



**¿Por qué el
hidrógeno?
Datos
Numéricos**

MarcosRupérez.com

Ingeniero Industrial
Msc. Hydrogen



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Part time MBA



Corpotate Finance
Specialist



Quien Soy

MARCO SRUPÉREZ.COM

Proyectos que he realizado

Kart Pila Combustible H2 **FZ FORMULAZERO**

unizartech2



FUNDACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE LAS NUEVAS
TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO
EN ARAGÓN

2009, Ingeniero de diseño y construcción kart competición internacional

<https://unizartech2.wordpress.com/formula-zero/>



Proyectos que he realizado

Kart Pila Combustible H2 **FZ FORMULAZERO**

2009, Ingeniero de diseño y construcción kart competición internacional

unizartech₂



FUNDACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE LAS NUEVAS
TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO
EN ARAGÓN

<https://unizartech2.wordpress.com/formula-zero/>



Proyectos que he realizado

Kart Pila Combustible H2 **FZ FORMULAZERO**

2009, Ingeniero de diseño y construcción kart competición internacional

unizartech₂

<https://unizartech2.wordpress.com/formula-zero/>



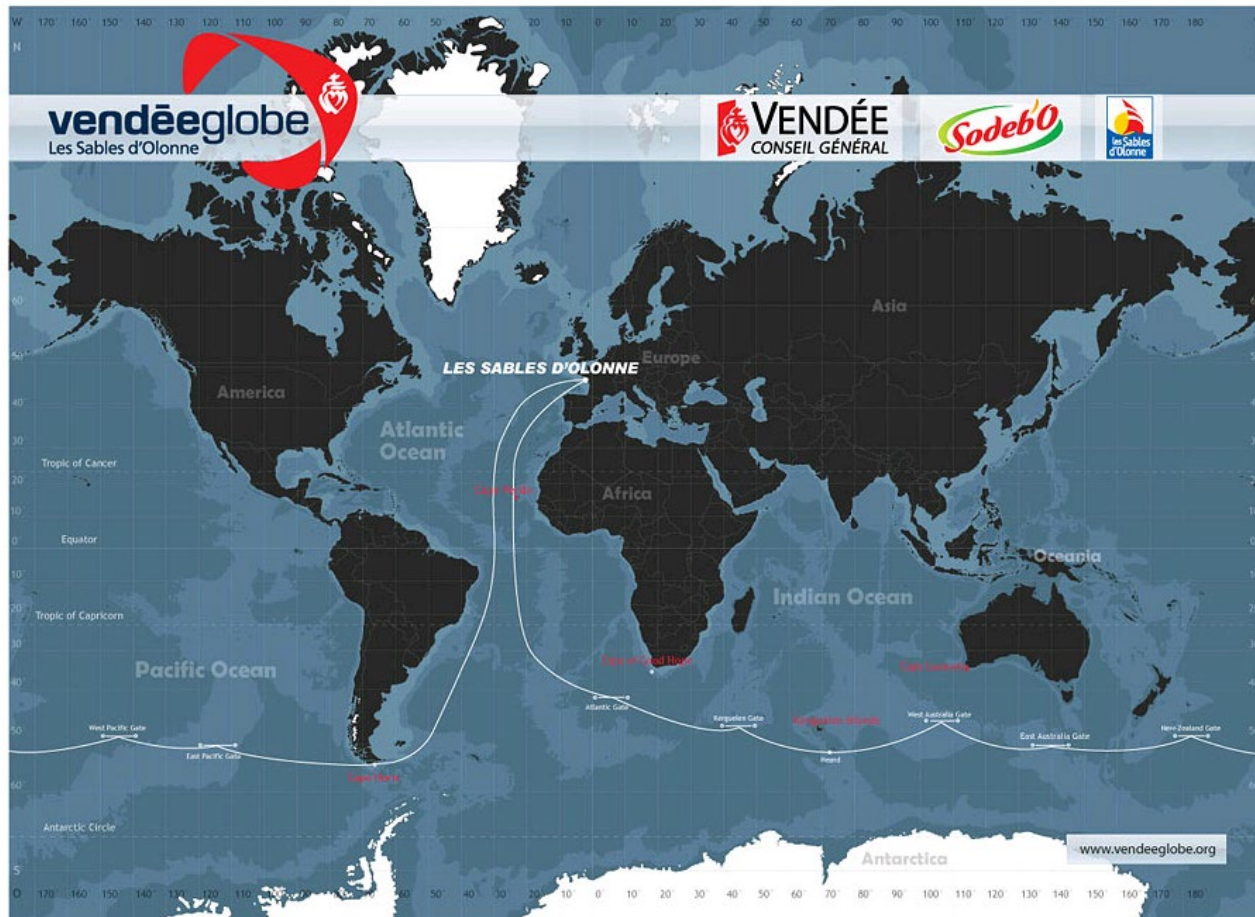
FUNDACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE LAS NUEVAS
TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO
EN ARAGÓN



Proyectos que he realizado

Primer Velero renovable Vuelta al mundo

2012, Responsable de sistema de tracción eléctrica y pila de combustible



IMOCA 60
Acciona 100% Eco Powered

El primer barco ecoeficiente del mundo con el que Javier Sansó correrá la Vendée Globe en solitario sin escalas. Baterías de hidrógeno, *pieles* fotovoltaicas, hidrogeneradores y aerogeneradores abundan en este barco equipado con el primer motor eléctrico diseñado para una embarcación oceánica. La presentación oficial tuvo lugar en el Global Clean Energy Forum 2011, un encuentro sobre energías renovables realizado en Barcelona.

