

Estudios **Técnico – Económicos – Financieros**
para la creación de **condiciones habilitadoras del**
ECOSISTEMA DEL HIDRÓGENO
en **Aplicaciones de Movilidad Eléctrica**
en Costa Rica



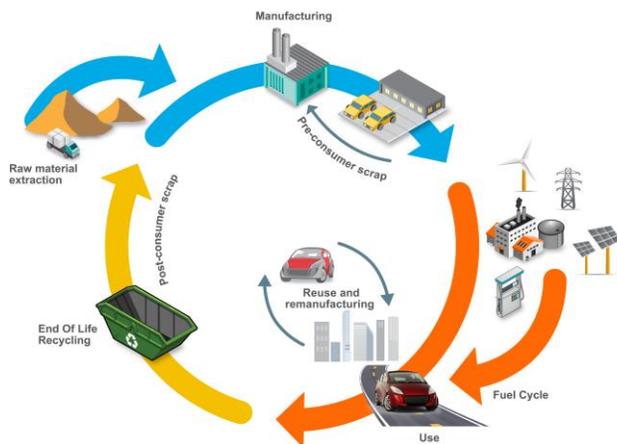
Presentación Ejecutiva del Proyecto – Septiembre 2020

¿EN QUÉ CONSISTE EL PROYECTO?

Tres fases consecutivas

Ambiental

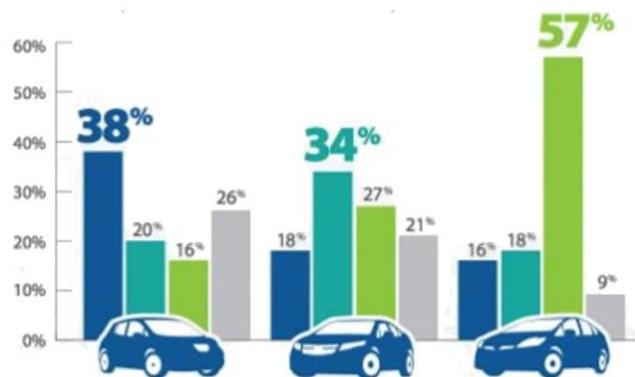
1. Evaluación de **ciclo de vida** de los FCEV y BEV



Octubre 2019 – Enero 2020

Económico/Financiero

2. **Costo Total de Posesión (CTP)** de los FCEV vs BEV



Febrero – Abril 2020

Estratégico

3. **Hoja de ruta** para infraestructura de recarga de H2



Abril – Julio 2020

¿PARA QUÉ TIPOS DE VEHÍCULO?

Resultados que orientan decisiones sobre segmentos y tecnologías

5 SEGMENTOS VEHICULARES



Segmento 1: Pasajeros



Segmento 2: Minibuses



Segmento 3: Buses



Segmento 4: Carga liviano



Segmento 5: Carga pesada

2 TRENES MOTRICES



Fuel Cell Electric Vehicle
FCEV



Battery Electric Vehicle
BEV

- **ARESEP**
Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
- **BEV**
Battery Electric Vehicle, o, vehículo eléctrico a batería, por sus siglas en inglés
- **CNFL**
Compañía Nacional de Fuerza y Luz
- **COSEVI**
Consejo de Seguridad Vial
- **CTP**
Costo Total de Posesión
- **ECOENA**
Empresa Costarricense de Combustibles y Energías Alternativas, nombre propuesto para la entidad que sustituiría al RECOPE si se aprueba el proyecto de Ley que permita su transformación
- **FCEV**
Fuel Cell Electric Vehicle, o, vehículo eléctrico a celda de combustible, por sus siglas en inglés

- **GHG**
Green House Gases – Gases de Efecto Invernadero
- **HRS**
Hydrogen Refuelling Station, o, estación de recarga de hidrógeno, por sus siglas en inglés
- **ICE**
Instituto Costarricense de Electricidad
- **ICEV**
Internal Combustion Engine Vehicle – Vehículo de combustión interna
- **INTECO**
Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
- **LCA**
Life Cycle Assessment – Análisis de Ciclo de Vida
- **MICITT**
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones
- **MINAE**
Ministerio de Ambiente y Energía
- **MOPT**
Ministerio de Obras Públicas y Transportes

- **OEM**

Original Equipment Manufacturer, o, fabricante original de equipo, por sus siglas en inglés. En el contexto del documento, hace referencia a fabricantes e importadores de automotores

- **PND**

Plan Nacional de Descarbonización, que en su versión más actual, cubre los periodos 2018-2050

- **PNE**

Plan Nacional de Energía, que en su versión más actual, cubre los periodos 2015-2030

- **RCN**

Red de Cobertura Nacional; infraestructura mínima de recarga de Hidrógeno requerida para que un FCEV pueda transitar por todo el territorio nacional y tenga acceso a una HRS dentro de su autonomía

- **RECOPE**

Refinadora Costarricense de Petróleo

- **UCR**

Universidad de Costa Rica



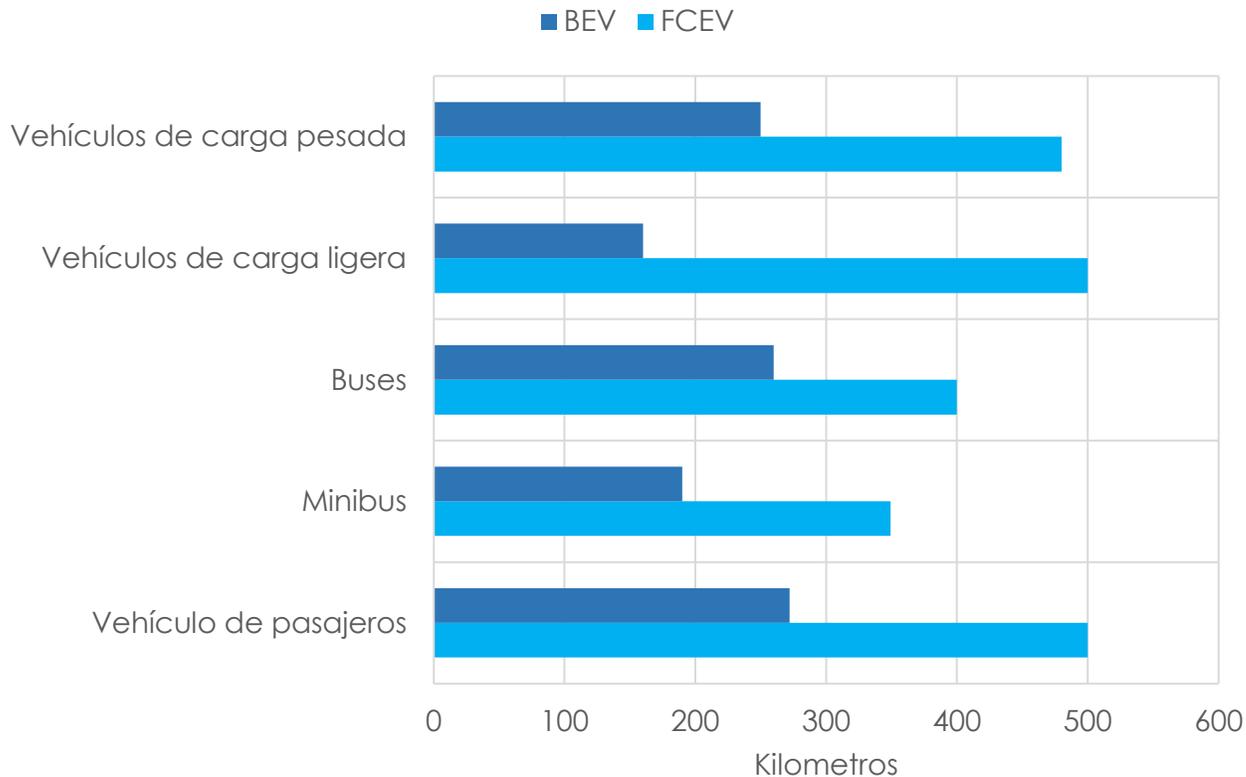
CONSIDERACIONES INICIALES



AUTONOMÍAS POR RECARGA/ABASTECIMIENTO

Varias rutas en Costa Rica no se podrían hacer con una sola recarga de un vehículo eléctrico a baterías

Autonomía de BEV & FCEV



Ejemplos de rutas (one-way) que los BEV NO podrían cubrir en Costa Rica:

- ✓ San José – Peñas Blancas (290 km)
- ✓ San José – Paso Canoas (360 km)
- ✓ Limón – Liberia (350 km)
- ✓ Limón – Quepos (330 km)
- ✓ Rutas internacionales hacia Panamá o Nicaragua

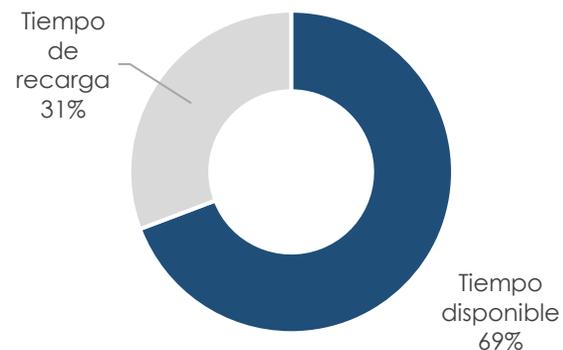
Y muchas rutas en Costa Rica no se pueden hacer con un BEV en ida y regreso con una sola carga

DISPONIBILIDAD DEL VEHÍCULO

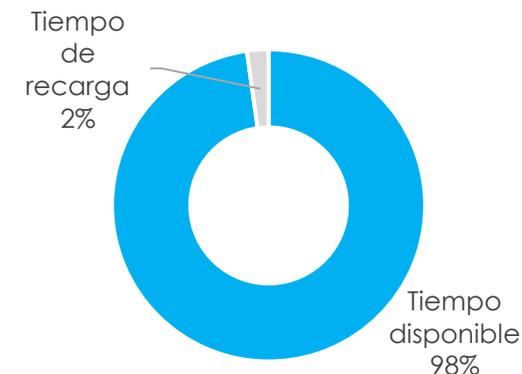
Los buses eléctricos de baterías que cubran más de 350 km de recorrido diario tendrán que hacer una o hasta dos paradas diarias para recargar

- ✓ Para los **buses de baterías**, la mayor tasa de aprovechamiento es de 17 horas, con **7 horas de recarga*** eléctrica (múltiples recargas).
- ✓ Los vehículos de **carga pesada de baterías** obtienen su mayor aprovechamiento con 15 horas de trabajo por **9 horas de recarga*** (múltiples recargas).
- ✓ Aunque los **FCEV** pudieran requerir más de una recarga de combustible al día, su **disponibilidad** máxima sería superior a **23 horas** diarias.

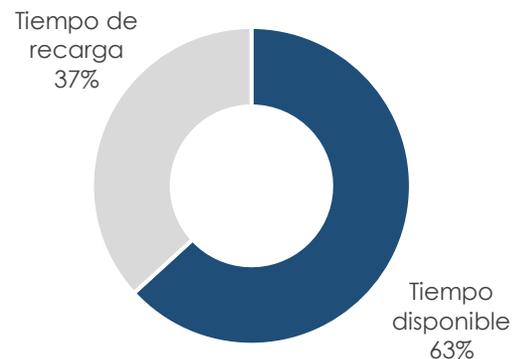
Disponibilidad de **buses a batería**



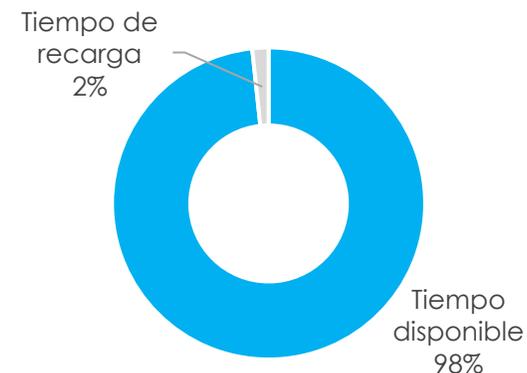
Disponibilidad de **buses de hidrógeno**



Disponibilidad de **camiones de carga a batería**



Disponibilidad de **camiones de hidrógeno**



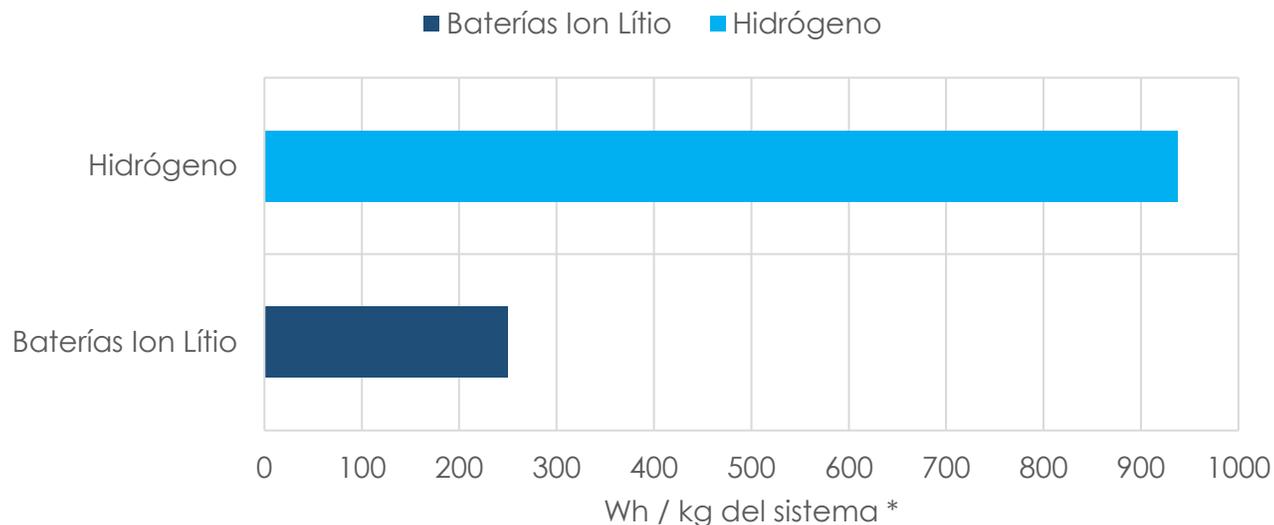
* Calculado para carga de un vehículo con potencia de 100 kW, 16 horas de conducción diaria y velocidades promedio de 40 a 60 km/h. De acuerdo a los cálculos, los vehículos BEV tendrían que hacer entre 2 y 4 recargas al día.

Fuente: Calculado por Hinicio con información técnica del tamaño de batería / tanque de H₂ de cada vehículo.

DENSIDAD ENERGÉTICA

Los vehículos a hidrógeno tienen una mucho mayor densidad energética, lo que les permite abastecer grandes demandas de energía en segmentos pesados

Energía específica de baterías de ión lito & hidrógeno comprimido



- ✓ Los sistemas de hidrógeno almacenan **mayor cantidad de energía** por unidad de masa, lo que permite satisfacer demandas energéticas de sistemas más **intensivos y pesados** (camiones de carga, barcos, camiones de minería, etc)

- Considerando el peso de tanques de hidrógeno, hidrógeno y celda de combustible para el caso de hidrógeno y baterías cargadas para el caso de baterías de ion lito.

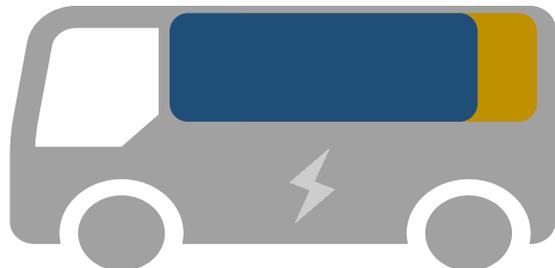
Fuente: [P. Kurzweil, J. Garche, 2017], Bases de datos Hinicio



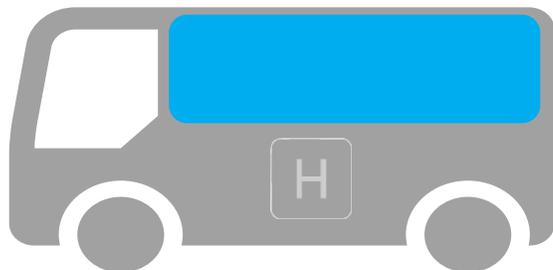
Camión minero a base de hidrógeno desarrollado por Anglo – American en colaboración con Williams Advanced Engineering. 1000 kWh de energía disponible

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE PASAJEROS

Una menor capacidad de transporte de pasajeros, debido al peso y tamaño de las baterías, podría implicar la adquisición de un mayor número de buses para satisfacer la demanda

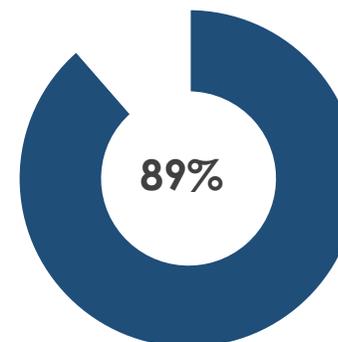


No. Máximo de Pasajeros*: **70**



No. Máximo de Pasajeros*: **79**

Capacidad de pasajeros de un bus eléctrico de baterías respecto a uno de hidrógeno



- ✓ La diferencia se debe a que la configuración del espacio en un bus eléctrico de baterías es diferente a la de uno de hidrógeno o de combustión interna debido al peso y al espacio requerido por las baterías.

Capacidad de transporte de pasajeros sacrificada por transporte de sistema energético.

* Incluye pasajeros de pie.

Fuente: Elaboración de Hinicio con información de fabricantes de buses eléctricos y de hidrógeno

CAPACIDAD DE CARGA DE CAMIONES DE CARGA PESADA (HDV)

La capacidad de carga útil de los camiones a hidrógeno es superior que la de los camiones a baterías, lo que impacta directamente la rentabilidad del negocio de transporte de carga (\$/ton transportada)

Partiendo de una base de **23 toneladas*** permitidas de carga en Costa Rica para camiones de tres ejes:

- ✓ Un camión eléctrico a **baterías** sacrificaría **33%** de su capacidad de carga respecto a un ICEV.
- ✓ Un camión eléctrico de **celda de combustible** sacrificaría solo **8%** de su capacidad de carga.



■ Capacidad de carga sacrificada por transporte de sistema energético.

	HDV - Baterías	HDV - Hidrógeno
Peso del combustible (kg)	0	55
Peso del contenedor de combustible (kg)	7600	1900
Capacidad de peso útil reducida(kg)	7600	1955

* Peso total del vehículo con una tolerancia sin multa en Costa Rica de una tonelada (31363-MOPT)

• Fuente: Análisis de Kenworth, 2020

OFERTA TECNOLÓGICA 2020 – CAMIONES PESADOS FCEV

Los FCEV se enfocan en cargas mayores a 20 Ton. Ya hoy circulan los primeros en recorridos de prueba



Nikola ONE – USA. Piloto en operación comercial
Foto: ABC Reportajes, 2017



Vehículo de carga pesada Hyundai. Entrada en operación en 2020. Foto: Hyundai New Zealand, 2018



Semi – truck en colaboración: Toyota + Kenworth.
Piloto en operación comercial. Foto: Forbes, 2019



En desarrollo: Hyundai HDC-6 Neptune. FCEV autónomo
Foto: Hyundai, 2019

OFERTA TECNOLÓGICA 2020 – CAMIONES PESADOS BEV

Los BEV para cargas mayores a 20 Ton están aún en desarrollo. Ya existen modelos comerciales para menos de 15 Ton.



En desarrollo: Tesla SEMI (≈18 ton)
Foto: Steve Jurvetson, Menlo Park USA



Mitsubishi Fuso eCenter 2017. En operación (<15 ton)
Foto: Wikipedia, 2020



X-OS ET ONE – HDV. En desarrollo
Foto: X-OS, 2020



Smith Newton Electric truck. En operación (<15 ton)
Foto: Smith Electric Vehicles

VENTAJAS



BEV

- Menores costos: + rápida masificación
- No requieren infraestructura especializada
- Oferta comercial robusta en segmentos livianos. Ventas en mayoría de mercados

DESVENTAJAS

- Autonomía 200 – 350 km
- Tiempos de recarga (1–8 horas)
- Masa superior (peso baterías)
- Disposición final compleja
- Inexistencia de estándar único de recarga



SEGMENTO LIVIANOS, DISTANCIAS CORTAS, USO PARTICULAR



FCEV

- Autonomía 450 – 700 km
- Tiempos de recarga (3-12 min)
- Estándar de carga único

- Mayores Costos
- Disponibles en pocos países
- Requiere infraestructura dedicada
- Limitada oferta comercial
- Percepción pública de riesgo

SEGMENTOS PESADOS, LARGA DISTANCIA, COMERCIAL





FASE 1: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

IMPACTOS AMBIENTALES

En asociación con:



ludwig bölkow
systemtechnik



FASE 1: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Análisis “de la cuna a la tumba” (“cradle-to-grave”)

Impactos Analizados:

- Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)
 - Dióxido de carbono (CO₂)
 - Metano (CH₄)
 - Óxido nitroso (N₂O).
- Consumo de Energía no renovable
- Consumo de Agua
- Riesgos/Seguridad/Toxicidad
- Fin de vida útil / Disposición final

Horizontes temporales:

- 2020
- 2030

Software 'E3database': Desarrollado por nuestro socio LBST, utilizado en el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea para evaluaciones del ciclo de vida

Unidad funcional: "por kilómetro recorrido":

- **GEI:** CO_{2eq} por km-vehículo
- **Energía:** MJ por km-vehículo
- Para **camiones y buses:** km-persona y km-tonelada

Fabricación de equipos y componentes: según matriz energética del país de origen

- **Materiales:** Chile, China, Congo, Corea del Sur
- **Componentes:** Brasil, Japón, África del Sur, EE. UU.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A pesar de la exhaustiva revisión bibliográfica, hay fuertes incertidumbres debido a la falta de transparencia, complejidad y confidencialidad de datos



120 estudios revisados (<10 años)

- Pocos son estudios originales (toman otro como fuente)
- Poca transparencia respecto a stock de materiales, procesos industriales y fuentes de energía
- Las cadenas de suministro son complejas
- El sistema base de componentes es cambiante
- Las tecnologías de baterías y celdas de combustible están evolucionando
- Los procesos de producción y manufactura están evolucionando
- El panorama del suministro de energía está en transición



LÍMITES DEL SISTEMA

Se toma en cuenta el ciclo de vida del energético



- ➔ Generación, transporte y distribución de **energía eléctrica** para **recarga** del BEV
- ➔ Generación, transporte y distribución de **energía eléctrica**, **electrólisis** del agua y **almacenamiento de hidrógeno** para el reabastecimiento del FCEV



- ➔ **No** se tuvo en cuenta* el consumo de energía y las emisiones asociadas para la **construcción de plantas** de generación de energía, de transporte de electricidad y de producción de hidrógeno (< 5% en comparación con la producción de combustibles fósiles)

* En concordancia con prácticas establecidas de LCA

Baterías

Etapa del proceso	Ubicación
Minería de Li_2CO_3	Chile
Minería de Co/Cu	Congo (DRC)
Planta hidrometalúrgica para producción de $\text{Co}(\text{OH})_2$	Congo (DRC)
Conversión de $\text{Co}(\text{OH})_2$ a CoSO_4	China
Suministro de MnSO_4 y NiSO_4	China
Producción de NMC	China
Producción del cátodo de NMC	Corea del Sur
Producción celdas de batería	Corea del Sur
Ensamblaje de baterías	Corea del Sur

Celdas de combustible

Etapa del proceso	Origen
Ácido perfluorosulfónico ('Nafion')	EE.UU.
Platino	África del Sur
Producción catalizador Pt/C	Japón
Producción de la membrana catalítica	Japón
Producción de la membrana MEA	Japón
Placas bipolares (placa de acero inoxidable)	Japón
Placas finales (producción de aluminio)	Japón
Minería de bauxita	Brasil
Suministro de juntas (placa de acero)	Japón
Balance de la producción de plantas (BOP)	Japón



MINERÍA DEL LITIO Y PRODUCCIÓN DE BATERÍAS

Gran parte del impacto ambiental de los EV se debe al uso intensivo de agua para la extracción de litio

El Litio para aplicaciones industriales se extrae principalmente en forma de carbonato de litio (Li_2CO_3), pero también como hidróxido de litio, cloruro de litio, bromuro de litio y butilo-litio

Dos tecnologías de extracción viables económicamente y disponibles comercialmente:

Minería de salmueras (reservas de agua subterránea salina bajo lagos de sal):

- 59% de las reservas mundiales
- Hoy en día representa 2/3 de la producción mundial → Principalmente en “triángulo de litio” en América del Sur
- 50% más barata (uso natural de energía solar)
- Produce menos residuos sólidos
- 1 Ton de carbonato de litio requiere hasta 500.000 litros de salmuera que se evapora y 5 - 50 ton agua dulce para tratamiento posterior

Minería de depósitos en rocas (pegmatitas/magma cristalizado):

- 25% de las reservas mundiales
- Mayor calidad: Mayor contenido de litio
- 1 Ton de carbonato de litio requiere aprox. 24,000 litros de agua dulce
- Más costoso debido a mayores requerimientos de energía y de químicos especiales

Producción de Baterías

- GEI: 81 g $\text{CO}_2\text{eq/kWh}$
- Energía: 932 MJp/kWh
- Agua: 671 kg/kWh
- Li_2CO_3 : 1.5kg/kWh → 57 kg para una batería de 38kWh

Alta demanda de agua → amenaza ambiental en regiones de extracción extremadamente secas!

MINERÍA DE PLATINO Y PRODUCCIÓN DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

El consumo de agua y emisiones por la producción de FC es menor en comparación con la producción de baterías

Extracción y uso

- El Platino suele encontrarse fundido con otros metales, por lo que tiene que ser procesado y refinado
- Se requiere de 7 a 12 toneladas de roca para producir 30 gramos de Platino puro¹
- En el proceso, se emplea un solución concentrada de ácido sulfúrico para remover otros metales
- Cerca del 40% del platino extraído en el mundo se emplea en la producción de catalizadores

El impacto ambiental varía según el sitio de extracción

- Las tecnologías empleadas en Sudáfrica previenen en gran medida la acidificación
- En Rusia la extracción no está al mismo nivel tecnológico
- El 80% de los yacimientos económicamente viables se encuentran en Sudáfrica

Producción de Celdas de Combustible

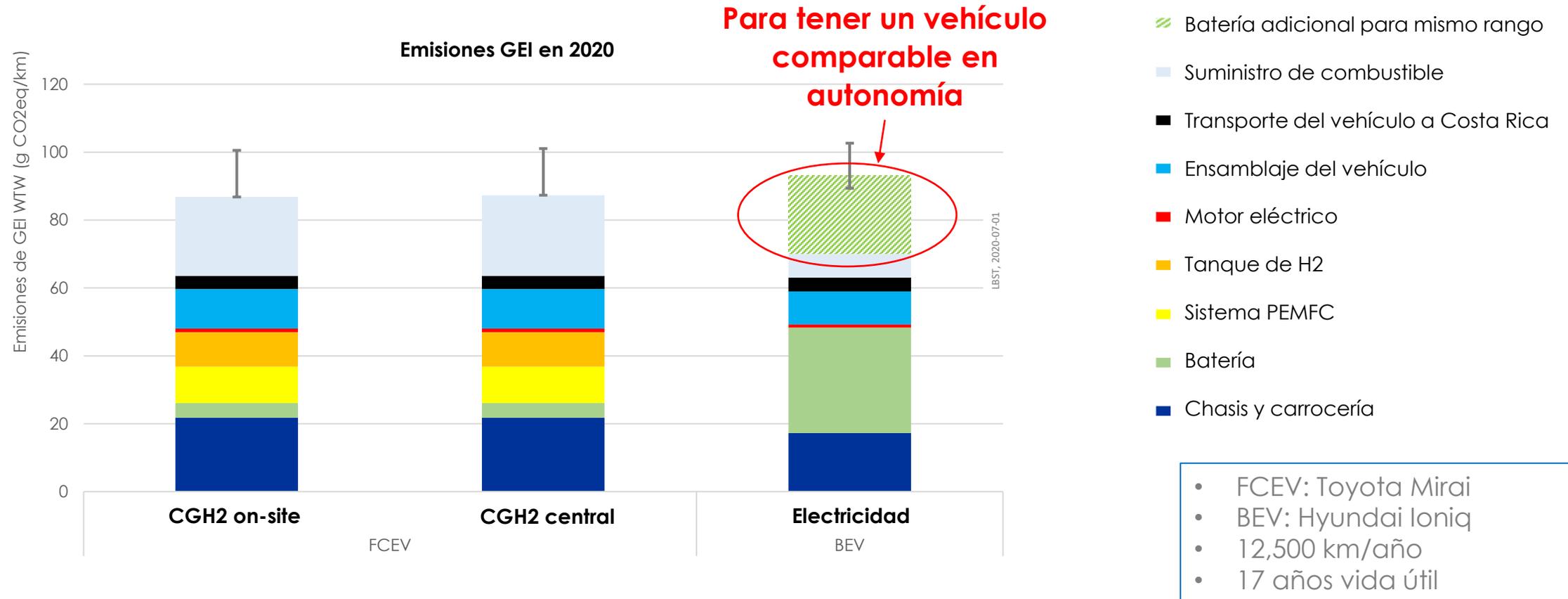
- 0.22 g/kWe o 25 g de Platino por vehículo con una capacidad PEMFC instalada de 114 kWe.
- GEI: 20.1 g de CO₂eq por kWe de potencia PEMFC
- Energía no renovable: 156 MJp/kWe
- Agua: 107 kg/kWe

Acidificación de aguas subterráneas → amenaza ambiental en regiones con acuíferos vulnerables!

EMISIONES GEI EN CICLO DE VIDA DE VEHÍCULOS LIGEROS PARTICULARES

Diferencias mínimas en emisiones por kilómetro entre FCEV y BEV

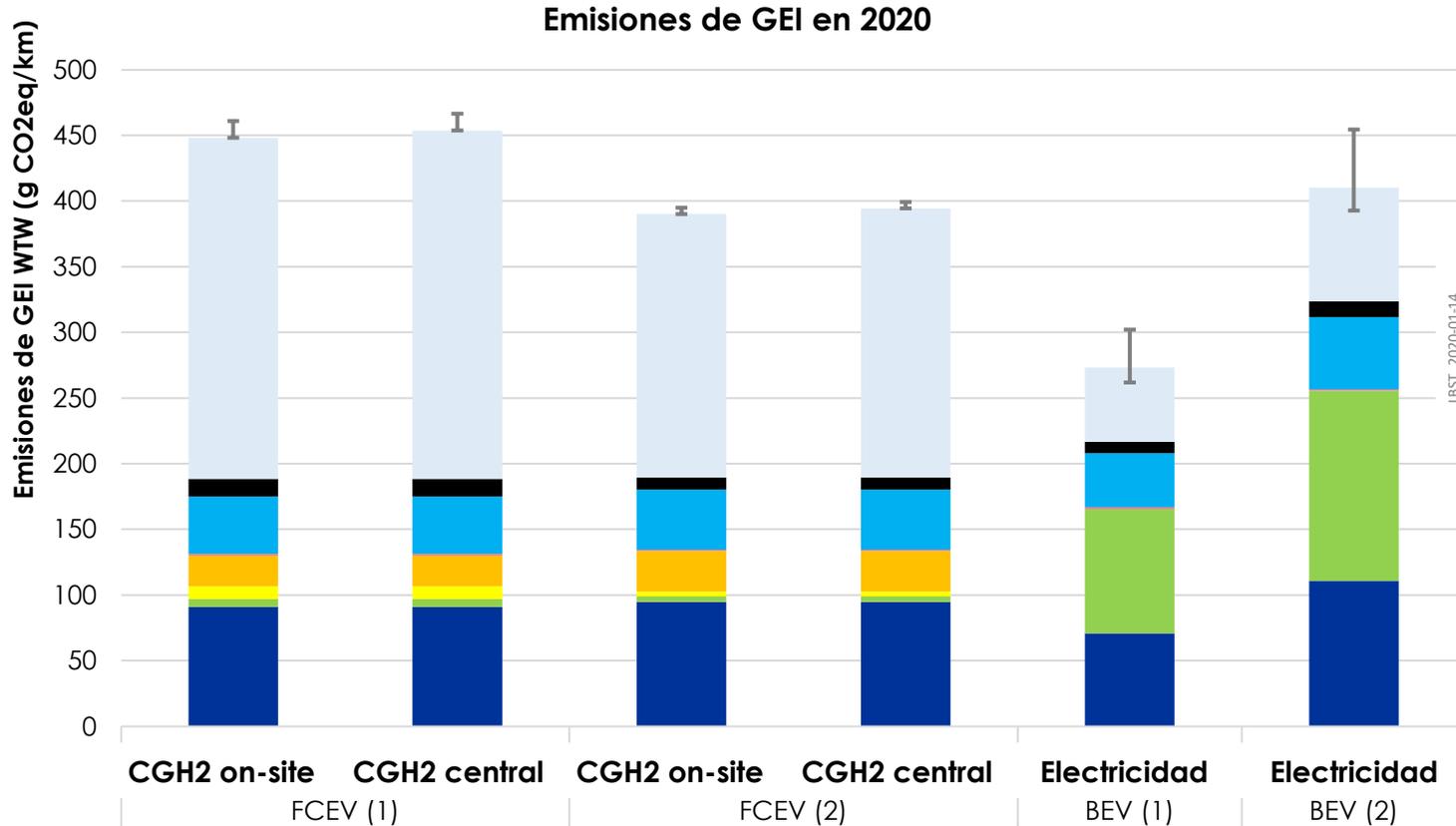
Para hacer un análisis comparable, se agregó una capacidad adicional de baterías al BEV



Un vehículo de pasajeros similar híbrido (HEV) con motor de combustión interna a gasolina emitiría unos **180 g CO₂eq/km**, incluyendo el suministro de gasolina y la fabricación del vehículo).

