo un participación importante de combustibles fósiles. Las decisiones que se adopten en cuanto a la producción local de YNC tendrá efectos en el abastecimiento energético. Explotar YNC desplaza temporalmente la necesidad de importar hidrocarburos, pero genera el riesgo de retrasar el uso de nuevas tecnologías en el largo plazo.

La energía renovable se perfila como la fuente principal para la generación eléctrica. Las FNCER tienen el potencial de representar el 40% de la capacidad instalada. Sin embargo, su entrada requiere inversiones de ampliación, mejora, actualización, automatización y digitalización de las redes de transmisión y distribución.

Los gases combustibles pueden ser el primer paso en la sustitución de los combustibles líquidos y la leña. El gas natural y el GLP son una opción viable para diversificar la matriz energética en el sector transporte, así como en procesos industriales y sustituir leña en el sector rural. Sin embargo, por sus características, su sustituto más cercano de menor costo seguirá siendo los combustibles líquidos, antes que la energía eléctrica o el hidrógeno.

El hidrógeno se perfila como la próxima generación de combustibles, gracias a sus ventajas energéticas y ambientales en comparación a los combustibles líquidos. Se podría tener un potencial consumo a 2050 de 5.300 ton-día (11%).

La tecnología el mejor aliado para el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de GEI

El país tiene el potencial para cumplir con las metas de reducción de emisiones de GEI en el largo plazo. Todos los sectores de la demanda y la producción de energía tienen oportunidades de contribuir con la reducción de emisiones de GEI.

- Transporte: Ascenso hacia tecnologías de cero y bajas emisiones, la modernización del parque automotor y cambios de modo y categoría.
- Residencial: Medidas de eficiencia energética en cocción, refrigeración, iluminación y acondicionamiento.
- Industrial: Equipos más eficientes, gasificar o electrificar los procesos de calor de bajas temperaturas y de altas en la medida que la tecnología lo permita.
- Oferta: Las FNCER, la energía nuclear, el hidrógeno, el almacenamiento, la captura y secuestro de carbono.

Las señales de mercado y la financiación del recambio tecnológico son fundamentales. La reducción de emisiones implica un esfuerzo financiero para el recambio tecnológico en los equipos de uso final, en particular en el sector transporte. La velocidad en la que pueda renovar la flota y la forma en cómo evolucionen los precios de los vehículos eléctricos (o de hidrógeno) serán determinantes para la descarbonización.

Avanzar hacia la carbono neutralidad requiere la implementación de medidas por fuera del sector energético. La carbono neutralidad implica la adopción de tecnologías que permitan la remoción de CO2 excedente, tales como: i) tecnologías de uso, captura y almacenamiento de carbono ii) forestación y reforestación; iii) la restauración de tierras y el secuestro de carbono en el suelo; iv) la meteorización reforzada y la alcalinización del océano, v) impulso e inversión en soluciones basadas en la naturaleza y v) mercados de transacción o comercio de emisiones, tanto nacionales como internacionales.

La transformación empieza con la modernización en el uso de la energía.

La eficiencia energética aliada de la competitividad nacional. Actualmente se pierde cerca del 68% de la energía que se consume, el recambio de equipos de uso final por los BAT nacional o internacional implica ahorros entre el 25% al 45% en las pérdidas. Los costos operativos totales tienen el potencial de reducción entre el 11% y el 23%, por la combinación de sustitución de combustibles y adopción de nuevas tecnologías.

La modernización tecnológica requiere inversiones significativas, por lo que dependerá de los recursos y mecanismos de financiación disponibles. El recambio tecnológico enfrenta obstáculos en su financiación, porque las decisiones se toman comparando la inversión inicial, porque se tienen altas tasas de descuento intertemporal o porque la tecnología no ha logrado llegar a una etapa de comercialidad.

La evolución de las tecnologías del sector transporte serán protagonistas en la transformación energética. La evolución tecnológica y de costos de los vehículos eléctricos, el hidrógeno o incluso los biocombustibles avanzados serán decisivos en la eficiencia y descarbonización del sector.

La transformación energética y el empoderamiento local. La generación distribuida habilita nuevas formas de participación de los usuarios finales en los mercados y los empodera para exigir mejores servicios y desarrollar soluciones a la medida de sus necesidades y contexto.

La transformación energética es un cambio de paradigma que requiere nuevos talentos y capacidades.

