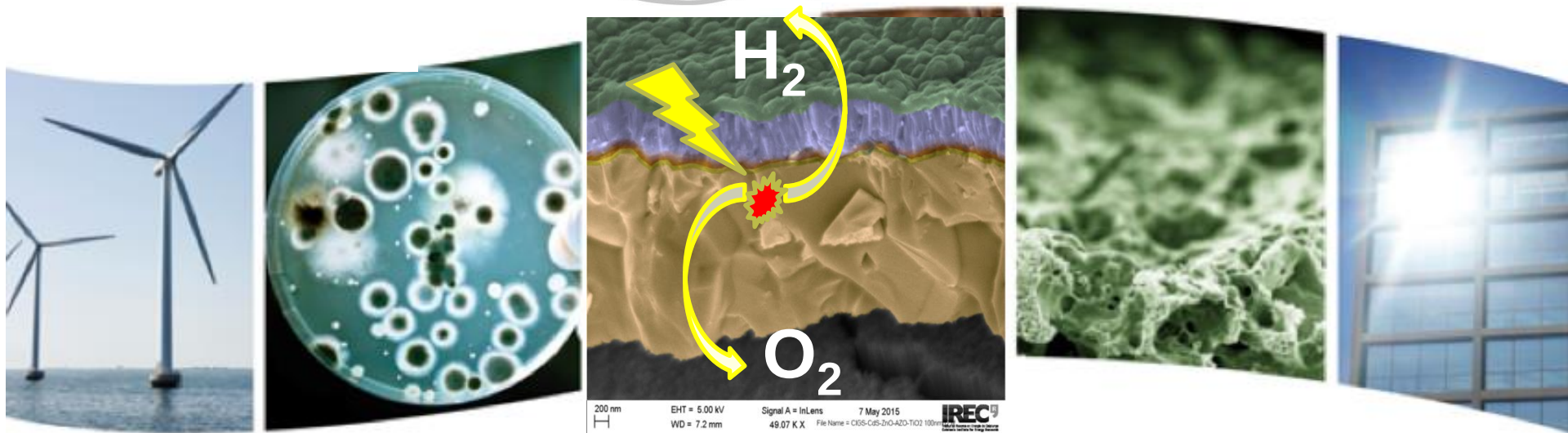
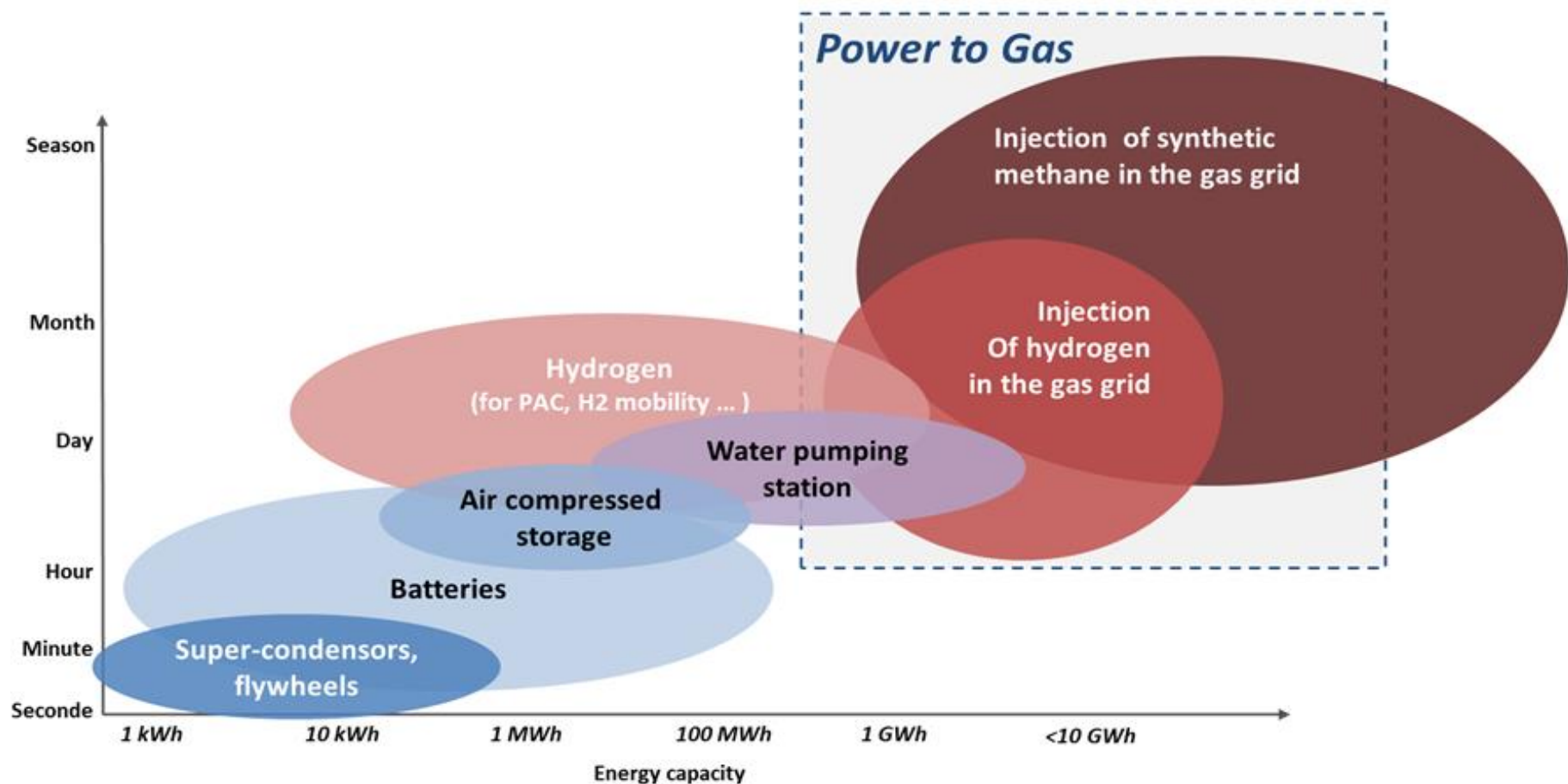




USOS DEL HIDROGENO Y SU INFRAESTRUCTURA (ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, REDES,...)

J.R.Morante & M. Torrell

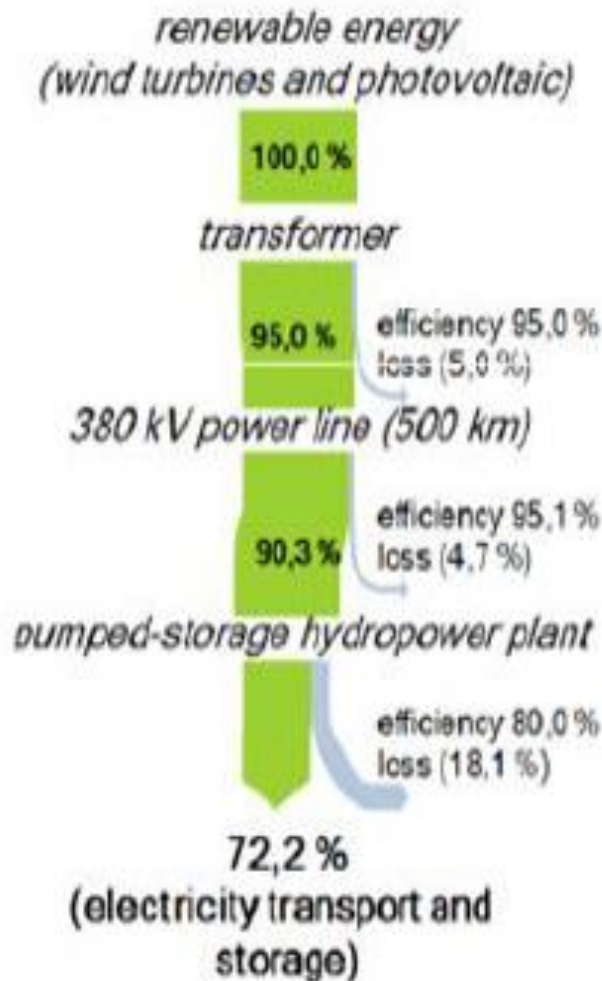
IREC, Catalonia Institute for Energy Research, Plaça de les Dones de Negre,1.
Sant Adrià del Besòs, 08930. Spain.