EMISIONES GEI EN CICLO DE VIDA DE BUSES

Se calcularon dos modelos para cada transmisión, debido a importantes diferencias en las configuraciones

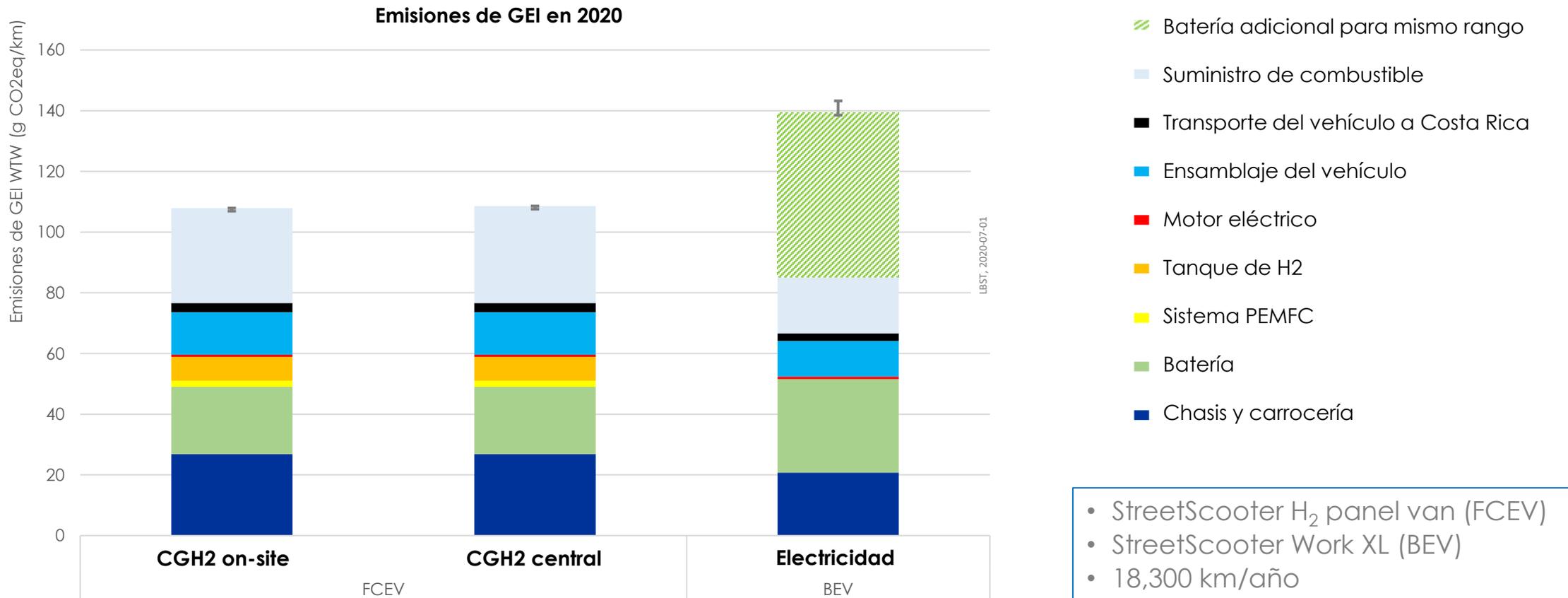


- Suministro de combustible
- Transporte del vehículo a Costa Rica
- Batería adicional para mismo rango
- Ensamblaje del vehículo
- Motor eléctrico
- Tanque de H2
- Sistema PEMFC
- Batería
- Chasis y carrocería

- Toyota Sora (FCEV 1)
- Van Hool (FCEV 2)
- Mercedes e-Citaro (BEV 1)
- Solaris Urbino 12 Electric (BEV 2)
- 65,500 km/año

EMISIONES GEI EN CICLO DE VIDA DE CAMIONES CARGA LIGERA

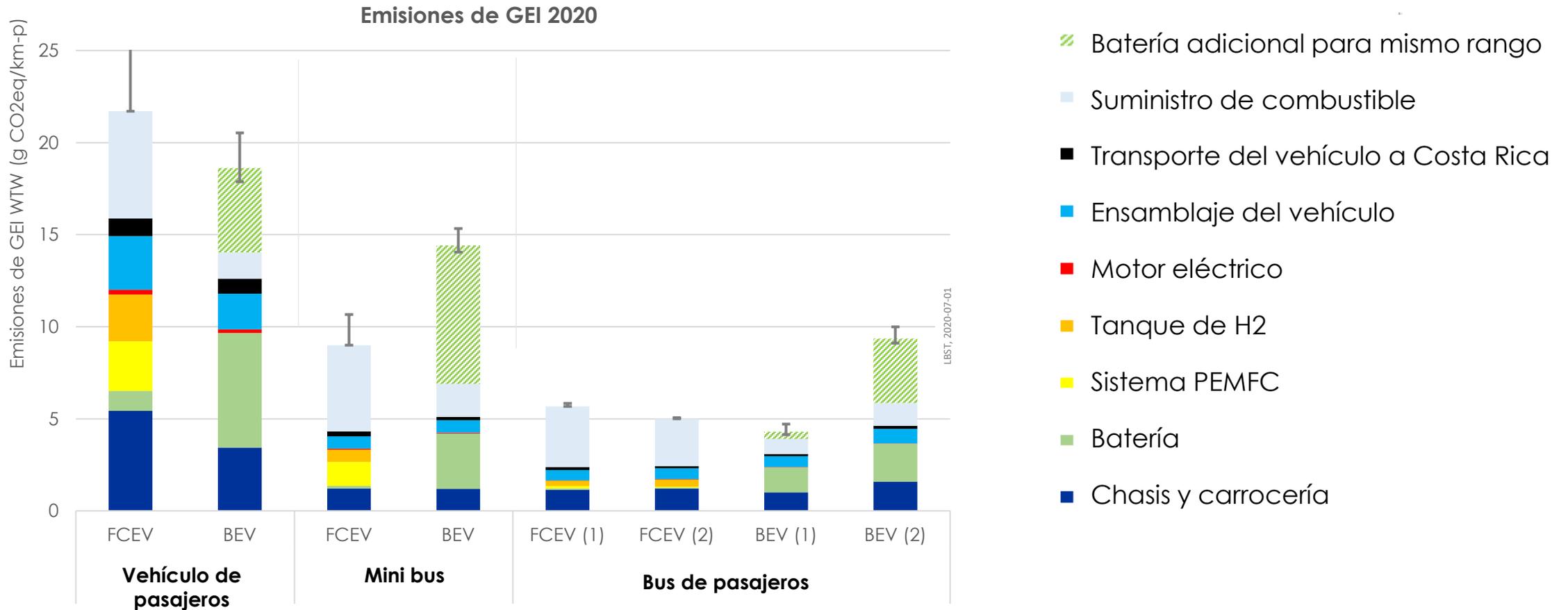
El FCEV tiene mejor desempeño que el BEV para una autonomía equivalente. Sin embargo, para distancias cortas, el BEV representa una mejor opción



Las baterías adicionales para igualar la autonomía disminuirían significativamente la carga útil de 1.15 t a 0.60 t si no se aumenta el peso máximo permitido. Sin embargo, el aumento del peso bruto máximo implica un mayor uso de materiales, y por ende, mayores emisiones de GEI.

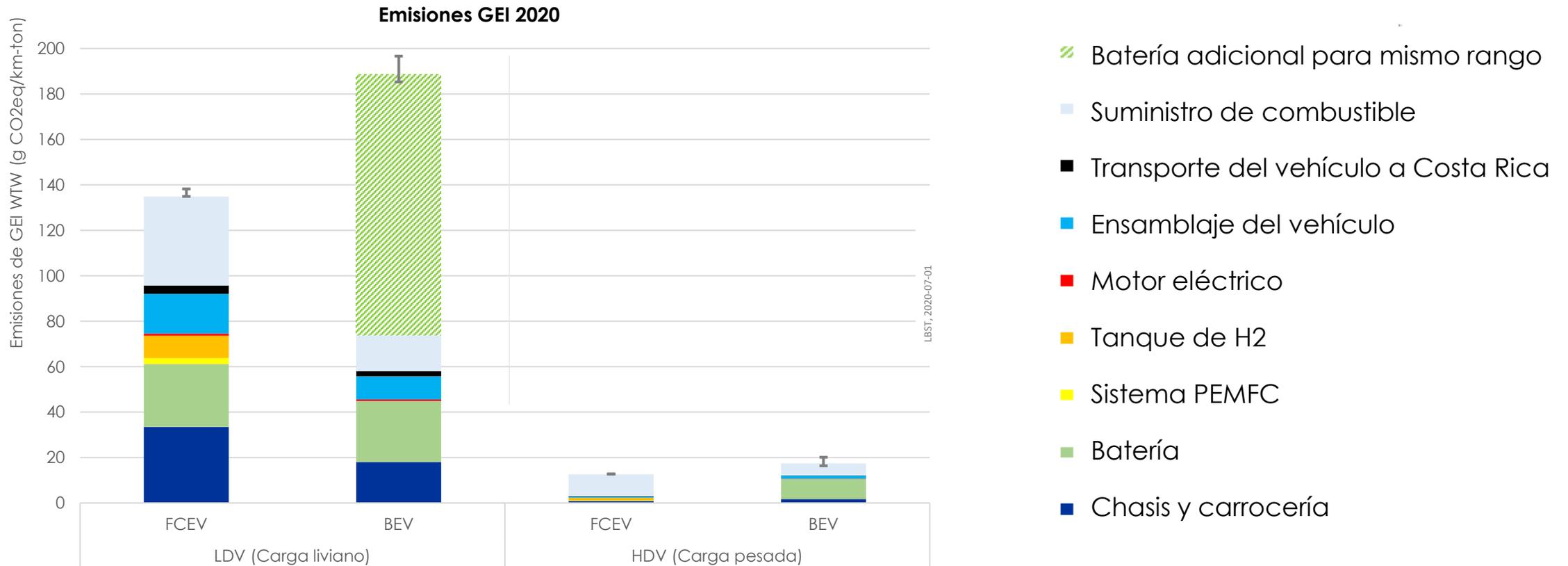
EMISIONES POR KM Y POR PASAJERO

El peso y espacio requerido por las baterías en un BEV reduce el número de pasajeros posible en buses y minibuses. Esto se traduce en un mejor desempeño de los FCEV para el mismo rango de autonomía y mismo número de pasajeros



EMISIONES POR KM Y TONELADA DE CARGA ÚTIL

El espacio y peso de las baterías en un BEV, disminuyen la carga útil del camión. Para un mismo rango de autonomía y misma carga útil de mercancías, el FCEV se desempeña mejor





CONCLUSIONES – EMISIONES GEI EN CICLO DE VIDA

El consumo de energía renovable en el uso de BEV y FCEV es el principal impulsor de un mejoramiento en el rendimiento ambiental

1

EMISIONES POR SEGMENTO

El transporte público representa menores emisiones por km-pasajero que los vehículos particulares.

2

EMISIONES DE BEV VS FCEV

Las emisiones en el ciclo de vida de BEV y FCEV son del mismo orden de magnitud.

3

EMISIONES EN KM POR PASAJERO

Las emisiones km-pasajero de un BEV son mayores que las del FCEV para la misma autonomía en casi todos los segmentos. Se calcularon las emisiones de GEI por 'batería adicional' (menor capacidad de pasajeros y menor carga útil).

4

POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

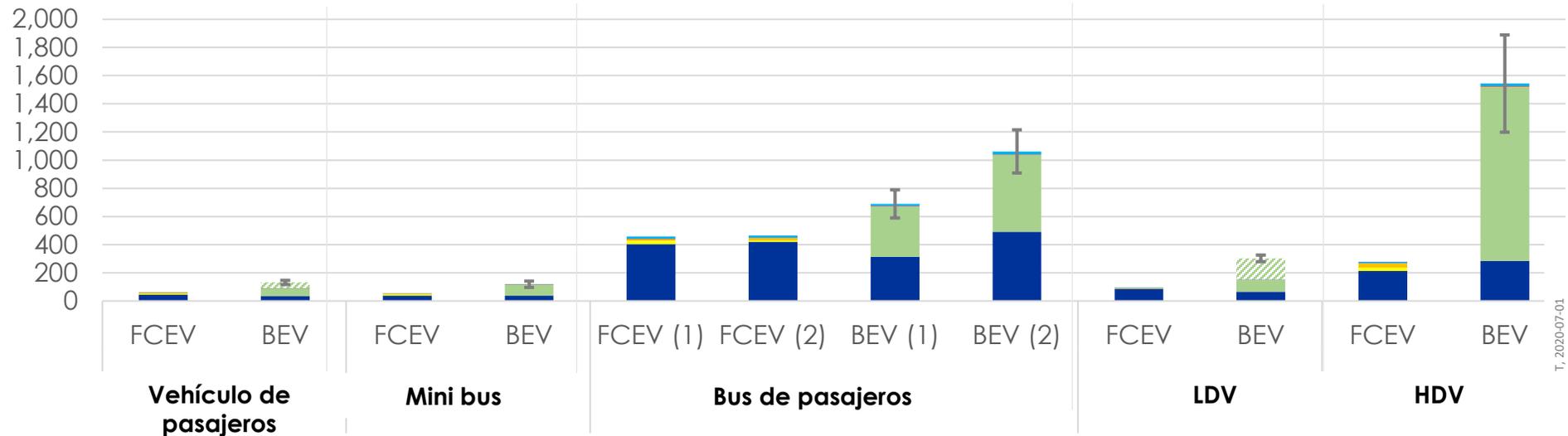
Potencial de reducción de emisiones de 30% reciclando 85% de los materiales.

COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

El consumo de agua de los BEV es mayor debido a la alta demanda de este insumo en la extracción de litio para las baterías

Consumo de Agua 2020

Consumo de agua (t/vehículo)



T, 2020-07-01

- Chasis y carrocería
- Sistema PEMFC
- Motor Eléctrico
- Transporte del vehículo a Costa Rica
- Batería
- Tanque de H2
- Ensamblaje del vehículo
- Suministro de combustible
- ▨ Batería adicional para mismo rango



CONCLUSIONES CONSUMO DE AGUA EN CICLO DE VIDA

La matriz energética de CR permite un bajo consumo neto de agua en la producción de electricidad y de hidrógeno



AGUA EN PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

En la matriz energética de Costa Rica, el agua está presente en la producción de electricidad en procesos de refrigeración, los cuales son de baja demanda.



AGUA EN PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

Se consumen 9 litros de agua por kg de hidrógeno. Comparativamente con la extracción de litio y la fabricación del vehículo, es poca agua.



EXTRACCIÓN DE LITIO (BATERÍAS)

- Extracción en salmueras (59% reservas)
- Salmuera que se evapora: 500.000 litros / ton de litio
- Agua dulce adicional: 5,000 a 50,000 litros / ton de litio (tratamiento posterior)
- Extracción en roca (25% reservas): 24,000 litros de agua dulce



EXTRACCIÓN DE PLATINO (CELDA DE COMBUSTIBLE)

- Contribuye a la acidificación de aguas subterráneas
- Las tecnologías empleadas en Sudáfrica (80% reservas) previenen en gran medida la acidificación

Producción de baterías

	Unidad	Promedio
2020		
Emisiones GEI	g CO ₂ eq/kWh	81
Energía no renovable	MJp/kWh	932
Agua	kg/kWh	671
2030		
Emisiones GEI	g CO ₂ eq/kWh	54
Energía no renovable	MJp/kWh	709
Agua	kg/kWh	617

Producción de celdas de combustible

	Unidad	Estimado
2020		
Emisiones GEI	g CO ₂ eq/kW _e	20.1
Energía no renovable	MJ _p /kW _e	156
Agua	kg/kW _e	107
2030		
Emisiones GEI	g CO ₂ eq/kW _e	16.5
Energía no renovable	MJ _p /kW _e	127
Agua	kg/kW _e	100

Producción de tanques de H₂

	Unidad	LBST (mezcla de electricidad ajustada)
Nivel de presión	Mpa	70
Capacidad de almacenamiento	kg H ₂	5.8
Emisiones de GEI	kg CO ₂ eq	2494
	kg CO ₂ eq/kg _{H2}	430
Uso de energía no renovable	Gj	36.4
	GJ/kg _{H2}	6.28
Uso de energía renovable	Gj	0.82
	GJ/kg _{H2}	0.14
Uso de agua	Kg	2852
	kg/kg _{H2}	492

BEV

Principales riesgos asociados:

- **Fuga térmica batería Ion-Litio:** proceso de calentamiento en cadena, causado por un corto interno debido a:
 - Choques
 - Transporte, almacenamiento y desmontaje de la batería
- Riesgo sigue estando presente al final de la vida útil del vehículo por el manejo de la batería

Regulación:

- **GTR* Número 20**
 - Protección contra descargas eléctricas
 - Requisitos especiales de rendimiento y seguridad para baterías Ion-litio

FCEV

Principales riesgos asociados:

- **Incendio o explosión** debido a choques
- Una vez se desocupa el hidrógeno del tanque del vehículo este riesgo desaparece

Regulación:

- **GTR* Número 13**
 - Requerimientos de rendimiento y seguridad de tanques de hidrógeno
 - Seguridad y protección contra descargas eléctricas
 - Límites de liberación de hidrógeno post-choque
 - Criterios de seguridad eléctrica post-choque

BARRERAS Y RECOMENDACIONES NACIONALES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL LCA

Barreras en la manufactura de los vehículos

M.1. Importación de BEV y FCEV de países o fabricantes cuya huella de carbono (tonCO₂eq/vehículo) asociada a la manufactura sea más alta que el promedio del sector

- Crear un programa de reporte, medición y verificación de emisiones contenidas en los vehículos.
- Si los vehículos se producen en Costa Rica, se recomienda establecer como obligatorio el uso de energía renovable en la producción de hidrógeno y electricidad
- Costa Rica cuenta con condiciones favorables para la manufactura de bajo carbono de vehículos eléctricos. Se recomienda evaluar la producción local.

M.2. Importación de BEV y FCEV de países que requieran una logística compleja para su arribo a puerto en Costa Rica

- Incentivar algún esquema de “contenido local” en Costa Rica.
- Los programas o instrumentos para la introducción de vehículos eléctricos en Costa Rica, deberían incluir medidas para motivar a los productores de vehículos a alcanzar la neutralidad de emisiones.

BARRERAS Y RECOMENDACIONES NACIONALES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL LCA

Barreras en la disposición final de los vehículos

D.1. No se pone en marcha un programa de responsabilidad extendida del productor en Costa Rica para los vehículos eléctricos

- Considerar la incorporación de metas y métricas de economía circular asociados a la introducción de BEV y FCEV, que incorpore el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor, compatible con lo estipulado en la Ley 8839
- La regulación sobre el final de la vida útil de los BEV y FCEV debe desarrollarse en la fase de planificación o a su debido tiempo después del inicio de los programas de despliegue de vehículos eléctricos en Costa Rica. Se recomienda tomar como base las buenas prácticas regulatorias de los países como China y la UE.

D.2. No se genera en Costa Rica una legislación específica para la cadena de reciclaje y disposición final de baterías de EV (ion litio principalmente) o de las celdas de combustible, lo que puede resultar en la creación de un mercado negro de estos componentes o su desaprovechamiento en caso de incidentes viales que resulten en pérdida total.

- La Ley 8839 ya provee un marco legal para la aplicación de buenas prácticas, por lo cual la recomendación es reforzar el observación del cumplimiento de la ley por parte de productores e importadores que evite que las piezas más sensibles a contaminación ambiental de los vehículos eléctricos se mezclen con los residuos ordinarios



FIN DE LA VIDA ÚTIL

El desarrollo de buenas prácticas para el tratamiento al final de la vida útil de los EV es vital para promover la sostenibilidad y reducir las emisiones de GEI

Responsabilidad del importador de vehículos eléctricos en Costa Rica

- La Ley 9518 de Transporte Eléctrico indica que los importadores de VE deben ofrecer el servicio de reparación y revisión de los vehículos
- La Ley de Gestión Integral de Residuos (Ley 8839) reglamenta la responsabilidad extendida del productor o importador respecto a los residuos especiales, entre esto:
 - Establecer un programa efectivo de recuperación, reúso, reciclaje y aprovechamiento
 - Participar en un programa sectorial de residuos
 - Establecer alianzas estratégicas con las municipalidades para mejorar los sistemas de recolección

Baterías

- Las baterías de VE no han sido designadas como residuo peligroso o de manejo especial por parte del Ministerio de Salud → Implicaría medidas especiales para garantizar su correcta disposición final



GLOBALMENTE

- **Directiva de la UE sobre Baterías** (recolección, desmantelamiento y reciclaje de las baterías usadas)
- **China:** las baterías están registradas con un número único para dar seguimiento y el sistema de recolección es un proceso multietapa para su posterior reciclaje o reutilización

PRODUCTOS DE ESTA FASE DE CONSULTORÍA

Fase 1 – Evaluación del Ciclo de Vida de vehículos eléctricos

Como parte de esta fase de consultoría se generó y entregó a la Alianza del Hidrógeno de Costa Rica:

- **Entregable escrito**

- Explicación a detalle sobre las consideraciones y metodología para el Análisis de Ciclo de Vida de los vehículos eléctricos
- Barreras y recomendaciones para la mejora de los resultados obtenidos de LCA.



Portada del Entregable Escrito de la Fase 1 de esta consultoría



FASE 2 A: ANÁLISIS DE COSTO TOTAL DE POSESIÓN

IMPACTOS ECONÓMICOS





COSTO TOTAL DE POSESIÓN

Define los costos totales incurridos por un cliente durante la vida útil del uso de del vehículo, incluidos los costos de capital, operativos y financieros

Definición

El Costo Total de Posesión (CTP, conocido en inglés como Total Cost of Ownership – TCO) es un indicador financiero que incluye el costo de adquisición y de operación de un activo durante su tiempo de vida útil

Valor

Provee un panorama de largo plazo sobre los costos de adquirir y operar un activo que es más objetivo que solo el costo de adquisición.

Ecuación

$$CTP = (\text{Costo de adquisición} + \sum \text{Costos Administrativos} + \text{Costo de mantenimiento} + \text{Costo total del energético})/\text{km} * \text{KPI}$$

- Costo de adquisición = CAPEX (antes de impuestos)
- \sum Costos administrativos = Impuestos a la fabricación o importación + Impuestos a la compra + Impuestos a la tenencia vehicular + Costos de financiamiento
- Costo de mantenimiento = Costo del mantenimiento del vehículo durante su vida útil
- Costo total del energético = Costo total del energético consumido por el vehículo durante su vida útil}
- km = Kilometraje recorrido en el tiempo de vida útil del vehículo
- KPI = Parámetro clave propio de la actividad del vehículo. Por ejemplo, toneladas de carga, pasajeros transportados, etc.

MODELO DE CÁLCULO DE COSTO TOTAL DE POSESIÓN

Se proyecta desde 2020 hasta 2050

INSUMOS

CAPEX

- Costo de adquisición
- Costo financiamiento
- Impuestos a la compra

ADMINISTRATIVOS

- Seguro Obligatorio Automotor (SOA)
- Impuestos a la propiedad

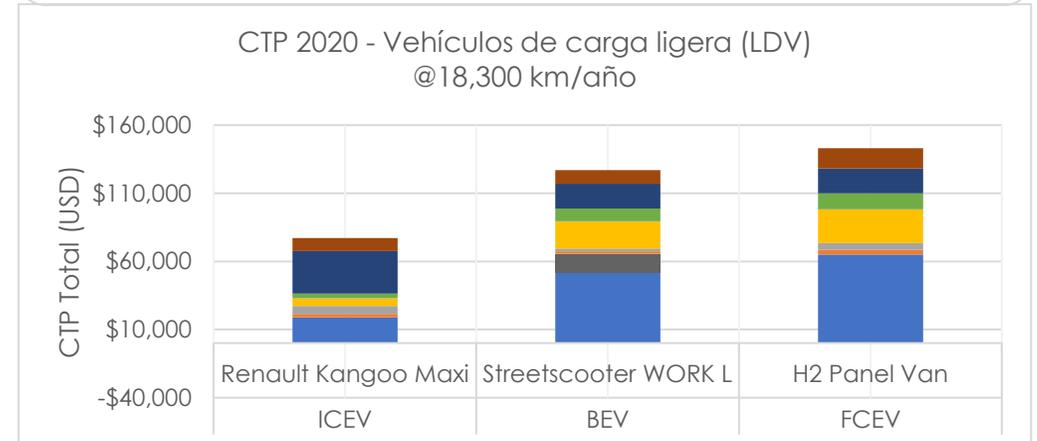
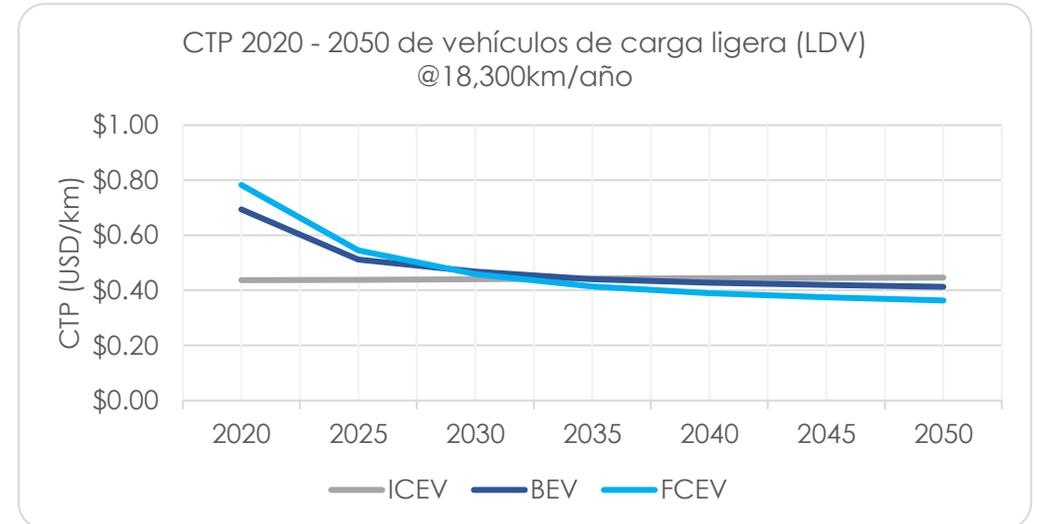
MANTENIMIENTO

- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Correctivo
- Recambio de batería/celda de combustible

ENERGÉTICO

- Precio de combustible
- Consumo por km
- Kilómetros recorridos

Proyección de costos llevados a valor presente para cada año de operación en base a tendencias esperadas.



- Costo de adquisición
- Cambio de batería / stack FC
- IVA
- Impuesto Selectivo de Consumo
- Costo de financiamiento
- Impuesto a la tenencia vehicular
- Póliza de seguro obligatorio
- Mantenimiento general
- Costo total del energético

PRINCIPALES SUPUESTOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CTP

GENERALES:

- Condiciones del mercado: **Business as Usual**
- Recorridos anuales:
 - Vehículo de pasajeros particular: **12,500 km**
 - Vehículo de pasajeros comercial: **39,500 km**
 - Minibuses: **18,300 km**
 - Buses: **65,000 km**
 - Vehículo de carga ligera: **18,300 km**
 - Vehículo de carga pesada: **44,500 km**
- **Decrecimiento de CAPEX de BEV y FCEV**
 - Diferente para cada segmento de vehículo (madurez tecnológica)
 - **FCEV: Mayor decrecimiento en precio (hasta 55% menos)**
 - **BEV: Menor decrecimiento en precio (hasta 40% menos)**
- **Decremento de CAPEX de baterías y stacks FC**
 - Según tendencias de mercado y en función de proporción respecto a precio del vehículo:
 - **Baterías: de 36% (2020) a 18% (2050)**
 - **Celda de combustible: de 20% (2020) a 12% (2050)**
- **Beneficios tributarios** Se proyectan igual que los actuales

RITEVE

ENERGÉTICOS:

- **Aumento en la eficiencia**
 - FCEV: Aproximadamente **20% Tank to Wheel** de 2020 a 2050
 - BEV: Se asume la eficiencia actual
- **Tarifas eléctricas**
 - Tarifa **residencial**: Vehículos de pasajeros comercial y particular.
 - Tarifa **industrial baja tensión**: Minibuses y vehículos de carga ligera
 - Tarifa **industrial media tensión**: Buses, vehículos de carga pesada.
- **Producción de hidrógeno**
 - **2020 – 2035: Producción on-site**
 - PV por el día. Red eléctrica media tensión por la noche.
 - LCOE: PV=60 USD/MWh Red= 8.6 – 9.5 USD/MWh
 - **2035 – 2050: Producción semi-centralizada**
 - Hidroeléctrica
 - LCOE: 20 USD/MWh



CTP DE CAMIONES DE CARGA PESADA – RECORRIDO RITEVE (≈ 135 KM/DÍA)

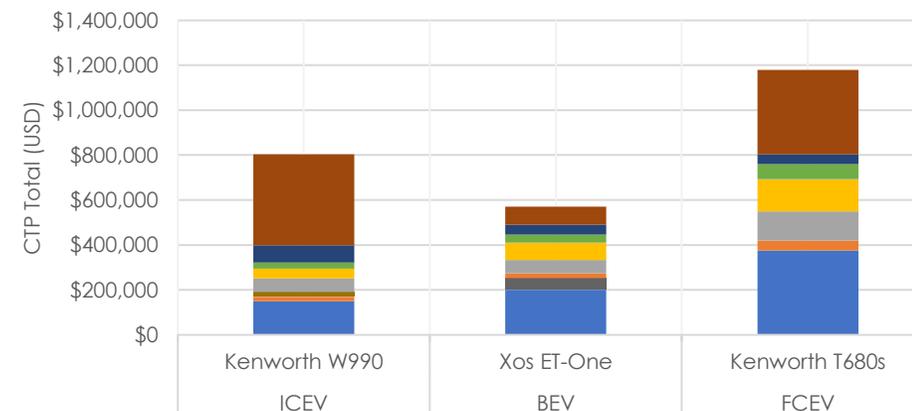
El CTP neto del HDV FCEV será menor que el del ICEV antes de 2030



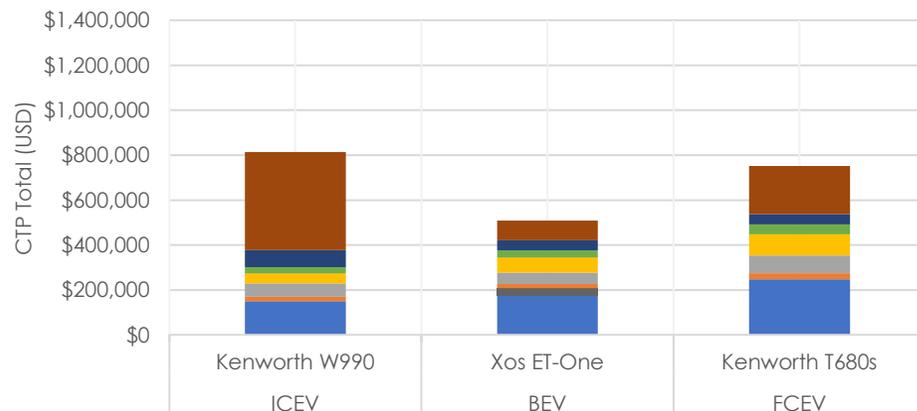
Foto: Revista Trucks - 2017

- Costo total del energético
- Mantenimiento general
- Poliza de seguro obligatorio
- Impuesto a la tenencia vehicular
- Costo de financiamiento
- Impuesto selectivo de consumo
- Impuesto a la importación
- IVA
- Cambio de batería / stack FC
- Costo de adquisición

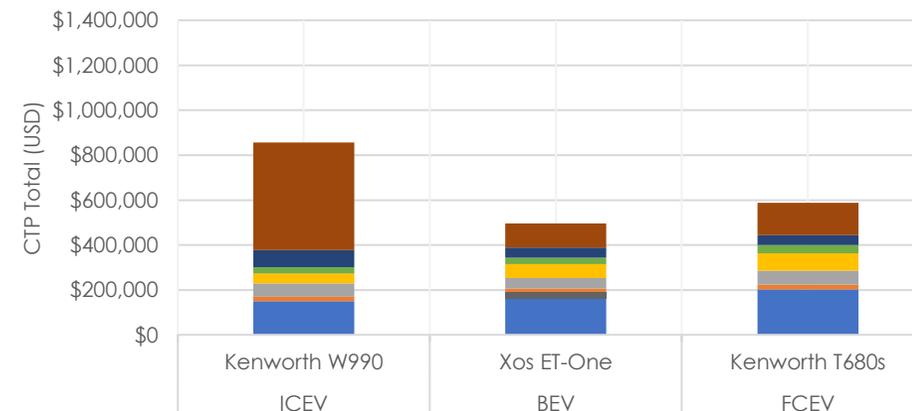
CTP 2020 - Vehículos de carga pesada (HDV) @44,500 km/año



CTP 2030 - Vehículos de carga pesada (HDV) @44,500 km/año



CTP 2050 - Vehículos de carga pesada (HDV) @44,500 km/año





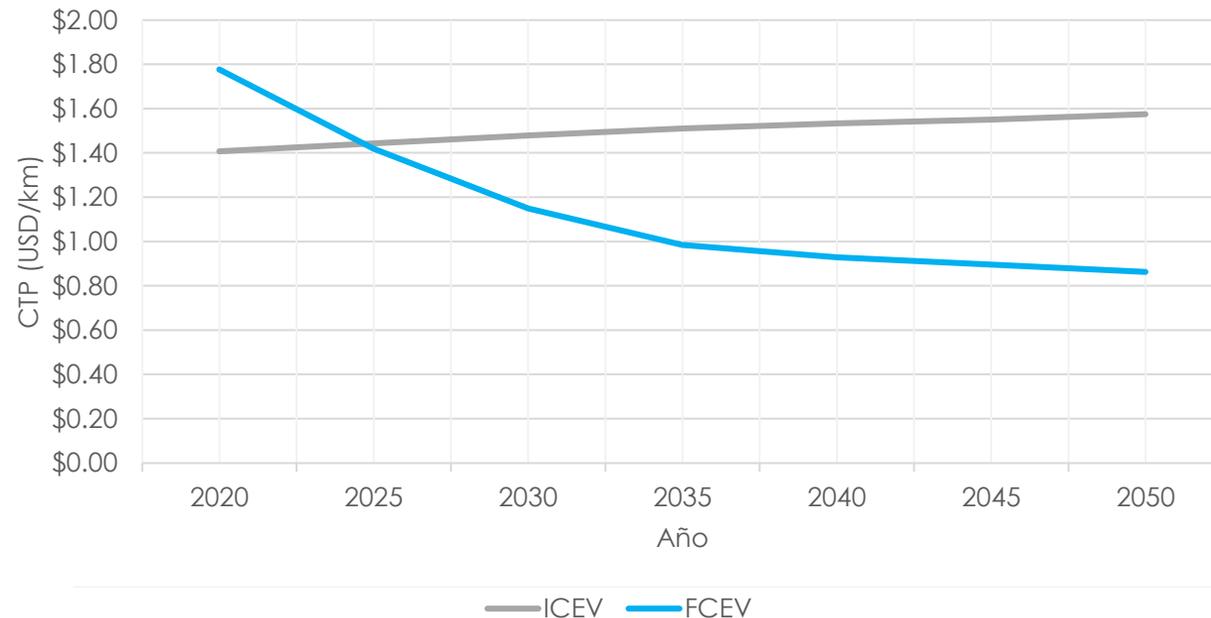
CTP DE CAMIONES DE CARGA PESADA – RECORRIDOS LARGOS (≈ 300 KM/DÍA)

En este segmento las baterías no son viables técnicamente (autonomía)
Una exoneración total de impuestos haría competitivos los camiones de carga pesada FCEV con los convencionales en menos de 5 años