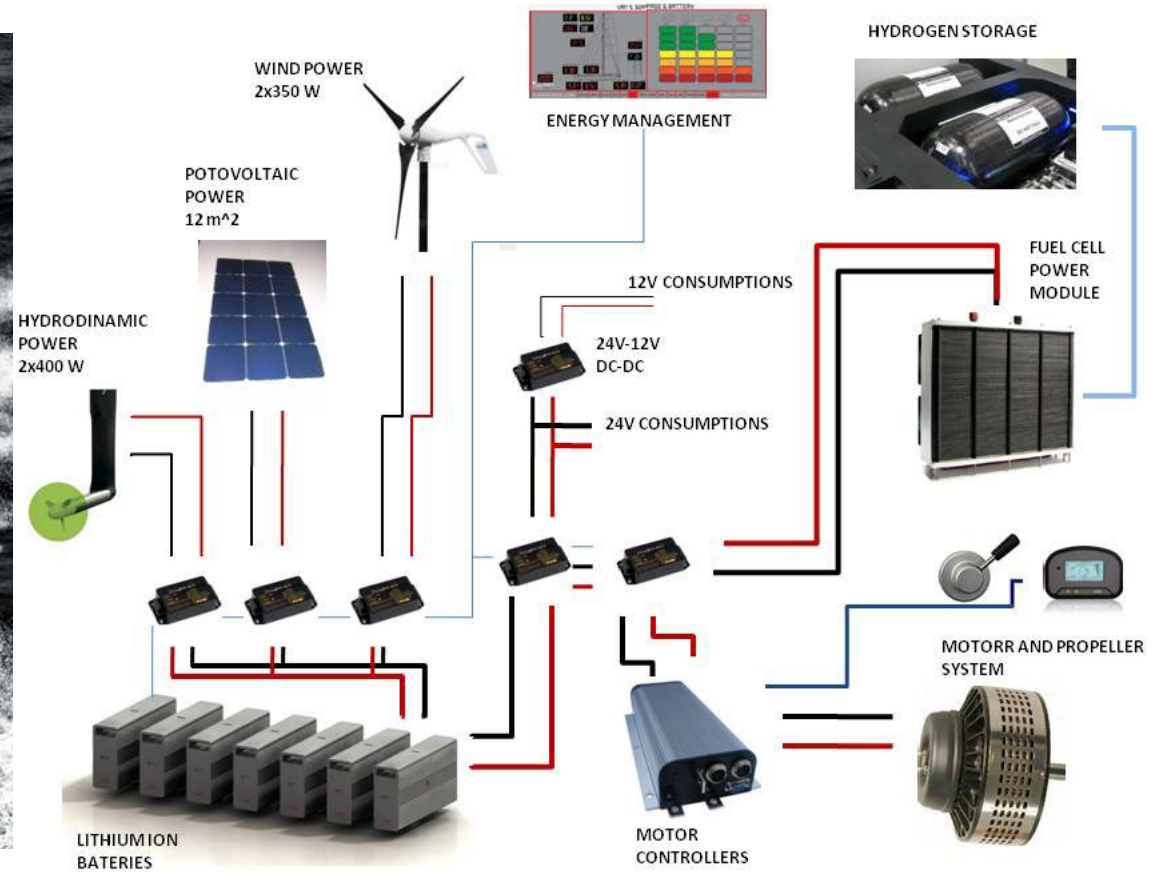
Ficha Técnica

- Eslora: 18,26 m.
- Manga: 5,7m.
- Calado: Draft: 4,5 m.
- Desplazamiento: 8,3 toneladas (IMOCA medida con los sistemas Eco y baterías a bordo).
- Momento adrizante: 31800 kg (máximo para la clase 32000 kg).
- Diseñador: DCD Owen Clark Design.
- Colaboración en diseño: Clay Oliver
- Ingeniería: SP-High Modulus, Guiti
- Diseño 3 D e Ingeniería: Teodoro Harold Yacht Design.
- Apéndices: Michel Kermaec.
- Ensayos hidrodinámicos: Cahjoor, Wolton Uht, Eloy Corralo, Ion Campistol
- Velas: Incidencas Boat
- Electricidad y electrónica: Tendakasa
- Hidrógeno y electricidad: Hidrógeno Aragón.
- Ingeniería de la quilla: HES

Proyectos que he realizado

Primer Velero renovable Vuelta al mundo

2012, Responsable de sistema de tracción eléctrica y pila de combustible



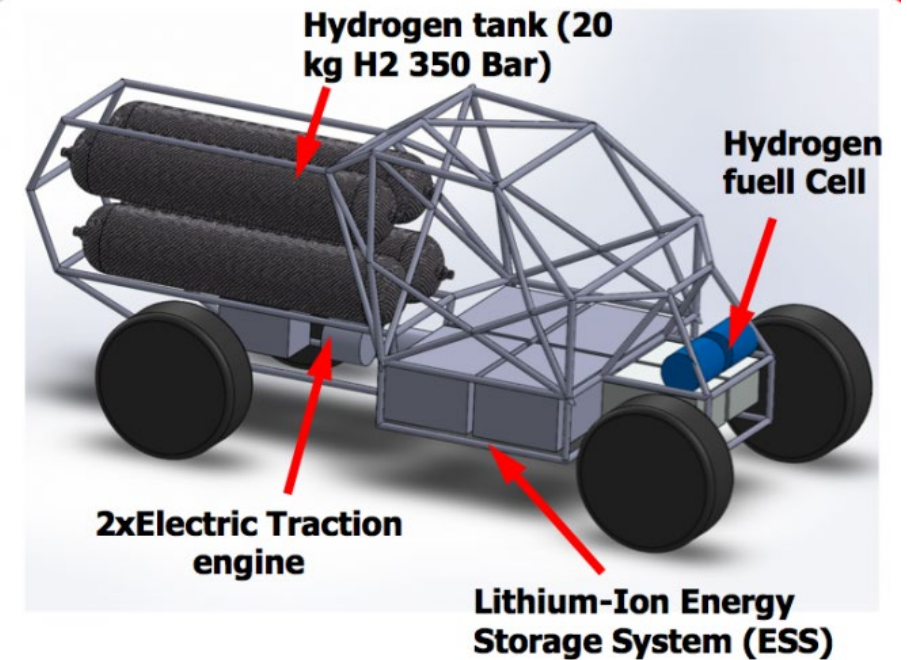
Proyectos que he realizado

Primer Coche Eléctrico Rally Dakar

2015, Jefe de ingeniería, sistema de tracción eléctrica



<http://www.quionnengineering.space/>



Proyectos que he realizado

Empresa de ingeniería y fibra de carbono

2015, Fundador e ingeniero.



Proyectos que he realizado

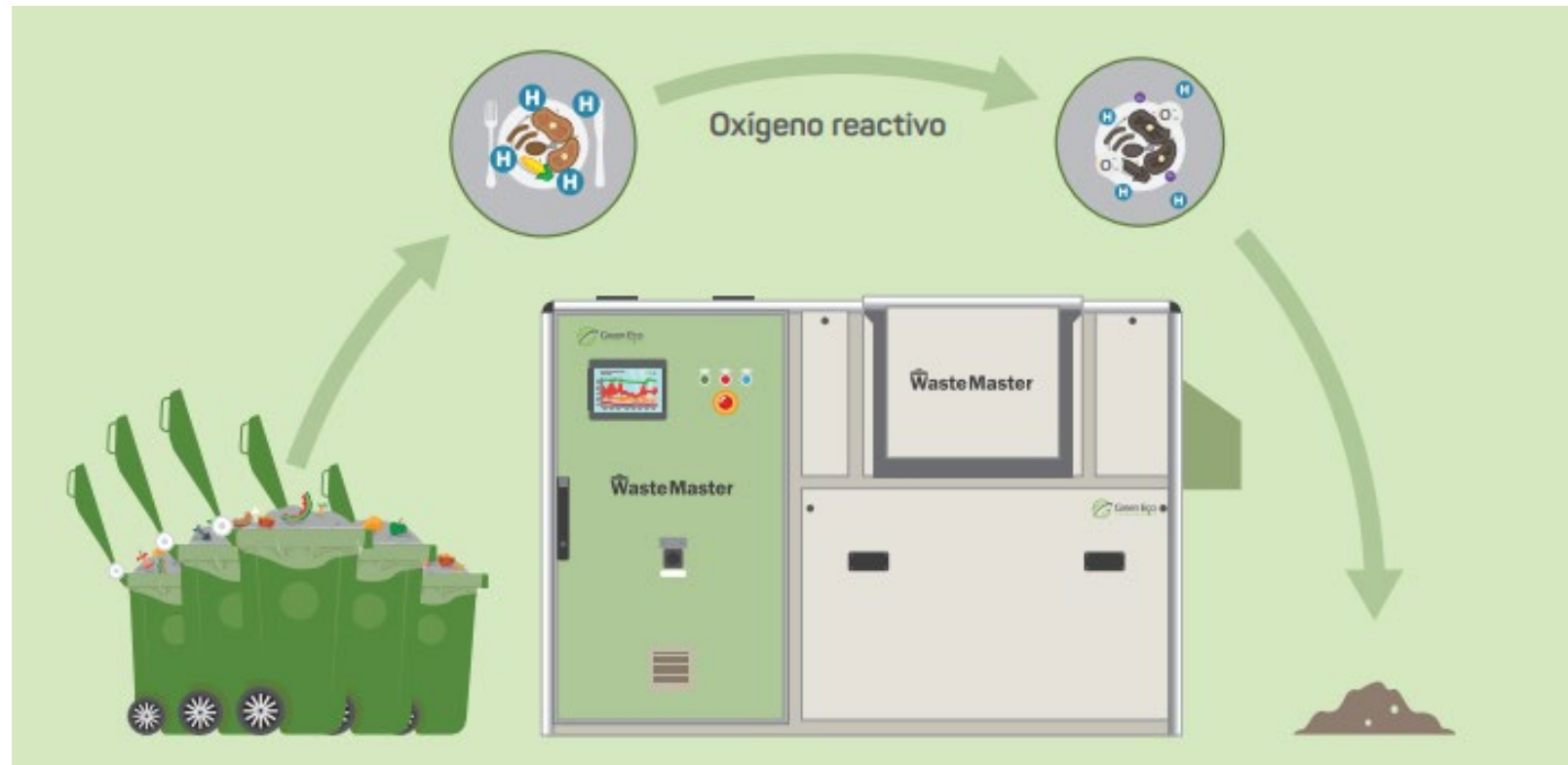
Empresa de Tecnologías de residuos

2015, Co-founder, ingeniero y desarrollo de negocio



ENERGY & WASTE MANAGEMENT

<http://www.ewmsoluciones.com/>



Proyectos que he realizado

Consultoría/Ingeniería de Hidrógeno

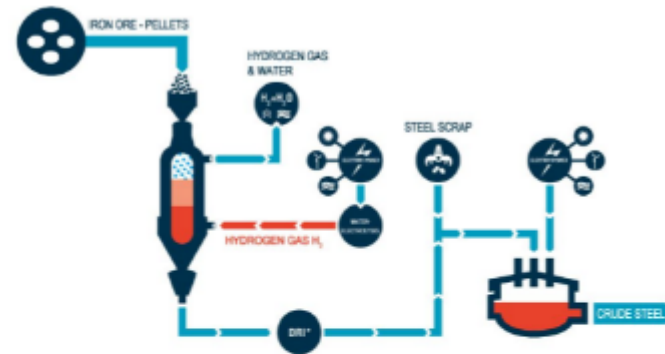
MARCOSRUPÉREZ.COM

Proyectos:



Producción y suministro de hidrógeno offshore.