La transformación energética es un nicho de innovación y negocios. El desarrollo de tecnologías tendientes a la descarbonización, la descentralización y la digitalización del sector energético son ineludiblemente los negocios que reemplazarán los vigentes. La velocidad del cambio dependerá de las innovaciones que permitan reducir sus costos.

La gestión del conocimiento es necesaria para habilitar la transformación y el desarrollo sostenible. El engranaje academia, sector privado y sector público es fundamental para que exista una oferta suficiente, pertinente y de calidad de programas de formación de capital humano que habiliten el desarrollo tecnológico local.

La industria del hidrógeno puede impulsar el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas, las inversiones y la generación de empleo. La producción de hidrógeno a gran escala (y bajo costo) se perfila como el elemento transformador del sistema energético (geopolítica) mundial. En este sentido, el desarrollo de las técnicas para producción de hidrógeno a partir de diferentes materias primas, así como alternativas de almacenamiento y de acondicionamiento para su transporte y distribución representan oportunidades de investigación con alto potencial de agregación de valor al país.

La automatización, así como la creciente disponibilidad de datos requiere de capital humano con un enfoque, formación y habilidades distintas a las que el sector energético ha demandado hasta el momento. La creatividad, el emprendimiento, la analítica de datos, el pensamiento crítico, la innovación, el liderazgo y autogestión, la empatía, entre otras, son las habilidades que se valorarán en el mercado y que, por ende, hay que gestionarlas desde el sector educativo para conformar un capital humano en línea con los requerimientos de la transformación digital.