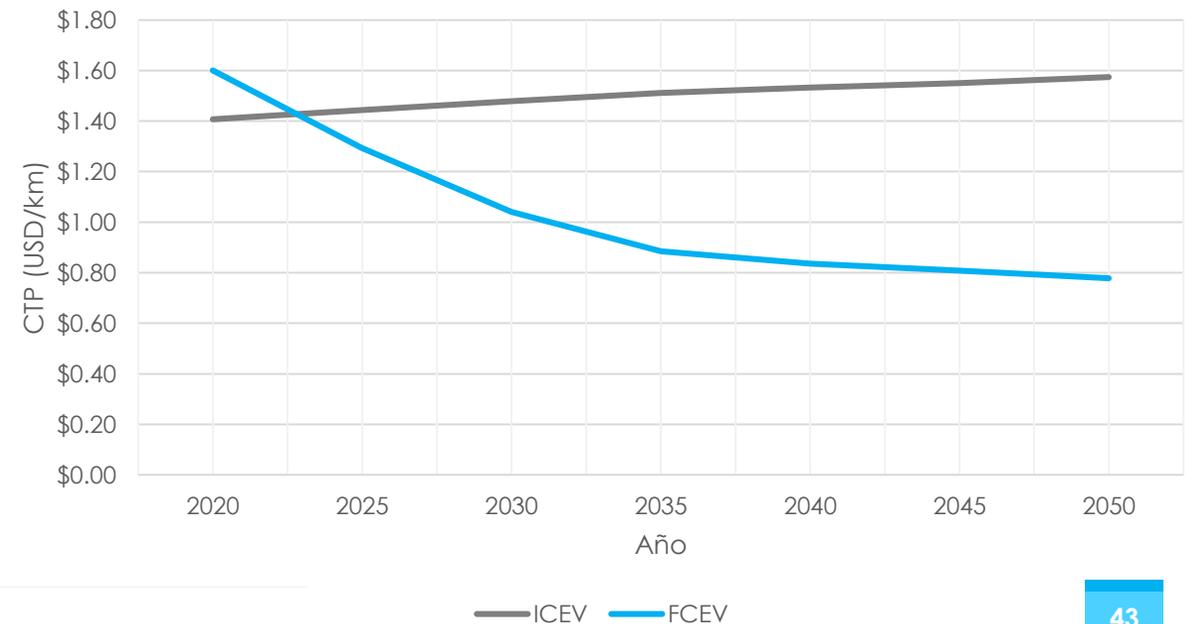


- No se analizan los camiones a baterías debido a que las autonomías no serían suficientes (trayectos de >300Km), a la incertidumbre sobre oferta tecnológica de camiones BEV en el corto-mediano plazo y a su carga total efectiva reducida (33%)
- Los camiones de carga pesada FCEV pueden alcanzar paridad con los ICEV en 2025 con recorridos de 300 km diarios o incluso antes con apoyos fiscales mayores a los otorgados bajo la Ley 9518

CTP - Vehículos de carga pesada o (USD/km). @98,500 km/año



CTP HDV Exoneración 100% de impuestos @ 98,500 km/año



Hinicio

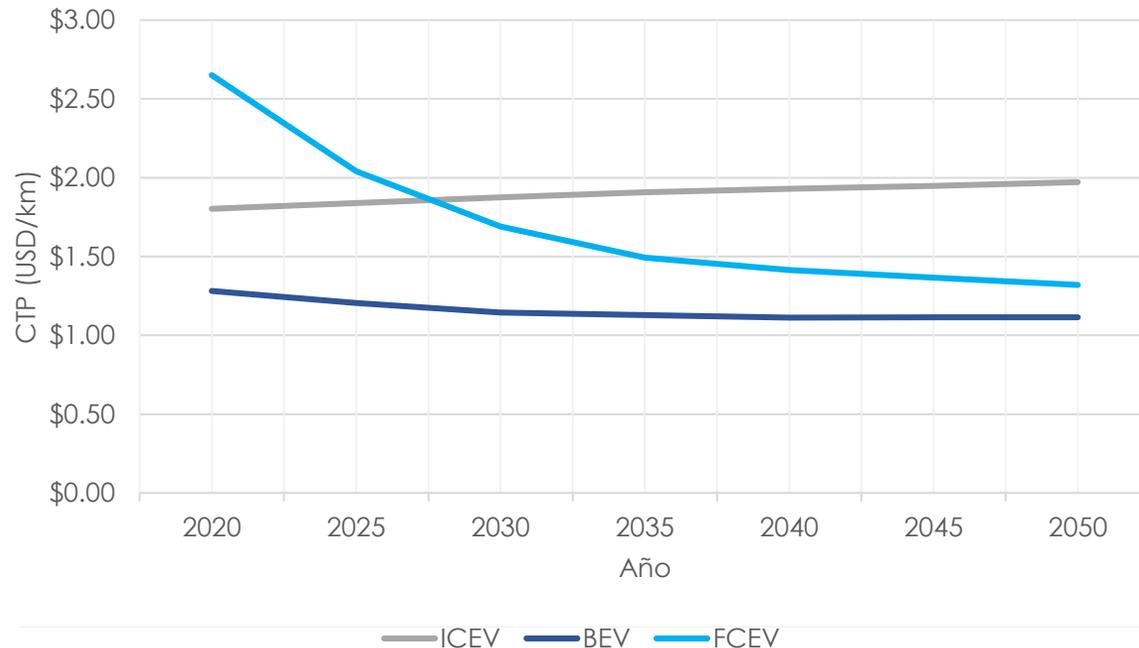
CTP DE CAMIONES DE CARGA PESADA – RECORRIDOS CORTOS (≈ 135 KM/DÍA)

Para distancias cortas, deberían ser suficientes las autonomías de los camiones a batería, una vez existan en el mercado. Sin embargo, para tener una capacidad de carga útil transportada equiparable, se recomienda considerar camiones FCEV (más competitivos que BEV en 15 años)

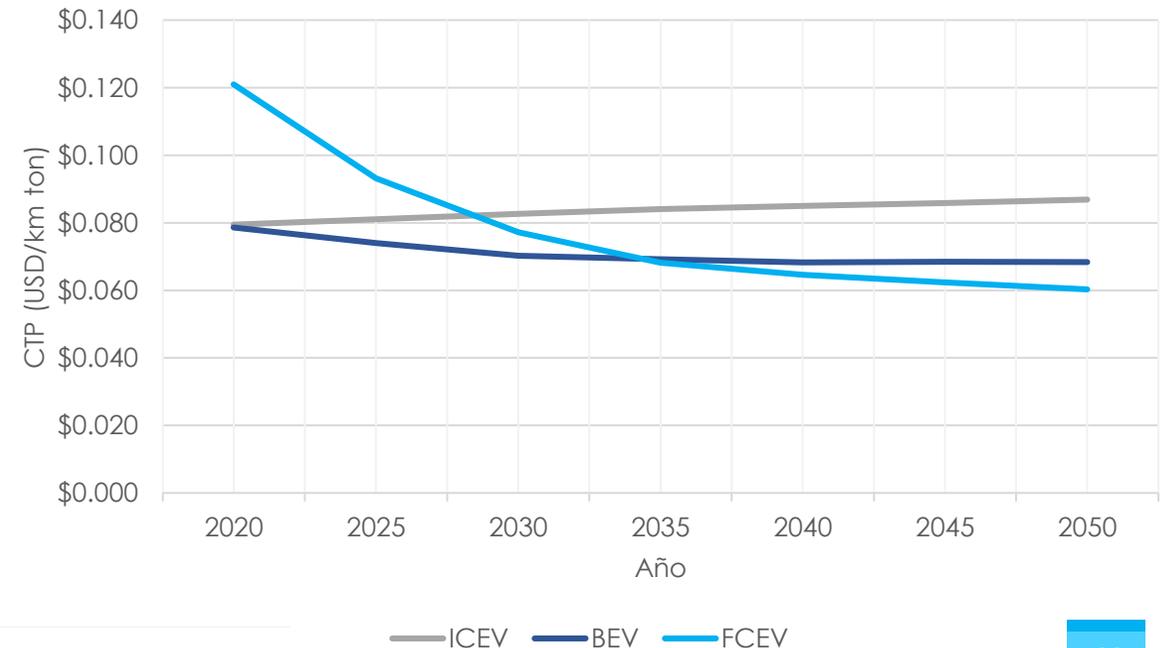


- En recorridos menores a 300 km por día, los camiones BEV son más competitivos que los ICEV y FCEV durante esta década, sin embargo, antes del 2035 pierden competitividad frente a los FCEV debido a su baja capacidad de carga.

CTP – Vehículos de carga pesada @44,500 km (USD/km)



CTP – Vehículos de carga pesada @44,500 km (USD/km ton)





CTP DE BUSES URBANOS – RECORRIDO RITEVE (≈ 198 KM/DÍA)

Hacia 2030 el CTP neto de un bus ICEV será similar al de un FCEV

CTP 2020 - Buses @65,000 km/año

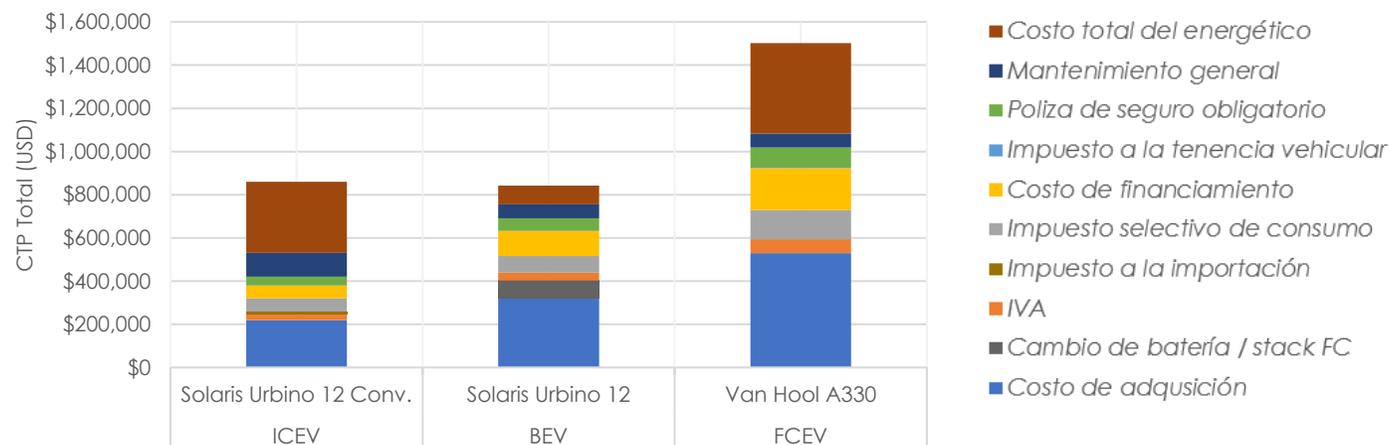
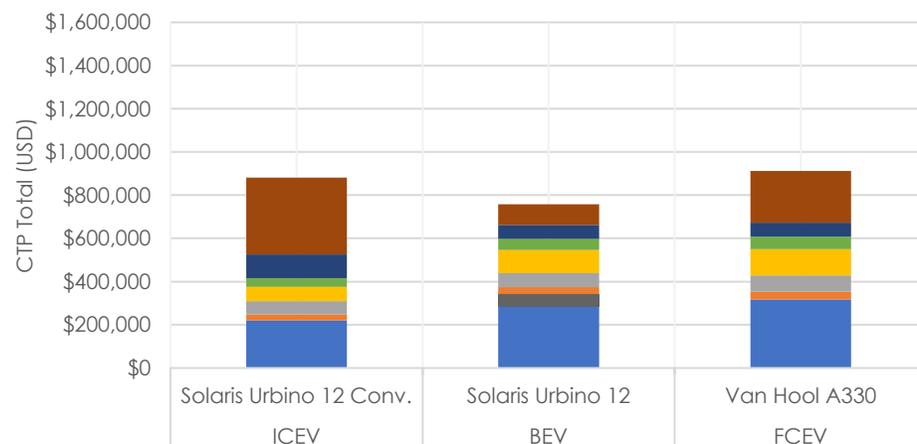
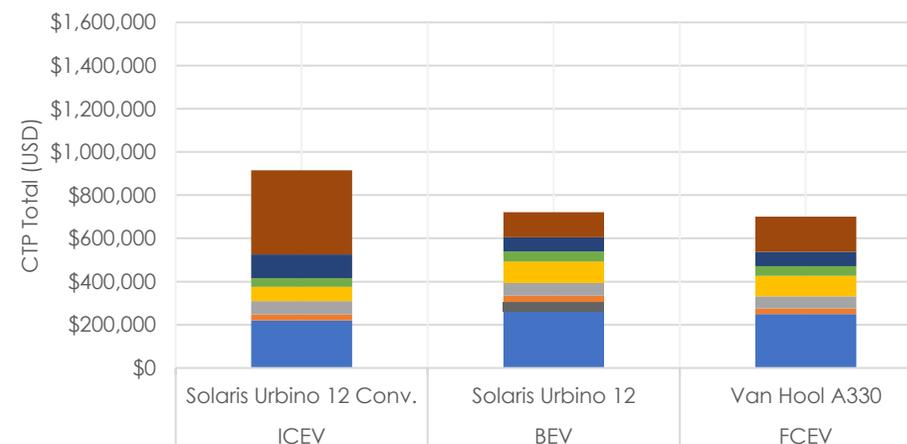


Foto: Sustainable Bus - 2019

CTP 2030 - Buses @65,000 km/año



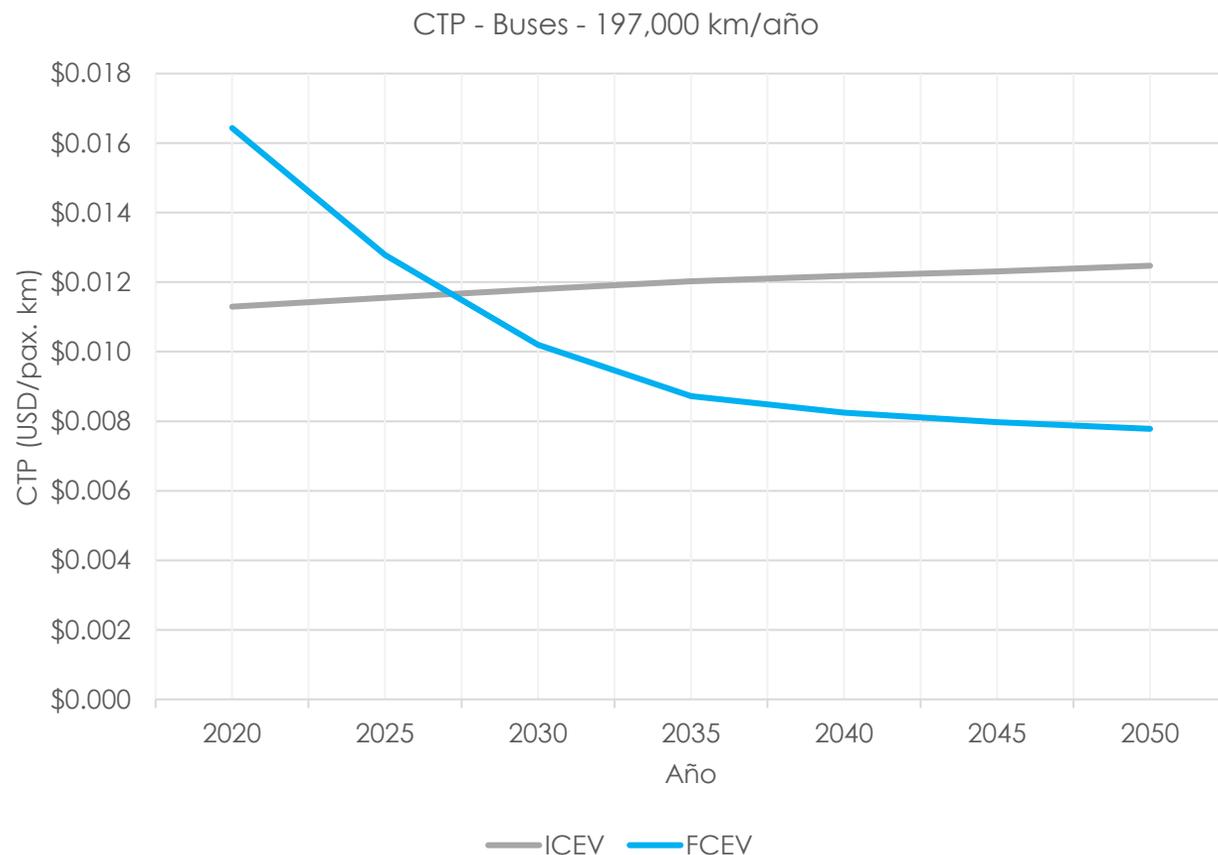
CTP 2050 - Buses @65,000 km/año





CTP BUSES RECORRIDOS LARGOS (≈ 600 KM/DÍA)

Recorridos solo viables para FCEV y buses convencionales. Los buses a hidrógeno para largas distancias serán competitivos con buses convencionales esta década



- Para un recorrido de 197,000 km/año (600 km diarios), un bus urbano de uso intensivo o un interurbano a hidrógeno se hace competitivo con el bus a diésel esta década
- No se incluyen los BEV, ya que su autonomía no les permitiría hacer este recorrido.



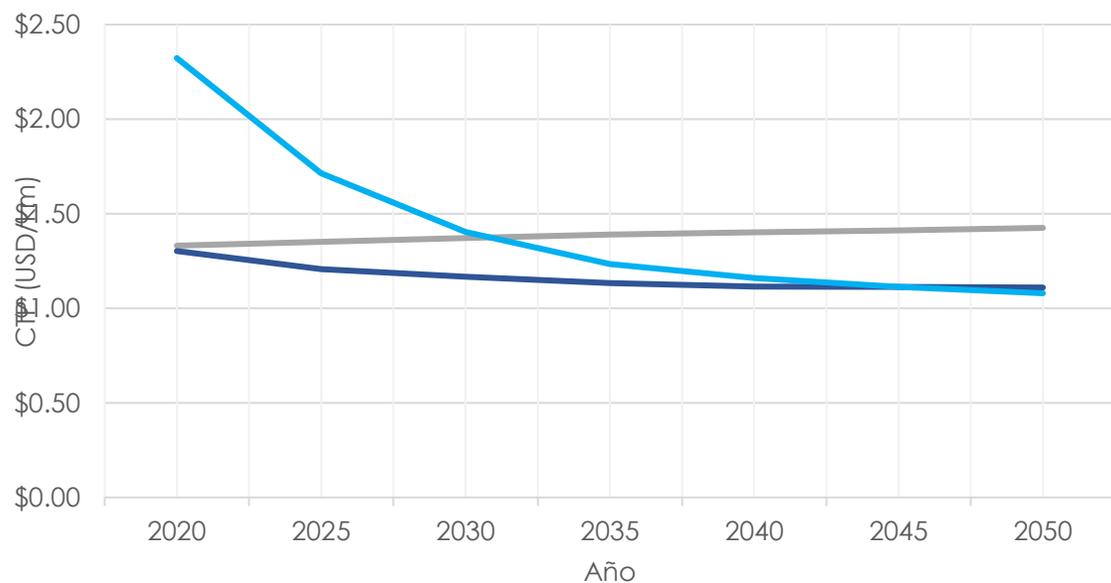
CTP – BUSES RECORRIDOS CORTOS (≈ 200 KM/DÍA)

En recorridos cortos, los BEV serán más competitivos que los FCEV hasta 2045, y su autonomía debería ser suficiente. Sin embargo, si el número de pasajeros transportado fuera una variable crítica, se recomienda considerar los FCEV (menores costos a partir de 2034 para mismo número de pasajeros)



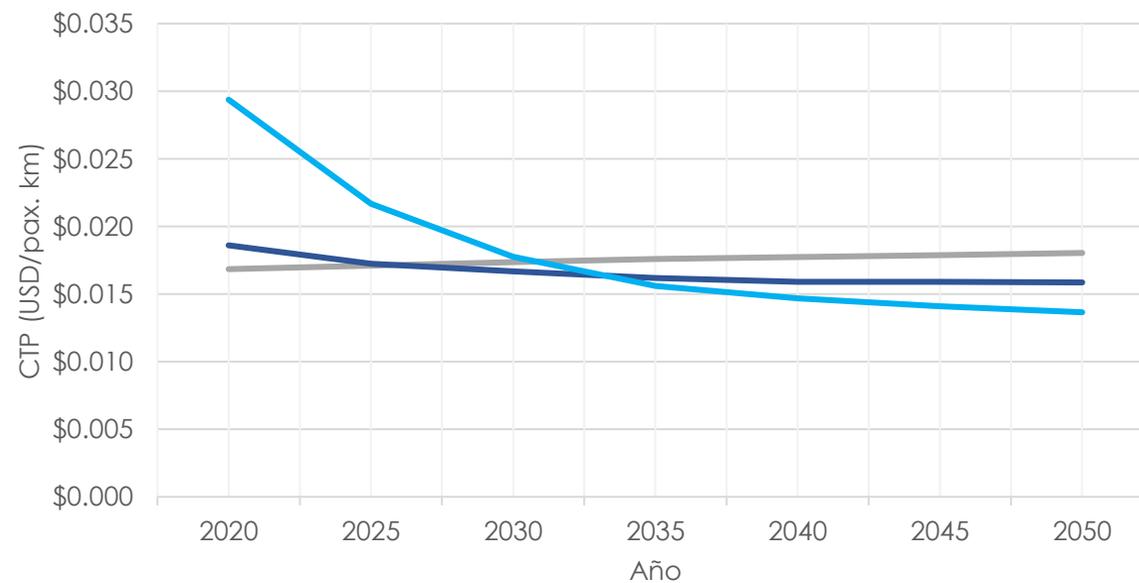
La capacidad disminuida de transporte de pasajeros de los BEV afecta más en las rutas de mayor afluencia y podría implicar la compra de unidades extras para satisfacer la demanda

CTP – Buses @65,000 km/año (USD/km)



— ICEV — BEV — FCEV

CTP – Buses @65,000 km/año (USD/km-pax.)



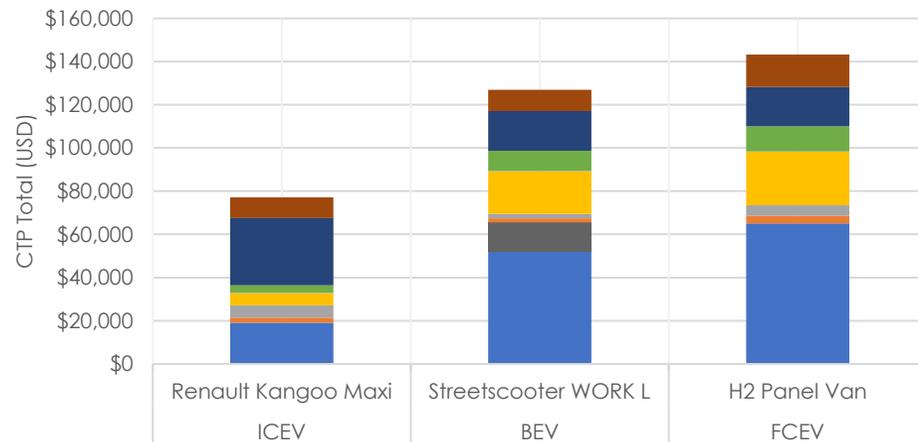
— ICEV — BEV — FCEV



CTP VEHÍCULOS DE CARGA LIGERA- RECORRIDO RITEVE (≈ 55 KM/DÍA)

Hacia 2030 el CTP neto de los tres trenes motrices serán muy parecidos para el caso de flotas menores a 20 unidades

CTP 2020 - Vehículos de carga ligera (LDV) @18,300 km/año



- Costo total del energético
- Mantenimiento general
- Poliza de seguro obligatorio
- Impuesto a la tenencia vehicular
- Costo de financiamiento
- Impuesto selectivo de consumo
- Impuesto a la importación
- IVA
- Cambio de batería / stack FC
- Costo de adquisición



Foto: DHL - Mayo 2019

CTP 2030 - Vehículos de carga ligera (LDV) @18,300 km/año



CTP 2050 - Vehículos de carga ligera (LDV) @18,300 km/año

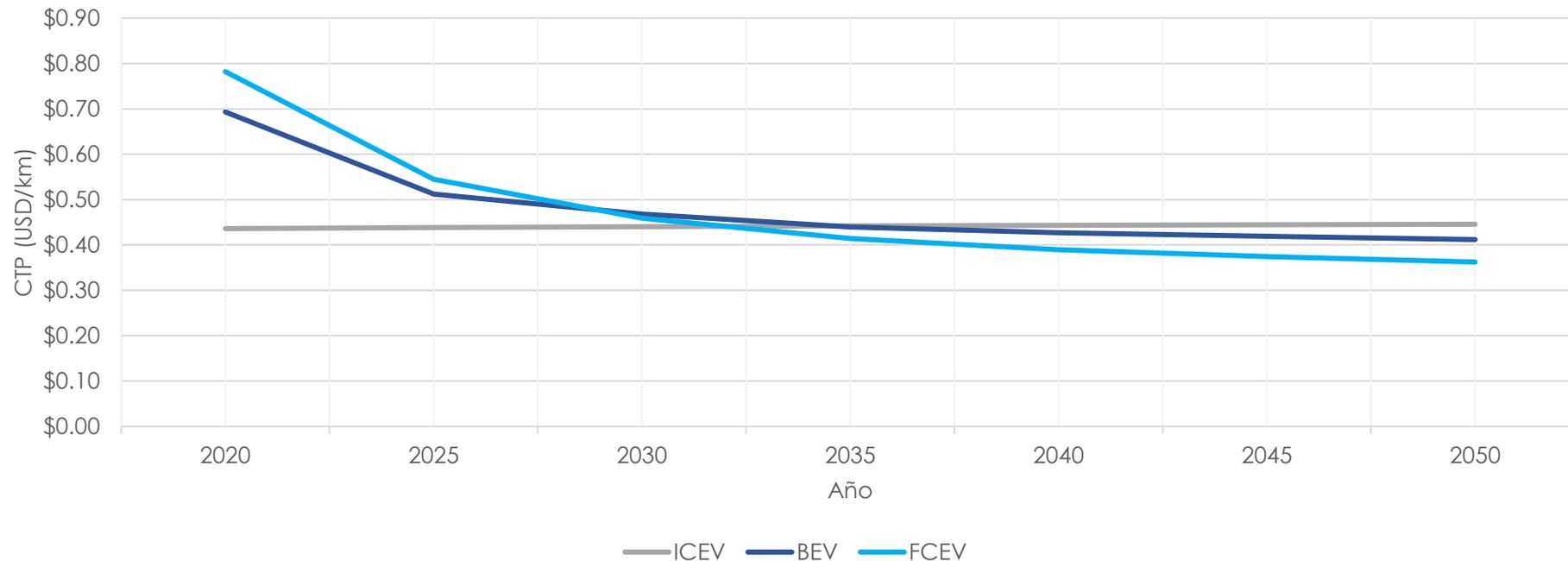




CTP – VEHÍCULOS DE CARGA LIGERA

Tanto los BEV como los FCEV son competitivos para este segmento. Se recomienda FCEV para largas distancias y fuerte intensidad de uso

CTP - Vehículos de carga ligera @18,300 km/año (USD/km)



¿A qué se debe la similitud de costos de los BEV y FCEV en este segmento?

- La proporción de potencia FC/batería a bordo del FCEV es más pequeña para los vehículos de carga ligera que para otros segmentos. Aquí la celda de combustible funciona como extensor de rango.
- Con este recorrido relativamente bajo (18,300 km/año), los BEV requieren un cambio de baterías, mientras que el FCEV pueden terminar su vida útil con un solo stack.
- Hay mayor competitividad del FCEV en este segmento: se usa hidrógeno a 350 bar (más barato que 700 bar) y los BEV se conectan a electricidad de baja tensión (más cara que media tensión) – Para acceder a media necesitan flotas de +20



CTP DE MINI BUSES – RECORRIDO RITEVE (≈ 55 KM/DÍA)

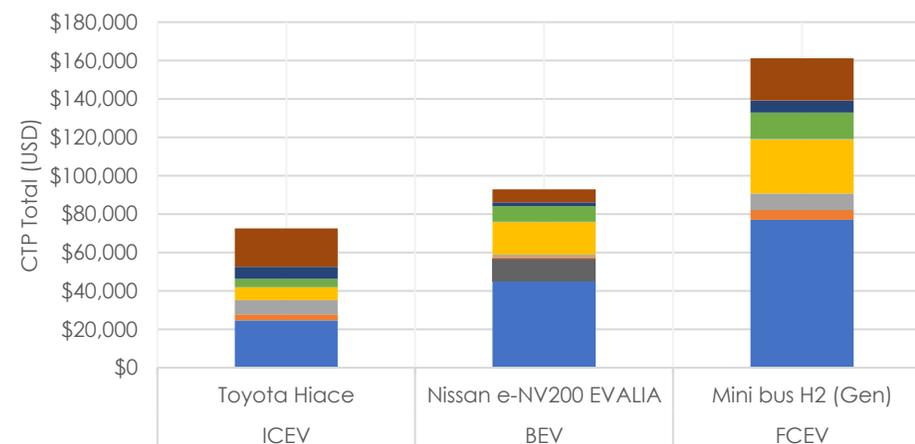
En el segmento de mini buses, los FCEV serán más costosos que los BEV, incluso en 2050



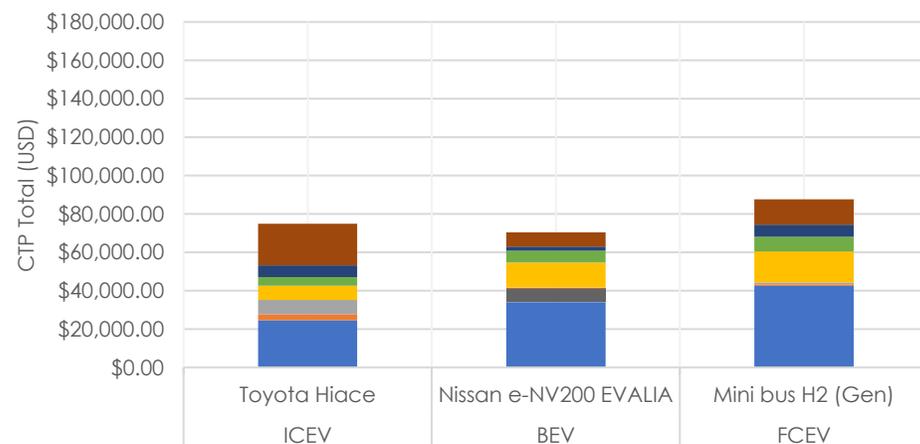
Foto: Toyota - 2020

- Costo total del energético
- Mantenimiento general
- Poliza de seguro obligatorio
- Impuesto a la tenencia vehicular
- Costo de financiamiento
- Impuesto selectivo de consumo
- Impuesto a la importación
- IVA
- Cambio de batería / stack FC
- Costo de adquisición

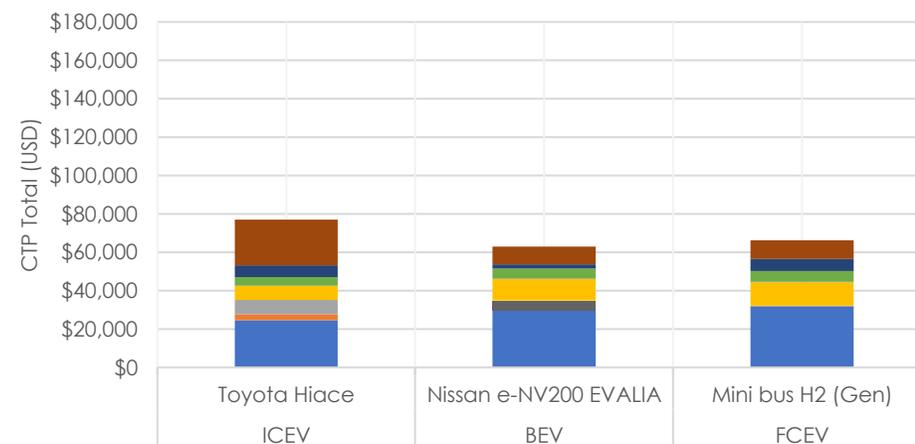
CTP 2020 - Mini buses @18,300 km/año



CTP 2030 - Mini buses @18,300 km/año



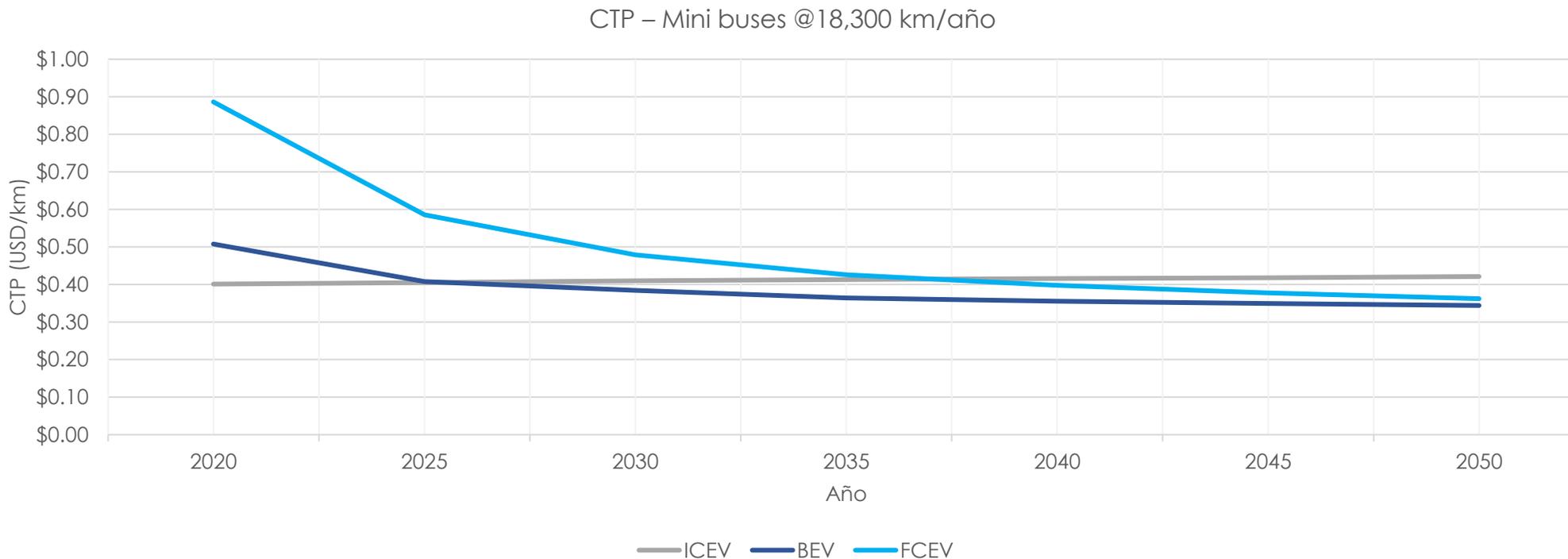
CTP 2050 - Mini buses @18,300 km/año





CTP – MINI BUSES

Segmento no competitivo para los FCEV en los recorridos promedio. Podrían ser una aplicación de nicho con usos intensivos (shuttle turístico, aeropuertos)



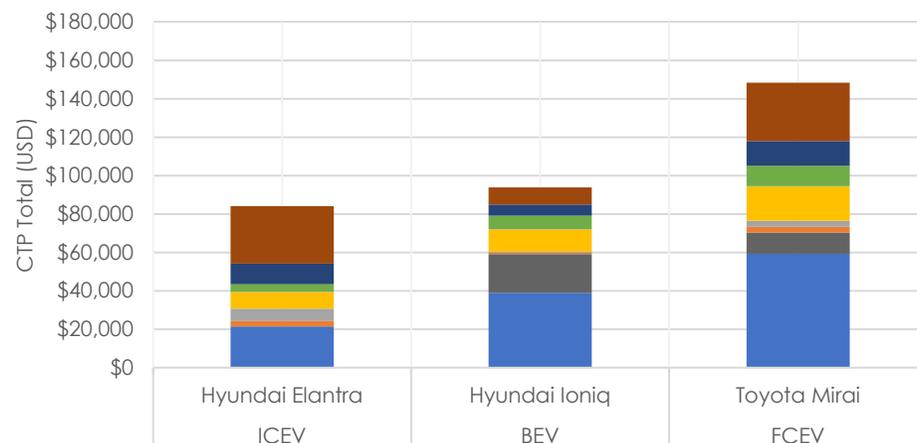
- Con un recorrido de 18,300 km/año, mayor proporción de potencia FC/batería, y consumiendo hidrógeno a 700 bar de presión, los mini buses FCEV, en promedio, no lograrán ser competitivos con los BEV, incluso en 2050.
- Lo anterior no descarta su penetración a Costa Rica, solo los convierte en una opción para cubrir nichos donde la demanda de autonomía sea alta o se requieran cortos tiempos de recarga.