Se realizó una ingeniería conceptual sobre las posibilidades de desarrollo de la tecnología de Hidrógeno para la plataforma oceánica de investigación PLOCAN. En dicho



Producción de acero renovable: Reducción de mineral de hierro con Hidrógeno

La empresa DIPROINDUCA especialista en economía circular de residuos del sector metalúrgico, contrató a



Asesoría técnica para Inversión en Start ups de Hidrógeno

La multinacional CEMEX ventures contrató a Marcos Rupérez para la evaluación de diferentes start ups en las que estaban planteando participar en sus rondas de

Proyectos que he realizado

Consultoría/Ingeniería de Hidrógeno

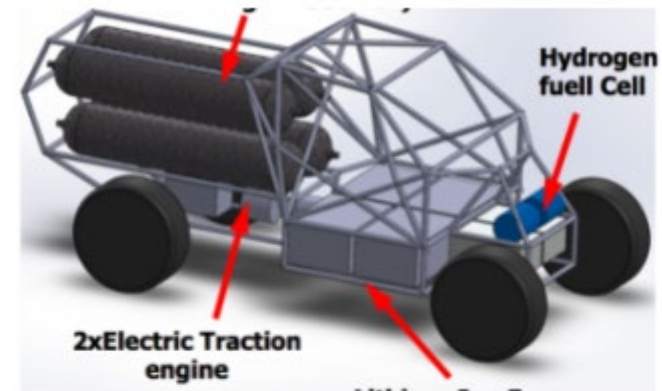
MARCO SRUPÉREZ.COM

Proyectos:



Yate Propulsado por hidrógeno (Dubai)

Nuestro cliente Juan Yacht Design (uno de los principales diseñadores en el mundo de la vela de competición, participando en copa américa) nos encargó evaluar la



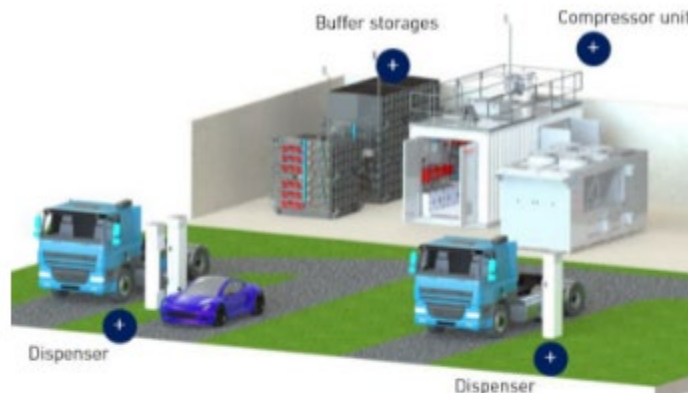
Coche de pila de combustible de Hidrógeno

El cliente requería del diseño un coche 4x4 de carreras con propulsión basada en un tren híbrido eléctrico y pila de

Proyectos que he realizado

Consultoría/Ingeniería de Hidrógeno

Proyectos:



Hidrogena para 30 camiones

El Grupo logístico Grupo Alonso, se planteo realizar una conversión de 30 camiones de su flota a camiones de pila de combustible para ser operados junto con el resto de su flota.

MARCO SRUPÉREZ.COM



Camión a Pila de combustible de Hidrógeno

Marcos Rupérez participa como consultor externo en el proyecto Shinefleet donde se esta construyendo un camión pesado de transporte de mercancías por carretera impulsado

The background of the entire image is a dark blue surface covered with numerous small, clear water droplets of varying sizes. In the center-left portion of the image, the chemical formula 'H2' is rendered in a large, light blue, 3D-style font with a slight shadow effect.