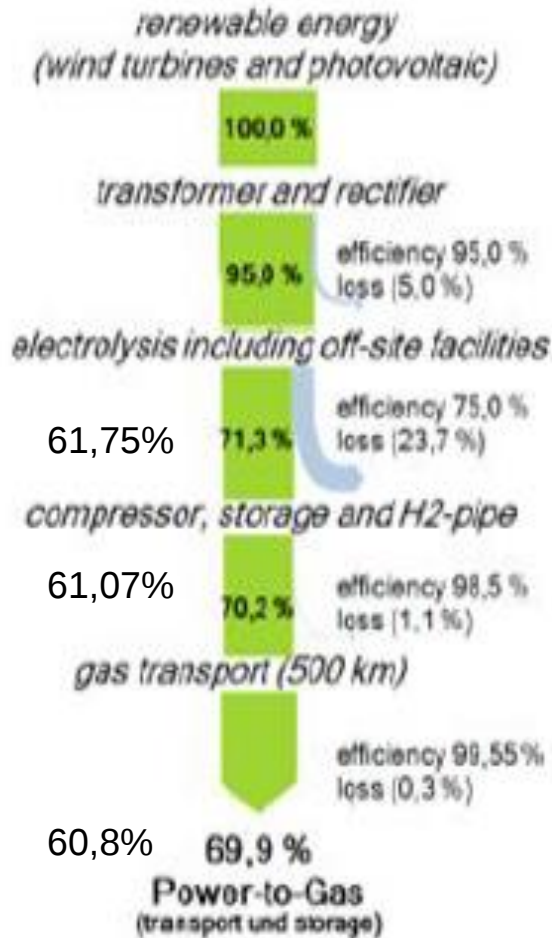
http://www.grtgaz.com/fileadmin/transition_energetique/documents/hydrogene_et_reseau_e-cube_GRTgaz.pdf

<http://www.grtgaz.com/fileadmin/engagements/documents/fr/Power-to-Gas-etude-ADEME-GRTgaz-GrDF-complete.pdf>

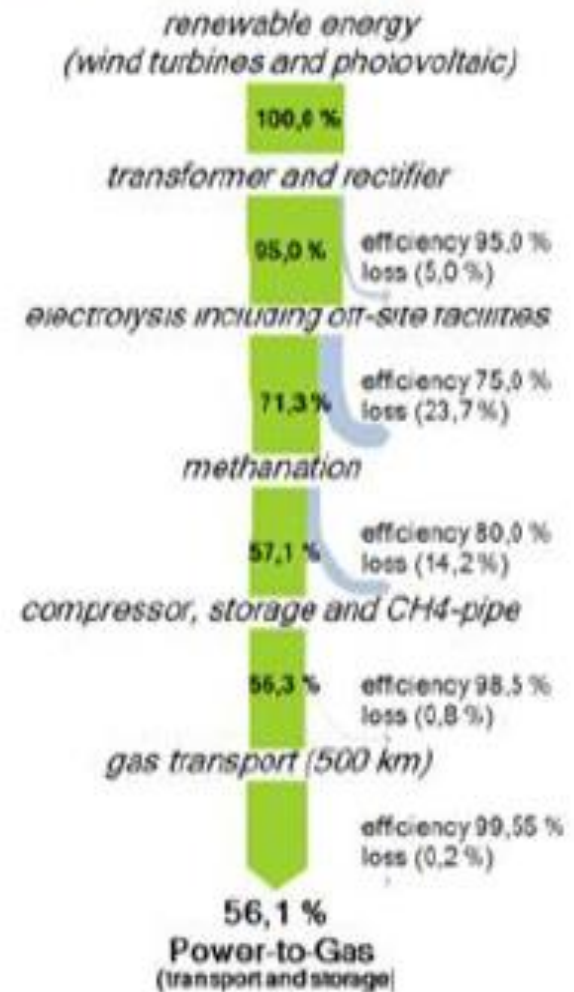
Transport of Power



Power-to-Gas H_2

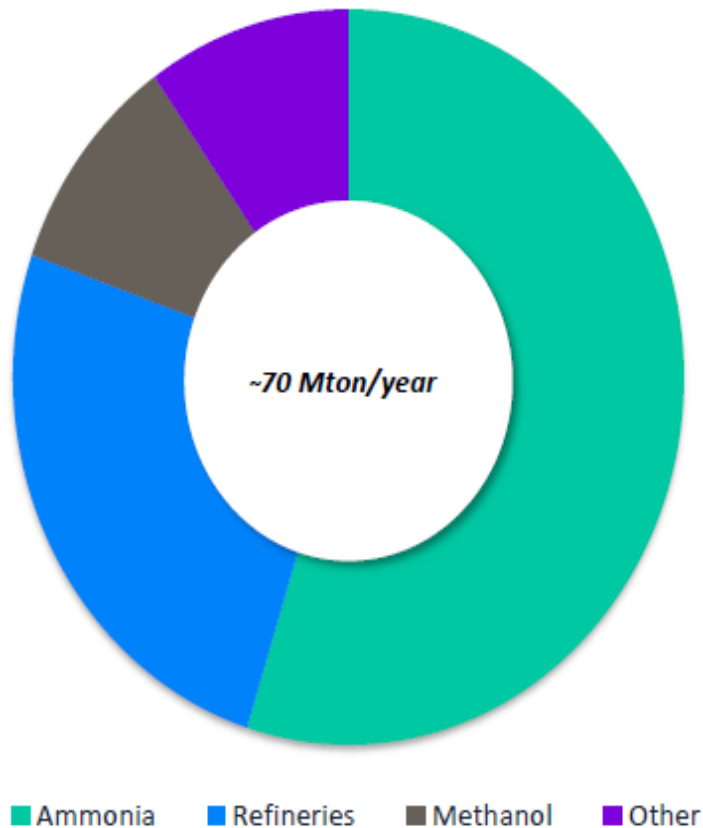


Power-to-Gas CH_4



Source: IRES (Fraunhofer presentation) + IREC

Global hydrogen market, by end-user

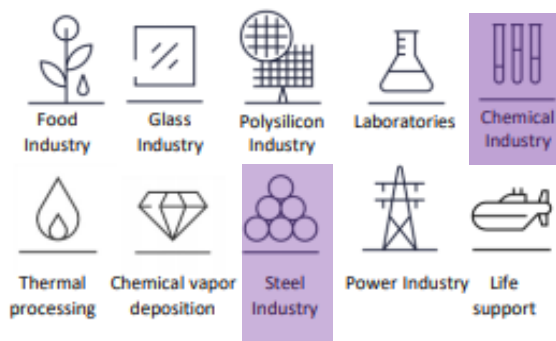


Large growth potential

- 1) Increasing focus on climate & decarbonizing
- 2) Decreasing renewable prices
- 3) Decreasing electrolyser capex

Hydrogen is expanding its areas of application...