CTP DE VEHÍCULOS LIGEROS TAXIS – RECORRIDO RITEVE (≈ 120 KM/DÍA)

Los automóviles FCEV, aun sirviendo como taxi (mayores recorridos), podrían tener mayores CTP que los BEV en 2050

CTP 2020 - Vehículos ligeros comerciales @39,500 km/año

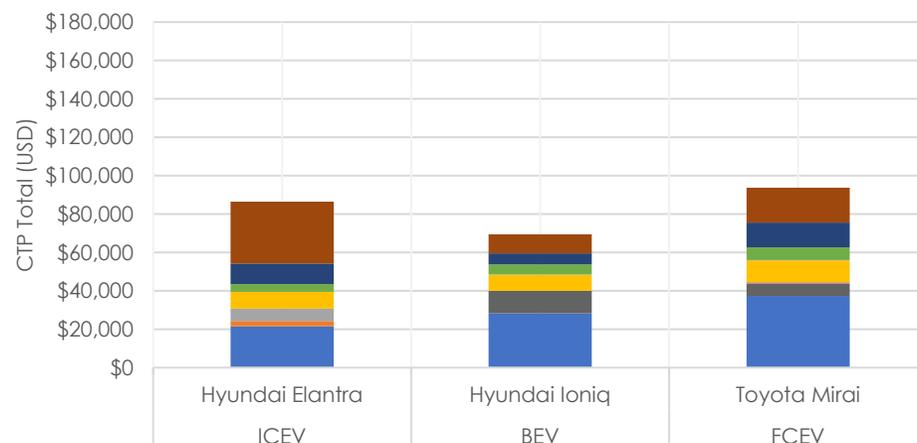


- Costo total del energético
- Mantenimiento general
- Poliza de seguro obligatorio
- Impuesto a la tenencia vehicular
- Costo de financiamiento
- Impuesto selectivo de consumo
- Impuesto a la importación
- IVA
- Cambio de batería / stack FC
- Costo de adquisición

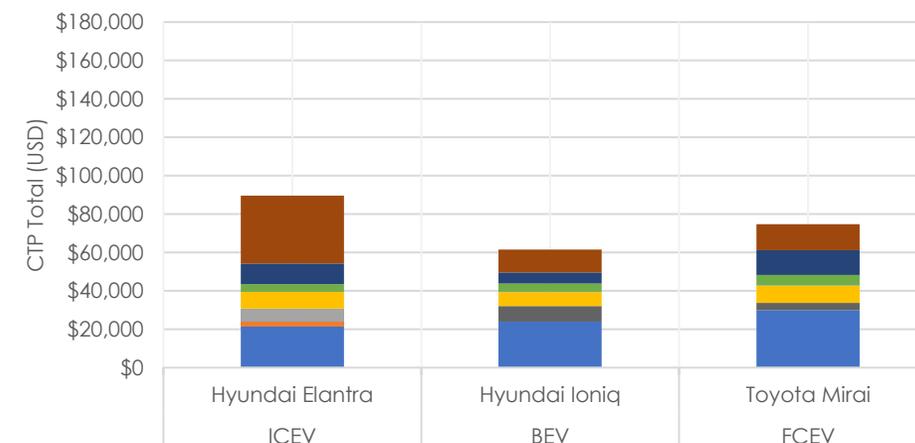


Foto: Wikimedia Commons – Mayo 2017

CTP 2030 - Vehículos ligeros comerciales @39,500 km/año



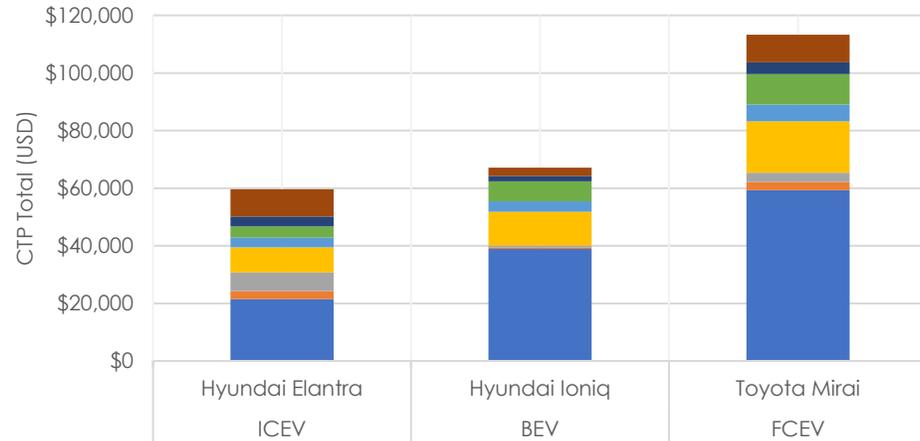
CTP 2050 - Vehículos ligeros comerciales @39,500 km/año



CTP DE VEHÍCULOS PARTICULARES- RECORRIDO RITEVE (< 40KM/DÍA)

Para estas distancias cortas y operación en uso particular, el BEV tiene menores CTP siempre

CTP 2020 - Vehículos ligeros de uso particular @12,500 km/año

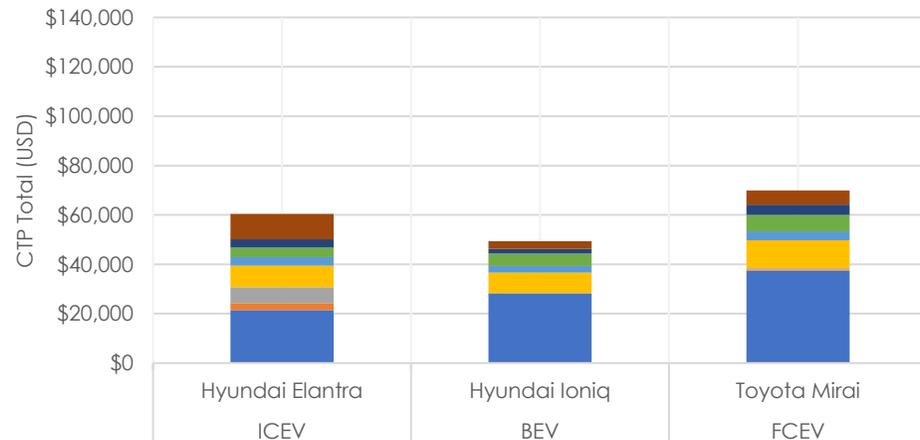


- Costo total del energético
- Mantenimiento general
- Poliza de seguro obligatorio
- Impuesto a la tenencia vehicular
- Costo de financiamiento
- Impuesto selectivo de consumo
- Impuesto a la importación
- IVA
- Cambio de batería / stack FC
- Costo de adquisición

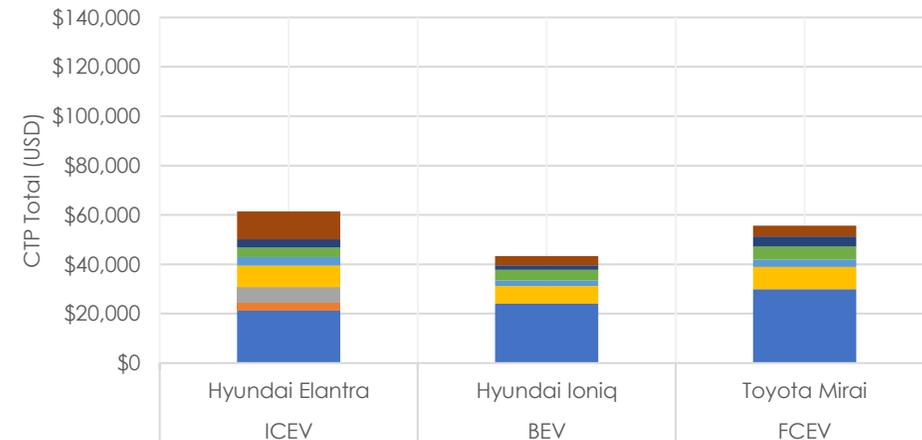


Foto: Toyota - 2018

CTP 2030 - Vehículos ligeros de uso particular @12,500 km/año



CTP 2050 - Vehículos ligeros de uso particular @12,500 km/año

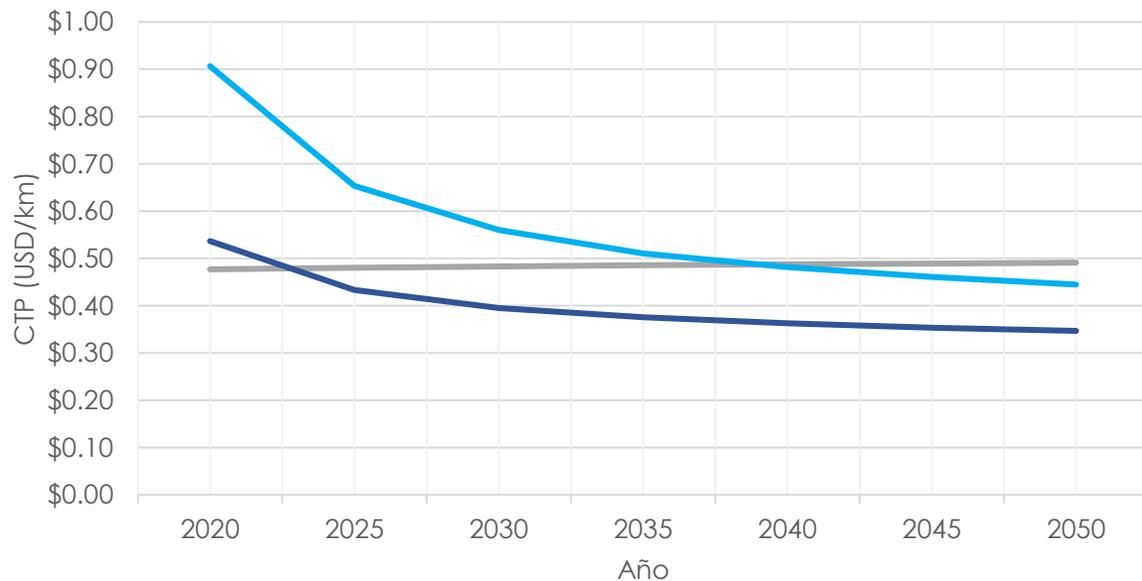




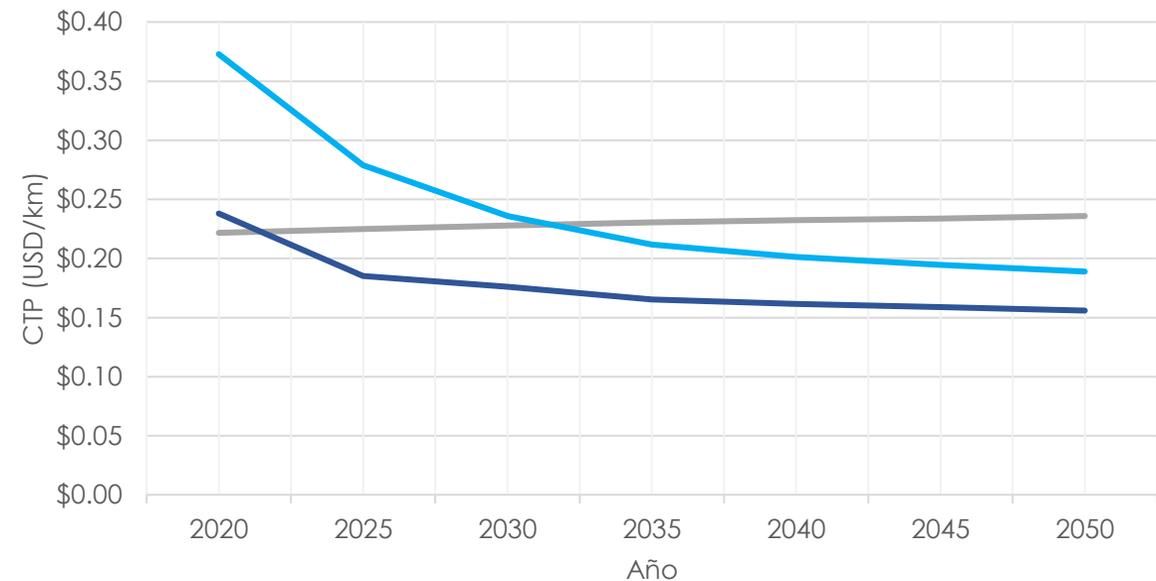
CTP – VEHÍCULOS LIGEROS

Los vehículos ligeros son el sector menos competitivo para los FCEV. No se logra un break-even con los BEV en el periodo estudiado, inclusive en usos comerciales (taxi, uber)

CTP - Vehículos ligeros de uso particular @12,500 km/año



CTP - Vehículos ligeros comerciales @39,500 km/año



— ICEV — BEV — FCEV

— ICEV — BEV — FCEV

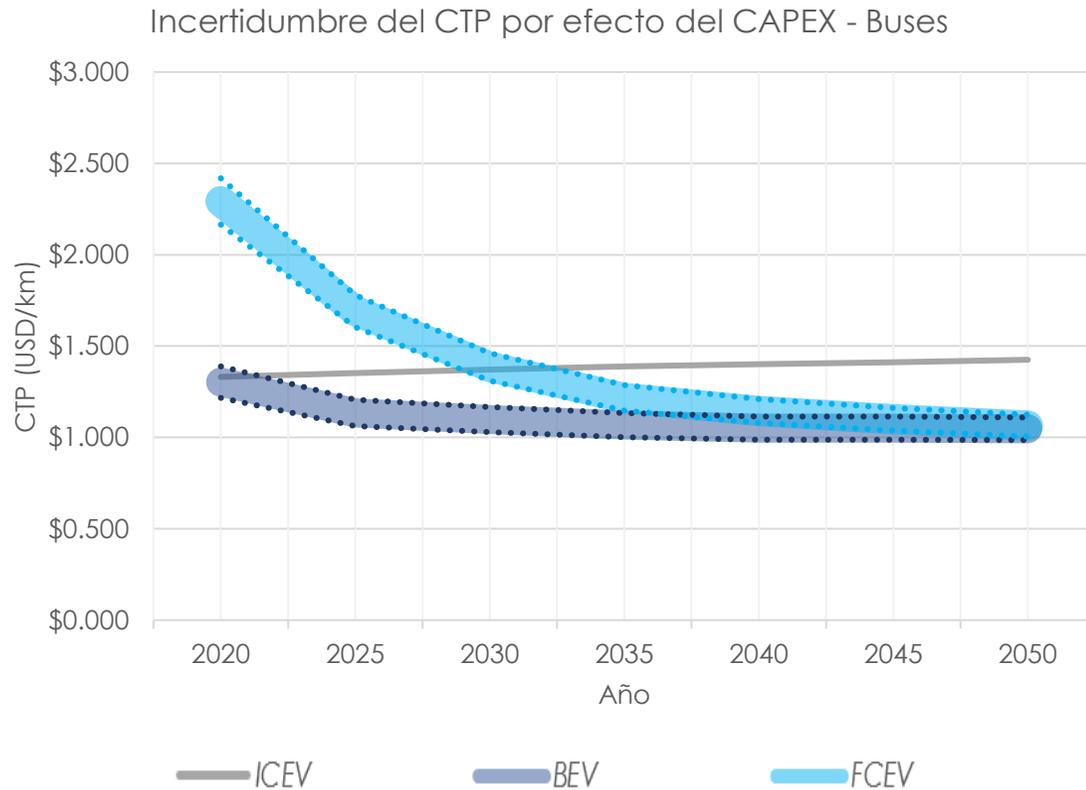


La baja competitividad de los vehículos ligeros FCEV se debe principalmente a sus mayores costos de adquisición, mayores costos de energético (hidrógeno a 700 bar) y a sus bajos recorridos promedio.

- Su penetración en Costa Rica queda como una opción para los nichos donde la demanda de autonomía sea alta o se requieran cortos tiempos de recarga (taxi 24/7, servicios de seguridad pública, etc.).

INCERTIDUMBRES DEL CTP

El CTP abarca un gran número de variables, por lo que algún cambio en condiciones futuras podría implicar desviaciones importantes



- ✓ Cambios en las condiciones del mercado o eventos, como los que se han ante la pandemia por COVID-19 pueden impactar de forma impredecible cualquier variable proyectada.
- ✓ El modelado de la incertidumbre causada por el Costo de Adquisición de los buses eléctricos genera franjas de comportamiento del CTP que ofrecen intervalos de tiempo, en vez de momentos puntuales, para el breakeven entre tecnologías.
- ✓ Porejemplo, **la incertidumbre del CAPEX de buses eléctricos resulta en un intervalo de más de 10 años para el breakeven BEV - FCEV**

CONCLUSIONES – COSTO TOTAL DE POSESIÓN

Cuanto más pesados, más intensivo su uso y más largas distancias recorren, más apropiado es el hidrógeno

	 <p>CAMIONES DE CARGA PESADA <i>Los FCEV son el único segmento viable ya que existe disponibilidad tecnológica, pueden recorrer distancias de 300Km-500Km y pueden llevar más carga efectiva.</i></p>
	  <p>BUSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Trayectos largos: Aproximadamente el 30% de los buses en Costa Rica son interurbanos. Varias de esas rutas, así como urbanos de uso intensivo, no se pueden cubrir con BEV*</i> • <i>Trayectos cortos: Distancias de <250km y operación no intensiva, el BEV es más competitivo debido a menores CAPEX y al acceso a tarifas de mediana tensión</i>
	  <p>CAMIONES DE CARGA LIGERA</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Flotas de hasta ≈20 camiones: los FCEV son más competitivos</i> • <i>Flotas de más de ≈ 20 camiones, recorridos cortos, operación menos intensiva: los BEV obtendrían acceso a tarifas de media tensión y podrían resultar más competitivos</i>
	 <p>MINI BUSES <i>Los FCEV son menos competitivos que los BEV hasta 2050. Se debe a altos CAPEX de vehículos y altos precios de producción de Hidrógeno (700 bar). No hay oferta comercial de mini-buses FCEV actualmente.</i></p>
	 <p>VEHÍCULOS LIGEROS <i>Los FCEV son menos competitivos que los BEV en los 3 escenarios y hasta 2050, inclusive en uso comercial (taxi/uber). Se debe a altos CAPEX de vehículos y altos precios de producción de Hidrógeno (700 bar)</i></p>

* Autonomías >250 Km y tiempos de recarga que disminuirían frecuencias



FASE 2 B: ESCENARIOS DE PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN COSTA RICA

IMPACTOS ECONÓMICOS





ESCENARIOS DE PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN COSTA RICA

Se definieron 3 escenarios de penetración en base trayectorias de evolución de costos para las tecnologías BEV y FCEV

SUPUESTOS COMUNES A TODOS LOS ESCENARIOS

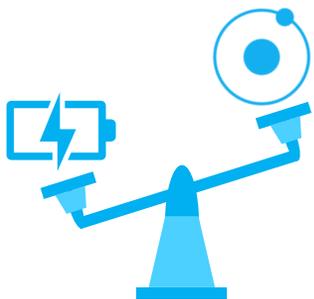
Se cumple con los objetivos del Plan de Descarbonización^[*] en adopción de VE (cambia el relación BEV/FCEV)

Se asume el mismo crecimiento de la flota total de vehículos en Costa Rica

Se asume que el despliegue de infraestructura de recarga de BEV y FCEV acompaña a la penetración de vehículos

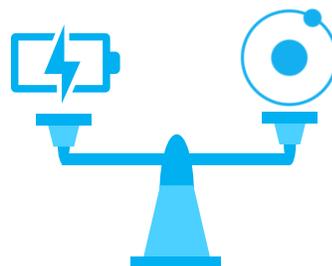
Se complementan proyecciones con CTPs calculados

SUPUESTOS ESPECIFICOS



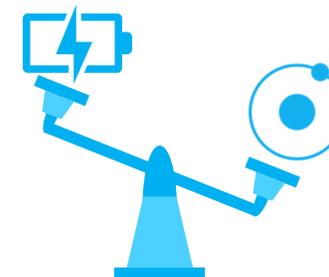
Escenario Battery Breakthrough (BB)

Evolución de CAPEX* más favorable para BEV



Escenario Balanceado (BAU)

Evolución de CAPEX* de acuerdo con tendencias de mercado



Escenario Hydrogen Breakthrough (HB)

Evolución de CAPEX* más favorable para FCEV y Electrolizadores

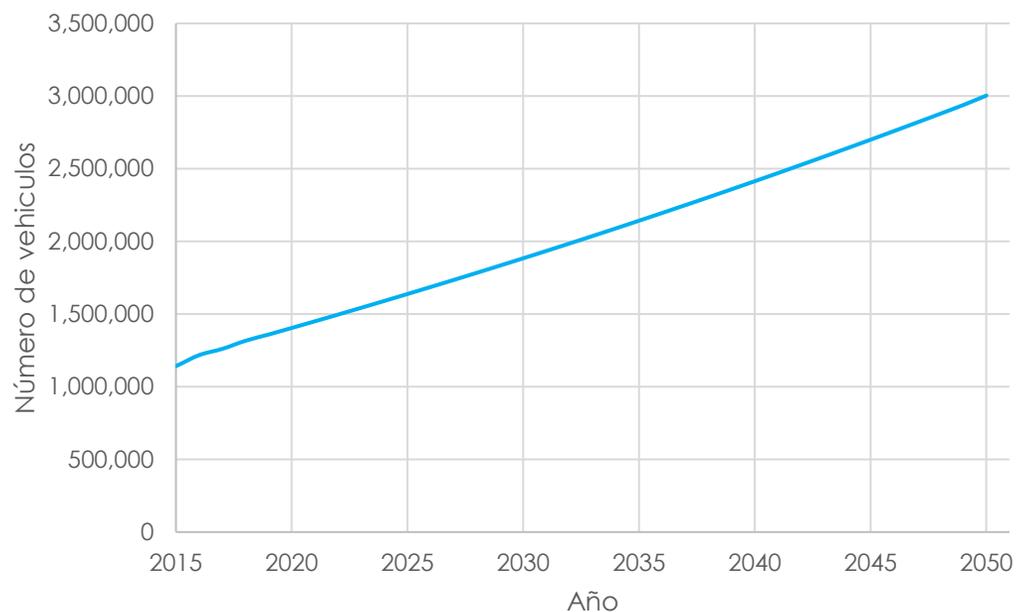
[*] Plan de Descarbonización del Gobierno 2018 – 2022 de Costa Rica. Presidencia de Costa Rica, MINAE- 2019

* En relación a costos del vehículo ICEV

SUPUESTOS COMUNES A TODOS LOS ESCENARIOS

Crecimiento de la flota vehicular

Proyección a 2050 de la flota vehicular de Costa Rica

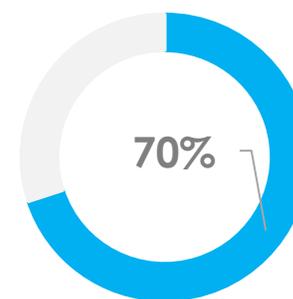


Premisas:

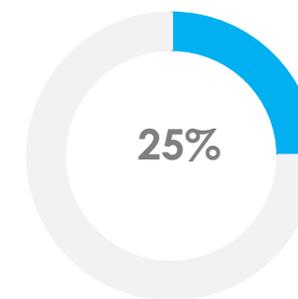
- Aumento en la población: **+20% en 2050**^[a]
- Vehículos/1000 personas 2020: **270**^[b]
- Vehículos/1000 personas 2050: **500**^[c]
- Distribución de flota 2050: **Proporcional a 2020 + consideración de aumento de uso del transporte público**

Metas Plan de Descarbonización % de electrificación de la flota vehicular por segmento

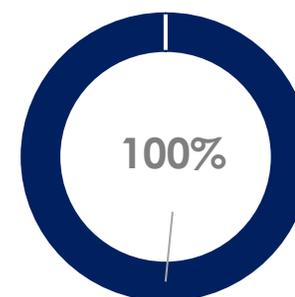
Buses y taxis eléctricos
2035



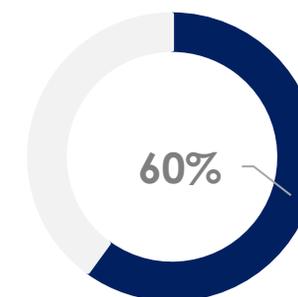
Vehículos ligeros
eléctricos 2035



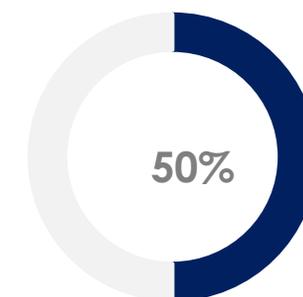
Buses y taxis eléctricos
2050



Vehículos ligeros
eléctricos 2050



Flota de transporte de
carga eficiente 2050



[a] Estimaciones y Proyecciones de población por sexo y edad 1950 -2050, INEC - 2009

[b] Calculado por Hinicio con información de La República, Nov. 2018

[c] Estimación de Hinicio de acuerdo con la tendencia de crecimiento del número de vehículos por 100 personas en los últimos 5 años



OTROS SUPUESTOS PARA EL CÁLCULO DE ESCENARIOS DE PENETRACIÓN

GENERALES:

- **Recorridos anuales:**
 - Vehículo de pasajeros particular: **12,500 km**
 - Vehículo de pasajeros comercial: **39,500 km**
 - Minibuses: **18,300 km**
 - Buses: **65,000 km**
 - Vehículo de carga ligera: **18,300 km**
 - Vehículo de carga pesada: **44,500 km**
- **Beneficios tributarios** Se proyectan igual que los actuales

RITEVE

CAPEX

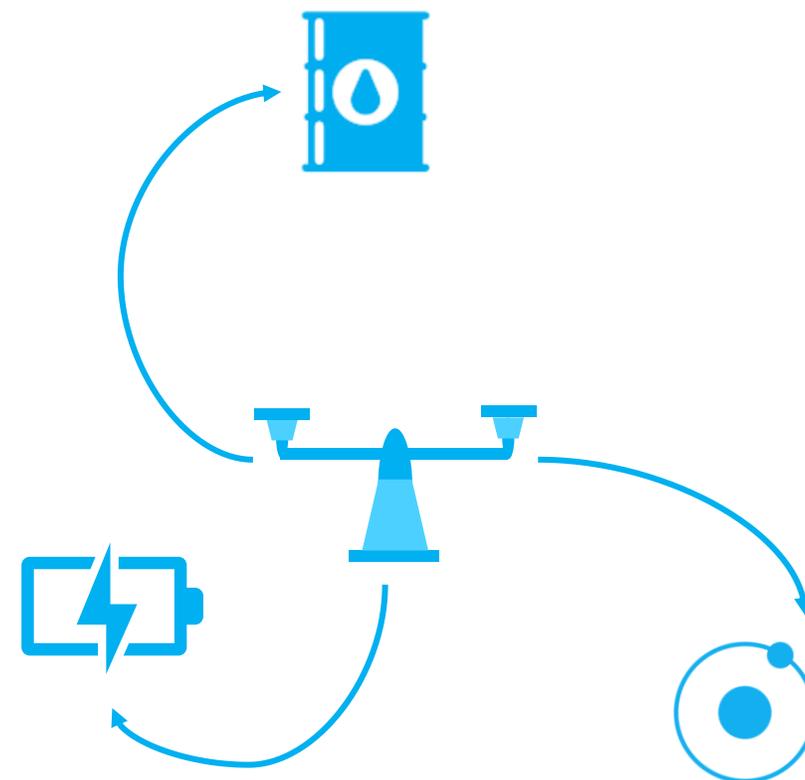
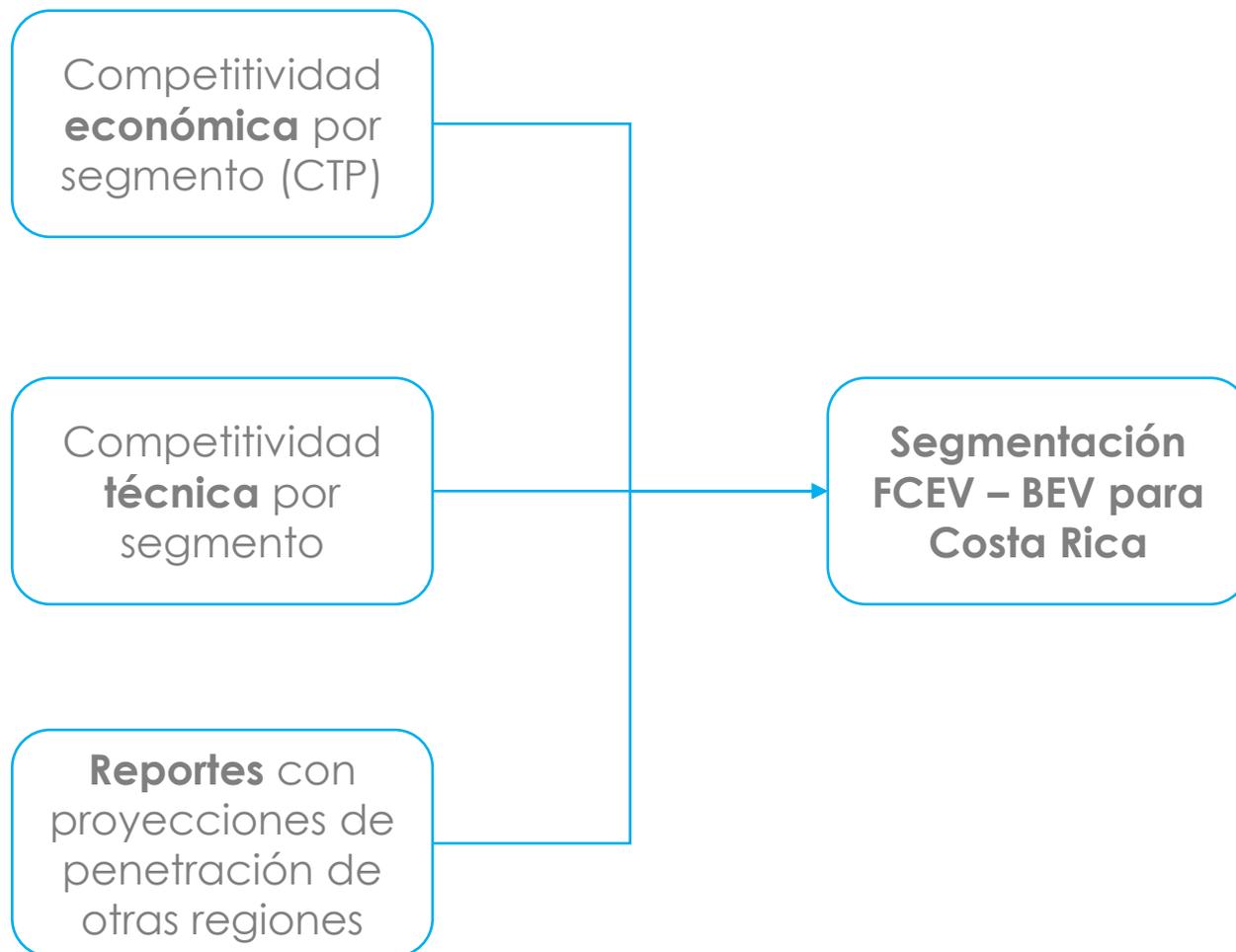
- **Decrecimiento de CAPEX de BEV y FCEV**
 - Diferente para cada segmento de vehículo y para cada escenario
 - **FCEV**
 - **Balanceado:** Hasta 55% de reducción en 2050
 - **Hydrogen Breakthrough:** Hasta 60% de reducción en 2050
 - **Battery Breakthrough:** Hasta 40% de reducción en 2050
 - **BEV**
 - **Balanceado:** Hasta 50% de reducción en 2050
 - **Hydrogen Breakthrough:** Hasta 45% de reducción en 2050
 - **Battery Breakthrough:** Hasta 55% de reducción en 2050

ENERGÉTICOS:

- **Aumento en la eficiencia**
 - FCEV: Aproximadamente **20% Tank to Wheel** de 2020 a 2050
 - BEV: Se asume la eficiencia actual
- **Tarifas eléctricas**
 - Mismas tarifas para los 3 escenarios:
 - Tarifa **residencial:** Vehículos de pasajeros comercial y particular.
 - Tarifa **industrial baja tensión:** Minibuses y vehículos de carga ligera
 - Tarifa **industrial media tensión:** Buses, vehículos de carga pesada.
- **Producción de hidrógeno**
 - **2020 – 2035:** Producción on-site
 - **2035 – 2050:** Producción centralizada
 - **LCOH:** Diferente para cada escenario. En 2020 de **7.73 (H35 o 350 bar)** y **9.12 (H70 o 700 bar)** USD/kg H₂ hasta:
 - **Balanceado:** **3.28** (H35) y **4.20** (H70) USD/kg H₂ (2060)
 - **Hydrogen Breakthrough:** **3.16** (H35) y **4.20** (H70) USD/kg H₂ (2060)
 - **Battery Breakthrough:** **4.00** (H35) y **4.45** (H70) USD/kg H₂ (2060)