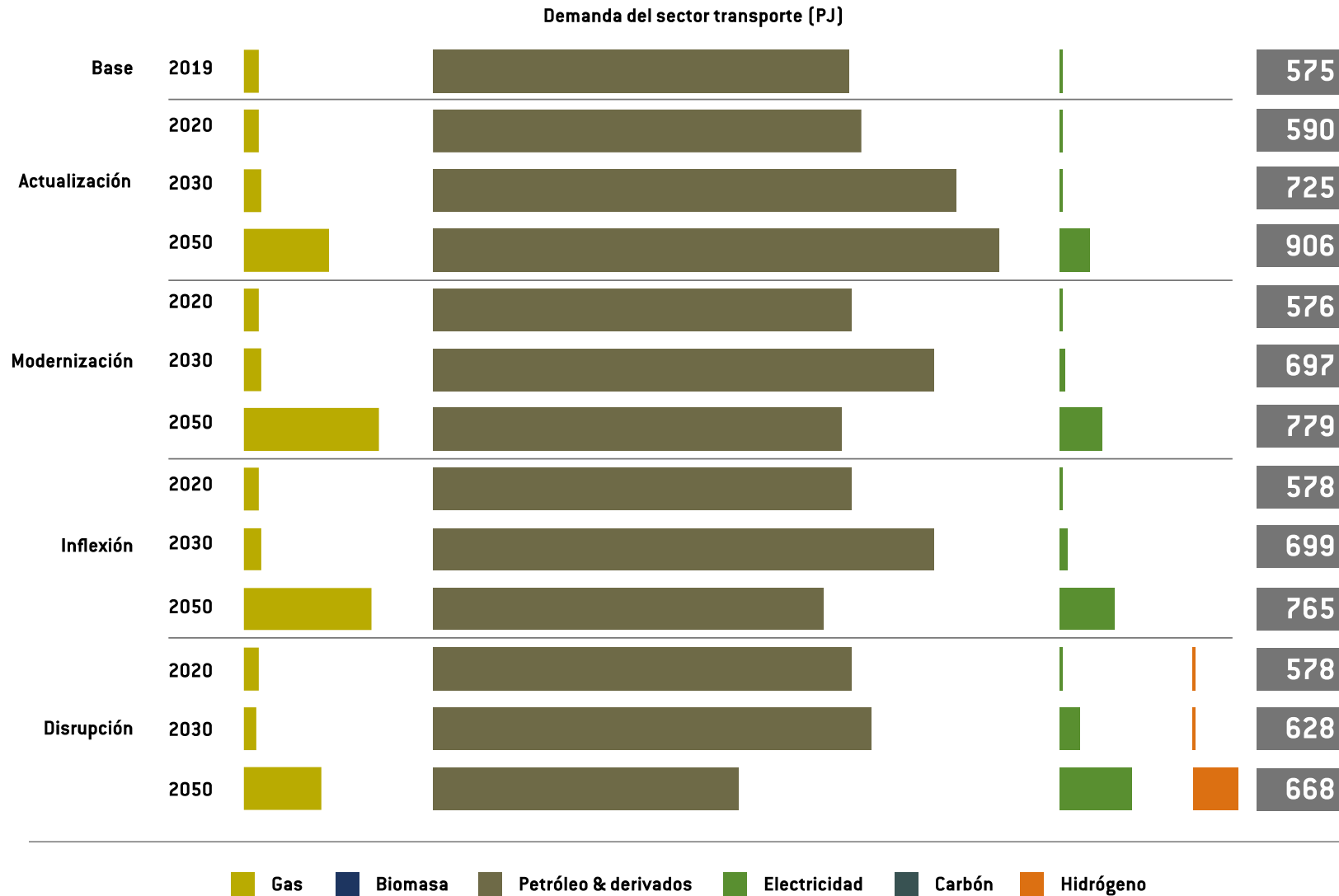
El futuro
es de todos

Minenergía



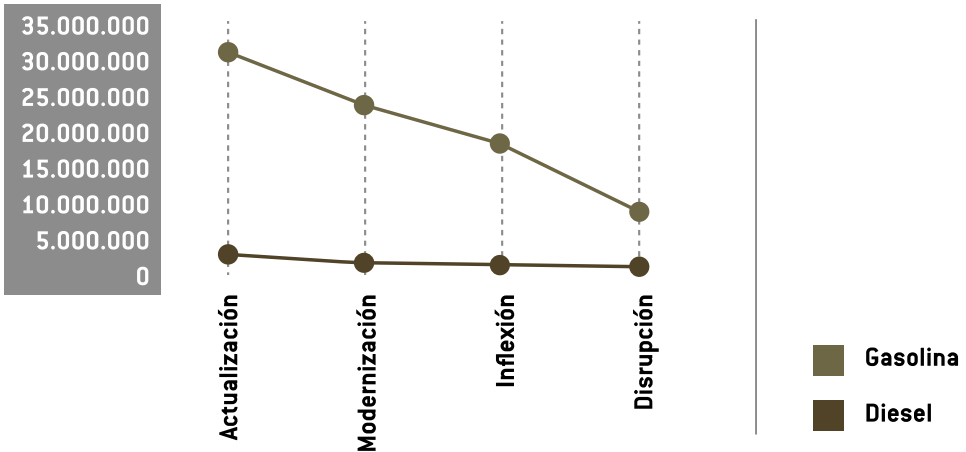
GRACIAS

Análisis energético: Combustibles (PJ) transporte

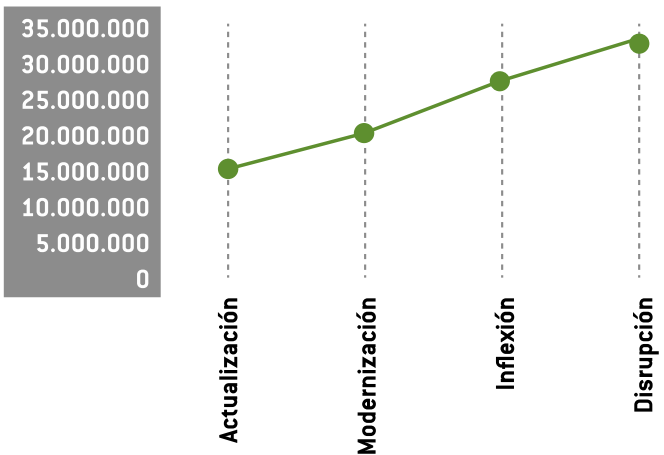