H₂

El reto

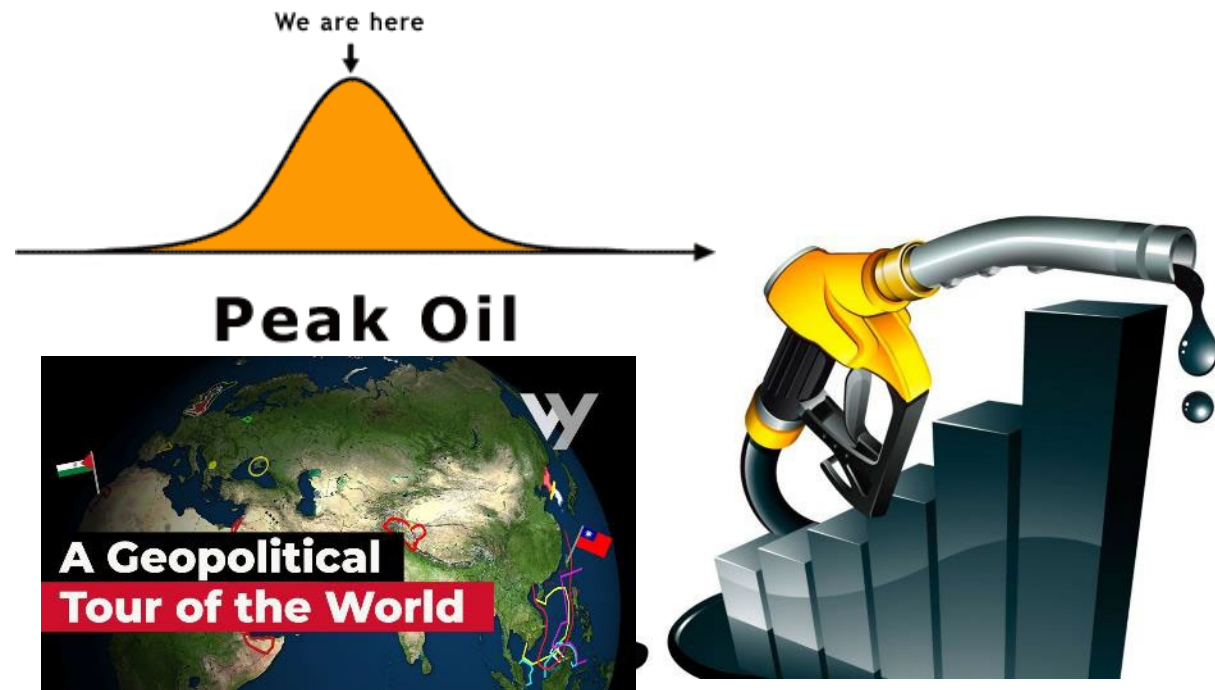
Donde se enmarca el H₂

MarcosRupérez.com

PROBLEMAS GLOBALES



CAMBIO CLIMATICO



DEPENDENCIA ENERGETICA

Escasez de combustibles fósiles

LA SOLUCION

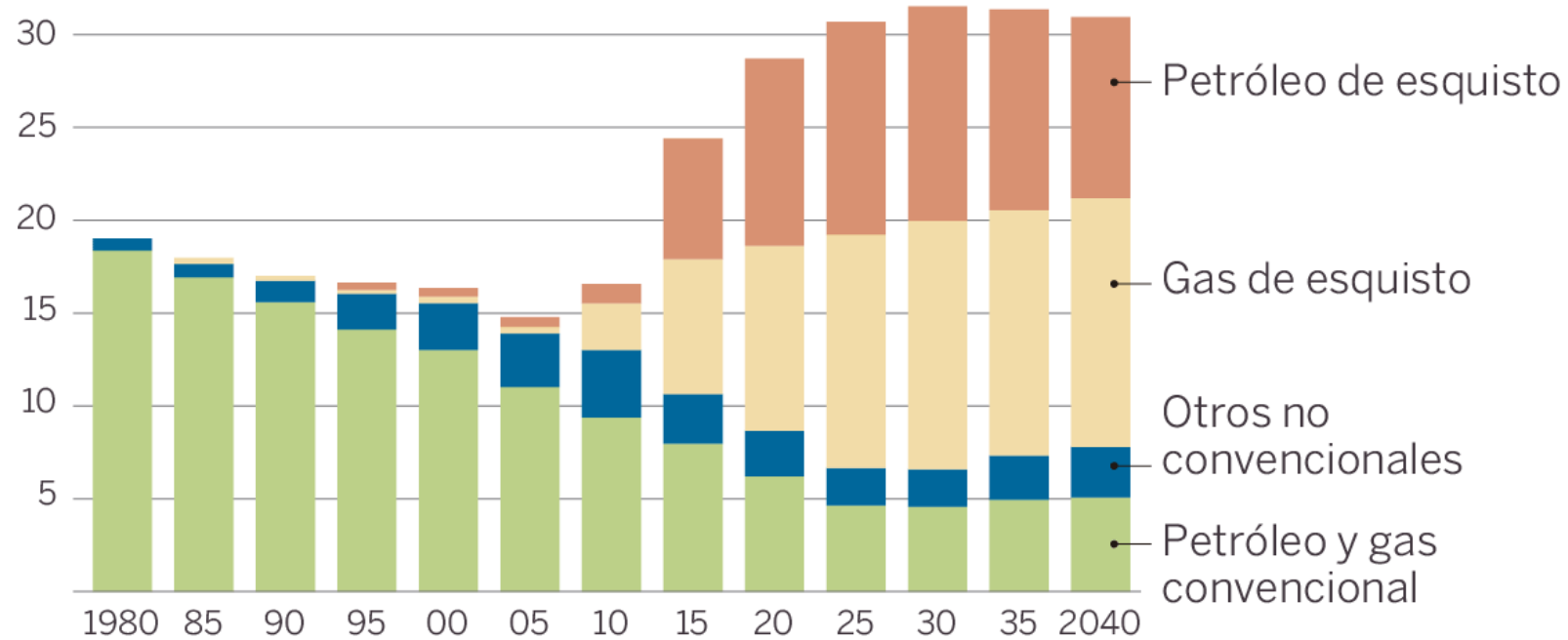


Cambiar de energía primaria

LA SOLUCION de USA

ESTADOS UNIDOS. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS

Millones de barriles equivalentes de petróleo al día

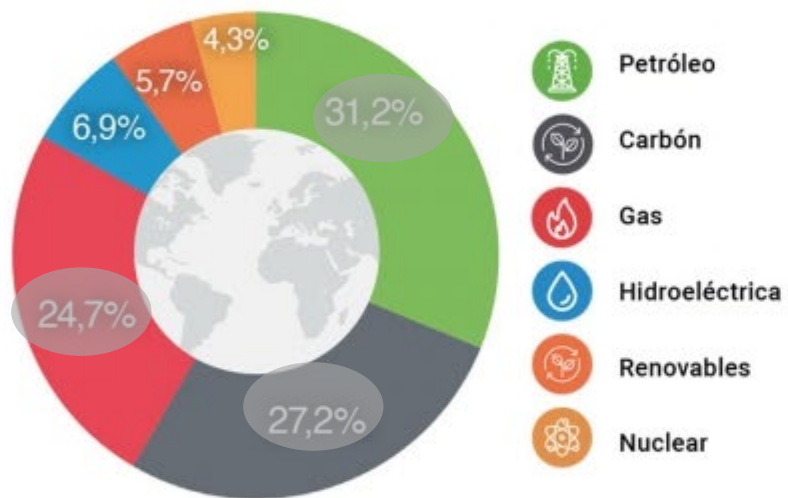


Fuente: Agencia Internacional de la Energía. EL PAÍS

EL RETO (Mundial)

La energía en el mundo

Mix de energía primaria mundial



83% fósil



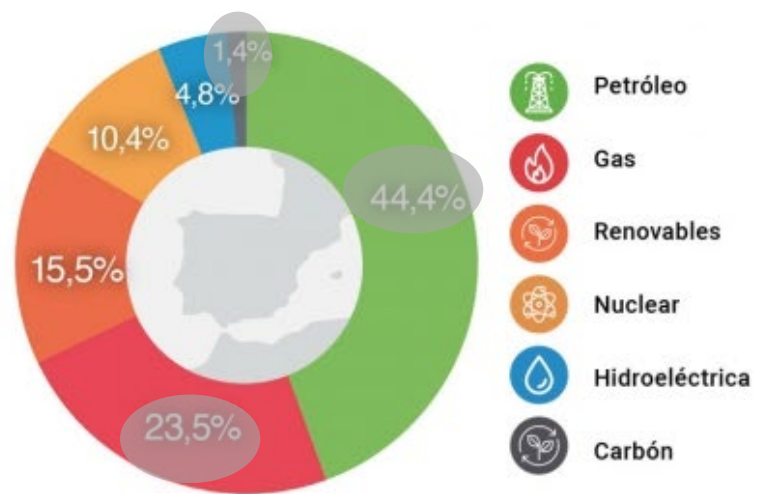
Variación del consumo de energía 2020 vs 2019



El RETO (Español)

La energía en España

Mix de energía primaria



69% fósil

Emissiones de CO₂

CO₂ **-18,9%**

Variación del consumo de energía 2020 vs 2019



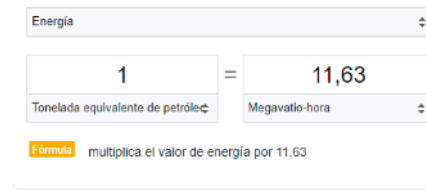
El consumo de energía

-11,4%

LOS LIMITES

El **consumo** de **energía primaria** en **España** durante 2020 fue de 110.847 ktep

En 2020, la demanda del sistema **eléctrico** en **España** ascendió a un total de prácticamente 250.000 gigavatios hora.



Energía

1 = 11,63

Tonelada equivalente de petróleo Megavatio-hora

Fórmula multiplica el valor de energía por 11,63

ENERGIA PRIMARIA 1.290.000 GWh

ENERGIA ELECTRICA 250,000 GWh

EL 80% de la energía que consumimos no es eléctrica!

No basta solo con instalar renovables

¿Dónde se enmarca el H2?

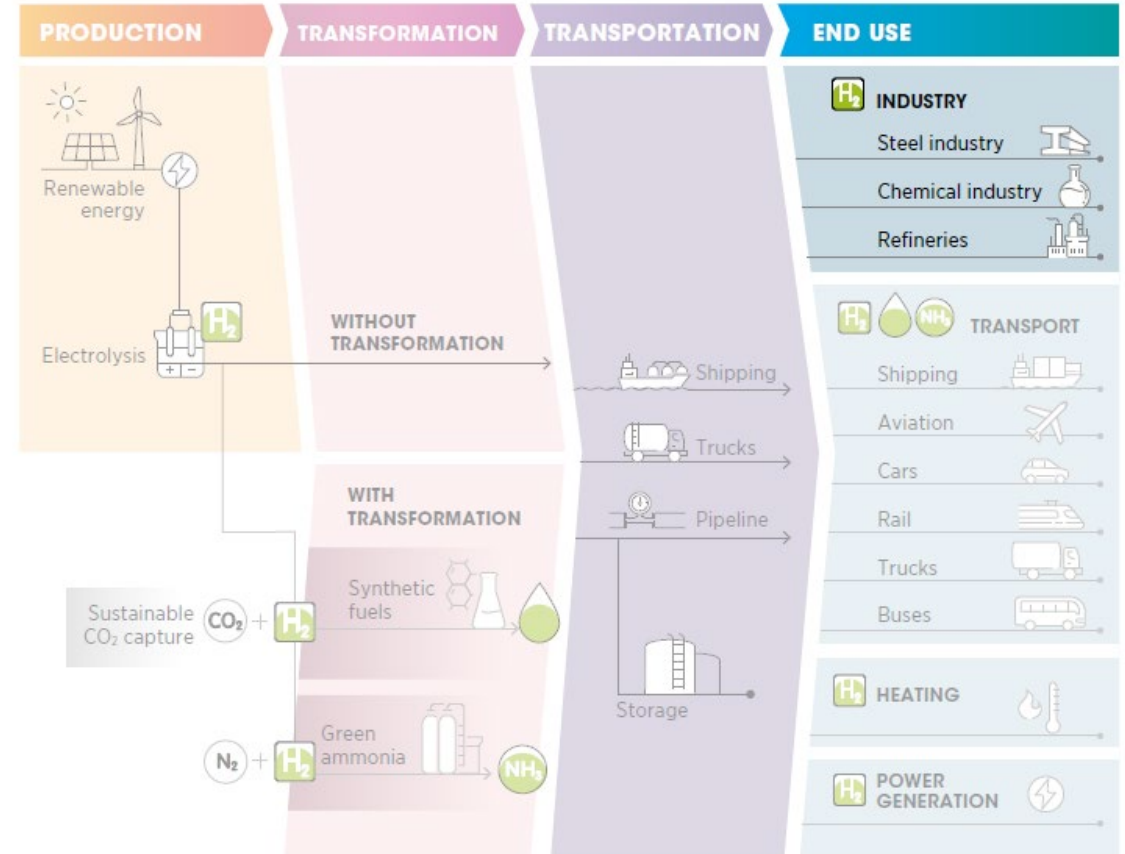
EL 80% de la energía que consumimos no es eléctrica!