SEGMENTACIÓN BEV-FCEV DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

Se consideraron algunos de los factores de decisión no económicos que influyen en la compra de vehículos de nuevas tecnologías



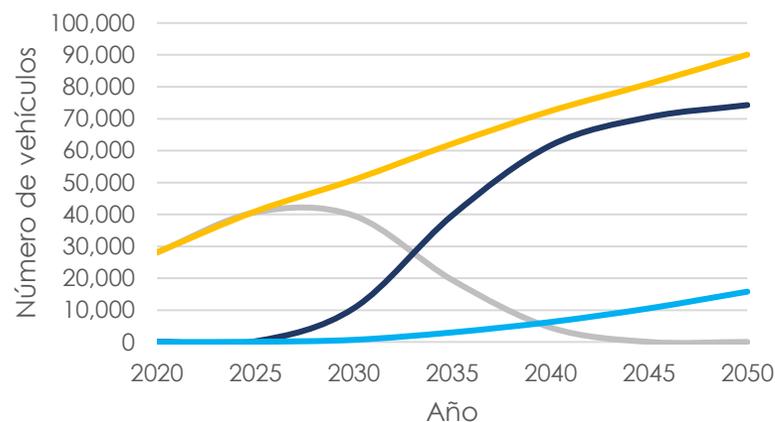


ESCENARIOS DE PENETRACIÓN DE ACUERDO AL CTP – EJEMPLO: BUSES

Se definieron los volúmenes de penetración de cada vehículo según el breakeven de su CTP frente a otras tecnologías

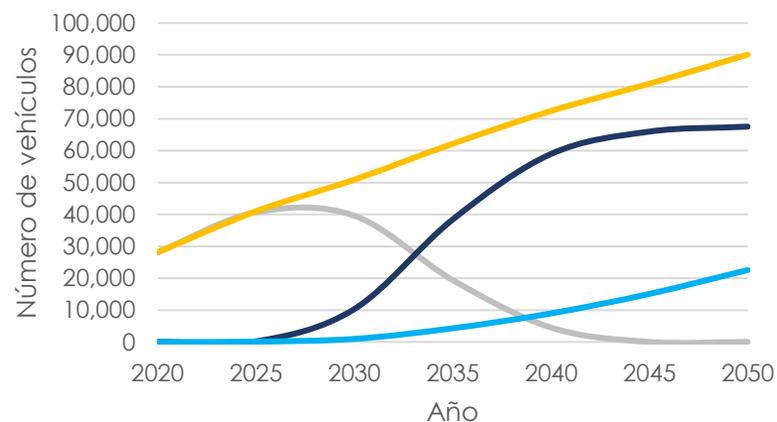
ESCENARIO BB

Proyección - BB Buses



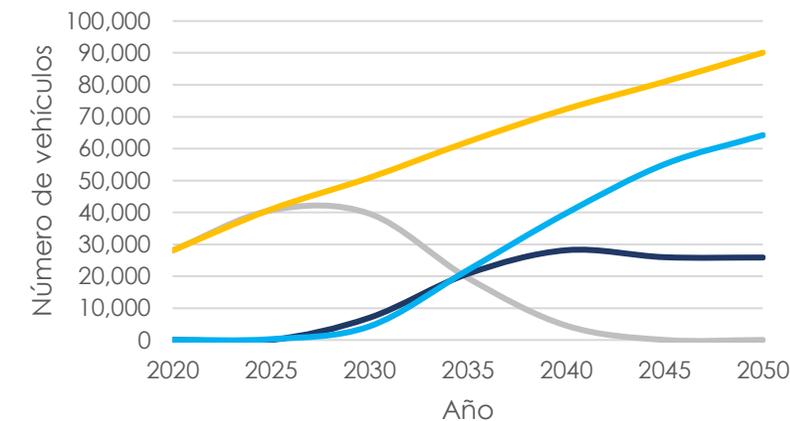
ESCENARIO BAU

Proyección - BAU Buses

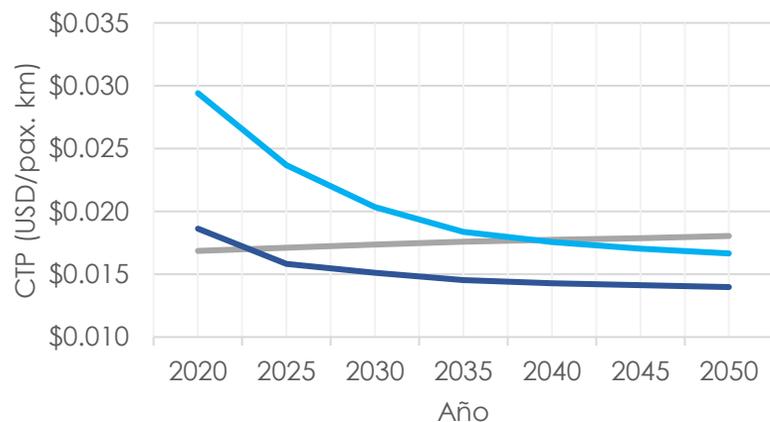


ESCENARIO HB

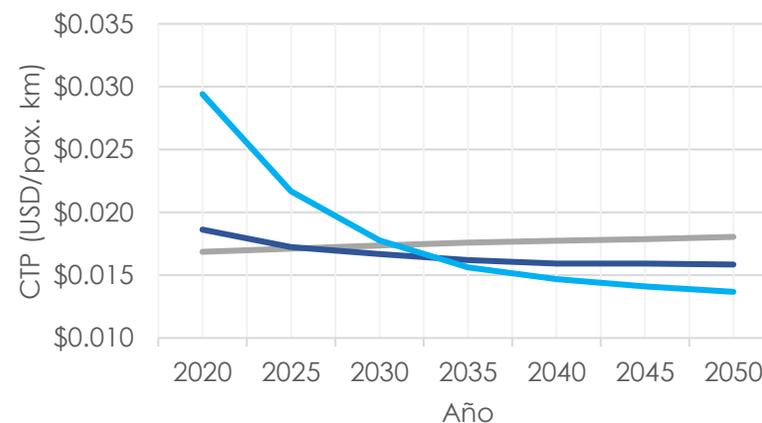
Proyección - HB Buses



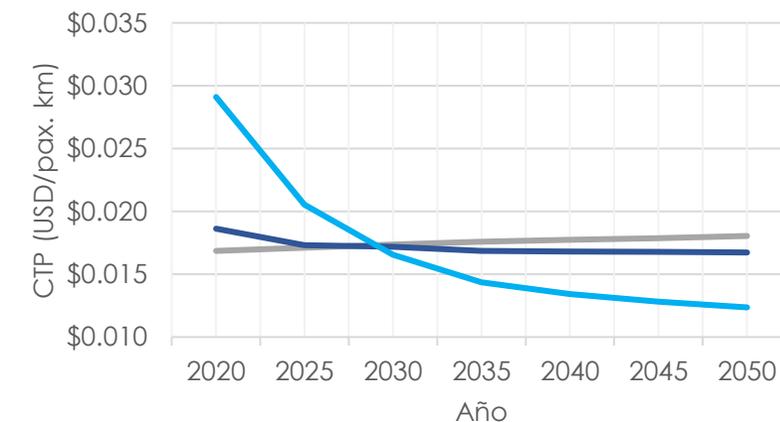
CTP – Buses BB @65,000 km/año



CTP - Buses – BAU @65,000 km/año



CTP – Buses HB @65,000 km/año



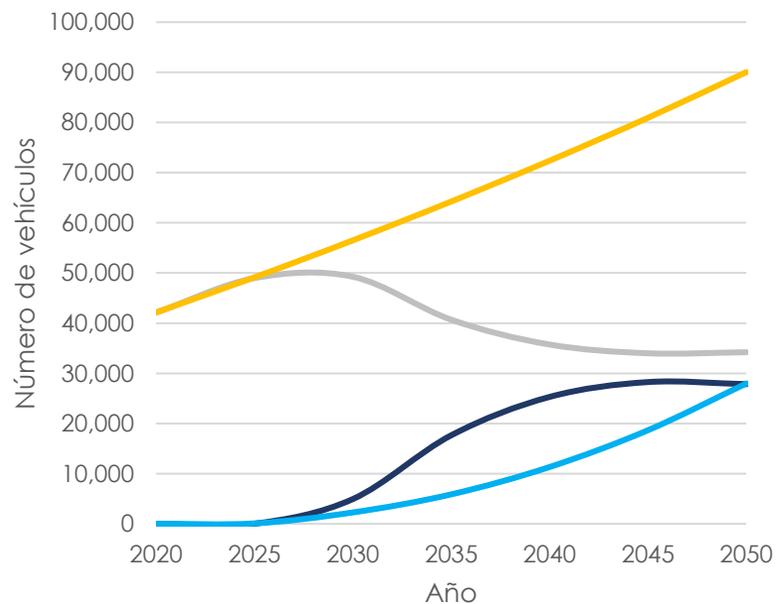
— ICEV — BEV — FCEV — TOTAL



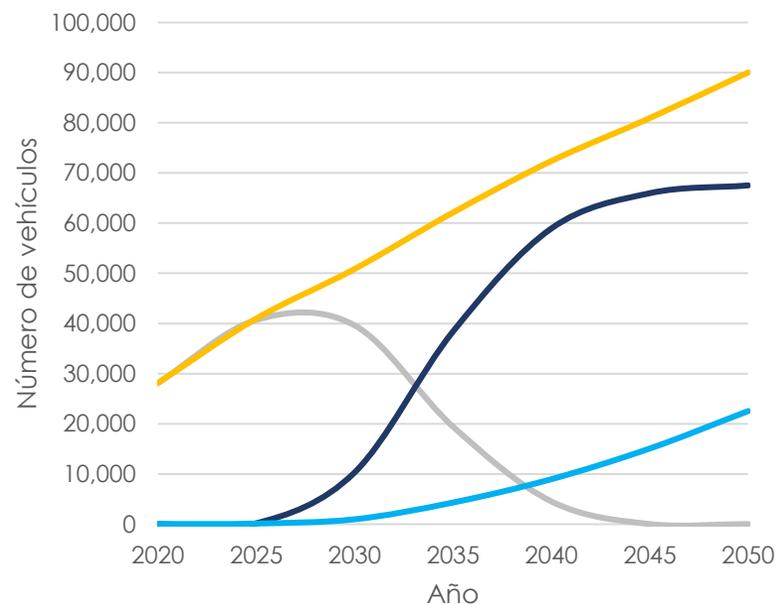
ESCENARIO BALANCEADO

En un escenario BAU, el balance entre FCEV y BEV lo dará el recorrido necesario. En recorridos largos, se requieren FCEV

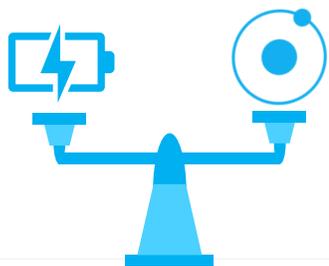
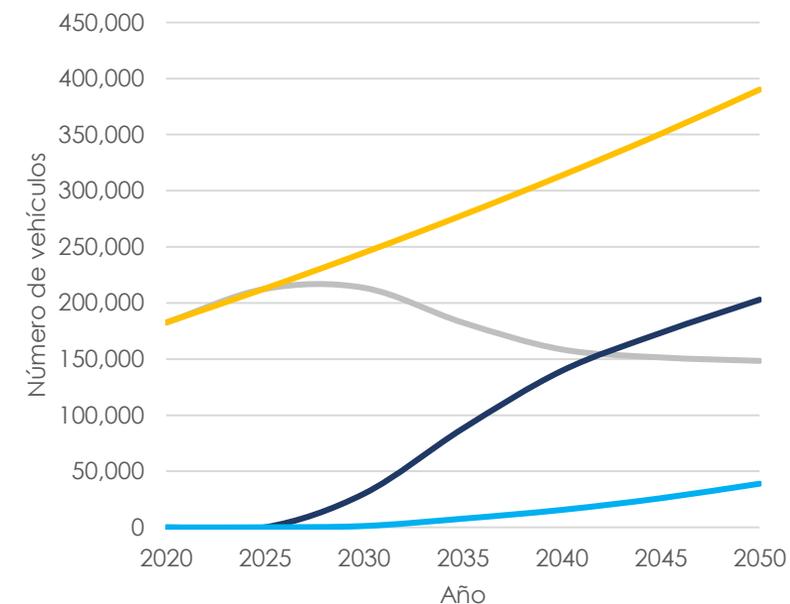
Penetración - BAU
Vehículos de carga pesada (HDV)



Proyección - BAU
Buses



Proyección - BAU
Vehículos de carga ligera (LDV)



- La penetración de buses FCEV dependerá de la cantidad de rutas de larga distancia (>300 km/día) que desarrolle Costa Rica en el futuro.
- La penetración de los vehículos de carga ligera dependerá del tamaño de las flotas. Para menos de 20 unidades: los FCEV serán mejor opción.

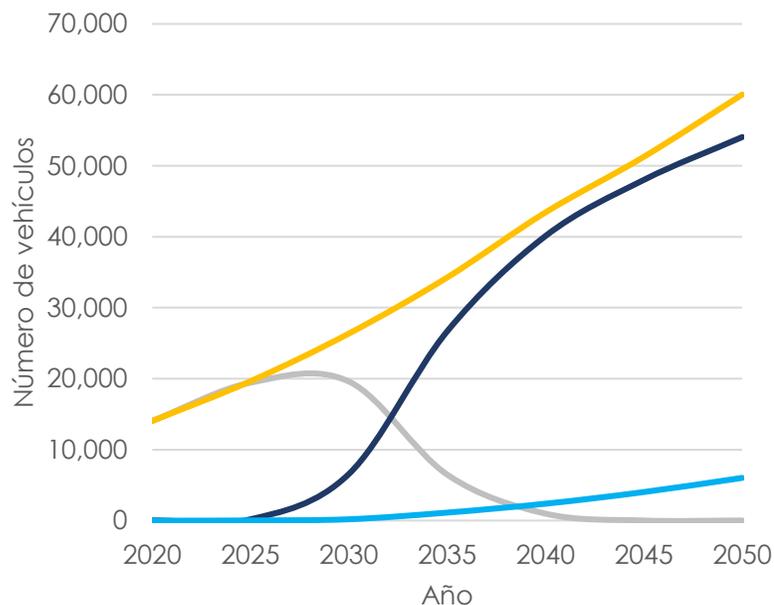
— ICEV
— BEV
— FCEV
— TOTAL



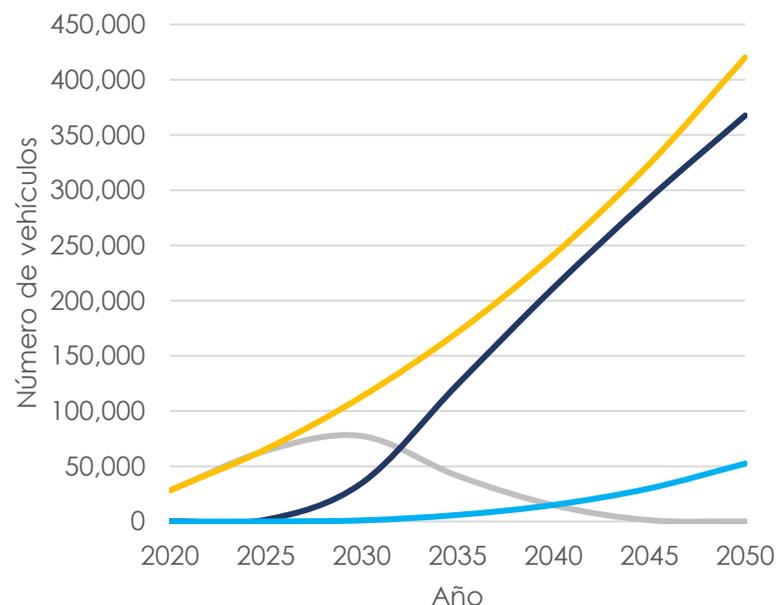
ESCENARIO BALANCEADO

Los segmentos de movilidad de pasajeros ligera estarán dominados por los vehículos BEV bajo cualquier escenario

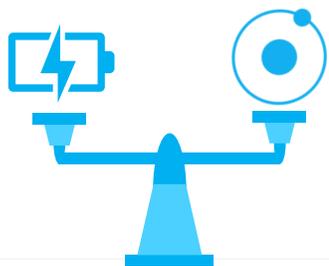
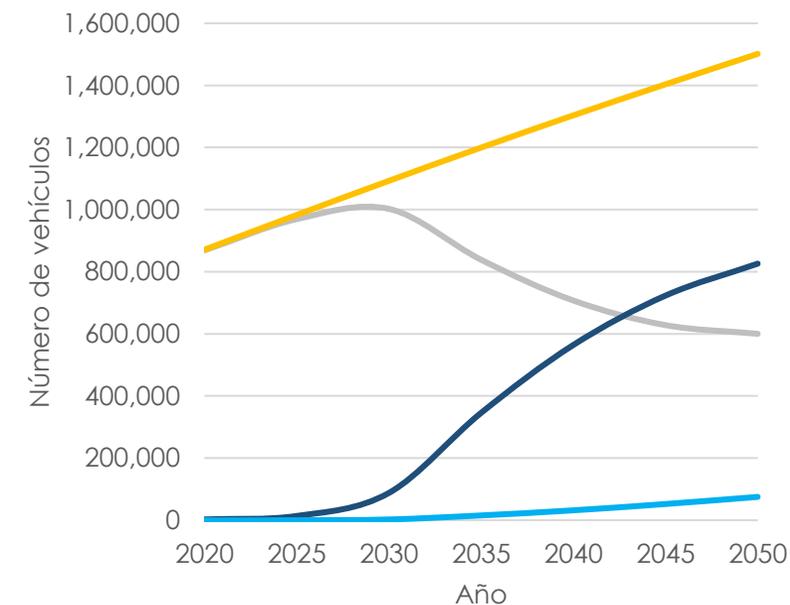
Proyección - BAU
Mini buses



Proyección - BAU
Vehículos ligeros comerciales



Proyección - BAU
Vehículos ligeros particulares



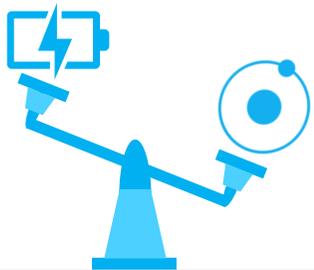
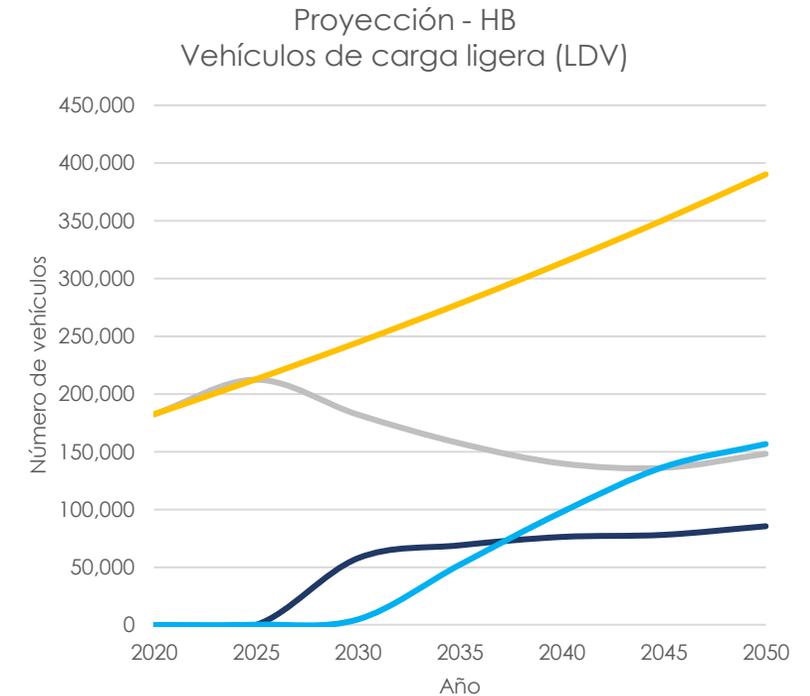
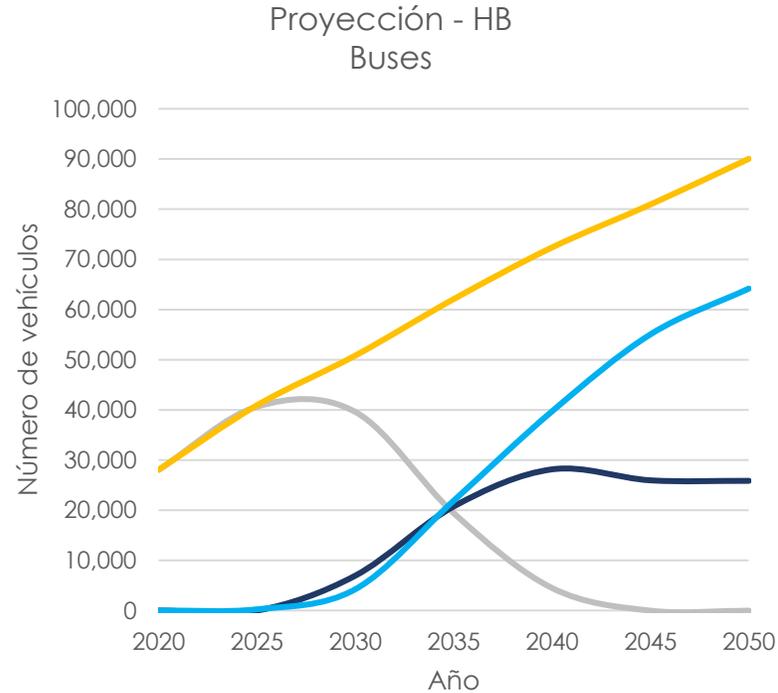
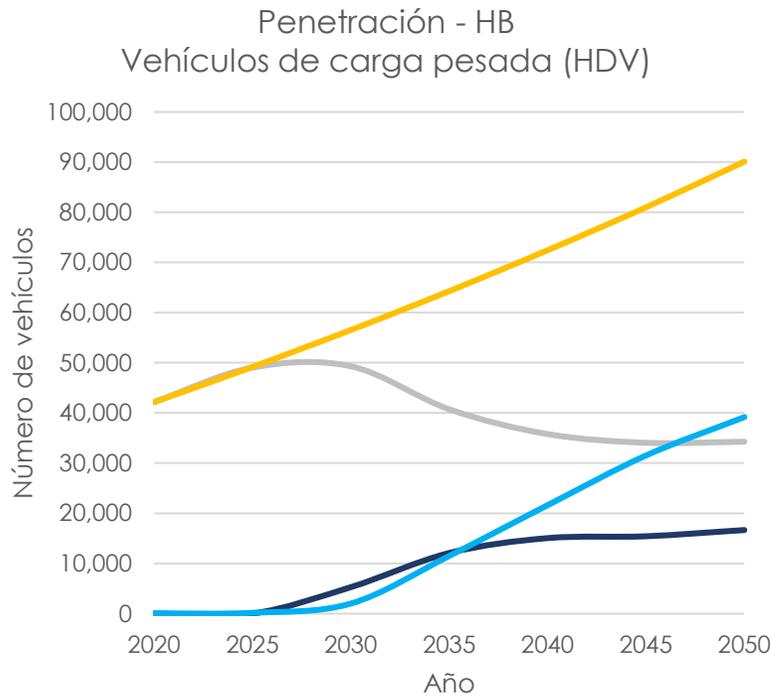
- Penetración **reducida** de FCEV en la movilidad de pasajeros particular y comercial (usos intensivos)
- Penetración de FCEV **media**: autobuses de largas distancias
- Penetración **alta** de FCEV en el segmento de carga ligera y pesada





ESCENARIO HYDROGEN BREAKTHROUGH

Los FCEV dominarían los segmentos pesados a partir de la década del 2030



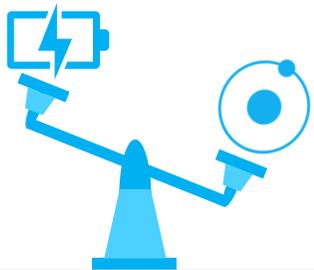
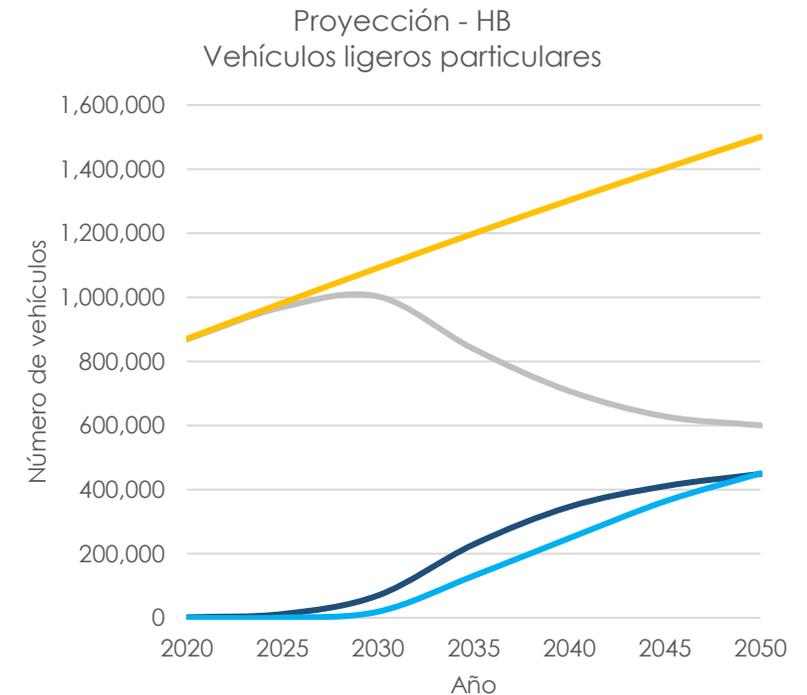
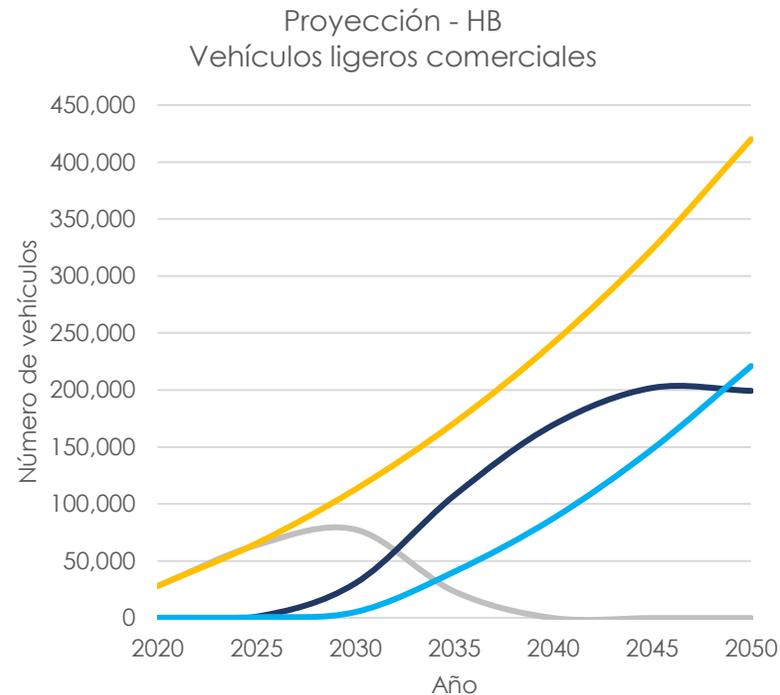
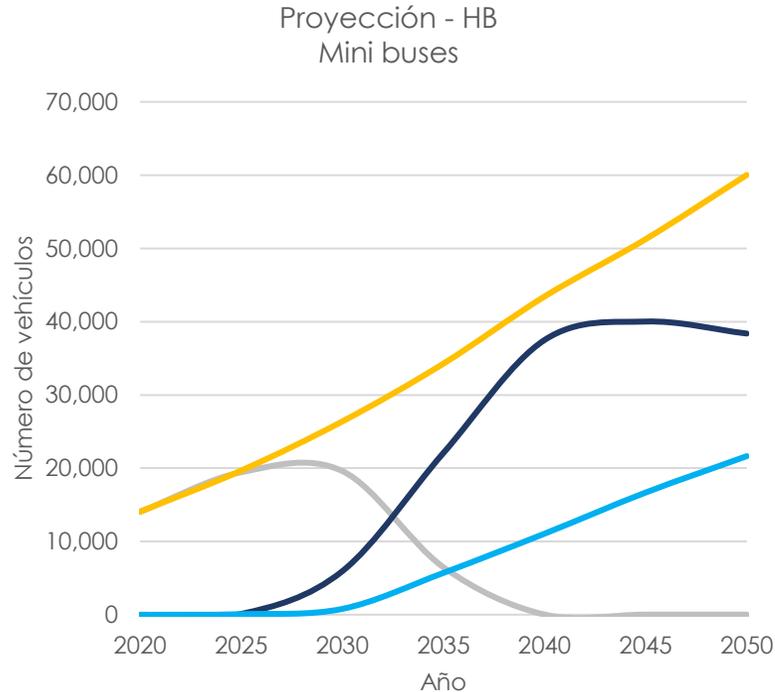
- Este escenario considera una evolución muy favorable de costos de adquisición de los FCEV y del costo de producción del hidrógeno.
- Bajo este escenario, los FCEV dominarán los segmentos de transporte de carga y transporte público de pasajeros.

— ICEV
— BEV
— FCEV
— TOTAL



ESCENARIO HYDROGEN BREAKTHROUGH

Aunque no serían dominantes, en este escenario los FCEV tienen un papel importante en la movilidad ligera de pasajeros



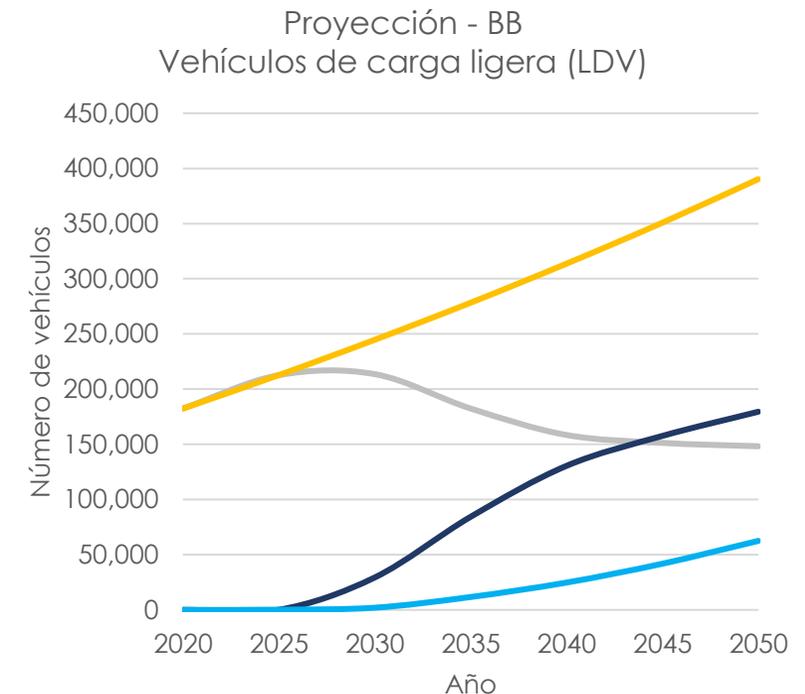
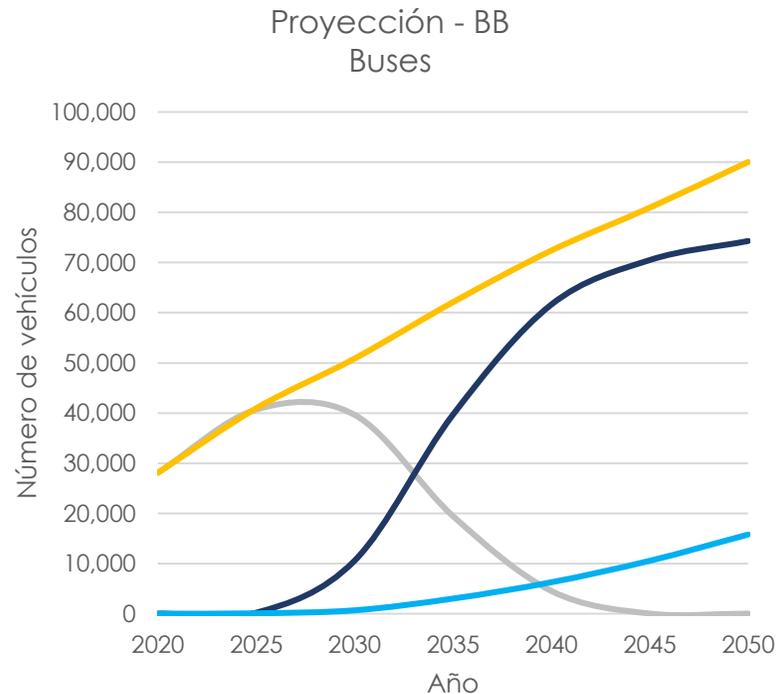
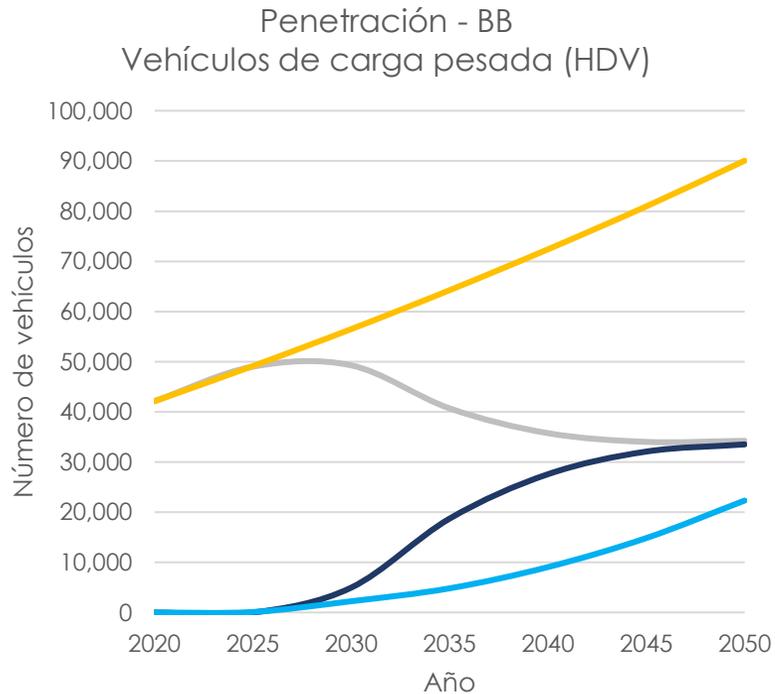
- Penetración de FCEV **alta** en la movilidad de pasajeros particular y comercial
- Penetración de **muy alta** para autobuses FCEV de largas distancias
- Penetración **muy alta** de FCEV en el segmento de carga ligera y pesada