CONVENTIONAL INDUSTRY

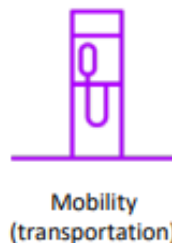


- Conventional industries represents “traditional” hydrogen markets
- Steady demand for hydrogen

Refineries

Steady growing market

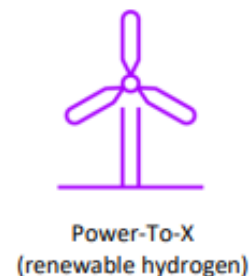
MOBILITY



- Key market going forward – both within hydrogen production and fueling/dispensing
- Heavy duty sector developing faster than anticipated – hydrogen now relevant fuel for all forms of mobility

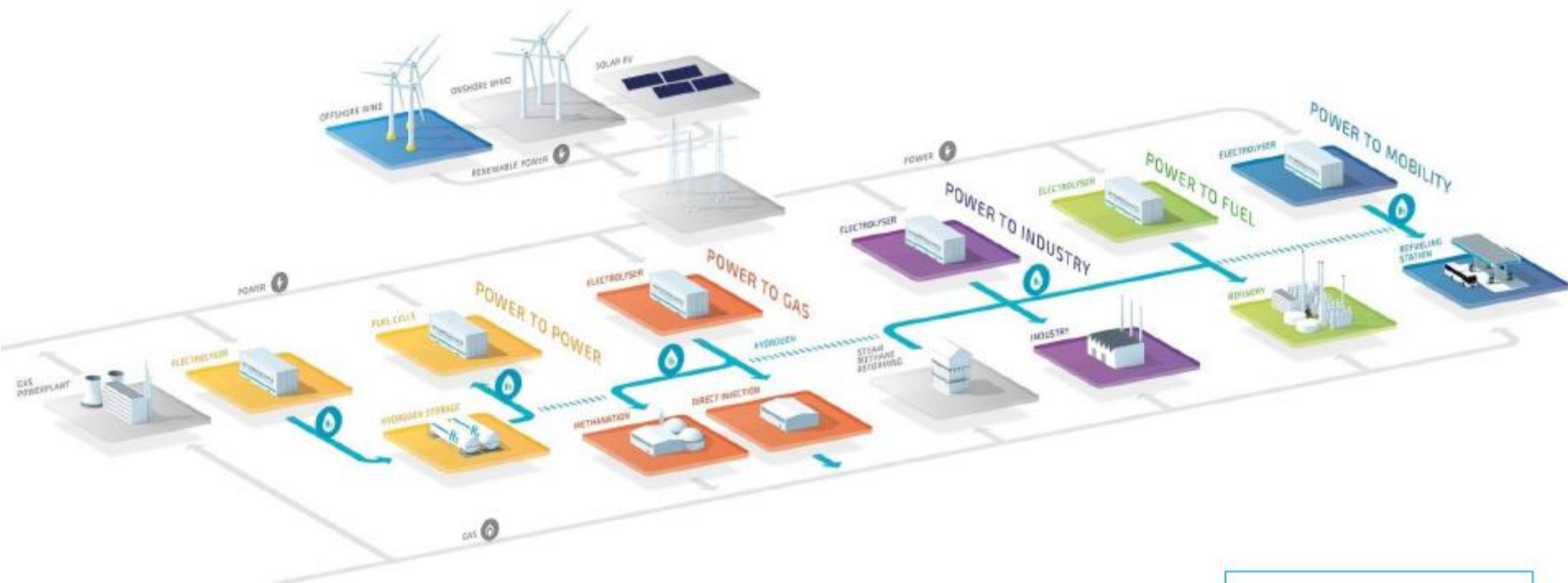
Markets expected to see fast growth going forward

POWER-TO-X



- Decreasing cost of renewables and electrolyzers is accelerating market
- Vast opportunities within existing and new sectors

... to Renewable Hydrogen



Energy carrier

...with growth expected to be accelerated by transportation...



- Hydrogen has potential to become a preferred fuel alternative in the future:
 - True zero emission from production to use
 - Can beat fossil fuel applications on a TCO-basis
 - Low weight (compared to e.g. batteries), especially relevant in the heavy duty segment
 - Fast recharging (fueling) time
 - Long driving range
 - Low/no need for electric grid upgrades
 - Not dependent on rare metals (e.g. cobalt, lithium)
 - Global standards for fueling established
 - Same quality fuel used for small to large applications
- Initial development highly affected by policies and subsidies

...and all forms of Power-To-X

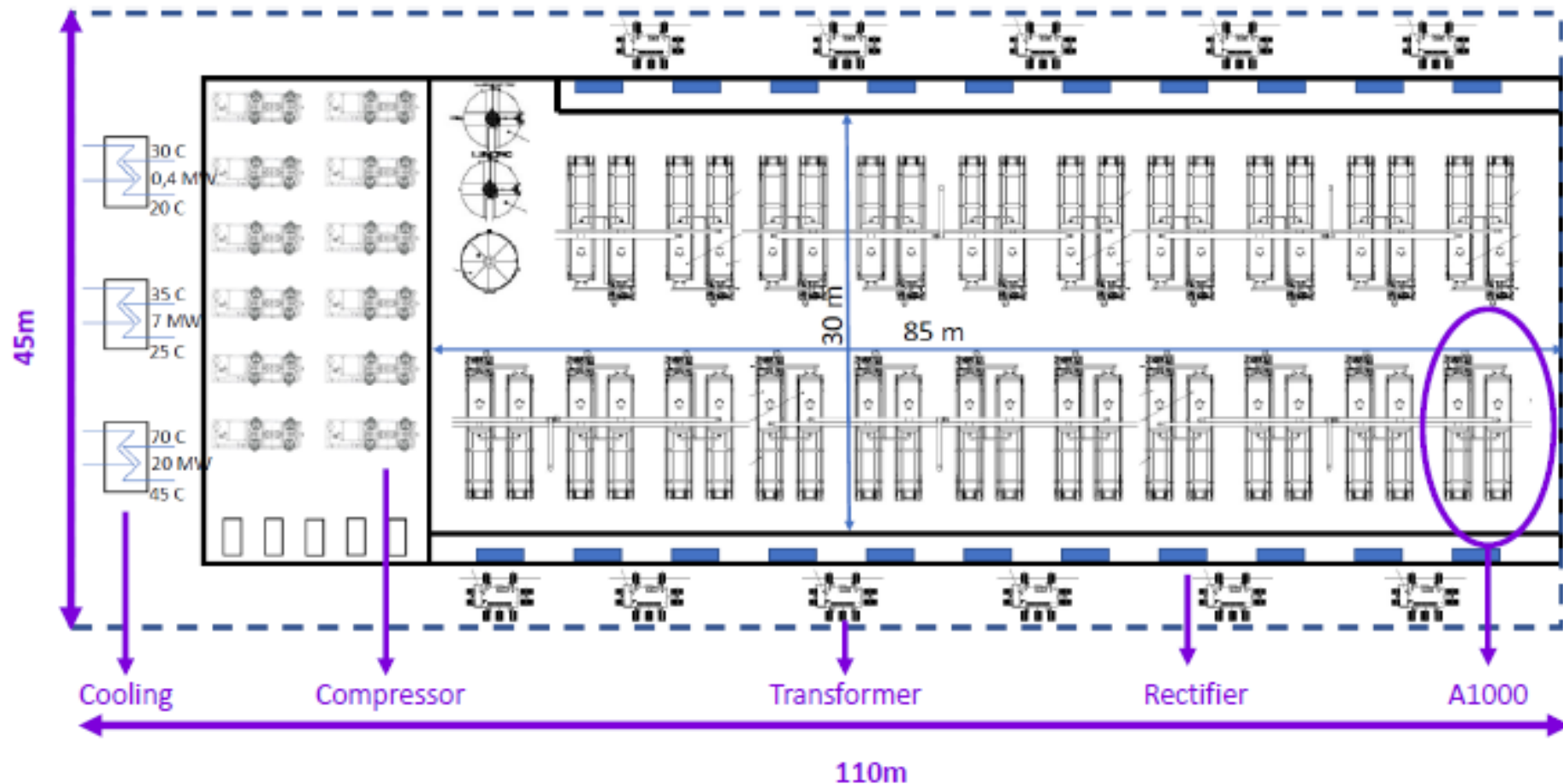


- Wide variety of existing and new markets where electrolysis can play a major role
 - Exchanging fossil hydrogen with renewable hydrogen (f.ex fertilizer)
 - Exchanging coal with renewable hydrogen (f.ex steel manufacturing)
 - Oxygen & heat from electrolyzer adds value
- Electrolysis “bridges the gap” between the power and industry sector, increasing the value of electrons
- Ability to adapt to diverse and intermittent renewable energy sources becoming increasingly important