Supuestos en ventas de vehículos

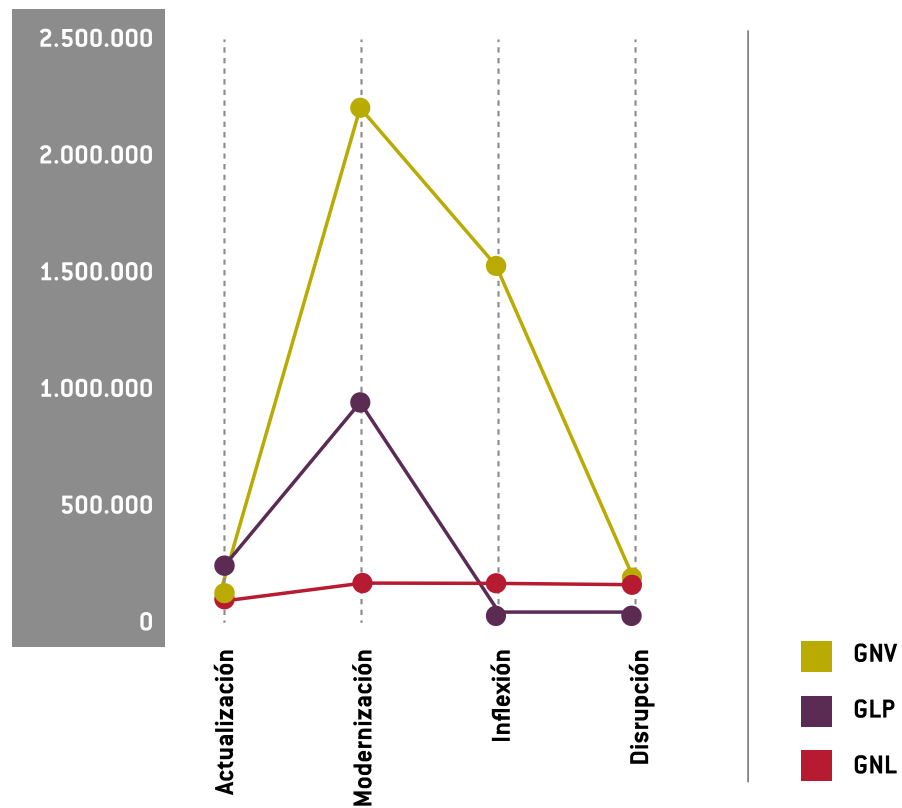
Ventas vehículos gasolina y diésel



Ventas vehículos eléctricos

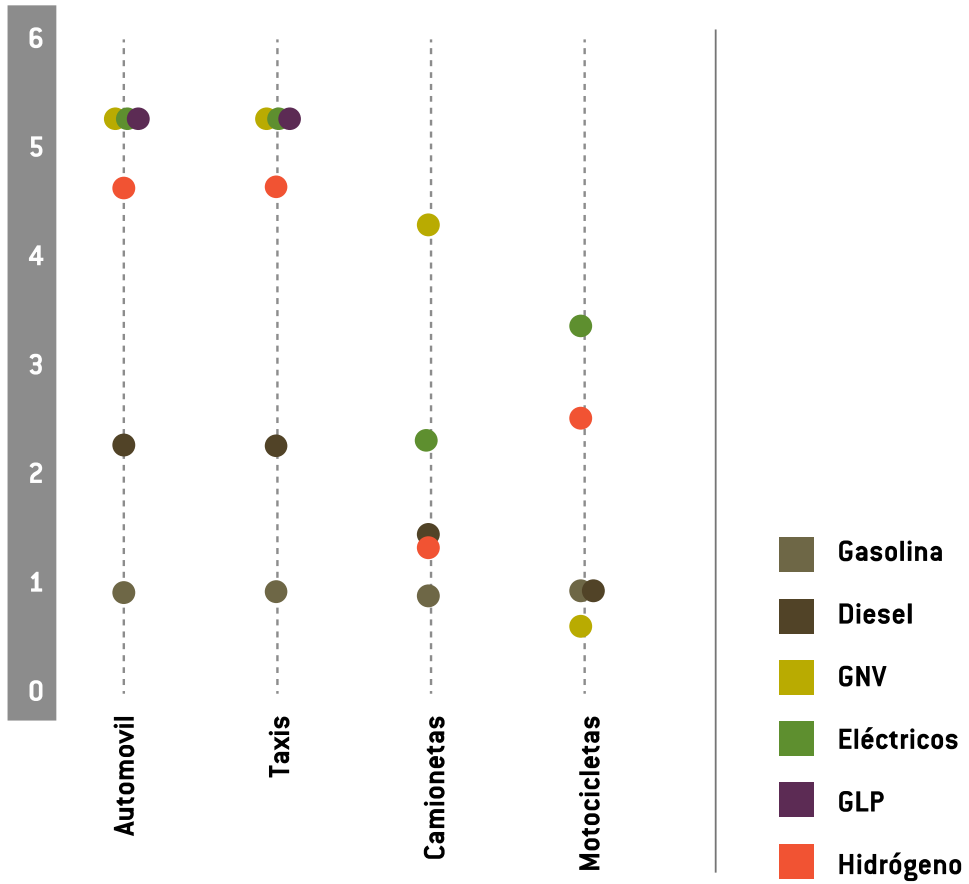