— ICEV
— BEV
— FCEV
— TOTAL



ESCENARIO BATTERY BREAKTHROUGH

Los FCEV seguirían estando presentes en segmentos pesados, donde las baterías son inviables técnicamente pero con una penetración baja



- En este escenario los FCEV permanecerán como una opción para el transporte de mercancías pesadas y el transporte público de pasajeros en rutas de larga distancia.
- Los FCEV tendrían una penetración menor que en un escenario BAU, debido a su CTP superior al de la alternativa de baterías

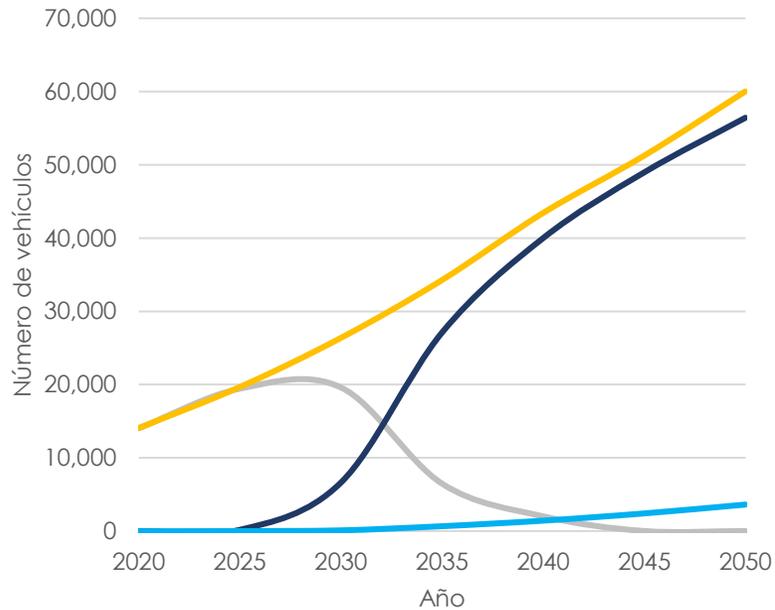
— ICEV
— BEV
— FCEV
— TOTAL



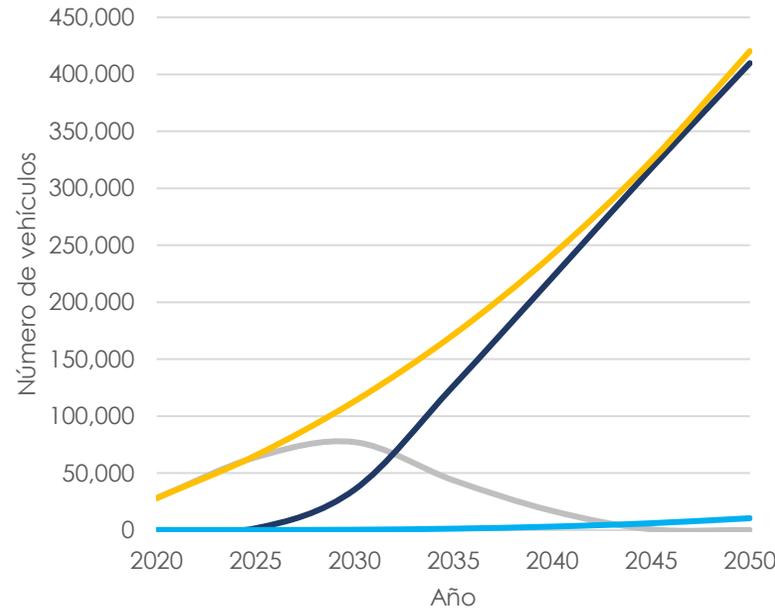
ESCENARIO BATTERY BREAKTHROUGH

El rol de FCEV en ligeros es mínimo. Solo presentes en flotas de operación intensiva como vehículos compartidos o patrullas

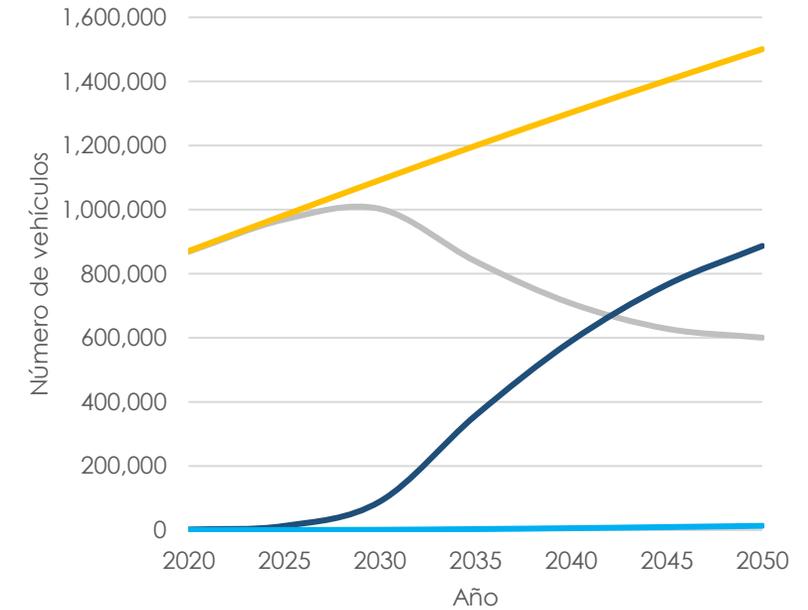
Proyección - BB
Mini buses



Proyección - BB
Vehículos ligeros comerciales



Proyección - BB
Vehículos ligeros particulares

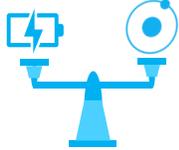


- Penetración **mínima** de FCEV en la movilidad ligera particular y comercial
- Penetración **de nicho de FCEV** para autobuses de largas distancias
- Penetración **media** FCEV **para largas distancias** en el segmento de carga ligera y pesada

— ICEV
— BEV
— FCEV
— TOTAL

CONCLUSIONES DE LOS ESCENARIOS DE PENETRACIÓN

Niveles de penetración de los vehículos FCEV en la flota de Costa Rica en el año 2050

		BATTERY BREAKTHROUGH		BUSINESS AS USUAL		HYDROGEN BREAKTHROUGH	
							
	Camiones de carga pesada	Media		Alta		Alta	
	Buses	Media		Media		Muy alta	
	Camiones de carga ligera	Media		Media		Alta	
	Mini buses	Baja		Media		Alta	
	Vehículos de pasajeros comerciales	Mínima		Media		Muy alta	
	Vehículos de pasajeros particulares	Mínima		Baja		Alta	
PENETRACIÓN (% de la flota total)		Mínima	Baja	Media	Alta	Muy alta	
		<5%	5-10%	10-30%	30-50%	>50%	





FASE 2

C: COBENEFICIOS DE LA PENETRACIÓN DE MOVILIDAD ELÉCTRICA

IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES



CO-BENEFICIOS DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

Se cuantificaron co-beneficios para el escenario balanceado, en 4 categorías

Mitigación del Cambio Climático



Matriz Energética Costa Rica:
99% Energía Renovable



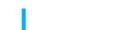
Alto potencial de reducción de GEI
con la implementación de VEs

Mejora en la Calidad del Aire

CO
COV
PM 2.5
PM 10
NOx
SO2



Perjudiciales para la
salud humana



Perjudiciales para el
ambiente

Costa Rica **debe importar** combustibles
para suplir el sector transporte



Los VEs tienen el potencial de reducir
la dependencia en la importación de
estos combustibles



Se estima que a 2030 habrá más de
2000 empleos nuevos asociados a la
movilidad eléctrica.

Operacional

Infraestructura



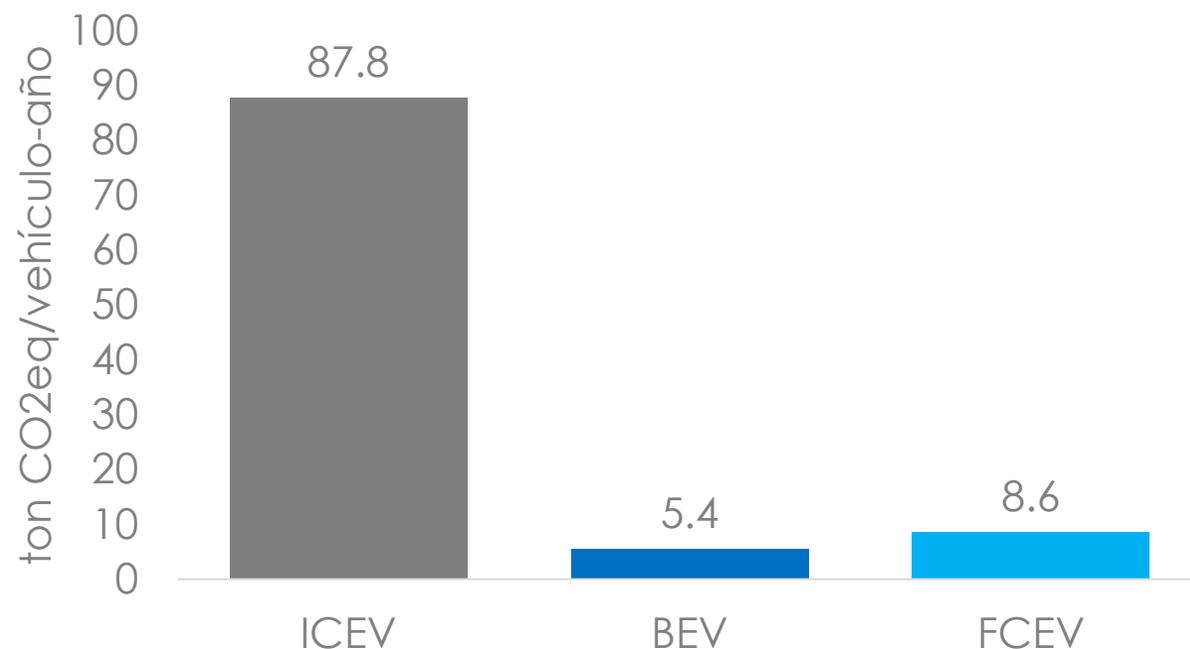
Independencia Energética

Beneficios sociales



LA EMISIÓN DE UN ICEV ES HASTA 16 VECES MAYOR QUE LA EMISIÓN POR CONSUMO ENERGÉTICO DE UN VE

Factores de Emisión 2030 - Buses



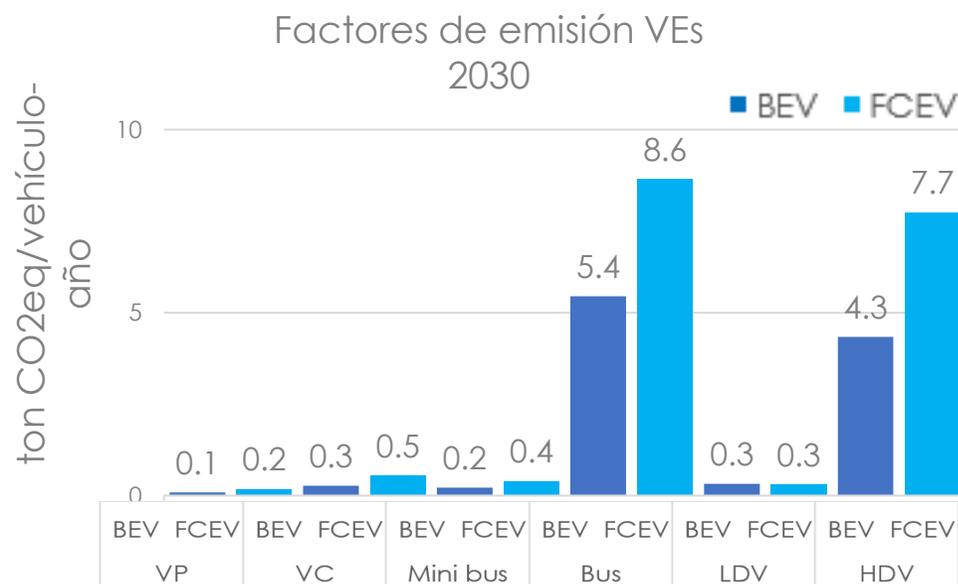
Alto potencial de reducción de GEI debido a la matriz energética de Costa Rica

- Factor de Emisión (FE) de la Matriz Eléctrica al año 2030¹: **47 gCO₂eq/kWh**
- FE FCEV > FE BEV debido a la mayor eficiencia energética del BEV

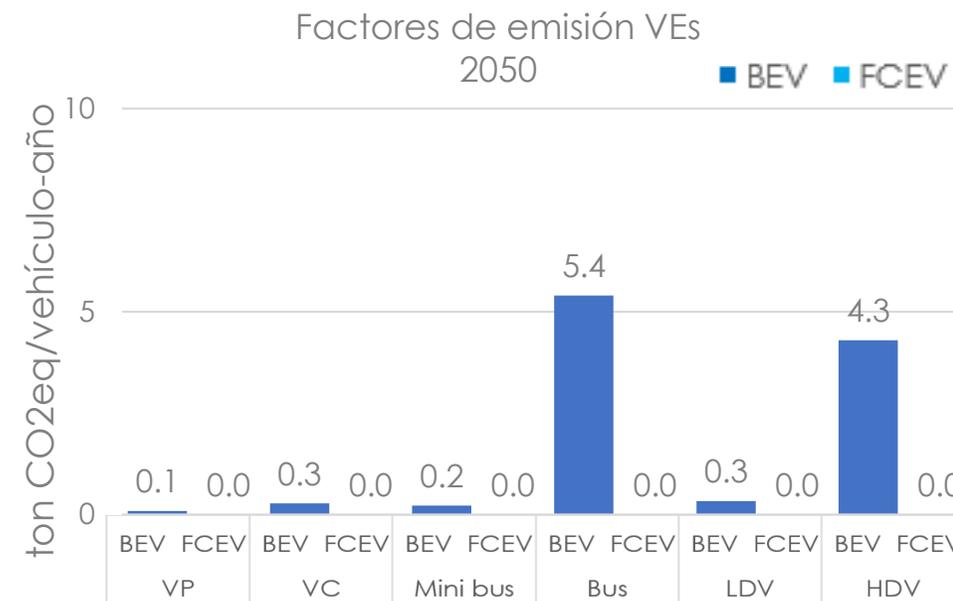


EL HIDRÓGENO VERDE PERMITE INCREMENTAR EL POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI

Mientras que, desafortunadamente, la matriz eléctrica de Costa Rica tiende a hacerse ligeramente más alta en carbono a 2050



BEV: 100% energía de la red eléctrica
FCEV: 60% energía de la red eléctrica
 40% energía planta renovable



BEV: 100% energía de la red eléctrica
FCEV: 100% energía planta renovable (conectado directamente a una hidro)

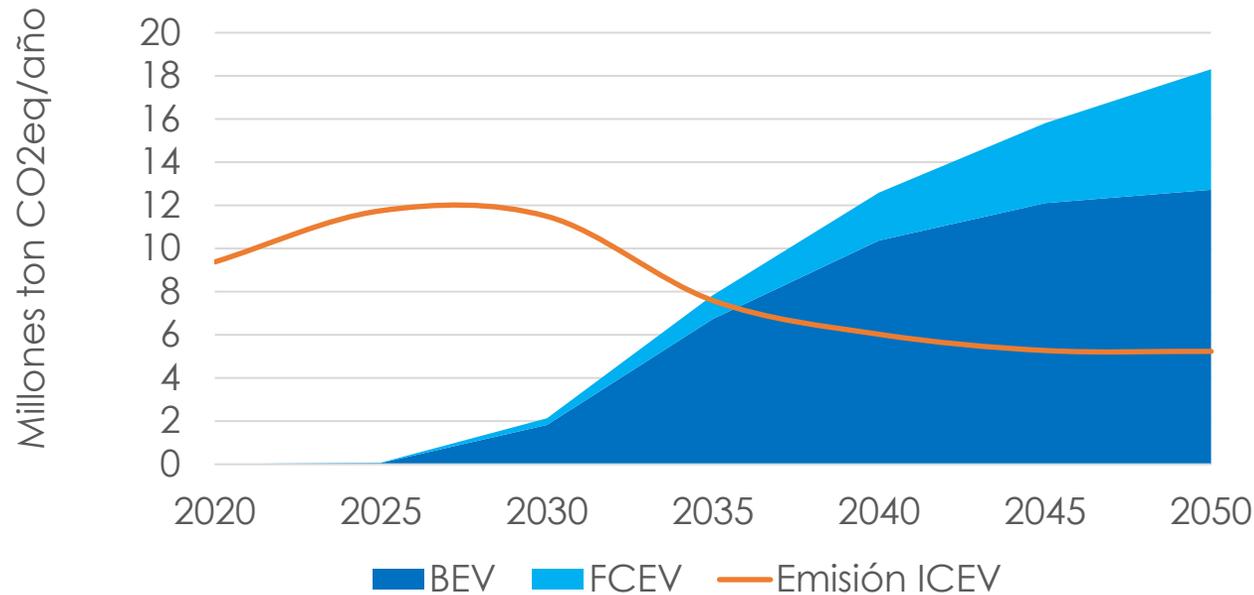


A 2035 SE AHORRA EL EQUIVALENTE AL TOTAL DE EMISIONES DE LOS ICEV PARA ESE AÑO



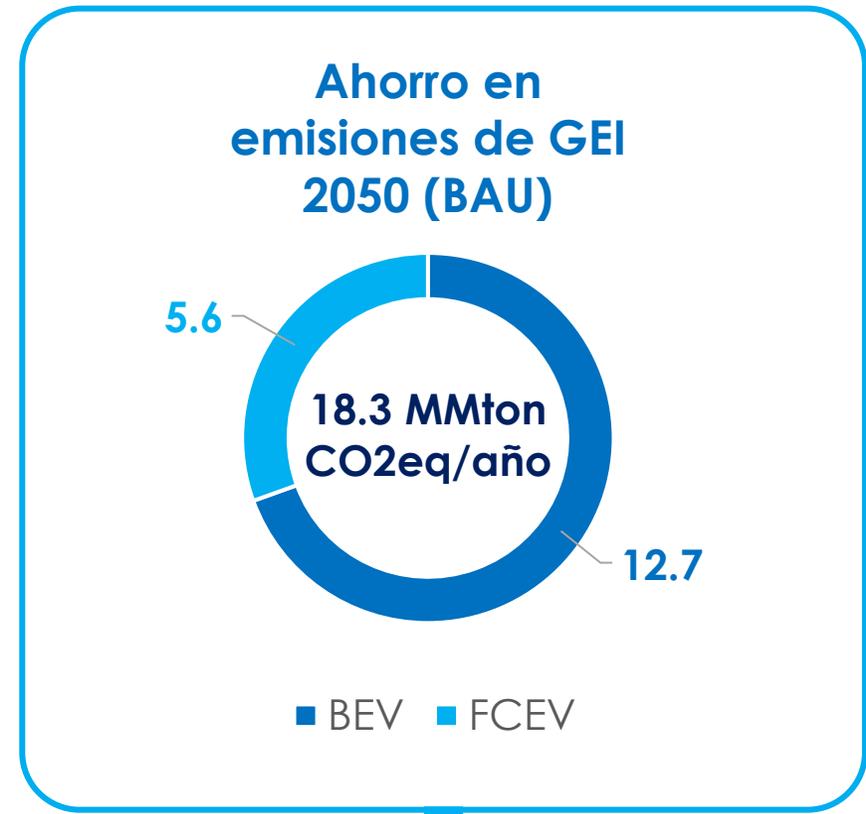
Escenario Balanceado

Ahorro en emisión de GEI por año



Meta de descarbonización CR a 2050¹:
9.48 MMtCO₂eq sector energía (Caso Base)

➔ 66% sector transporte²: **6.26 MMtCO₂eq**



Emisión ICEV 2050: **5.2 MMton CO₂eq**
El ahorro es **3.5 veces** lo que emiten los ICEV para el 2050

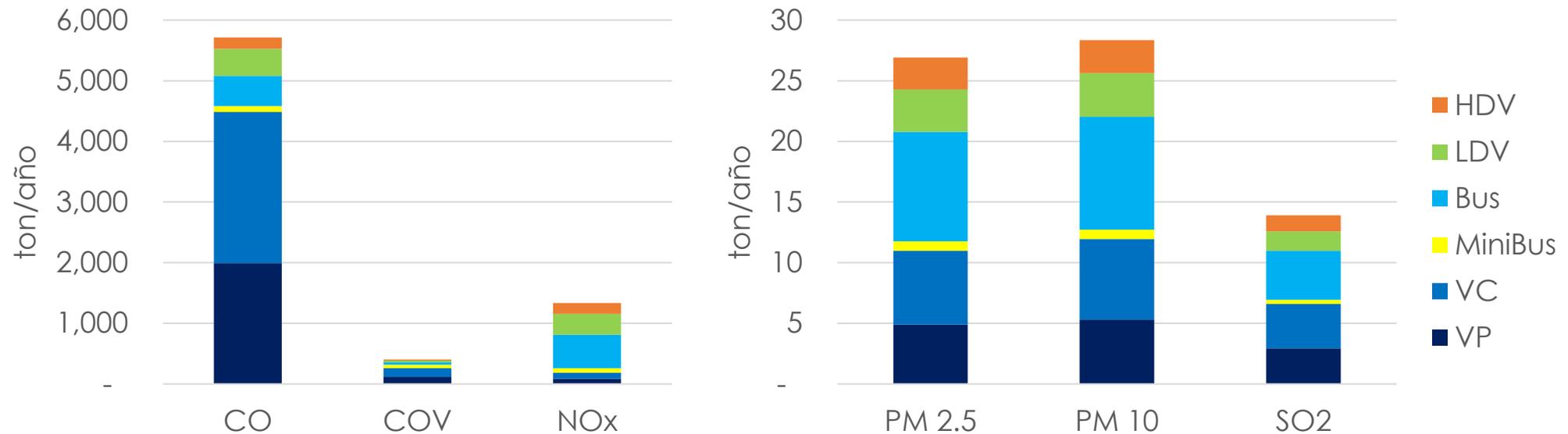
1. Plan Nacional de descarbonización Costa Rica 2018-2050
2. Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 2010



EN 2030 SE PROYECTA UN AHORRO DEL 22% DE LA EMISIÓN ACTUAL DE CONTAMINANTES

Escenario Balanceado 2030

Ahorro en emisión de contaminantes



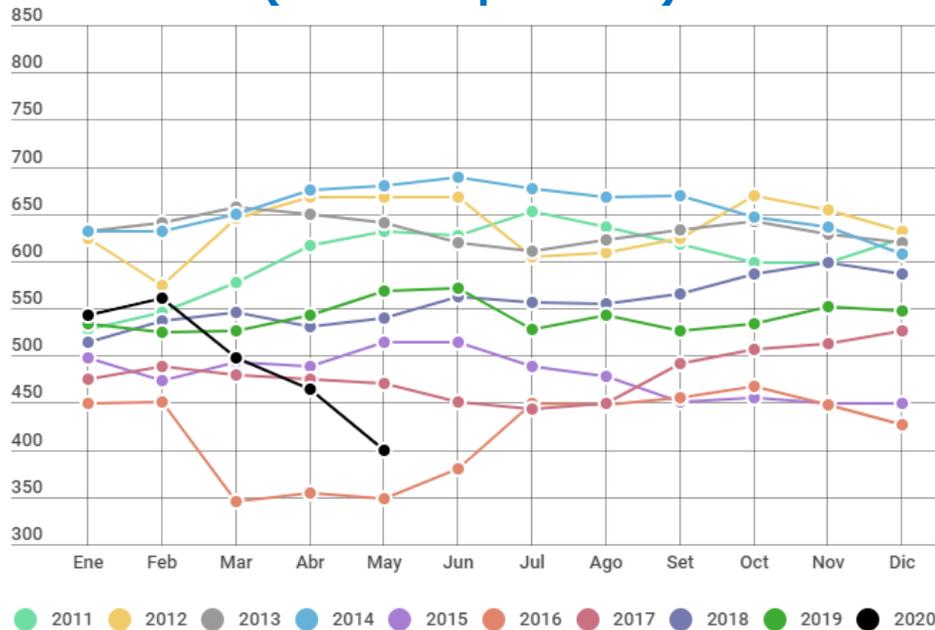
Material Particulado

Un bus ICEV emite **2.77** kg PM10/vehículo-año. (llantas y frenos + combustión)

Un bus eléctrico emite **1.95** kg PM10/vehículo-año. (llantas y frenos)

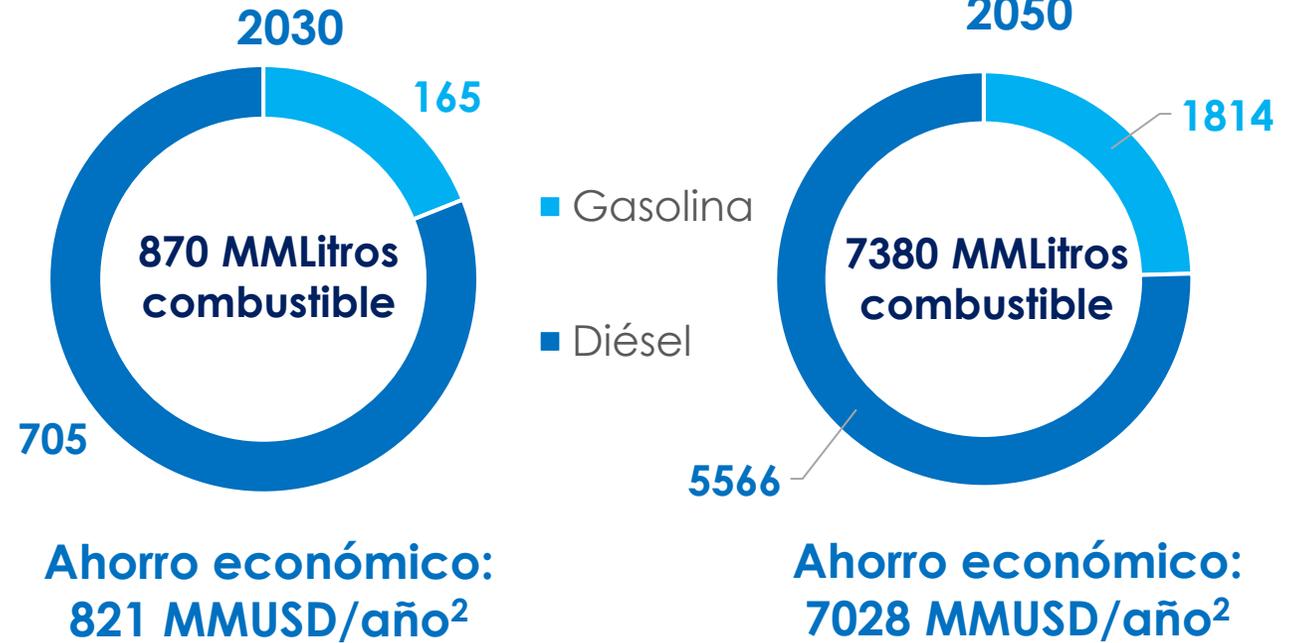
- A 2030 se ahorra el **22%** de las emisiones actuales de los ICEV, en 2050 el potencial es **10 veces mayor**
- Se asume que el **ahorro en emisiones es igual** entre un FCEV y un BEV (emiten la misma cantidad de PM debido a desgaste de llantas y frenos)

Precio del Diésel¹ (colones por Litro)



Alta volatilidad de precios

Escenario Balanceado



- Además de reducción de contaminantes hay un **ahorro económico** significativo
- Se reduce la dependencia** de importación de energéticos
- El ahorro en combustible **por vehículo** es igual para BEV y FCEV

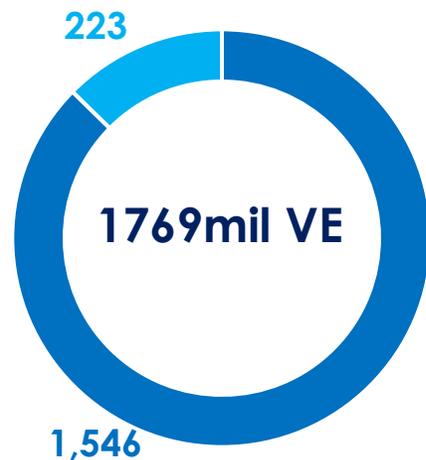
1. RECOPE, 2020, Precios históricos

2. Tomando el precio promedio 2017-2020 en estaciones de servicio reportado por RECOPE: Gasolina regular 607 colon/Litro, Diésel 519 colon/Litro

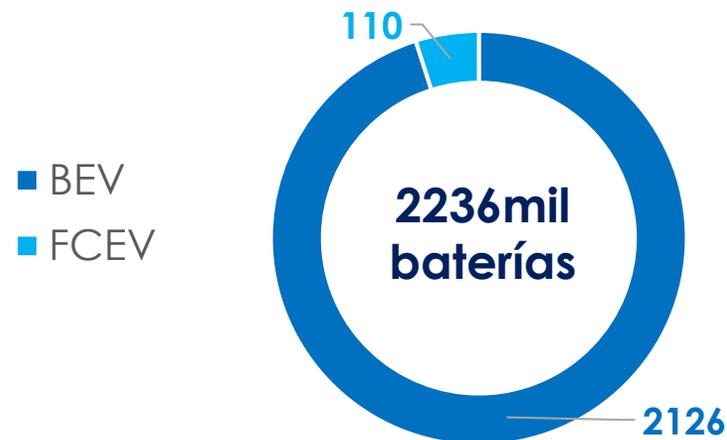
LOS BEV SERÍAN RESPONSABLES DEL 99.7% DE LAS BATERÍAS PARA MOVILIDAD DESECHADAS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL

Escenario Balanceado 2050

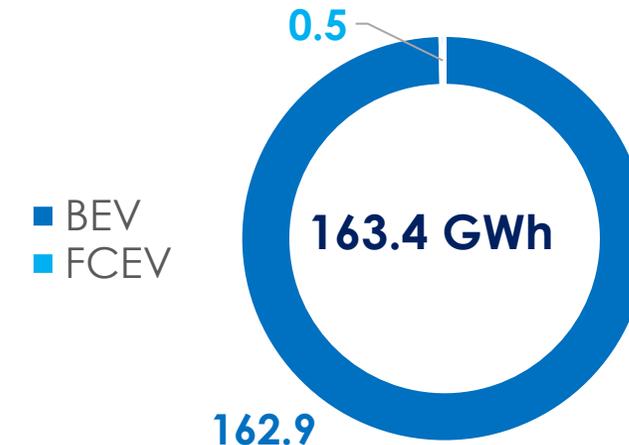
Flota EV (2050)
Miles de vehículos



Acumulado de baterías al final de su vida útil (2050)
Miles de baterías



Acumulado de baterías al final de su vida útil (2050)
GWh



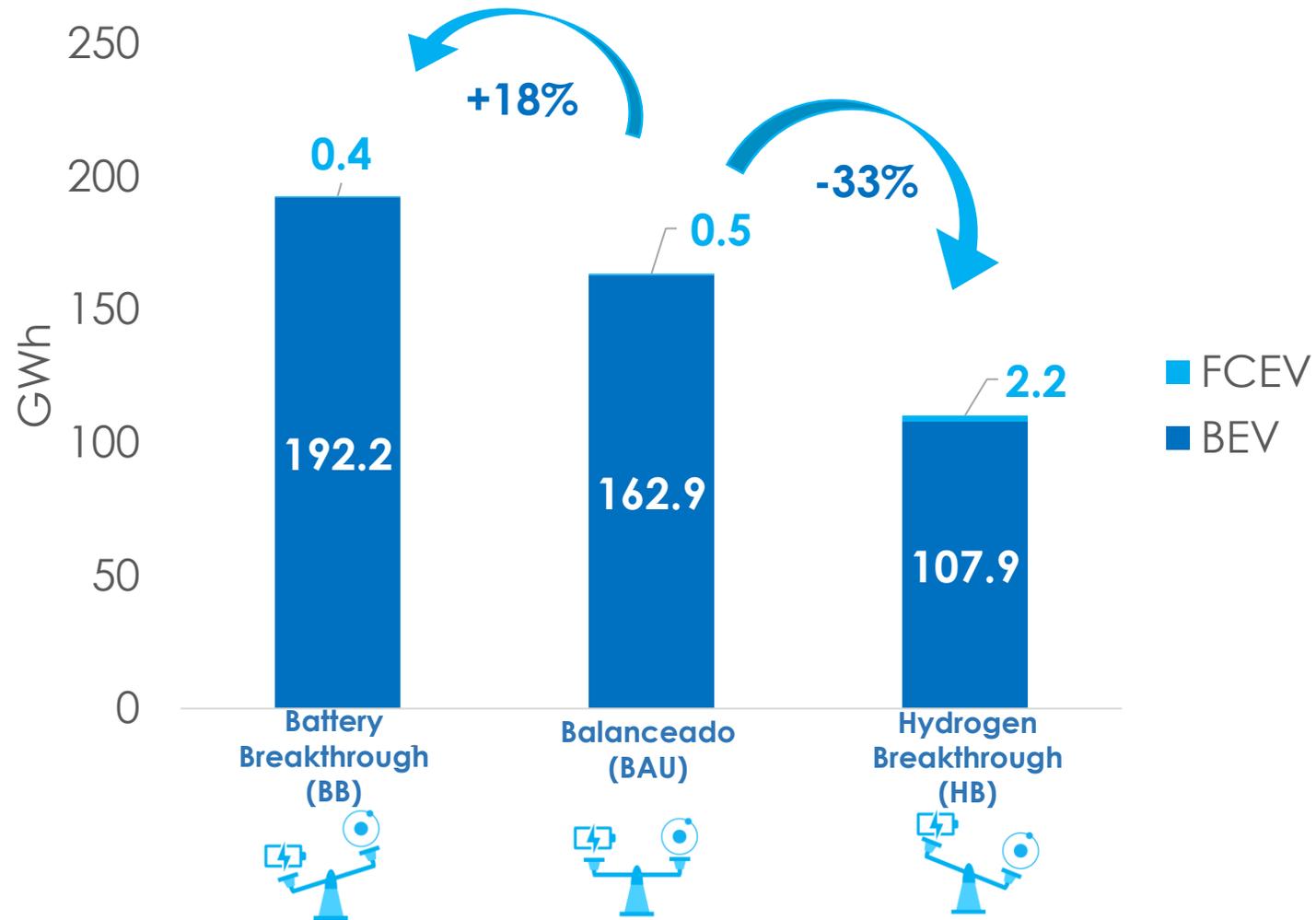
- Los BEV requieren por lo general de **recambios de batería**, por lo que generan un mayor número de baterías como residuo al final de su vida útil.
- Si se tiene en cuenta el **tamaño de las baterías**, el 99.7% corresponde a baterías BEV (las baterías en los BEV son mucho más grandes (de mayor capacidad) que las de los FCEV).