En los usos de mucha densidad energética
H2 tiene posibilidades

¿Dónde se enmarca el H2?

HARD-TO-ABATE SECTORS AND GREEN HYDROGEN

Figure I.1 Green hydrogen value chain and the focus of this report

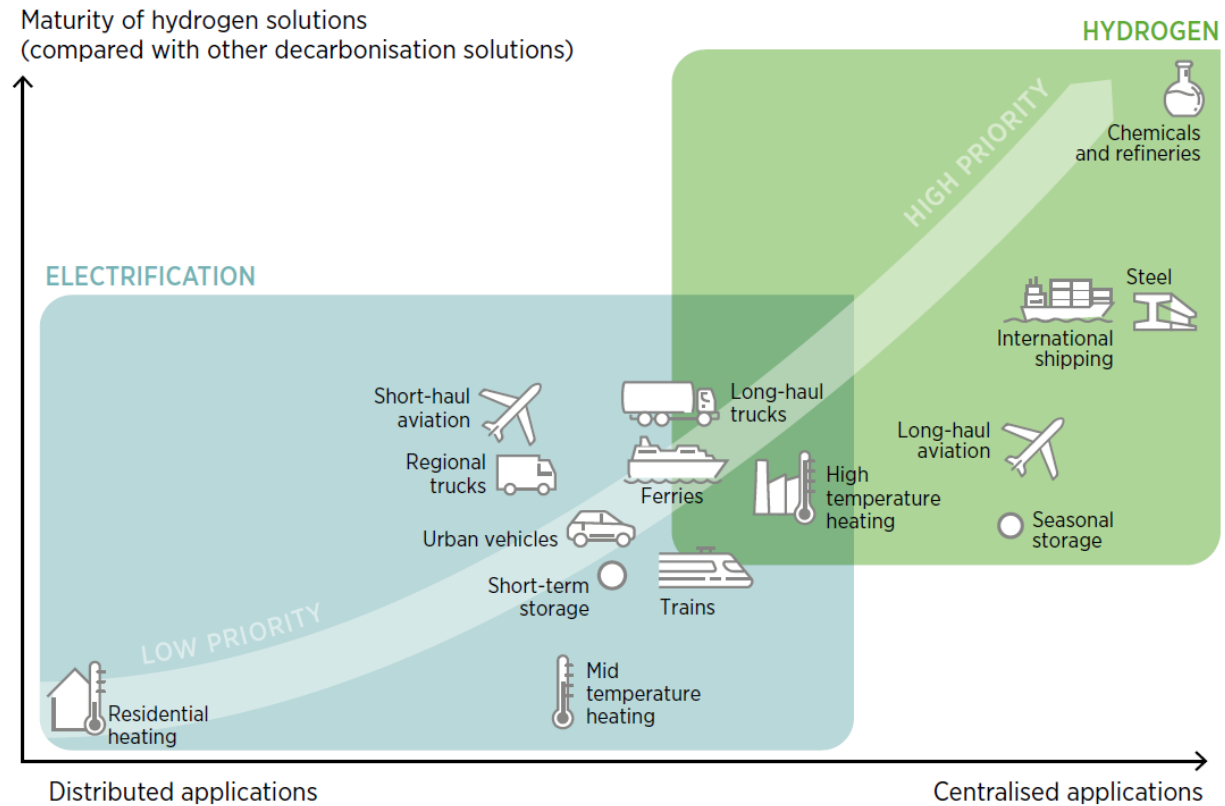


Sources: IRENA (2020a)

¿Dónde se enmarca el H2?

HARD-TO-ABATE SECTORS AND GREEN HYDROGEN

Figure i.2 Green hydrogen policy priority

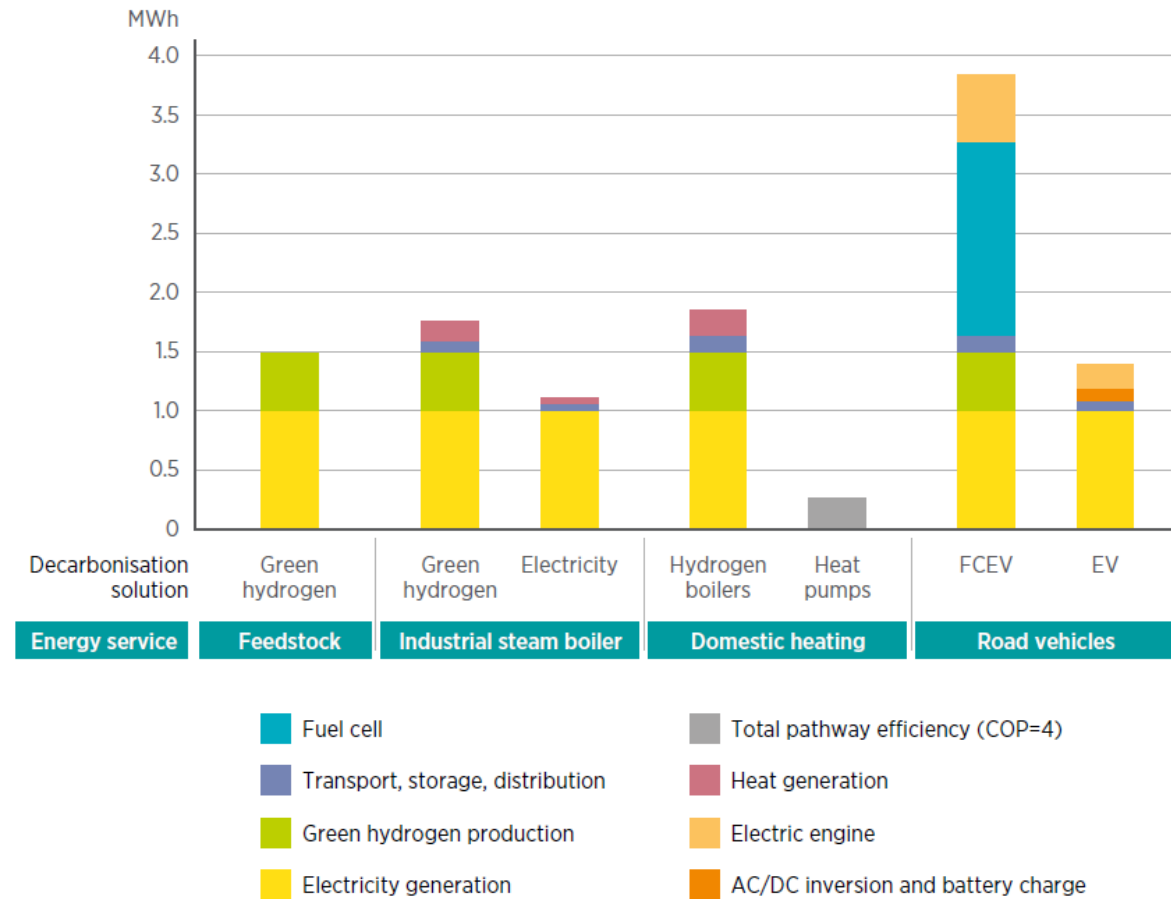


Source: IRENA analysis based on Agora Energiewende (2021a); Belmans and Vingerhoets (2020); Liebreich (2021); IEA (2021b); Natuur & Milieu (2021); Ueckerdt et al. (2021).

¿Dónde se enmarca el H2?