Ventas vehículos gas combustible

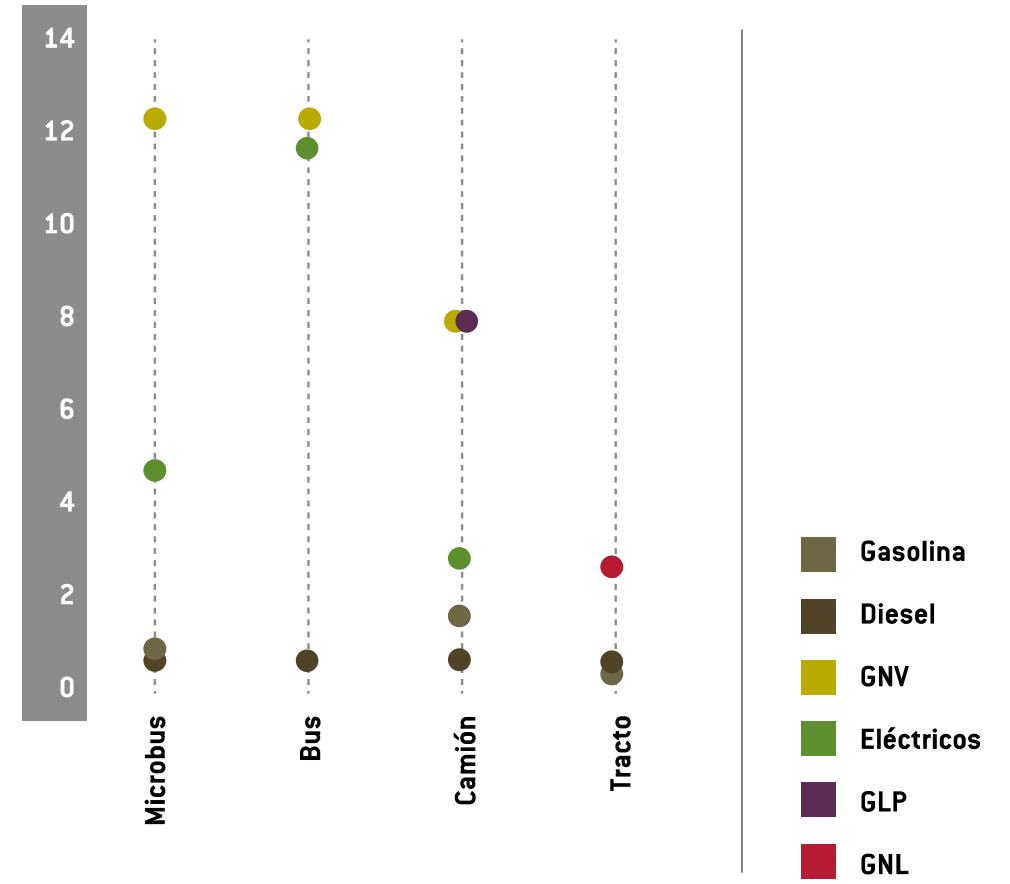


Costos normalizados vehículos en 2019

Costos normalizados vehículos livianos

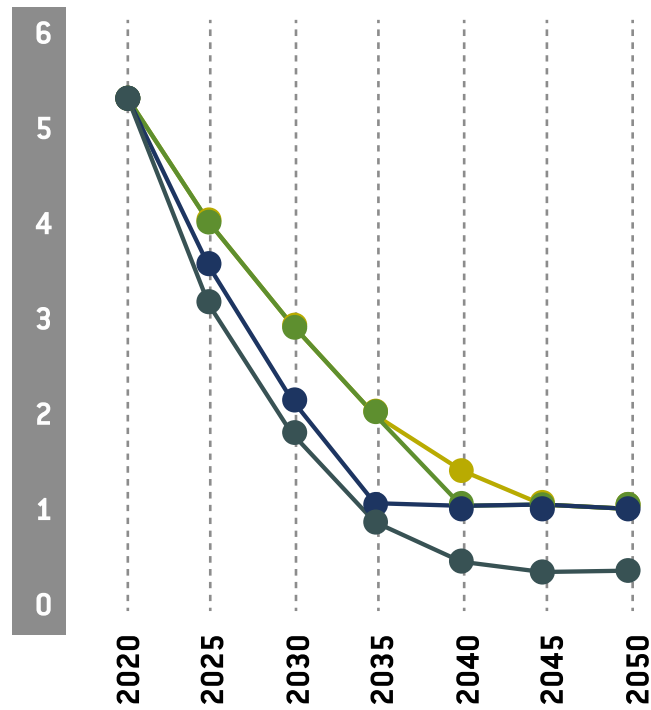