100MW optimized design – fully automated

30,370Nm³/h, 43,964kg/day, 5-200barg



Hydrogen into gas grid applications provide a sustainable solution for renewables-based storage and transformation of energy grids

Hydrogen into gas grid

1/4



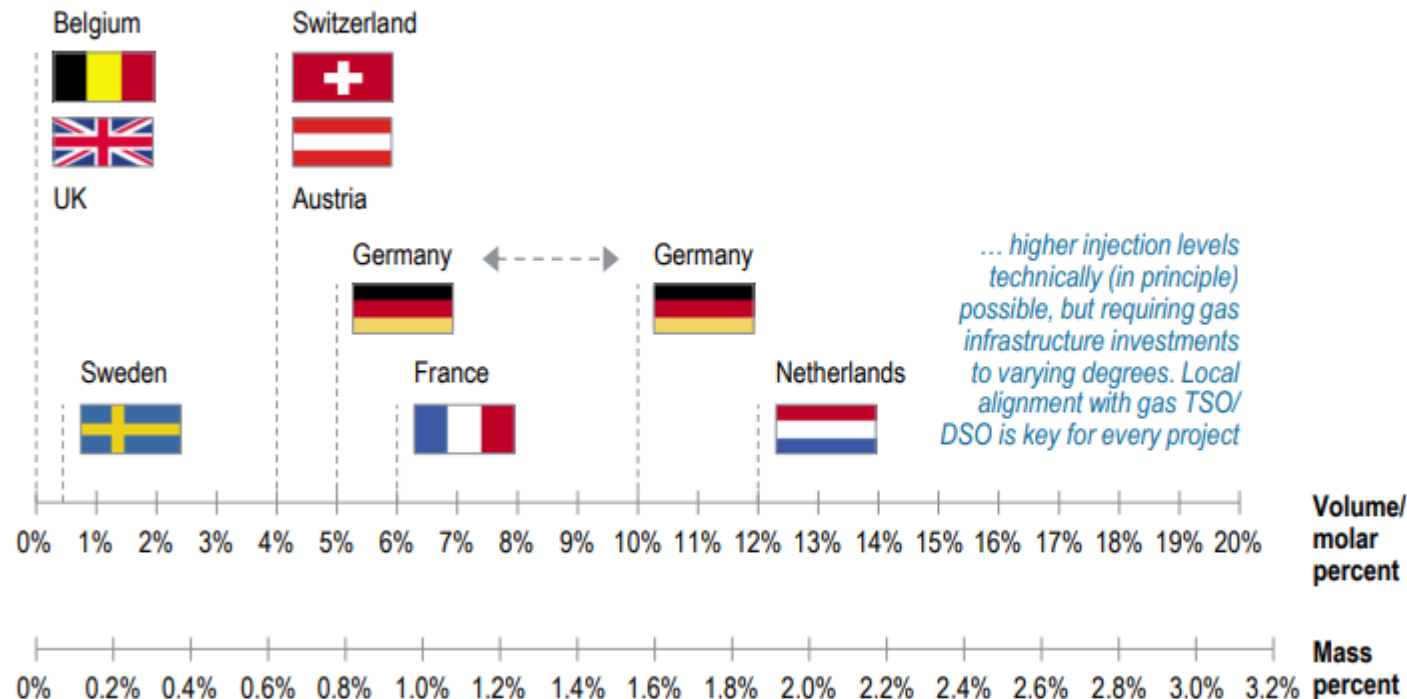
Brief description: Hydrogen can be converted from renewable energy sources and injected into existing natural gas grids for initial (or long-term) storage and subsequent use in a range of different applications (power generation, heat provision, transport applications such as gas-fuelled urban buses or passenger cars)

Use Case: Cities and regions can inject (or call for / incentivise the injection of) green hydrogen (i.e. from power-to-hydrogen P2H sources) into gas grids to further promote renewable energy sources, decarbonise the gas grid and provide long-term energy storage solutions

Fuel cells in commercial buildings

Key components	Electrolyser, fuel cell, blending/injection system
Electrolysis technology for P2H	Alkaline (ALK), PEM, (Solid Oxide)
H ₂ production efficiencies	50-83 kW _{el} /kg (2013), 36-63 kW _{el} /kg (2030)
Cost of H ₂ production for P2H	dep. on electrolyser size, technology, power input price, etc.
Maximum H ₂ blend level	5 – 20% (potentially even 25%, dep. on gas infrastructure)
Hydrogen provider	E.on, RWE, Thüga
Gas distributors	Private and municipal utilities (e.g. German Stadtwerke), gas TSOs or DSOs
Typical customers	Public and private utilities, public and private TSOs or gas shippers, ultimately e.g. passenger car fleet operators
Competing technologies	Other energy storage (e.g. pump storage, batteries)