1. La vida de las baterías se puede extender hasta 15 años en usos de almacenamiento estacionario. No obstante, este análisis solo contempla el final de su vida útil en aplicaciones de movilidad eléctrica.

2. Las celdas de combustible que llegan al final de su vida útil no se incluyen en este análisis debido a que no se consideran como desechos especiales (no generan residuos tóxicos). Cerca del 95% de los metales preciosos usados en su fabricación se pueden reciclar.

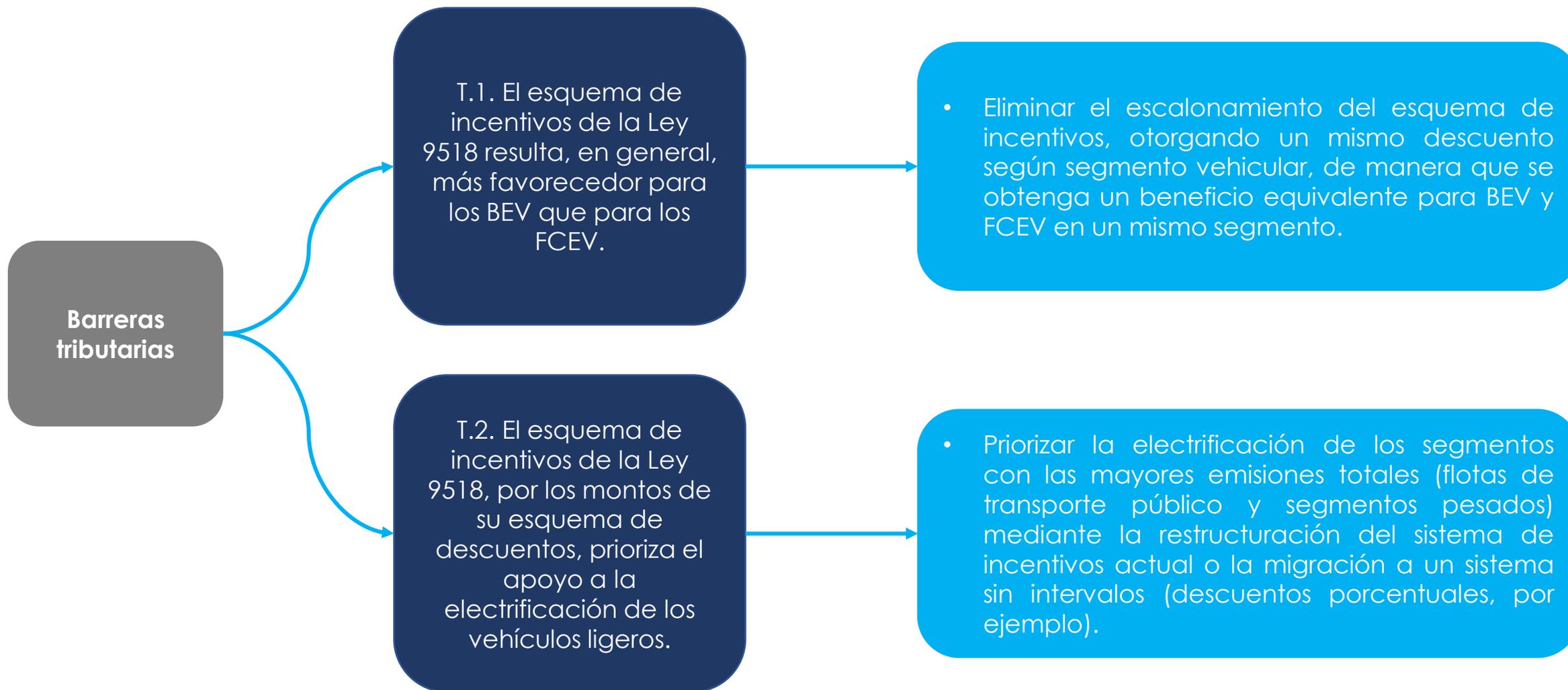
LOS DESECHOS DE BATERÍAS SE REDUCIRÍAN CONSIDERABLEMENTE EN UN ESCENARIO HYDROGEN BREAKTHROUGH

Baterías desechadas en Costa Rica al fin de vida útil (2050)



1. La vida de las baterías se puede extender hasta 15 años en usos de almacenamiento estacionario. No obstante, este análisis solo contempla el final de su vida útil en aplicaciones de movilidad eléctrica
2. Las celdas de combustible que llegan al final de su vida útil no se incluyen en este análisis debido a que no se consideran como desechos especiales (no generan residuos tóxicos). Cerca del 95% de los metales preciosos usados en su fabricación se pueden reciclar.

BARRERAS Y RECOMENDACIONES NACIONALES PARA IMPULSAR LA ADOPCIÓN DE FCEV EN COSTA RICA



BARRERAS Y RECOMENDACIONES NACIONALES PARA IMPULSAR LA ADOPCIÓN DE FCEV EN COSTA RICA

Barreras en la infraestructura

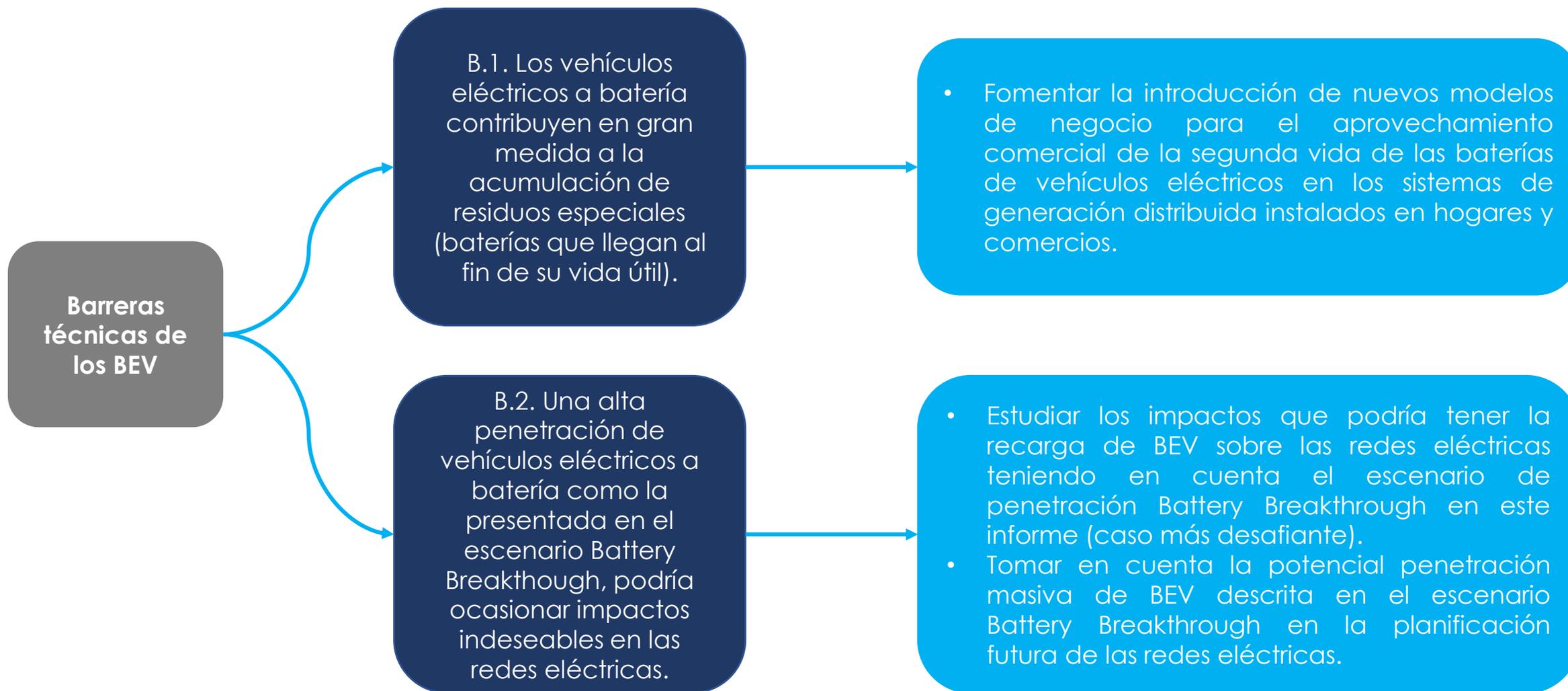
I.1. Costa Rica presenta altos costos de producción de hidrógeno – costos nivelados de hidrógeno (LCOH).

- Creación de incentivos específicos de carácter impositivo y arancelario o fondos no reembolsables para proyectos de electrólisis para reducir el LCOH proyectado.
- Ofrecer temporalmente tarifas eléctricas diferenciadas para proyectos conectados de electrólisis conectados a red.
- Exención de IVA y arancel para electrolizadores, celdas de combustible, y equipos de balance de planta involucrados en proyectos de hidrógeno verde.

I.2. Se requiere un despliegue de infraestructura de recarga o abastecimiento que acompañe la introducción de la movilidad eléctrica.

- Fomentar nuevos modelos de negocio y de financiamiento para el desarrollo de proyectos de infraestructura de abastecimiento.
- Desarrollar una hoja de ruta nacional para el despliegue de la infraestructura de abastecimiento de hidrógeno para FCEV y de recarga de energía eléctrica para BEV en el medio y largo plazo.

BARRERAS Y RECOMENDACIONES NACIONALES PARA IMPULSAR LA ADOPCIÓN DE FCEV EN COSTA RICA



PRODUCTOS DE ESTA FASE DE CONSULTORÍA

Fase 2 – Análisis del Costo Total de Posesión de los vehículos eléctricos

Entregable escrito

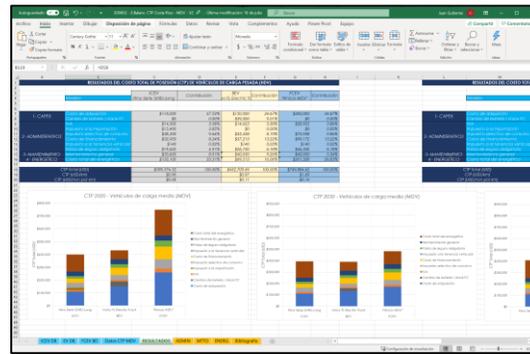


Extensión: 96 páginas

Contenido:

- Explicación a detalle sobre las consideraciones y metodología para el cálculo del CTP
- Determinación de escenarios de penetración de vehículos eléctricos
- Barreras y recomendaciones para mejorar el CTP de los FCEV

Modelo de cálculo de CTP



Utilidad: Cálculo de CTP de nuevos modelos de vehículos o ante cambios en el contexto de Costa Rica (impuestos, precios de combustible, etc)

Inputs:

- Costos de vehículos
- Costo de energéticos
- Costos de mantenimiento en Costa Rica de los vehículos
- Impuestos vehiculares

Resultados:

- Cálculo del CTP neto en 2020, 2030 y 2050
- Proyección del CTP en USD/km de 2020 a 2050
- Análisis de sensibilidad sobre los impuestos y el kilometraje anual

Análisis preliminar ferroviario para adopción de H2



Extensión: 14 páginas

Contenido:

- Identificación del contexto ferroviario de Costa Rica
- Estado del arte de los trenes de hidrógeno
- Recomendaciones para el uso de este de trenes de hidrógeno en Costa Rica



FASE 3
A: HOJA DE RUTA DE
DESPLIEGUE DE
INFRAESTRUCTURA DE
H₂

PLAN DE ACCIÓN



FASE 1

Preparación del Terreno

2020-2025

Objetivos Específicos de la Fase 1



Vincular el Hidrógeno Energético con los planes de desarrollo Energético de Costa Rica para la próxima década, como un eje estratégico de descarbonización desde la política pública



Permitir que las tecnologías del hidrógeno para energía y movilidad tengan acceso a incentivos tributarios e impositivos, compatibles con el marco normativo existente del país



Desarrollar los lineamientos técnicos, reglamentos, y aclarar vacíos jurídicos para permitir la producción, transporte, y distribución del hidrógeno verde como un combustible para movilidad cero emisiones

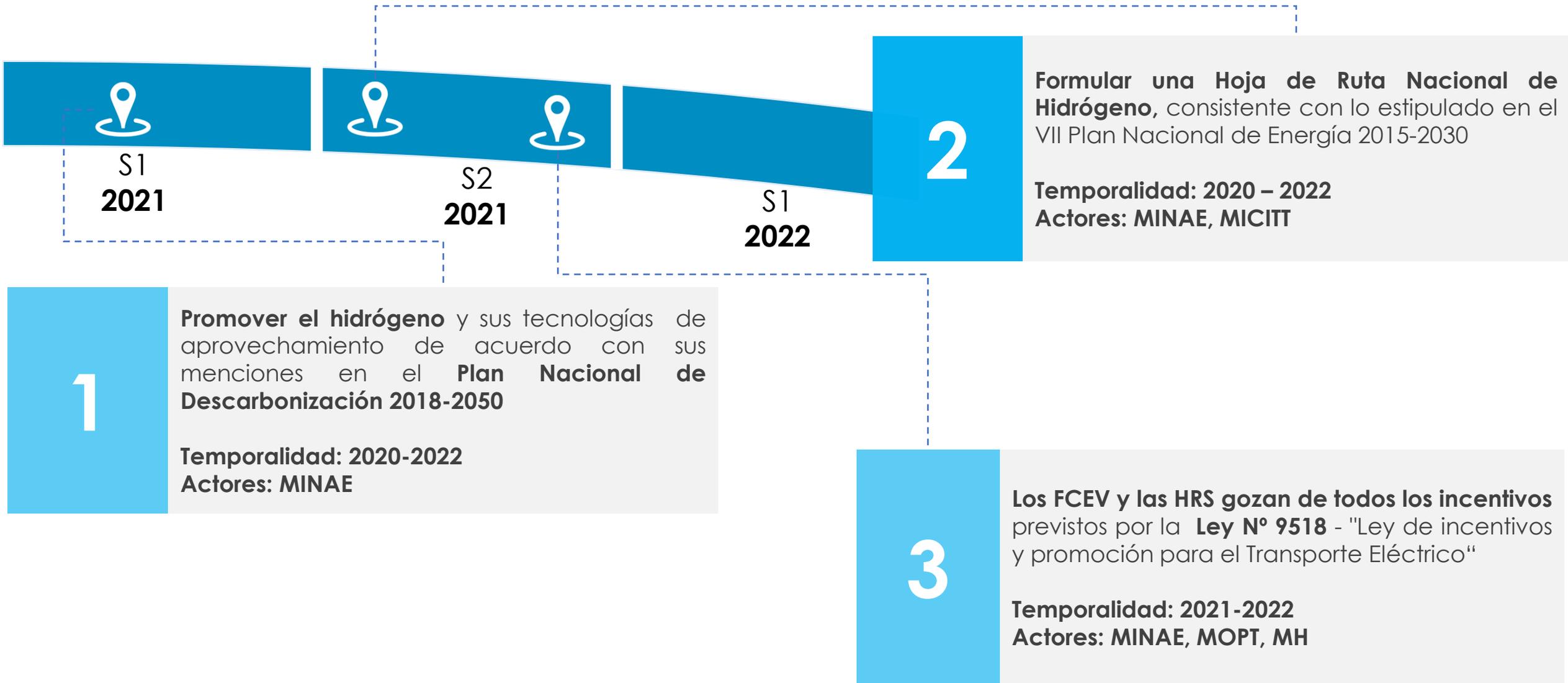


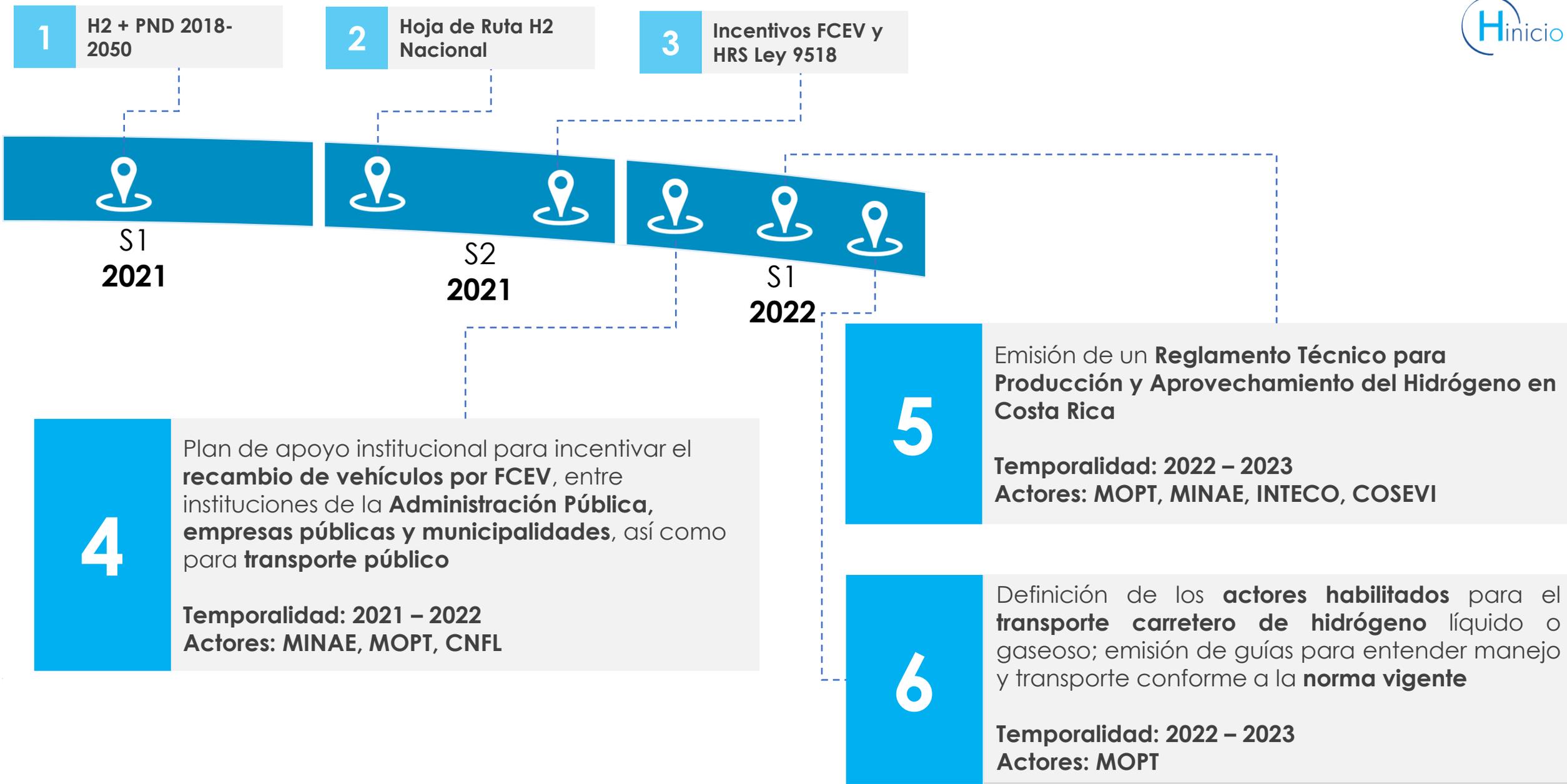
Establecer un panorama para que tanto desarrolladores privados como públicos identifiquen oportunidades en el desarrollo de estaciones de recarga en el país, reduciendo las barreras normativas y económicas actuales

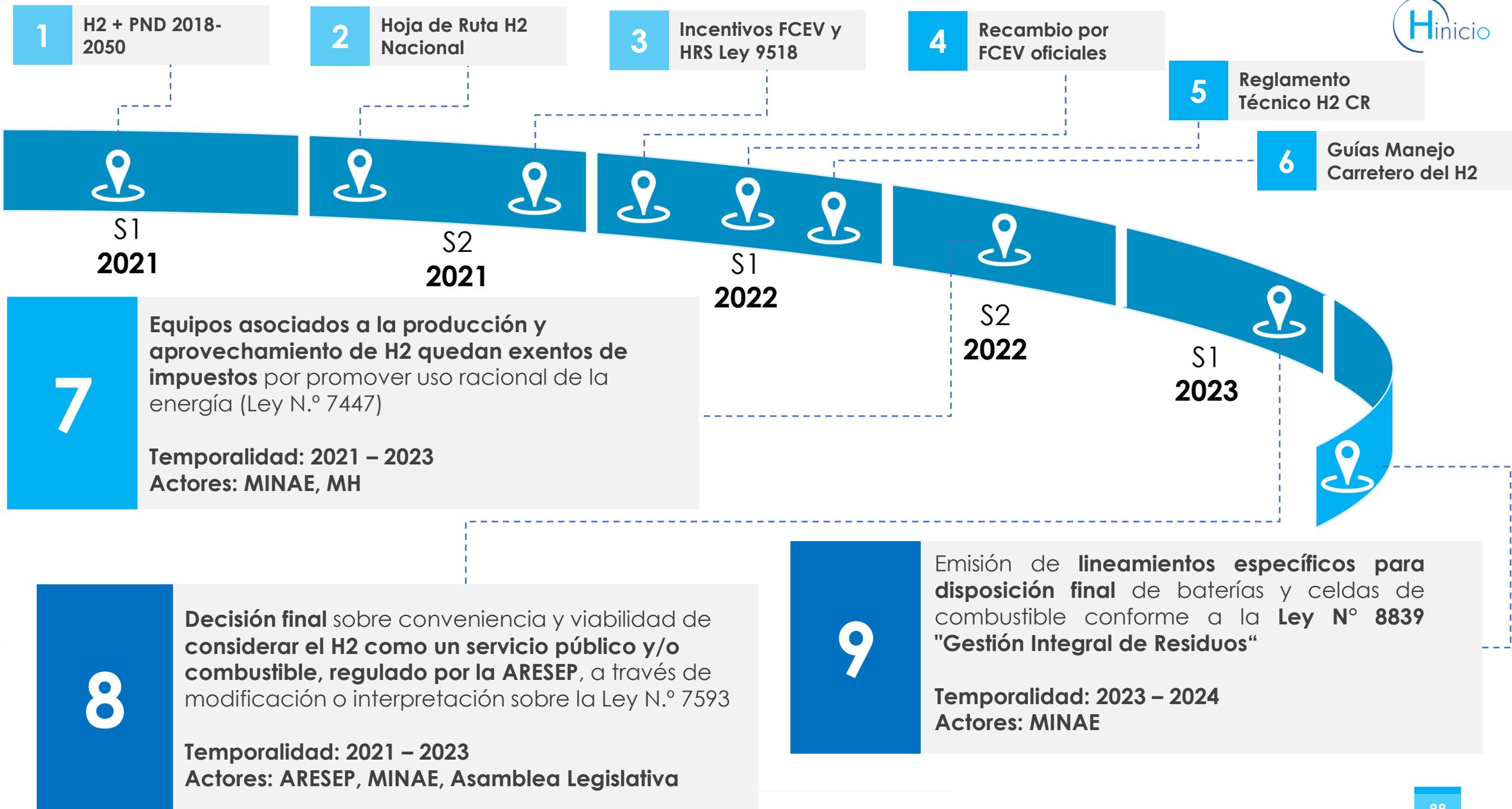


Para 2025, dejar listas las condiciones para el despliegue de una Red de Cobertura Nacional de HRS, así como para el desarrollo de estaciones adicionales









11

Convenios de cooperación internacional facilitan asistencia técnica en el planteamiento de **pilotos de movilidad con H2** para flotas, que incorporan el despliegue de las primeras HRS con inversión de capital mixto (Asociaciones Público - Privadas)

Temporalidad: 2022 – 2024

Actores: MINAE, Operadores de transporte, OEM, multilaterales

10

Aprobación final del proyecto de "Ley de Transformación de RECOPE para la contribución hacia la transición energética", facultando a RECOPE para poder producir, distribuir y comercializar H₂

Temporalidad: 2021 – 2024

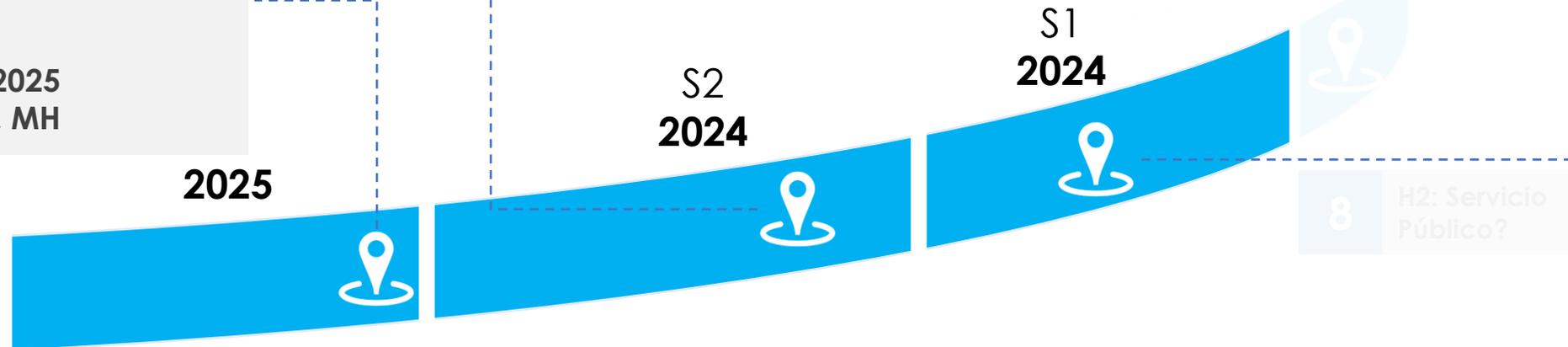
Actores: RECOPE, MINAE, Asamblea Legislativa

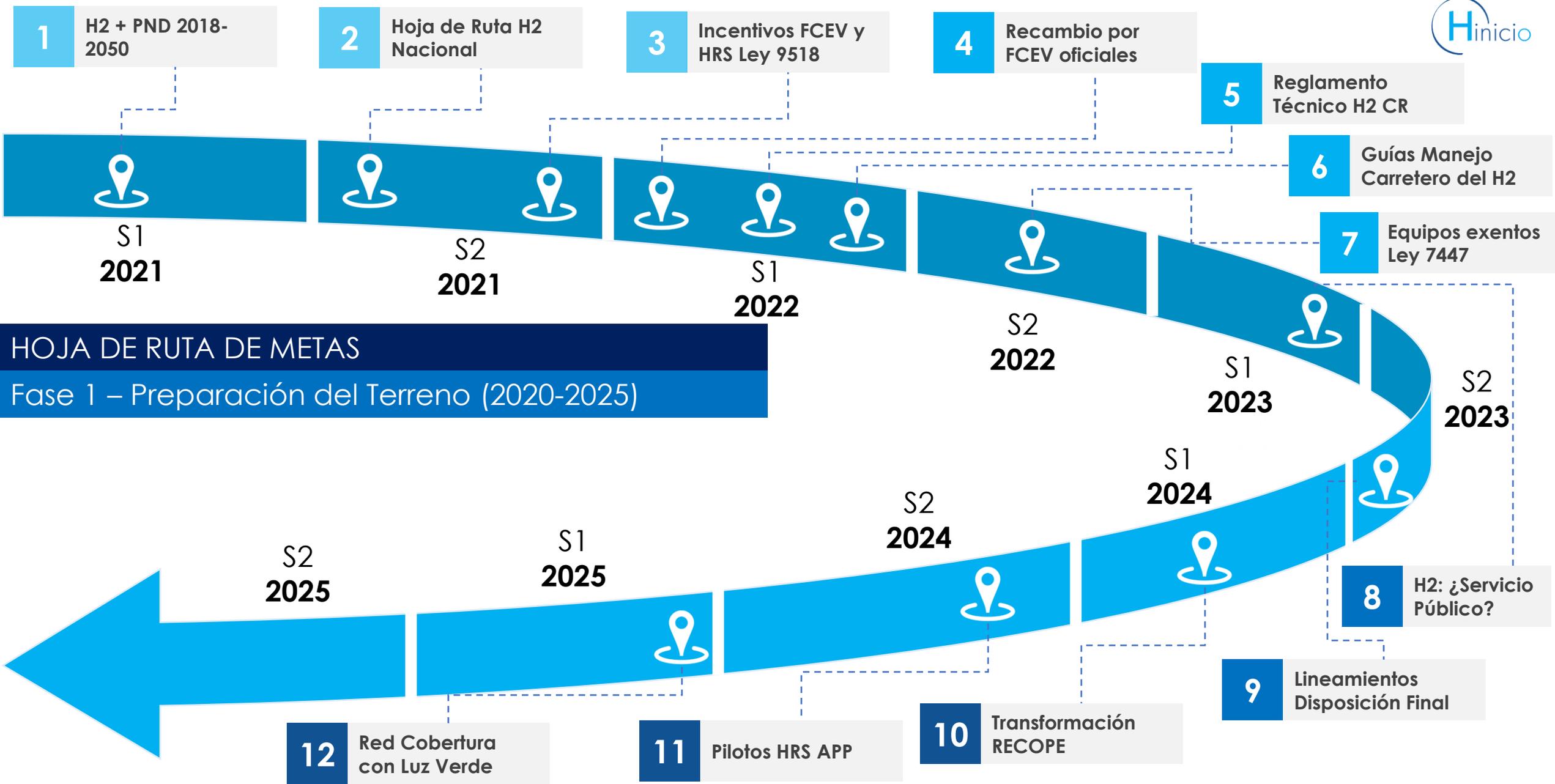
12

Entidades de carácter privado que han recibido soporte institucional **se comprometen a desarrollar en el desarrollo de la red de cobertura nacional (RCN)**

Temporalidad: 2021 – 2025

Actores: MINAE, MTOP, MH





FASE 2

Despliegue de la Red de Cobertura Nacional 2025-2028

Objetivos Específicos de la Fase 2



Definir las condiciones legalmente viables y convenientes desde el punto de vista institucional para la operación y/o concesión de las HRS de Costa Rica

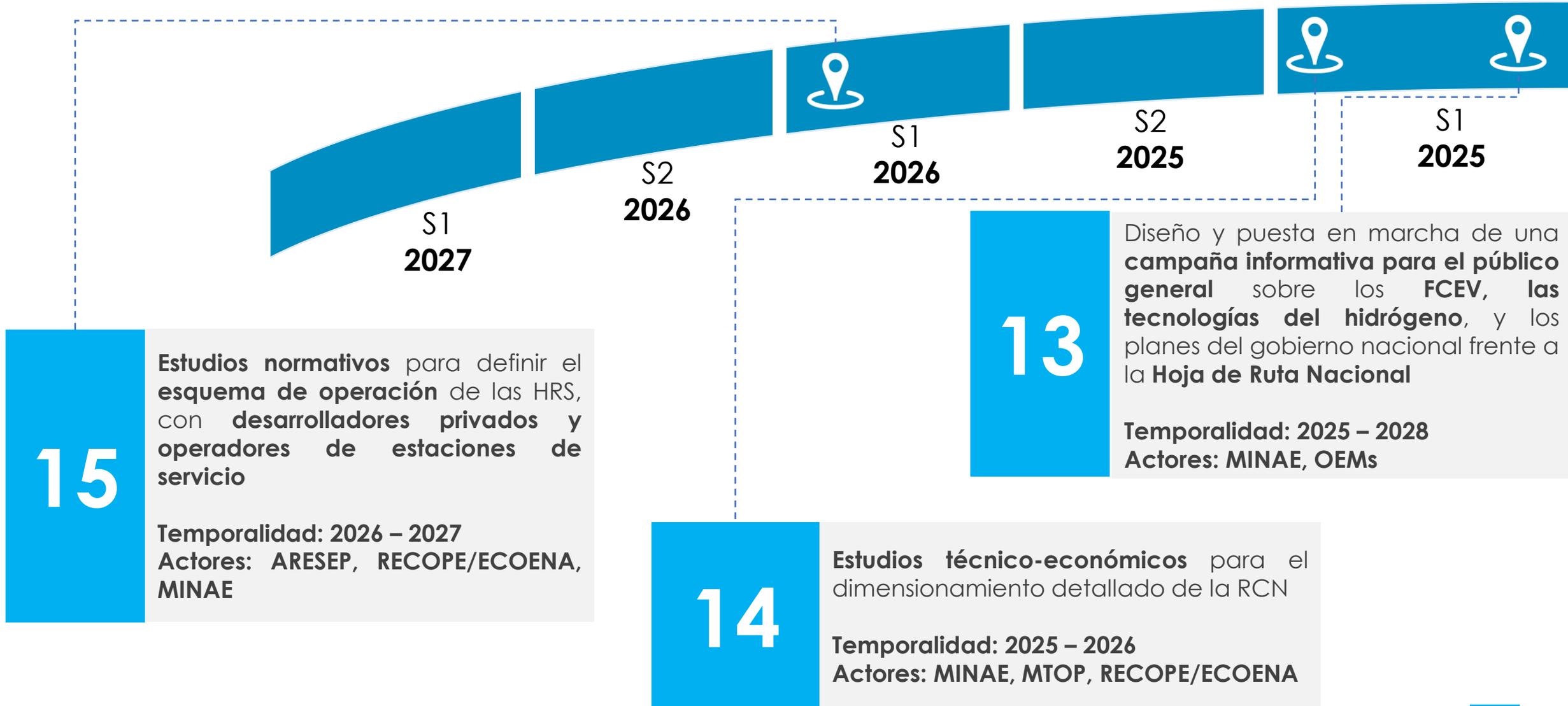


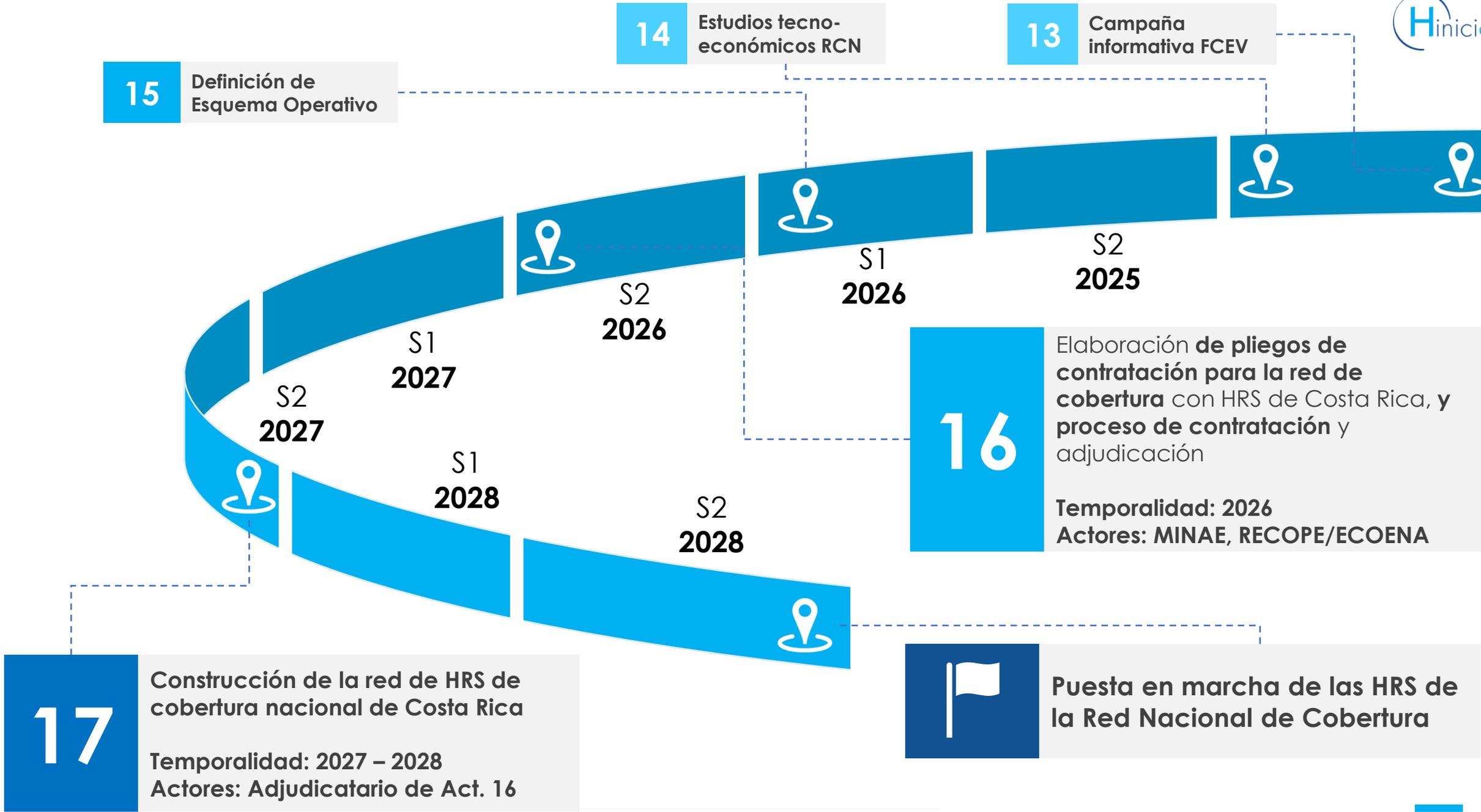
Elaborar los estudios, diseños, ingeniería y modelo de contratación que permita la construcción y puesta en marcha de la red de cobertura nacional