Costos normalizados vehículos pesados vs diésel



Supuestos en la evolución de costos para automóviles

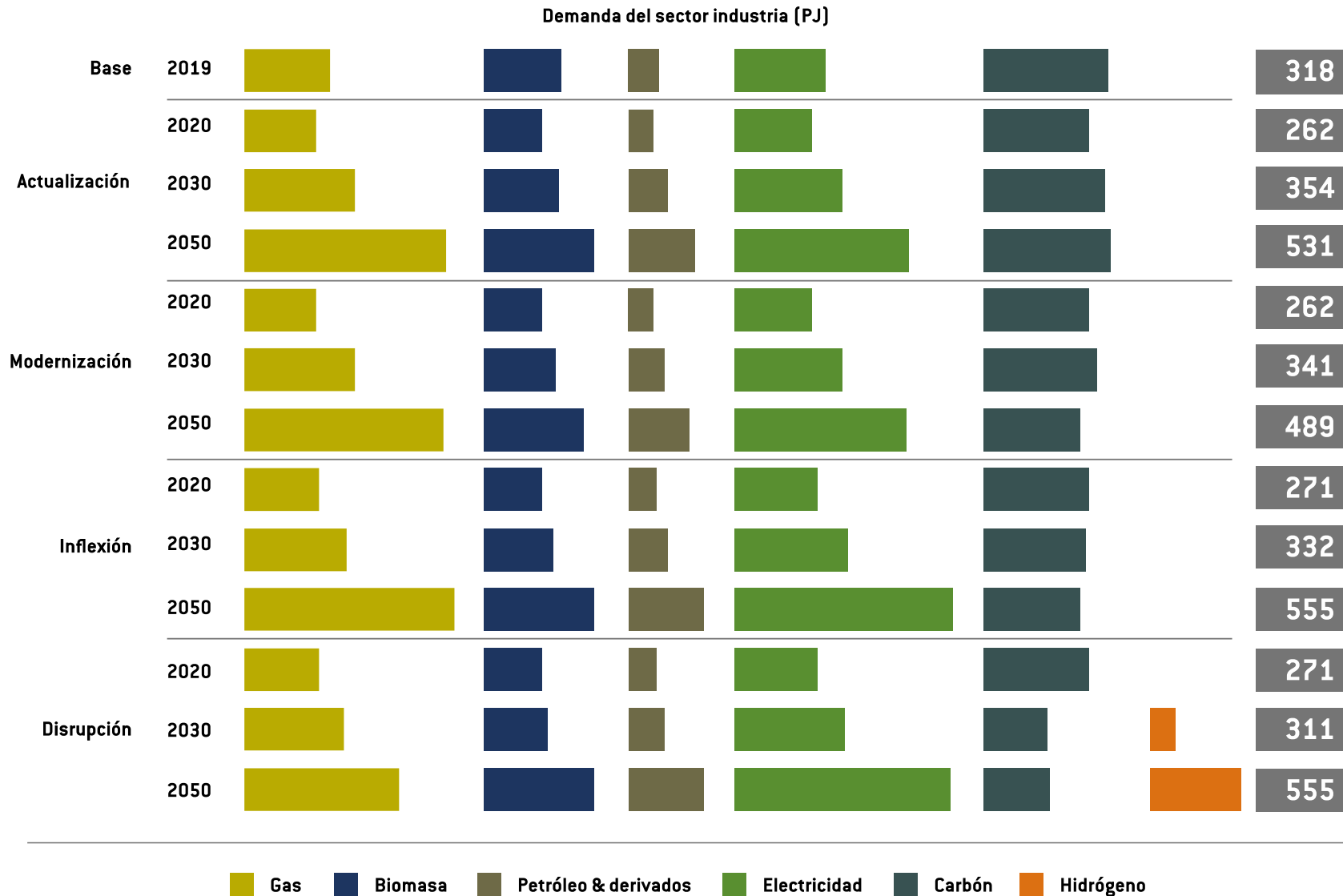
Evolución precios normalizados automóviles eléctricos