EFICIENCIA VS EFICACIA

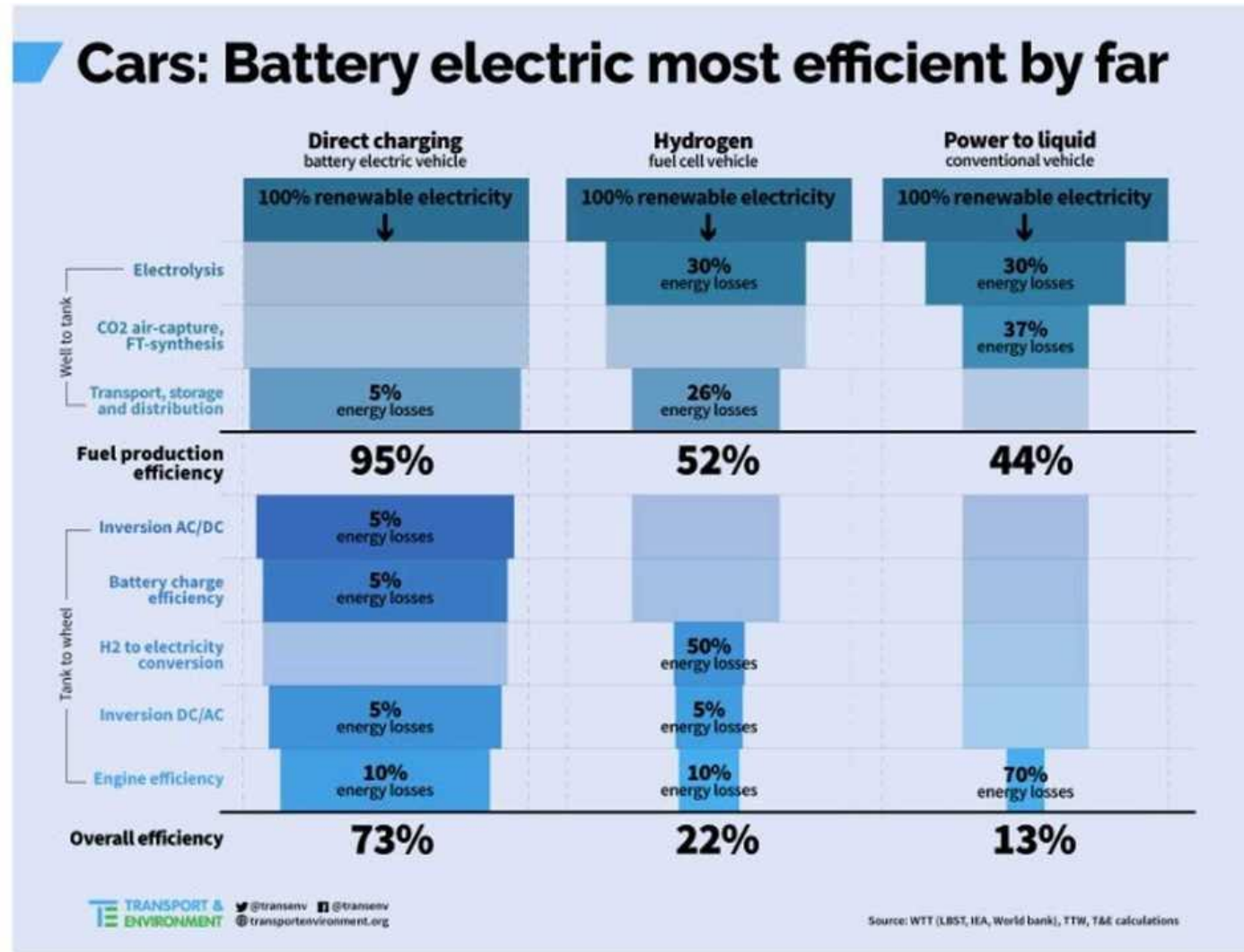
Figure i.3 Estimation of renewable electricity generation needed for 1 MWh by energy services and by transformation passage



Notes: COP = coefficient of performance; EV = electric vehicle; FCEV = fuel cell electric vehicle.

¿Dónde se enmarca el H2?

¿COCHES?



¿Dónde se enmarca el H2?

EJEMPLO AVIACION ELECTRICA

¿ES POSIBLE UNA AVIACIÓN ELÉCTRICA? (Cálculos)

La respuesta es NO, al menos no como la que conocemos ahora. He hecho cálculos sencillos para un Boeing 737-800 (El modelo mas usado por Ryan Air). Este modelo lleva hasta 189 pasajeros, pesa 36 toneladas vacío y lleva a bordo hasta 21 toneladas de combustible, lo cual implica 259 MWh de energía a bordo. Con esa energía es capaz de recorrer 5765 km a 969 km/h. Para llevar a bordo la energía equivalente en baterías de litio se necesitaría embarcar 1600 toneladas de baterías!!!. 76 veces el peso actual de combustible!!. Obviamente este avión no podría despegar del suelo. Pero, qué sucede si instalamos solo 21 toneladas de baterías, entonces sí debería despegar (al menos por peso). En este caso solo podríamos hacer 76 km (Según consumo medio). Es decir, probablemente tampoco podría despegar por falta de la energía extra del despegue (consumo mayor al consumo medio) y si despegara no llegaría muy lejos. Y esto haciendo los números para un vuelo de rango continental, los números para hacer vuelos transoceánicos son aún mas descabellados.

CONCLUSIÓN: Para una aviación eléctrica similar a la actual, las baterías tiene que mejorar del orden de 70 veces en densidad de energía ó más. ¿OPINIONES?

[#boeing](#) [#energía](#) [#aviación](#) [#vehiculoelectrico](#)

BOEING 737-800		
Pasajeros	189	Personas
Combustible Máximo	26.020	litros
Densidad combustible tipo Jet A	0,8	kg/litro
PCI Jet A	11,9	kW/kg
Peso combustible máximo	21.857	kg
Peso avión vacío	36.380	kg
Peso Máximo a despegue	66.000	kg
% peso combustible sobre peso total (sin pasajeros)	38%	%
Alcance / Autonomía	5.765	km
Velocidad de crucero	969	km/h
Consumo medio combustible por km	4	kg/km
Energía Química a Bordo	259.874	kWh
Consumo medio por km	45	kWh/km

Equivalente Eléctrico		
Densidad energética Bat litio tesla Sp100 D (100kwh, 626kg)	160	Wh/Kg
Densidad energética Bat litio	6,25	kg/kWh
Coste Batería (ratio)	137	€/kwh
Peso Baterías necesarias (Misma energía Química)	1.624.212	Kg
Coste Batería necesarias (misma energía Química)	35.602.718	€
Energía posible en mismo peso	3.497	kWh
Coste baterías a mismo peso	559.534	€
Autonomía a peso similar	78	km

MARCO SRUPÉREZ.COM

¿Dónde se enmarca el H2?

EJEMPLO AVIACION H2



Marcos Rupérez Cerqueda (He/Him) • You
Freelance hydrogen engineering and consultancy
1yr • Edited •

...

¿ES POSIBLE UNA AVIACIÓN DE HIDRÓGENO? (Cálculos)

En el post anterior demostramos que eléctrica no es posible:
<https://lnkd.in/eVADVa5>

Basándonos de nuevo en el Boeing 737-800 (Ryan Air) podemos ver que si suministramos la potencia media necesaria, unos 52 MW (Energía consumida/ tiempo de viaje) la pila de combustible pesaría alrededor de 200 toneladas (el triple del peso máximo del avión) y costaría 100 millones de euros. Lo cual ya por sí solo hace inviable el despegue de este modelo a pila de combustible. Además si almacenamos el hidrógeno a 700 bar en depósitos necesitamos almacenar 7800 kg de hidrógeno cuyos depósitos pesarian 110 toneladas. Por lo que la opción de pila de combustible + almacenamiento gas a 700 bar es inviable.

¿Y si almacenamos hidrógeno líquido y lo utilizamos en turbinas similares a las actuales?

Entonces solo necesitamos unas 23 toneladas de peso de combustible (Similar al peso actual), aunque el peso de los depósitos lo he estimado a groso modo, podría estar en ese orden.

Eso sí ocuparía el hidrógeno líquido 111 metros cúbicos. O lo que es lo mismo, un cilindro de 2 metros de diámetro todo lo largo del fuselaje del avión.

Parece una opción viable, ¿no?
¿Opiniones?