#1 – Regulatory framework, esp. maximum blend level / H₂ injection limit



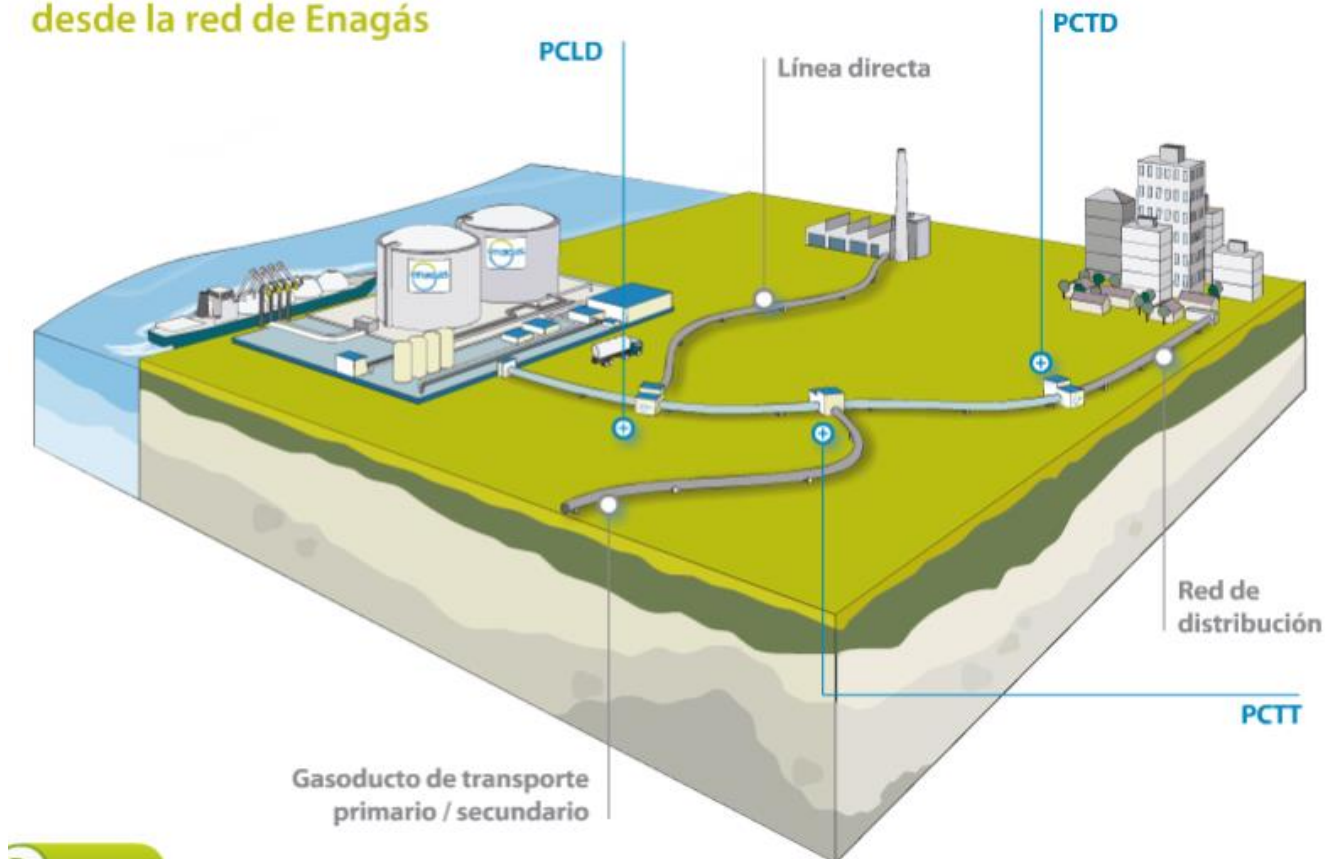
- > Regulatory injection limit varies greatly across Europe and even within countries (e.g. local limits in Germany of 2%_{vol} in case of presence of downstream CNG refuelling stations or storage (e.g. underground))
- > CEN and EASEE-gas are working toward a harmonized standard for gas quality in the EU. Due to the type II vessels for CNG vehicles, 2%_{vol} hydrogen tolerance in the gas mix is the current basis for discussion
- > Higher H₂ blend levels might require add. pipeline monitoring/maintenance measures (gas TSO/DSO); degrading durability of metal pipes and materials when exposed to hydrogen may also necessitate infrastructure upgrades



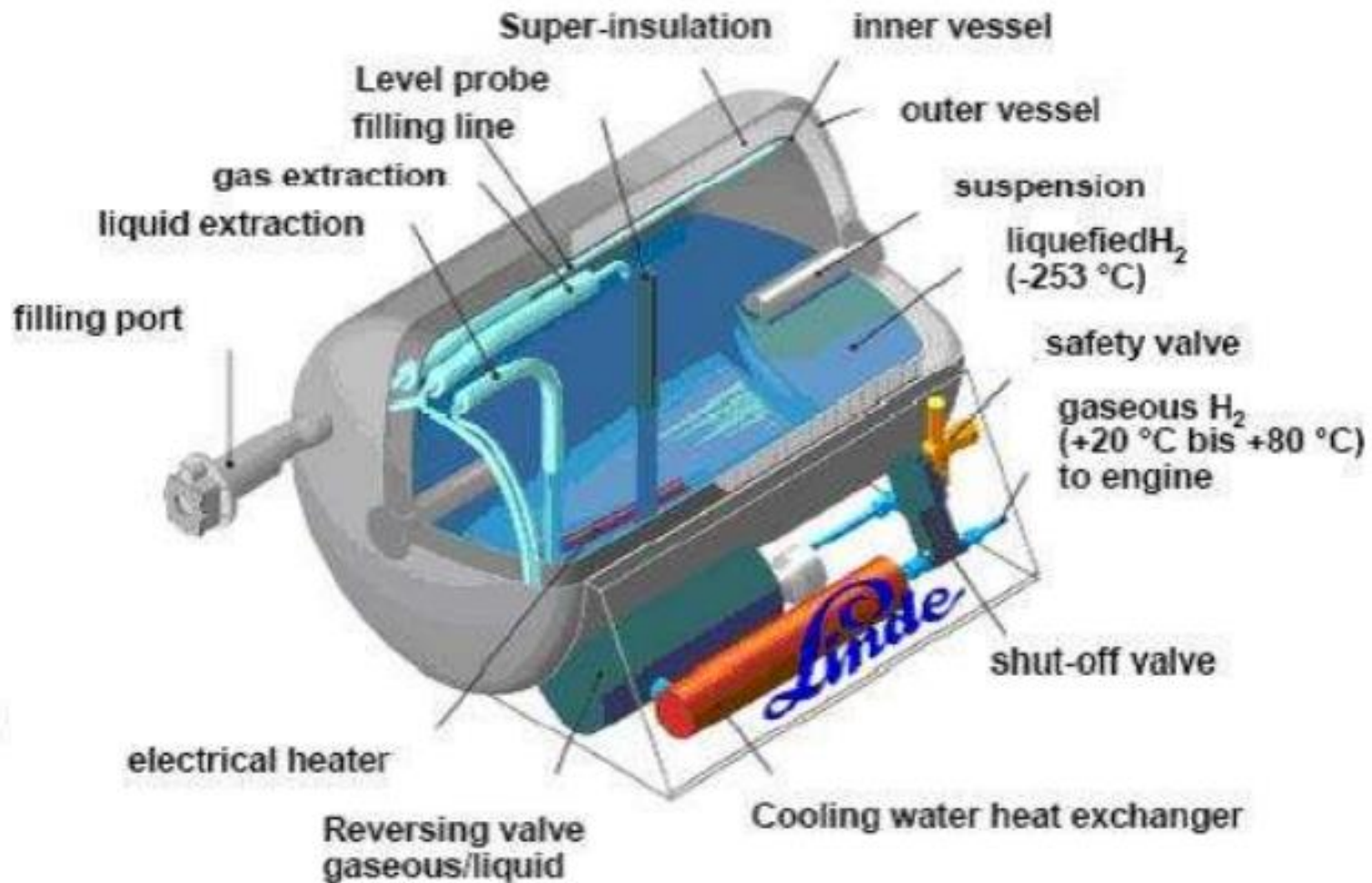
Esta red consta de más de 11.000 km de gasoductos, seis terminales de GNL, tres almacenamientos estratégicos y seis conexiones internacionales que unen al Sistema Gasista español con Francia, Portugal y el norte de África. 19 estaciones de compresión y 416 estaciones de regulación y/o medida. Todas estas infraestructuras están interconectadas, lo que permite disponer de seguridad de suministro de gas natural incluso en situaciones de punta de demanda



Puntos de conexión desde la red de Enagás



[https://www.enagas.es/enagas/es/Transporte_de_gas/CapacidadesTransporte/Puntos_de_conexion_Transporte_y_Transporte_\(PCTT\)](https://www.enagas.es/enagas/es/Transporte_de_gas/CapacidadesTransporte/Puntos_de_conexion_Transporte_y_Transporte_(PCTT))