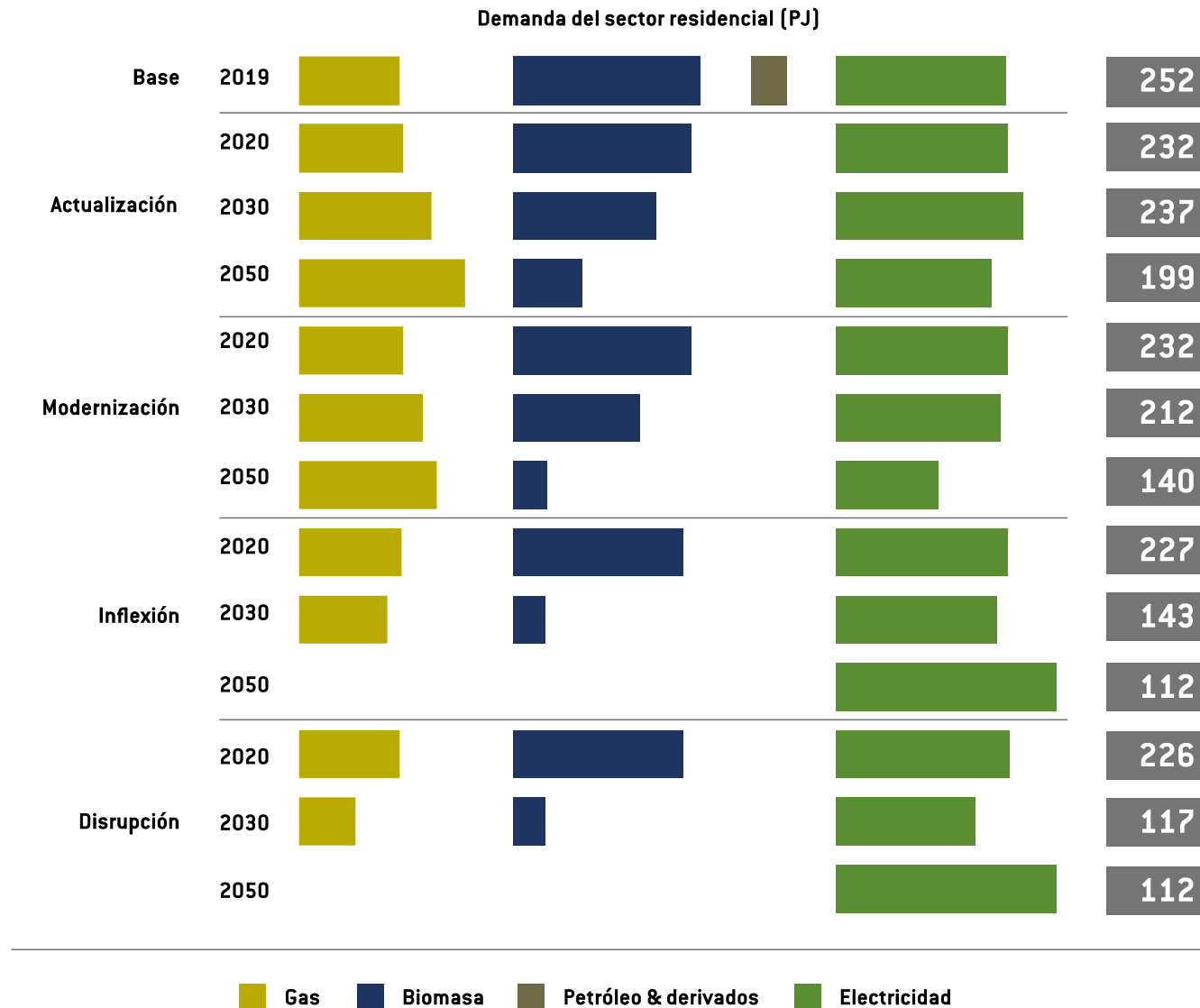
Composición de las ventas de la flota para el transporte terrestre en 2050