Incentivar a la población en general a adquirir FCEV, a través de campañas de socialización y promoción de la tecnología del hidrógeno







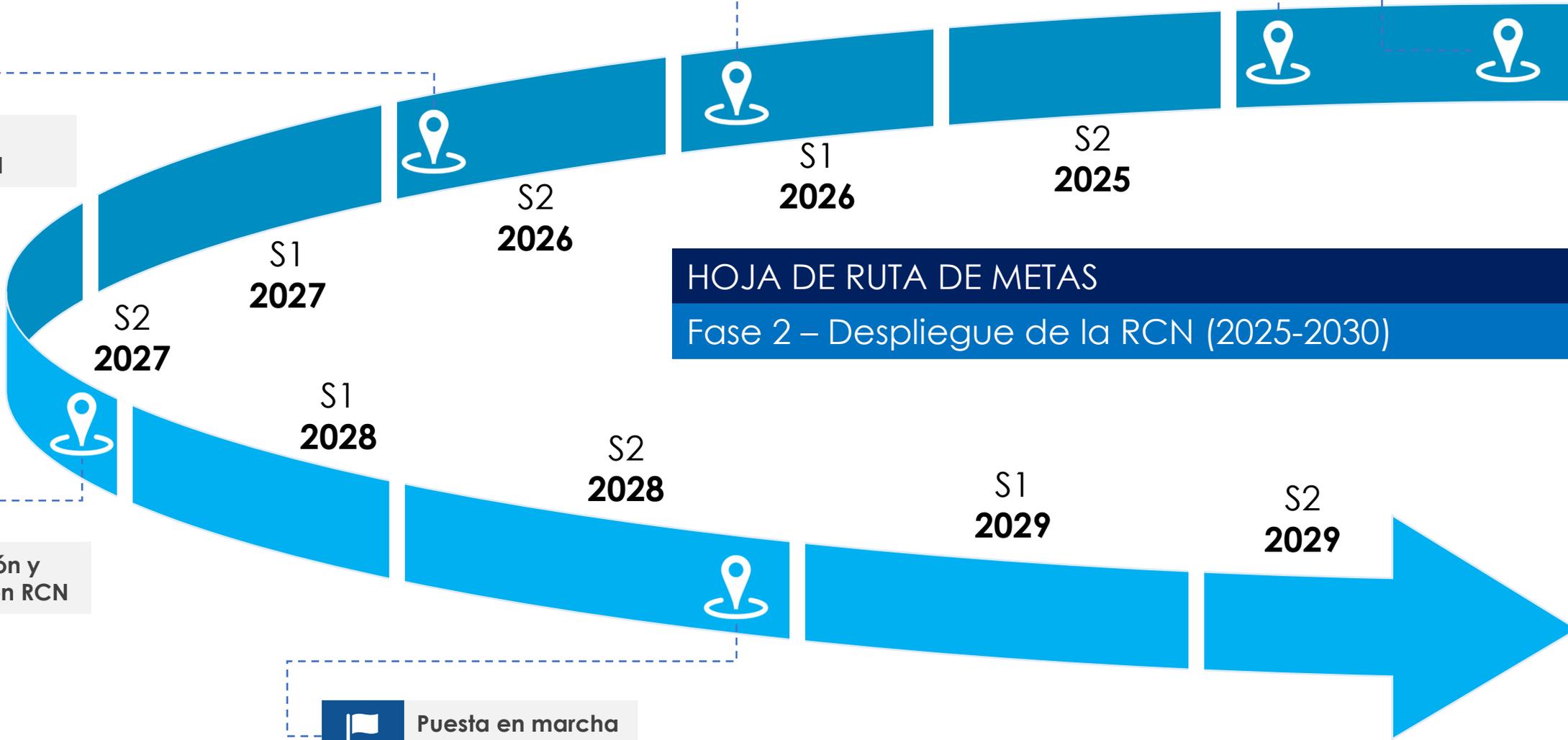
14 Estudios tecno-económicos RCN

13 Campaña informativa FCEV

15 Definición de Esquema Operativo

16 Pliegos de licitación RCN

17 Adjudicación y construcción RCN



HOJA DE RUTA DE METAS
Fase 2 – Despliegue de la RCN (2025-2030)

🚩 Puesta en marcha de RCN



**FASE 3
B: CUANTIFICACIÓN
DE LA
INFRAESTRUCTURA DE
RECARGA DE H₂**

PLAN DE ACCIÓN



SUPUESTOS PARA CUANTIFICAR LA DEMANDA DE HIDRÓGENO EN COSTA RICA

GENERALES:

- **Escenario de penetración: Business as Usual** (Predominancia de los FCEV en segmentos pesados de recarga de H₂ a 350 bar)
- **Eficiencia energética de los FCEV:** El consumo de hidrógeno de los vehículos se mantiene **constante**.
- **Presiones de relleno:** De 2020 a 2050 las presiones de relleno de los vehículos **permanecen en 350 y 700 bar**
- **Recorridos:** **Se mantiene** el promedio reportado por Riteve para cada segmento vehicular.

VEHÍCULOS:

	Particulares	Comerciales	Mini buses	Buses	LDV	HDV
Recorrido anual (km) ^[1]	12,500	39,420	18,300	65,000	18,300	44,500
Consumo energético (kg H ₂ /100 km) ^[2]	1	1	2	10	1	12
Presión de consumo de hidrógeno ^[2] (bar)	700	700	700	350	350	350
Autonomía (km) ^[2]	502	502	322	400	500	480

[1] – Anuario de Revisión Vehicular en Costa Rica, RITEVE, 2018

[2] – Fichas técnicas y hojas de especificaciones de los fabricantes de FCEV

FASES DEL DESPLIEGUE DE ESTACIONES DE RECARGA DE HIDRÓGENO

FASE 1. DESPLIEGUE DE COBERTURA NACIONAL

Cobertura mínima para que un vehículo FCEV de cualquier segmento pueda recorrer Costa Rica con un suministro de H₂ garantizado.

- ✓ 7 estaciones de 350 bar
- ✓ Identificación específica de la ubicación por sus vías carreteras y conexión con otras zonas del país.
- ✓ Autonomía garantizada para FCEV en todos los segmentos
 - Vehículos de 350 bar: Carga al 100% de su capacidad
 - Vehículos de 700 bar: Carga al 50 % de su capacidad

FASE 2. DESPLIEGUE SEGÚN PENETRACIÓN DE FCEV

- ✓ Zonificación de Costa Rica por regiones socioeconómicas
- ✓ Distribución de HRS por región
- ✓ Despliegue de HRS de H₂ a 350 y a 700 bar
- ✓ Proyectos de adopción de FCEV en hubs económicos, criterios poblacionales y de tránsito de personas.

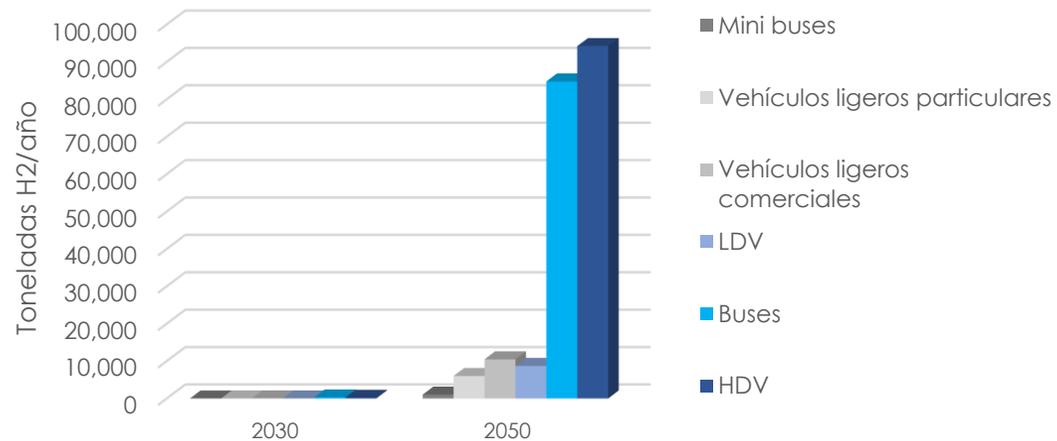




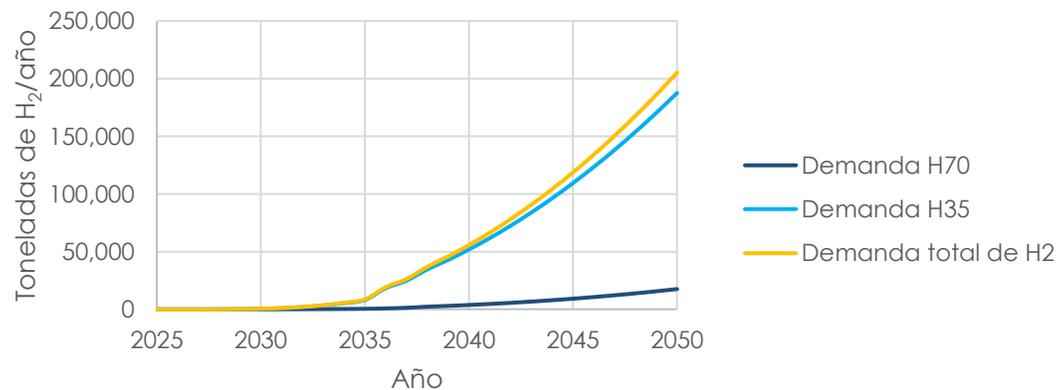
DEMANDA DE HIDRÓGENO

En el año 2050 el 91% del hidrógeno vehicular en Costa Rica será consumido por los buses y vehículos de carga pesada (H35)

Volumen anual de la demanda de hidrógeno vehicular



Incremento en la demanda de hidrógeno en Costa Rica



- **91 % del hidrógeno** producido para el sector de movilidad en 2050 será para recarga a **350 bar**.
- La demanda de hidrógeno para movilidad podría pasar de **550 ton/año en 2030** a más de **200 mil ton/año en 2050**.
- Los segmentos vehiculares que **más hidrógeno consumirán** en 2050 serán los **HDV** (94 mil ton/año) y los **buses** (84 mil ton/año).
- El consumo de hidrógeno para **vehículos ligeros particulares** representará en 2050 menos del **10% del total**.



CUANTIFICACIÓN DEL NÚMERO DE HRS NECESARIAS

Como consecuencia de la alta demanda de hidrógeno a 350 bar, habrá más HRS a esta presión y serán de capacidades mayores

Demanda de H₂ por presión de recarga

+

=

Capacidad de HRS (criterio proveniente del estado del arte de la tecnología)

Nuevas HRS por década y por presión de recarga

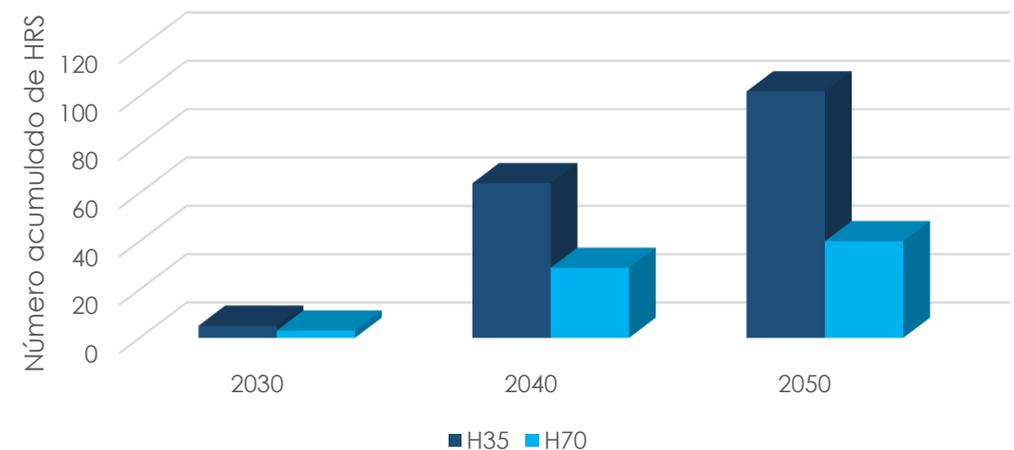
Año	2030	2040	2050
Número de HRS H35	5	59	38
Numero de HRS H70	3	26	11

A	2030	2040	2050
Vehículos por HRS- H35	200	400	800
Vehículos por HRS- H70	400	1,200	4,000

B	2030	2040	2050
Capacidad de recarga H35 (kgH ₂ /día)	<2000	3500	5000
Capacidad de recarga H70 (kgH ₂ /día)	200	600	1300

- Las **HRS H35** pueden atender **más vehículos por día**, además de que los vehículos pesados tienen un **mayor volumen** en sus tanques, lo que resulta en capacidades (kg H₂/día) de **más del triple** respecto a las HRS – H70.

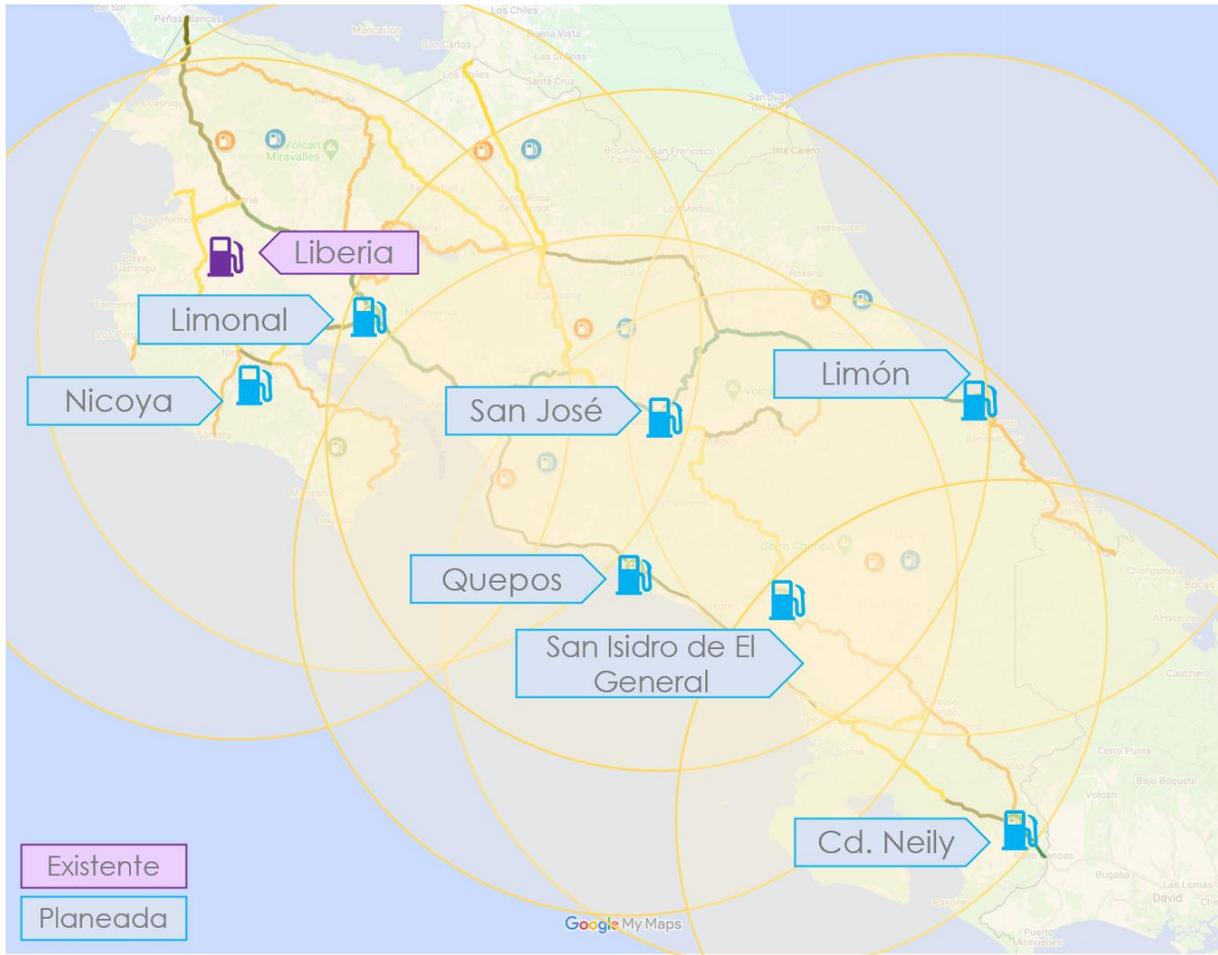
Número acumulado de HRS en Costa Rica





FASE 1. RED DE COBERTURA NACIONAL

La aparente cercanía entre algunas HRS de cobertura garantiza el suministro de hidrógeno ante la compleja orografía de Costa Rica



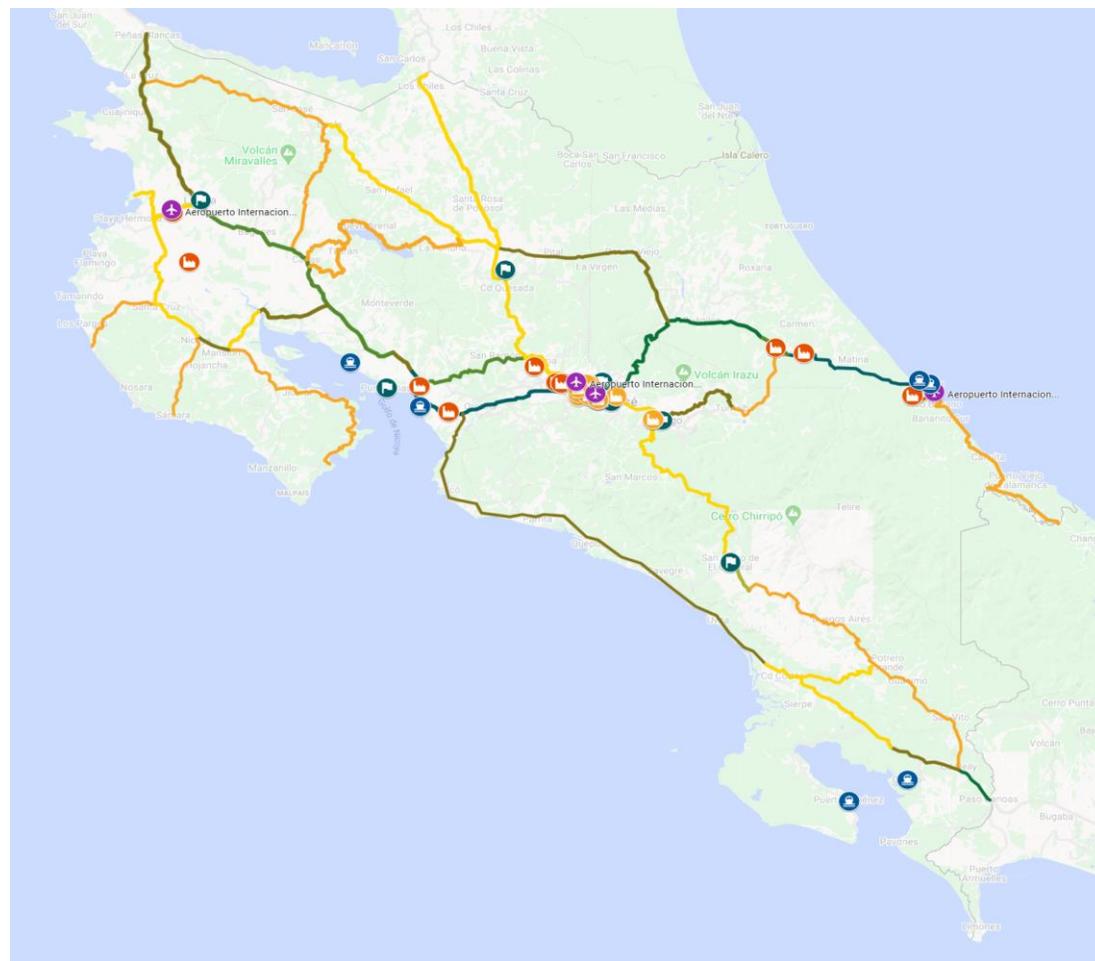
 Radio de 125 km a la redonda de la HRS: garantiza el viaje ida y vuelta de un vehículo ligero al 50% de capacidad de H₂



- Se estima que la **RCN** podría incluir **7 nuevas HRS** en zonas de alto tráfico vehicular, ciudades con alta actividad económico y **puntos estratégicos** de la logística costarricense.
- La RCN podría comenzar con HRS de **350 bar** por su **menor costo** de adquisición y por ser los segmentos pesados los de mayor penetración.
- Se recomiendan HRS de producción de hidrógeno **on-site** con capacidades bajas-medias (entre **200 y 500 kg H₂/día**), ya que la demanda de estas estaciones no está garantizada.

FASE 2. IDENTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA

Las regiones económicas Pacífico Central, Central y Huetar Atlántica albergan la mayor parte de las actividades vinculadas a movilidad y por tanto, las que mayor adopción de FCEV podrían tener



* Fuente: Diagnostico de situación del transporte y la movilidad, CONARE 2019



FASE 2. DESPLIEGUE SEGÚN PENETRACIÓN DE FCEV

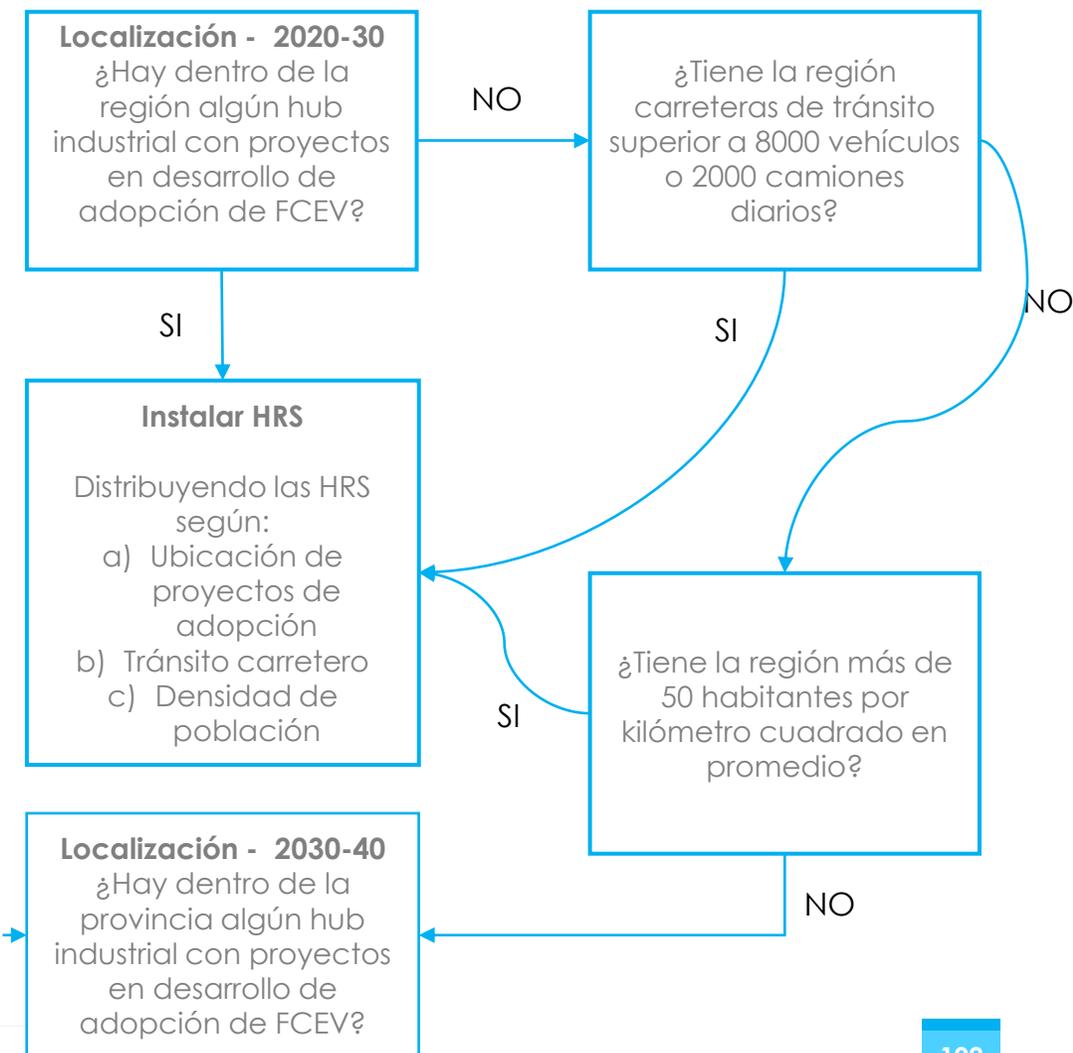
El número preciso de HRS por instalarse y su ubicación dependerá del desarrollo real que tenga la adopción de FCEV en Costa Rica

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN

- Desarrollo de proyectos de adopción de FCEV en la región
- Alto tránsito carretero en las vías de la región
- Alta densidad de población (hab./km²) en la región

RECOMENDACIÓN DE TIPOS DE HRS

- 2020 - 2030
 - Producción de H₂ On-site
 - H35: Hasta 1800 kg H₂/día
 - H70: Hasta 200 kg H₂/día
- 2030 – 2050
 - Producción de H₂ Centralizada / Semi-centralizada
 - H35: Hasta 5000 kg H₂/día
 - H70: Hasta 1800 kg H₂/día



Fragmento tomado del diagrama de flujo de la metodología para la distribución de HRS por región económica en Costa Rica

DISTRIBUCIÓN LOCALIZADA DE HRS – ESCENARIO 2030

Costa Rica podría necesitar 16 estaciones* de recarga de hidrógeno para satisfacer un escenario de penetración Business as Usual de FCEV



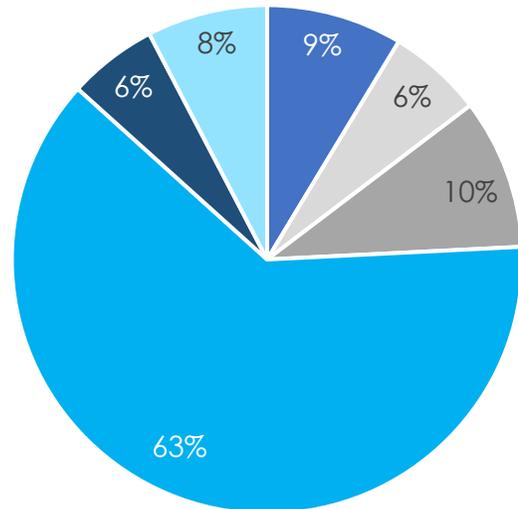
* Incluye las estaciones de la Fase 1 y las correspondientes a la década 2020-2030 de la Fase 2. Este cálculo no incluye estaciones de proyectos de adopción de FCEV específicos, debido a que no es modelable o predecible.



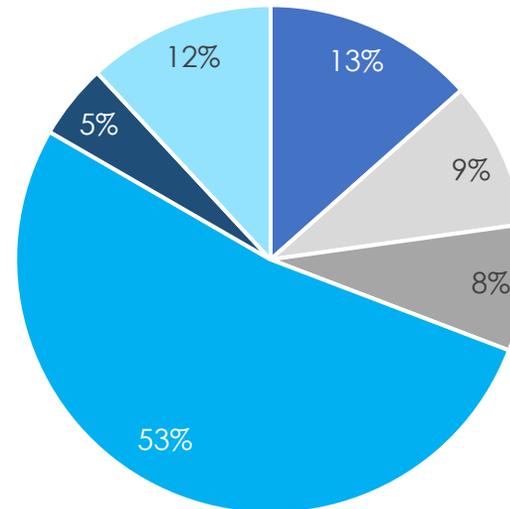
DISTRIBUCIÓN REGIONAL FINAL DE LAS HRS

La metodología de distribución de HRS permite que esta sea similar a la que actualmente tiene Costa Rica para gasolineras

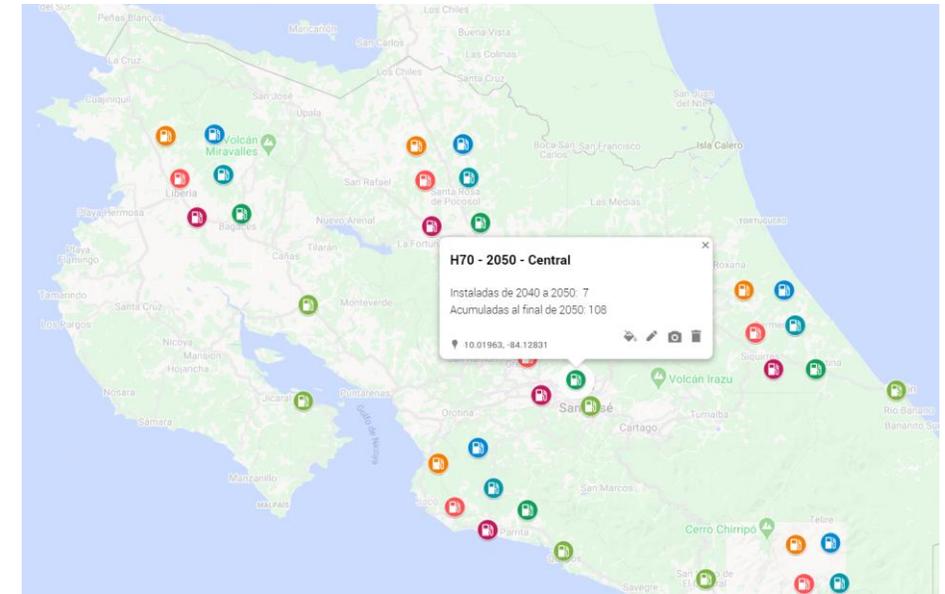
Distribución 2020 - Gasolineras por región(%)



Distribución 2050 - Estaciones de recarga de hidrógeno por región (%)



- Chorotega
- Central
- Huetar Norte
- Pacífico Central
- Huetar Atlántica
- Brunca



Las ubicaciones son indicativas (por región), no exactas



Mapa interactivo de localización de HRS en Costa Rica: [Click aquí](#)

Usuario: **Hinicio.AlianzaH2CR**
Contraseña: **4alianzaH2**

PRODUCTOS DE ESTA FASE DE CONSULTORÍA

Fase 3 – Hoja de Ruta para el despliegue de infraestructura de H₂

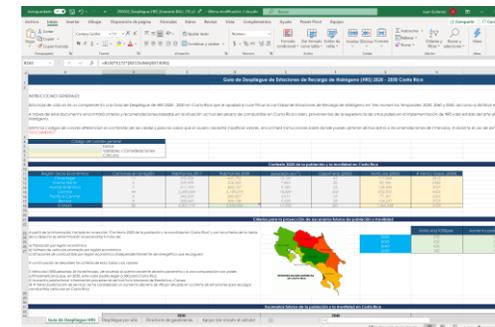
Entregable escrito



Guía sintética de despliegue de infraestructura



Modelo de cuantificación y localización de HRS



Extensión: 48 páginas

Contenido:

- Detalle sobre las acciones de la Hoja de Ruta.
- Cuantificación de infraestructura bajo escenario BAU.
- Dimensionamiento técnico de HRS.
- Identificación de mecanismos de financiamiento de proyectos (movilidad con H₂)

Extensión: 35 páginas

Contenido:

- Introducción a los conceptos básicos de planeación de HRS
- Metodología para su cuantificación y distribución geográfica.
- Guía de recomendaciones de planeadores de HRS en Europa

Utilidad: Aplicación de la Guía sintética de despliegue de

Inputs:

- Escenarios de penetración de FCEV
- Información geográfica de Costa Rica
- Tamaño de la población por región socio-económica de Costa Rica

Resultados:

- Número de HRS
- Tamaño de cada HRS
- Distribución geográfica por región socio-económica de Costa Rica



SU ALIADO EXPERTO EN ESTRATEGIAS Y PROYECTOS DE
HIDRÓGENO EN LATINOAMÉRICA

Contacto



Rue des Palais 44,
1030 Bruselas, Bélgica



<http://www.hinicio.com>



info@hinicio.com
ana.angel@hinicio.com



+32 (0) 2.211.34.14



[/company/hinicio](https://www.linkedin.com/company/hinicio)



HinicioSA