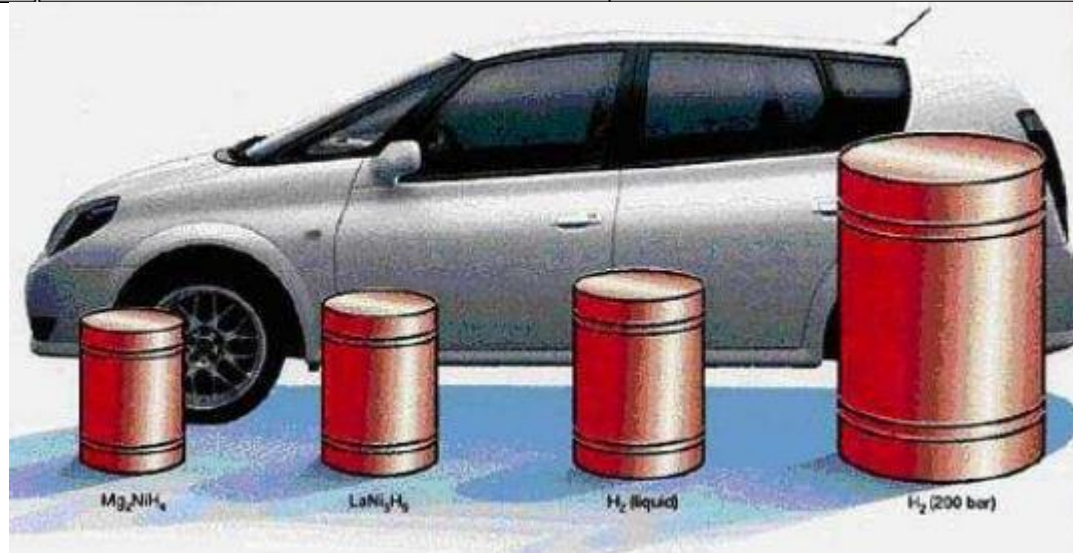
Fuente: Linde

<i>Método</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
<i>Hidrógeno comprimido</i>	<i>Es la tecnología con más experiencia, almacenamiento estacionario a 50 bar y almacenamiento en transporte (350 y 700 bar).</i> <i>De esta forma se puede transportar por carretera, ferrocarril, barco, avión y gaseoductos.</i> <i>El almacenamiento subterráneo resulta lo más económico.</i>	<i>A bajas presiones, la cantidad de hidrógeno almacenado es pequeña.</i> <i>La compresión del hidrógeno hasta 350 bar consume alrededor del 20% de la energía contenida en el hidrógeno.</i> <i>La tecnología a muy altas presiones está todavía en desarrollo.</i> <i>La energía por unidad de volumen almacenada es mucho menor que en los combustibles fósiles líquidos.</i> <i>Los contenedores o cilindros son pesados.</i>

<i>Método</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
<i>Hidrógeno líquido</i>	<i>Buen conocimiento de la tecnología, por el uso en cohetes espaciales.</i> <i>Un tanque estándar almacena seis veces más hidrógeno que el hidrógeno comprimido a 700 bar.</i> <i>Es el método más económico para almacenamiento a largo plazo.</i>	<i>La licuación (enfriamiento a 20K) es un proceso que consume entre el 30-40% de la energía contenida en el hidrógeno.</i> <i>Gran preocupación en la evaporación flash por razones de eficiencia y seguridad.</i> <i>La energía almacenada por unidad de volumen es menor que en los combustibles fósiles líquidos.</i>

<i>Método</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
<i>Hidruros metálicos y químicos</i>	<i>Más seguro que el almacenamiento como hidrógeno comprimido o líquido.</i>	<i>Pesado. Baja densidad de almacenamiento. Se puede degradar con el tiempo. Actualmente tecnología costosa.</i>
<i>Nanoestructuras de Carbono.</i>	<i>Más seguro que el almacenamiento como hidrógeno comprimido o líquido. Puede que tengan altas densidades de almacenamiento. Ligeras. Pueden resultar económicas</i>	<i>La tecnología no se conoce bien o no está lo suficientemente desarrollada, debido a que algunos descubrimientos prometedores no ha dado buenos resultados.</i>

No
accepted by
the industry
due low
feasibility



Equipos de producción de hidrógeno, en el caso de que la estación no tenga suministro externo.

Sistema de Purificación: trata el hidrógeno para satisfacer las especificaciones de pureza de los vehículos con pila de combustible.

Sistema de almacenamiento: para almacenar hidrógeno en forma gaseosa o líquida

Compresor: minimiza el volumen de almacenamiento y prepara el gas para su bombeo a alta presión (35 MPa-70MPa) a los tanques de almacenamiento de los vehículos.

Equipo de seguridad: válvulas de alivio de presión, conducto del respiradero, sensores de hidrógeno, etc.

Equipo mecánico: tuberías subterráneas, válvulas, etc.

Equipo eléctrico: paneles de control, conexiones de alta tensión, etc

hidrógeno mediante reformadores de metano: rendimiento sobre el 65%

hidrógeno mediante hidrólisis:
+rendimiento alrededor 80-85%





- Tiempo de repostaje con el depósito totalmente vacío (4 Kg) ~ 5 minutos.
- 9 litros de agua producidos por cada 100Km.

Para la discusión:

$1\text{tonelada/día} * 9,50 \text{ €/Kg H}_2 = 9500 \text{ euros/día.}$

$9500 \text{ euros/día} * 365 \text{ días/año} \approx 3,5\text{M€}$

Suponiendo reducción de costes a 3€ se podría ingresar alrededor de 1 M€

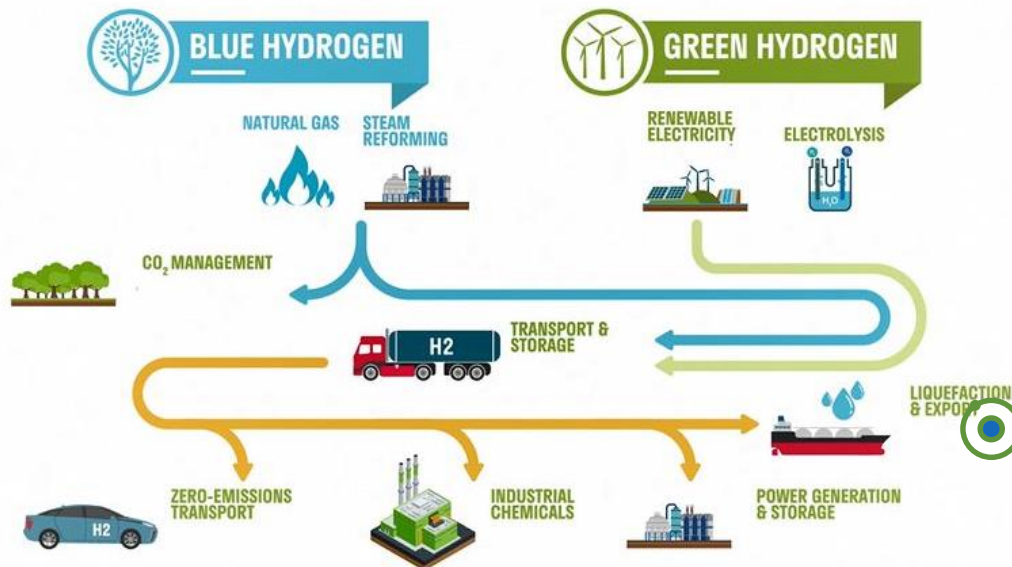
Suponiendo un coste eléctrico sobre 4c€/kWh la factura eléctrica se estima del orden de $\approx 0,438 \text{ M€}$

Suponiendo salarios, seguros, mantenimiento.....

Se puede estimar una recuperación anual de la inversión >400.000

USOS INDUSTRIALES DEL H2

Rutas de producción de H2



<https://www.woodside.com.au/innovation/hydrogen>

Hidrógeno azul

+ El hidrógeno azul es hidrógeno neutro en carbono creado a partir del gas natural.