BOEING 737-800		
Pasajeros	189	Personas
Longitud avion	39,5	
Combustible máximo	21.857	kg
Peso vacío	36.380	kg
Peso Máximo a despegue	66.000	kg
Alcance / Autonomía	5.765	km
Velocidad de crucero	969	km/h
Consumo medio por km	4	kg/km
Energía Química a Bordo	259.874	kWh
Consumo medio por km	45	kWh/km

Equivalente H2 con pila de combustible		
Potencia media	43.680	kW
Potencia pila	52.417	kW
Peso pila	209.666	Kg
Precio pila	104.833.068	€
Kg H2 a bordo	7875,0	Kg
Precio depósitos 350 bar	1000,0	€/kg
Peso depósitos 350 bar	14,0	Kgdep/kg H2
Volumen depósitos	20	kg H2 / m3
Peso depósitos 700 bar	110.250	kg
Volumen depositos700 bar	394	m·3
Precio depósitos 700 bar	7.874.965	€

Equivalente H2 con turbina y H2 liquido		
Peso depósitos (aproximación)	2,00	Kgdep/Kg H2
Densidad H2 liquido	0,0708	kg/l
Peso sistema H2 liquido lleno	23625	kg
Volumen H2 liquido	111	m^3

MARCOSRUPÉREZ.COM

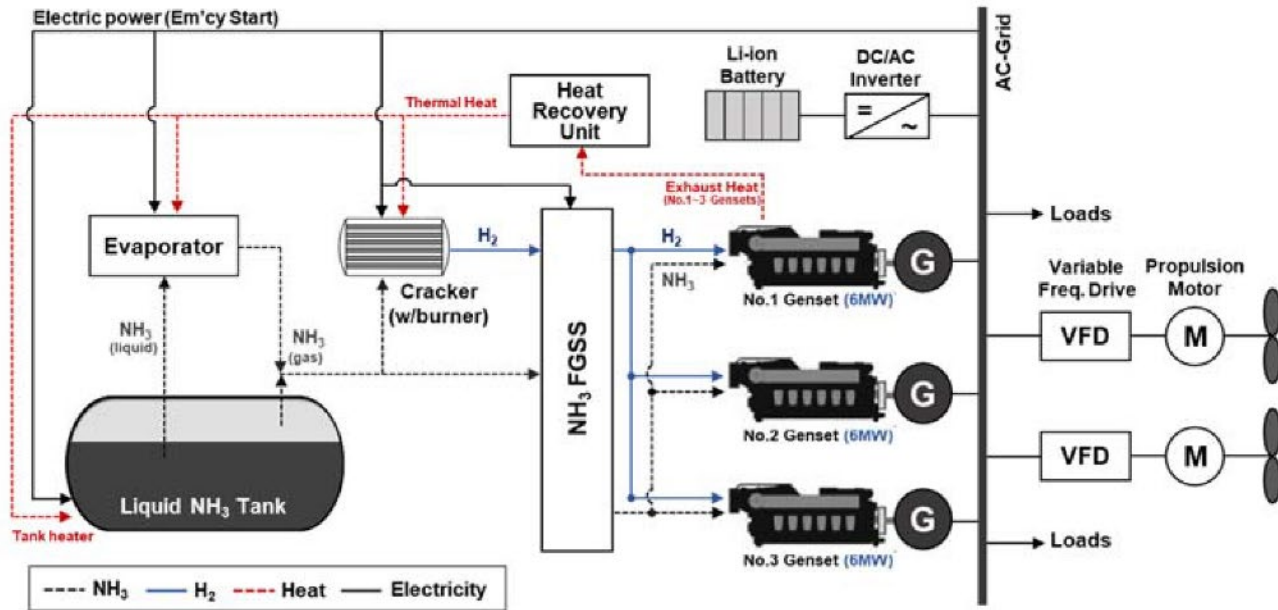
MOVILIDAD

MARITIMO



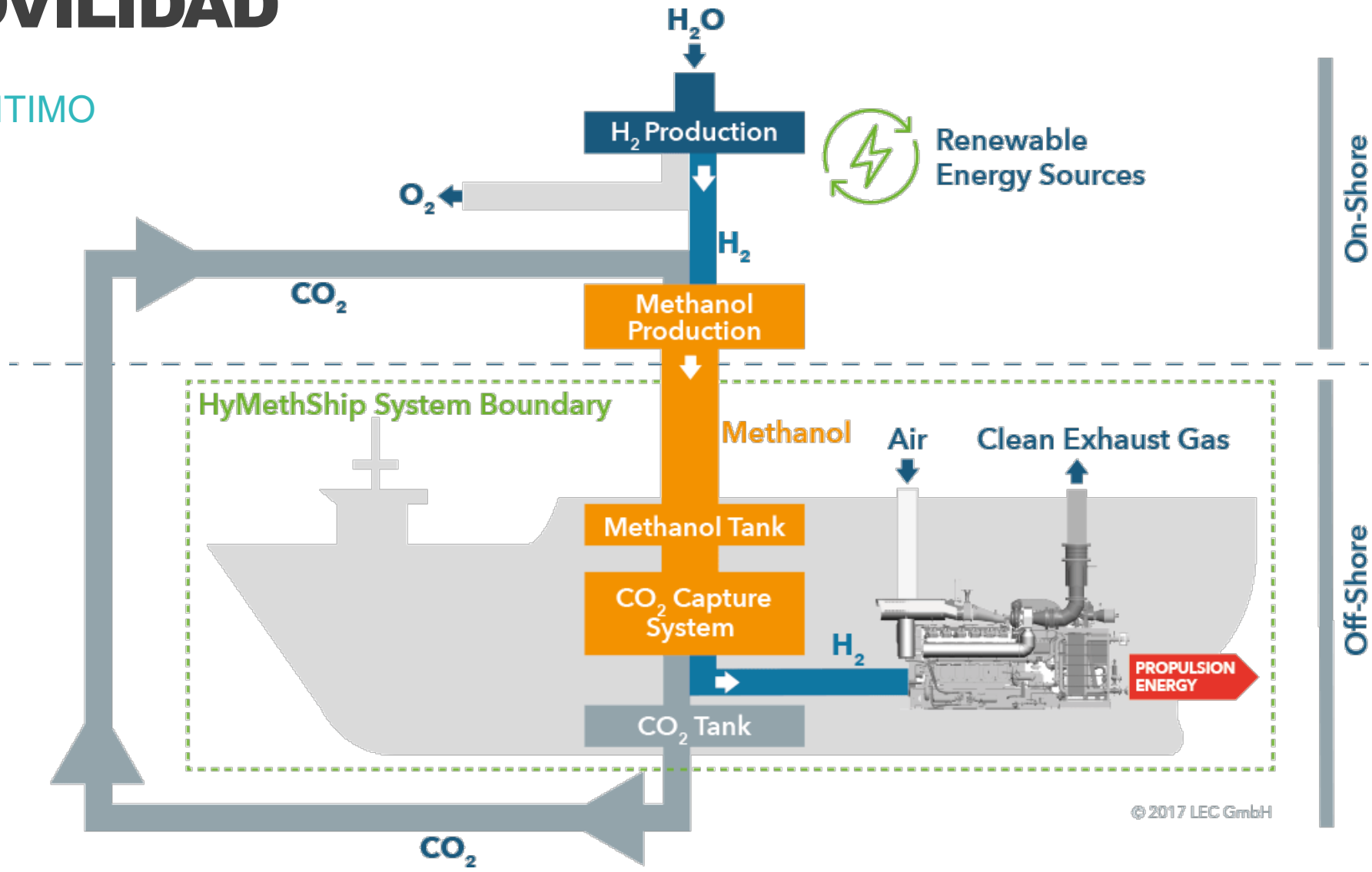
MOVILIDAD

MARITIMO



MOVILIDAD

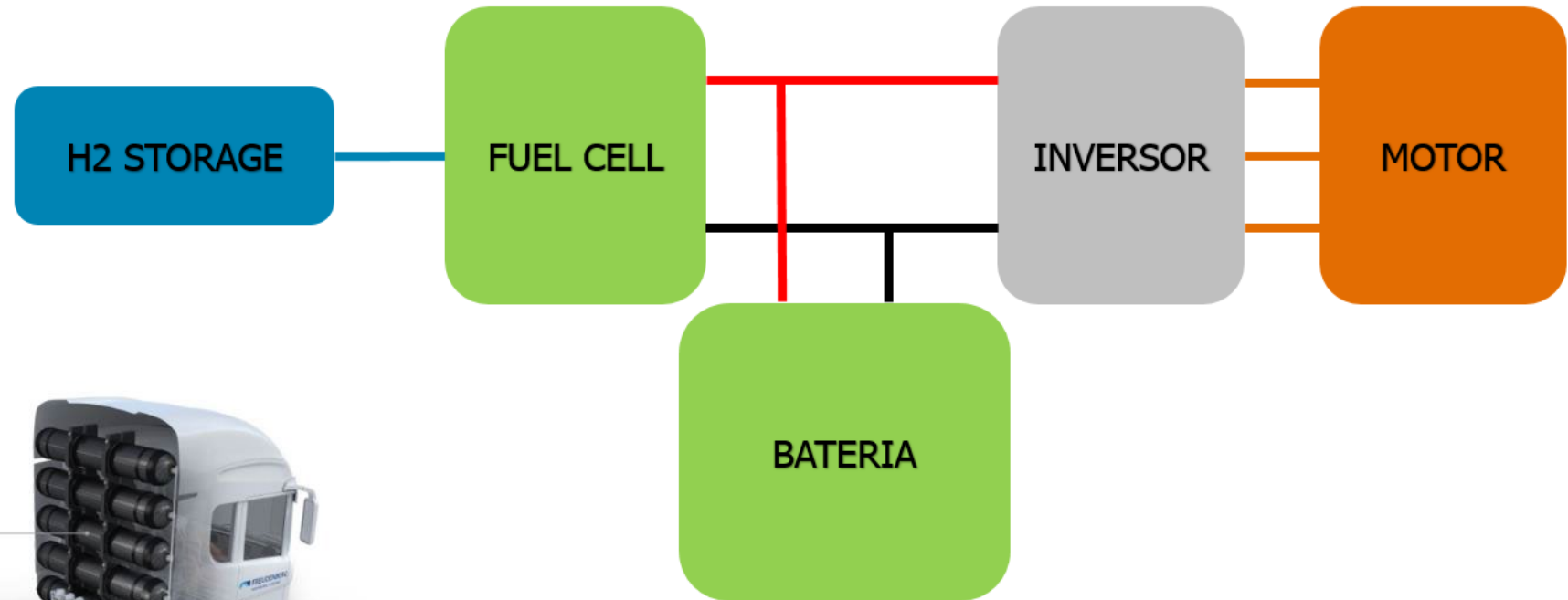
MARITIMO



© 2017 LEC GmbH

MOVILIDAD

FUEL CELL TRUCKS



MOVILIDAD

FUEL CELL TRUCKS



Marcos Rupérez Cerqueda (He/Him) • You
Freelance hydrogen engineering and consultancy
8mo •



¿QUE PRECIO DE H2 HACE RENTABLE OPERAR UN CAMION DE HIDROGENO?

En los últimos meses el precio de los combustibles está alcanzando máximos históricos, a la escritura de este post el combustible diesel se vende en las gasolineras españolas a una media 1.85 €/litro. (El post se escribió días antes de la publicación puede haber cambiado el precio, pero la reflexión sigue siendo válida).


Dado el alto precio del diesel, surge la pregunta lógica para los transportistas, ¿Es rentable cambiarse a otros combustibles?

En el caso de Hidrógeno eso implicaría cambiar tu flota de camiones por camiones de pila de combustible los cuales tienen un coste muy superior (111k€ del diesel frente a 450-500k€ del de hidrógeno a pila de combustible).

Y el motivo de este post es ver a que precio tendrían que poder comprar el hidrógeno dichos camiones para que al menos la operativa tuviera el mismo coste por kilómetro. Se plantea dicho cambio para cabezas tractoras de 40T y recorridos de más de 450km con una sola recarga (los precios mostrados son para estos vehículos).

Asumiendo una amortización de 10 años en el caso de ambos vehículos el precio del H2 suministrado debería ser de 3 €/kg para lograr que el coste de operar el camión de H2 fuera similar al de un diesel a 1,85 €/litro .

H2 TRUCK VS DIESEL TRUCK			
DIESEL	CAPEX truck	110000	€
	Diesel Price	1.85	€/litre
	Fuel consumption	34	l/100km