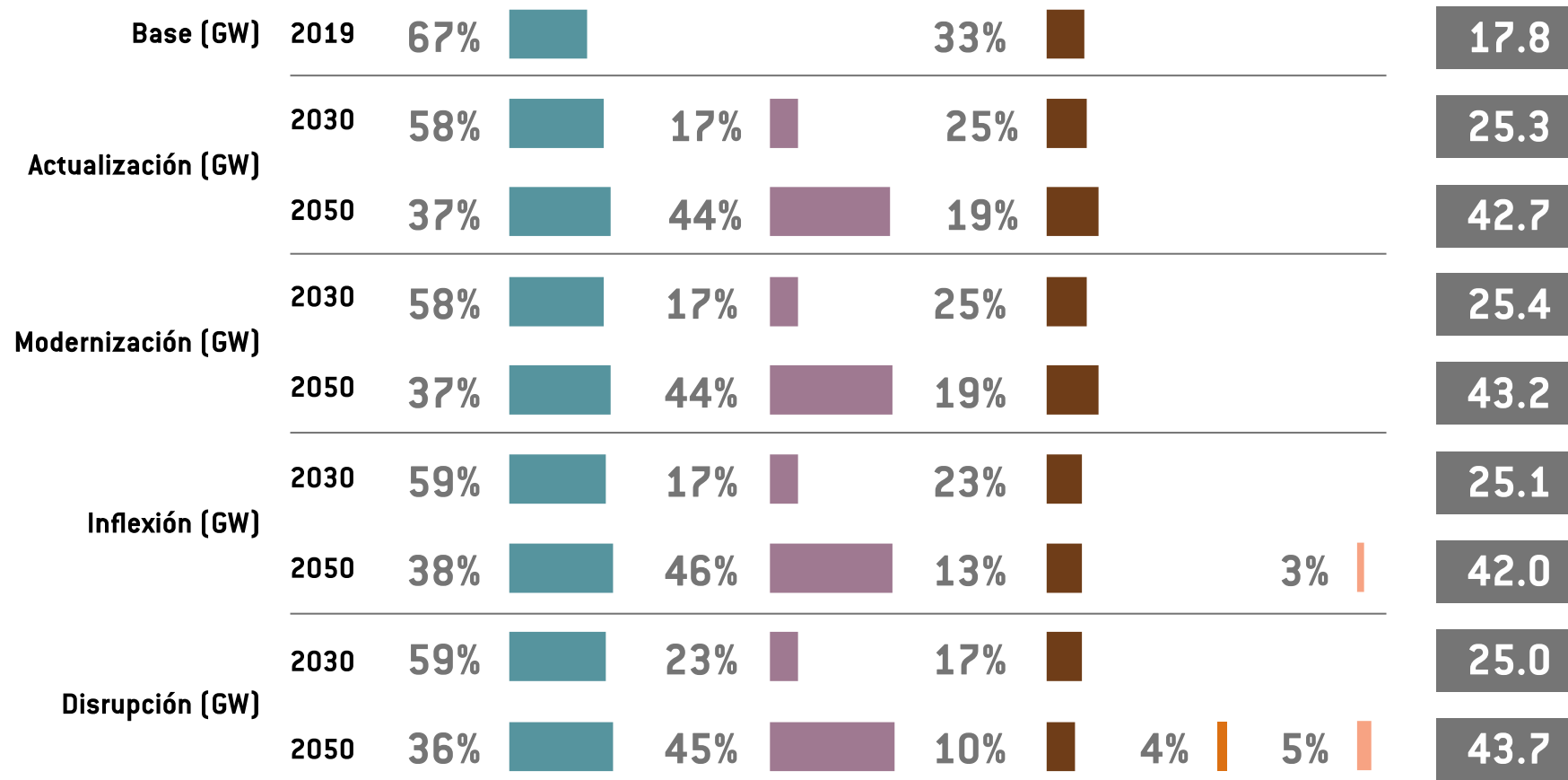
Análisis energético: Combustibles (PJ) industria



Análisis energético: Combustibles (PJ) sector residencial



Análisis energético: Composición parque generador (GW)



 Hidráulica
  FNCER
  Térmico
  Hidrógeno
  Nuclear