+ El hidrógeno azul se produce al hacer reaccionar el gas natural con alto

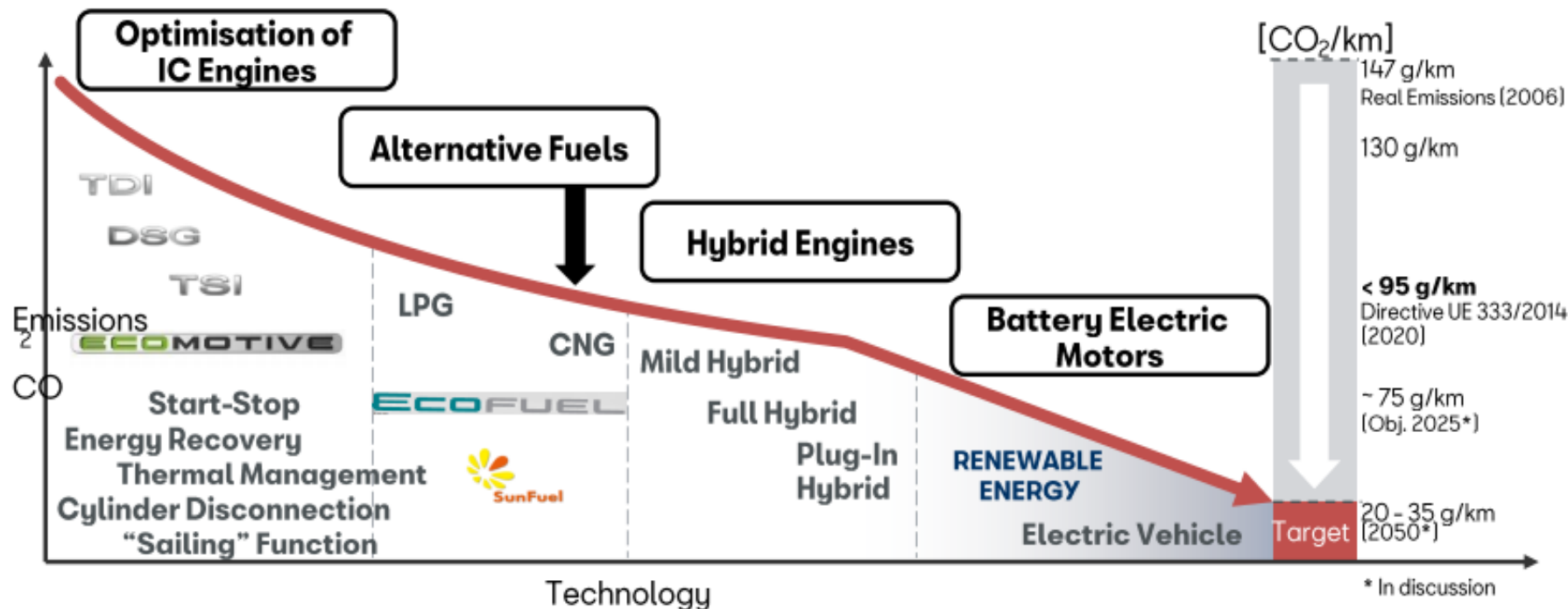
temperatura de vapor para producir hidrógeno y una pequeña cantidad de dióxido de carbono.

+ Para crear hidrógeno azul, la emisión de CO₂ generada en la reacción debe ser compensada con sistemas de captura de CO₂ o proyectos como la plantación de árboles.

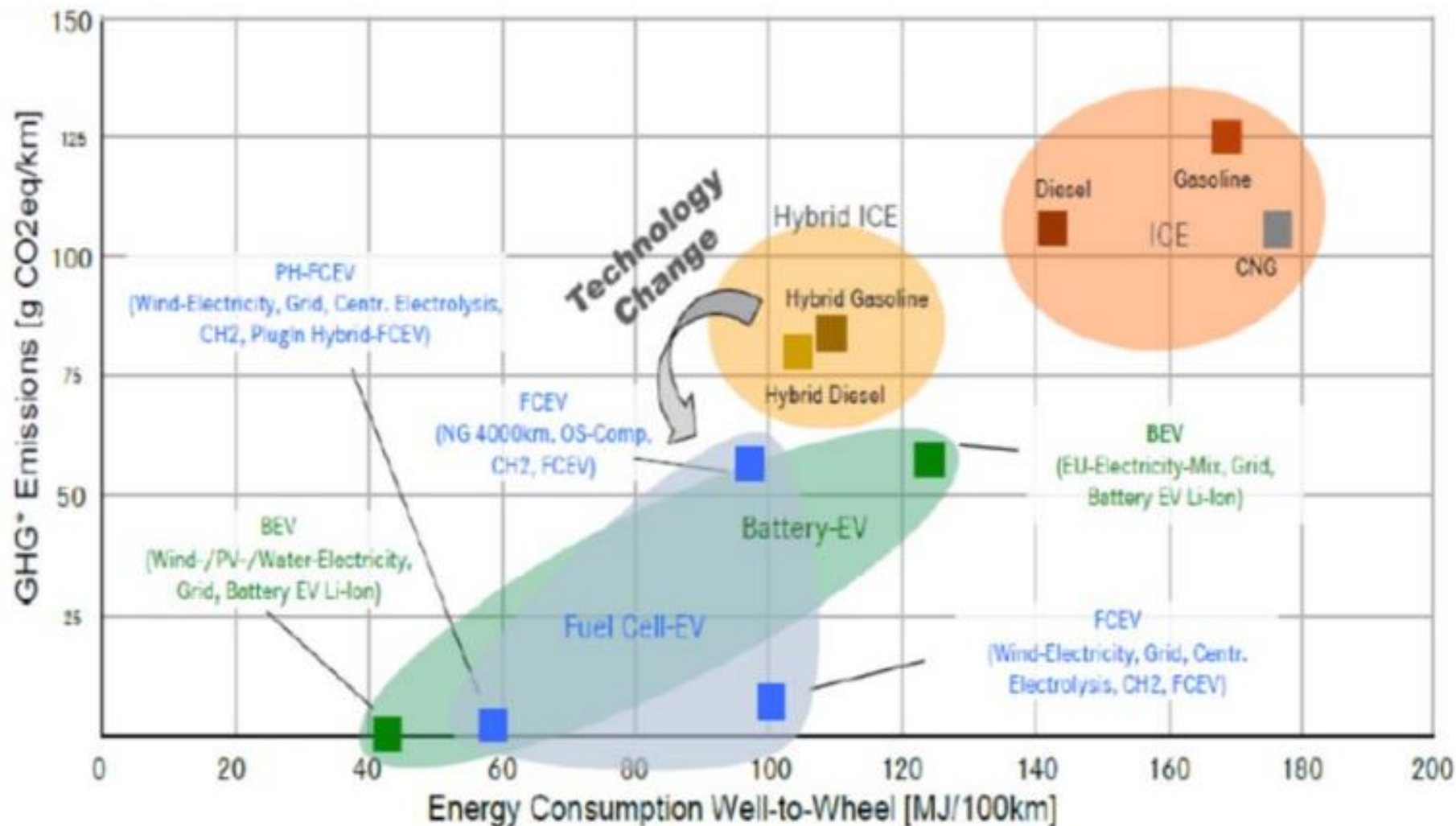
Hidrógeno verde

+ La energía renovable se puede utilizar para crear hidrógeno verde. + El hidrógeno de las energías renovables es la forma de energía más limpia porque no contiene carbono se crea durante el proceso.

Reducción de CO₂ en flota automovilística



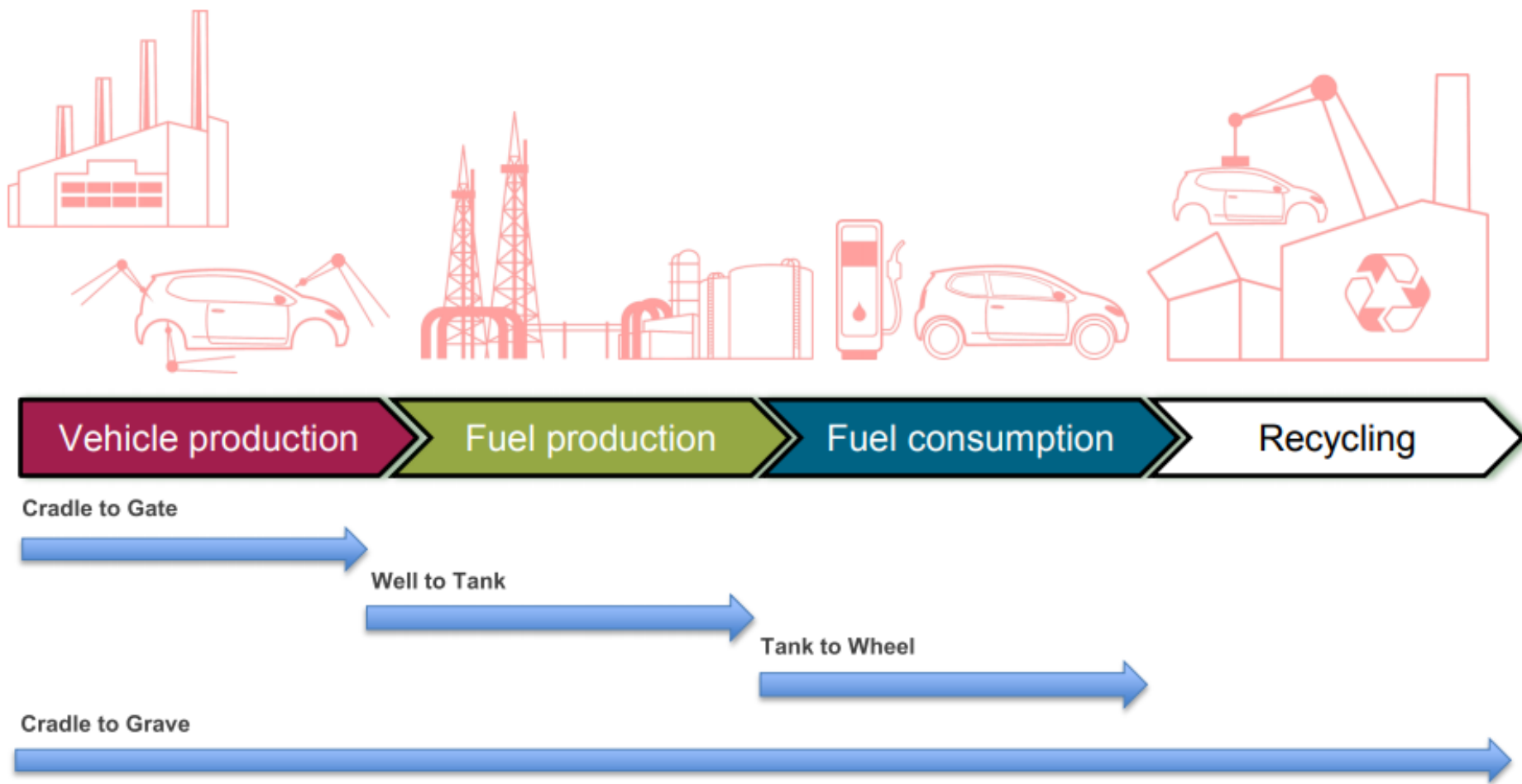
Tecnologías convencionales de propulsión no serán suficientes para alcanzar las fuertes reducciones de emisiones de CO₂ exigidas en el futuro



*GHG: Green House Gas

Source: JRC/EUCAR/CONCAWE (2013) WtW Report, Version 4

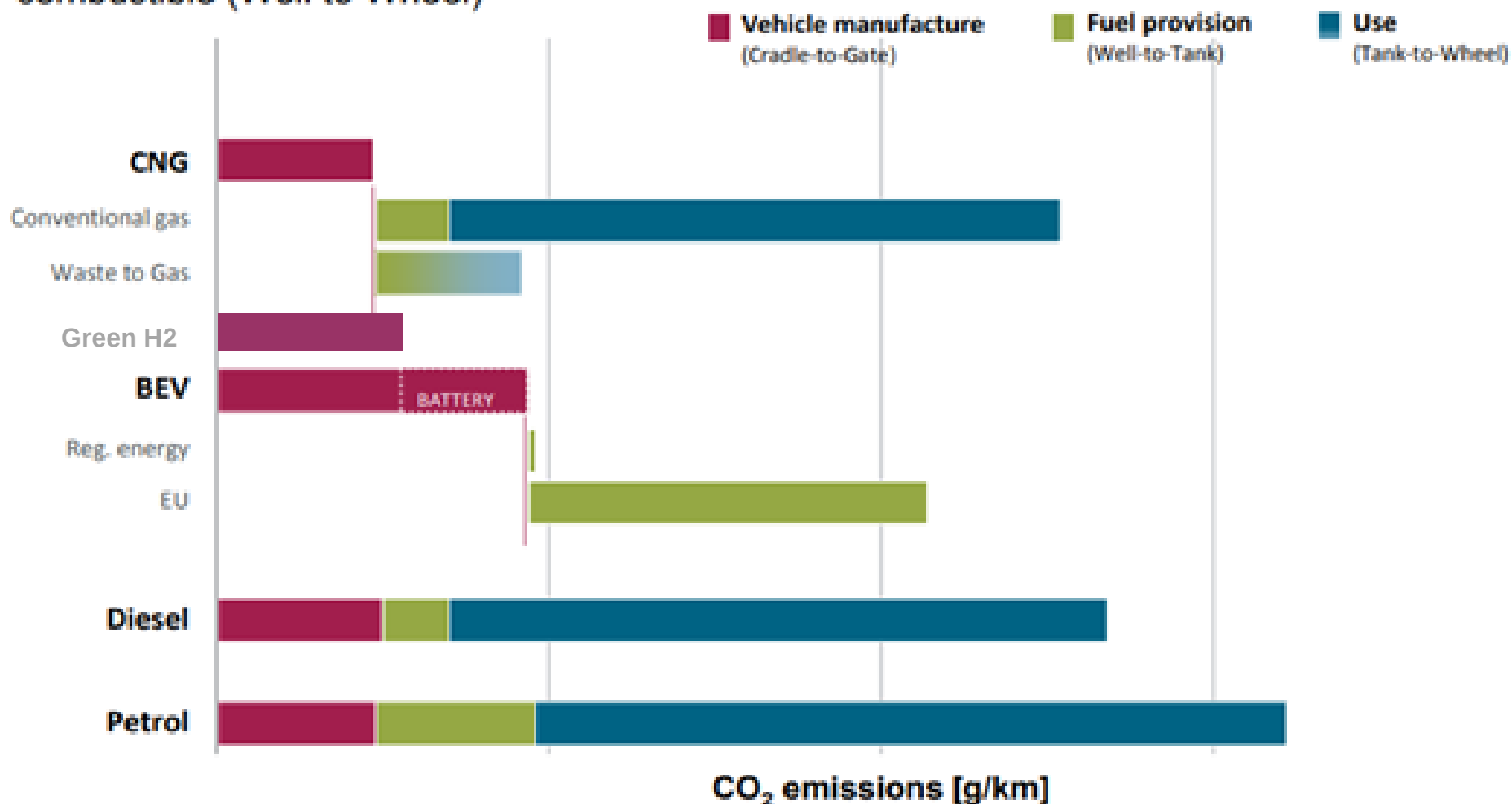
Consideraciones futuras para el CO₂ para el sector transporte: Cradle to Grave



Fuente: SEAT

Comparativa Emisiones CO₂, con distintas fuentes renovables, en todo el life-cycle del combustible (Well to Wheel)

Mid-size hatchback passenger car (200,000 km lifetime)



Con biometano, Well to Wheel reducciones en CO₂ vs. Gasolina pueden llegar a ser de hasta: 80% dependiendo de la fuente