	Cost (10 year amortization)	0.73	€/km
HYDROGEN	CAPEX truck	450000	€
	H2 price (++optimistic)	3	€/kg
	Fuel consumption	10	kg/100km
	Cost (10 year amortization)	0.72	€/km



MarcosRupérez.com

Assumptions: 108.000km/year each truck,

MOVILIDAD

FUEL CELL TRUCKS



Marcos Rupérez Cerqueda (He/Him) • You

Freelance hydrogen engineering and consultancy

2yr • Edited •

LOS NÚMEROS DE UN TRÁILER DE 25 TONELADAS ELECTRICO ¿HIDROGENO?

De nuevo me he metido a hacer cálculos y por un lado, sí parece cierto lo que dice Tesla de que un camión cargado consume 1,25 kWh/km. Asumiendo ese dato, y una noticia que seguro todos habéis visto, sobre que un trailer recorre de media 750 km al día (lo cual tiene sentido 8h a 90 kmh aprox), nos lleva a que el camión debería llevar (902 kWh) 5,6 toneladas de baterías (lo cual baja la carga útil del camión a 19 toneladas), y a precio de hoy solo la batería tendría un coste de 123 mil euros. Para recargarla en 8 Horas haría falta un cargador de 113 kW (en 16h 60 kW). Y si quisiéramos hacer dos turnos de uso (separados por 4 horas de carga) haría falta tener cargadores de 226 kW.

Los números para uno de Hidrógeno son mas complejos, pero también los he hecho y mas o menos un sistema equivalente (pila + depósitos) pesaría 1,5 Toneladas y costaría unos 350.000 euros, con tiempo de recarga de unos 10 minutos. Y para que el OPEX fuera similar haría falta un precio de H2 inferior a 1,5€/kg.

*todos los datos de partida son de fuentes que os cito en comentarios.

¿OPINIONES/ REFLEXIONES?

TRAILER DIESEL 25Toneladas de carga		
Consumo Tráiler	32	l/100
PCI diésel	9,98	kWh/l
Densidad diésel	0,85	kg/l
PCI diésel	11,7	kWh/kg
Consumo E química	376	kWh/100
Consumo E química	3,8	kWh/km
Eficiencia media motor	0,30	%
Consumo E mecánica	1,127	kWh/km

Equivalente Eléctrico		
Eff motos +Bat	0,9	%
Consumo E Eléctrico equiv calculado	1,25	kWh/km
Consumo E Eléctrico tesla semi	1,25	kWh/km
Densidad energética Bat litio tesla Sp100 D (100kwh, 626kg)	160	Wh/Kg
Densidad energética Bat litio	6,25	kg/kWh
Coste Batería (ratio)	137	€/kwh
Kilometraje deseado (8h a 90kmh)	720	km/día
Dimensión energética batería	902	kWh
Precio kWh eléctrico	0,1	€/kWh
Peso batería	5636	kg
Precio batería	123536	€
Carga útil del camión	19	Ton
tiempo de recarga	8	h
Potencia cargador necesaria	113	kW
Coste energía diario	90,2	€

MOVILIDAD

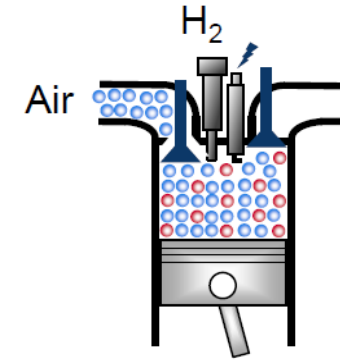
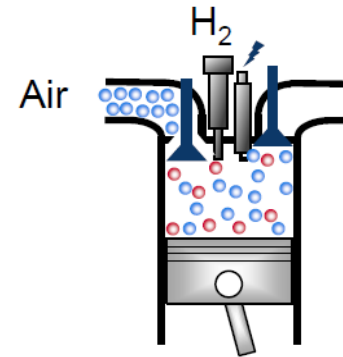
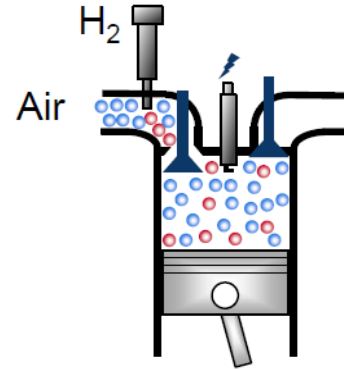
CAMIONES HIBRIDOS COMBUSTION DIESEL + H2

Power Density of Hydrogen Depending on Mixture Formation



Boundaries:

- $\lambda = 1.8$
- $I_a = \text{const.}$
- $\eta_e = \text{const.}$
- $T = \text{const.}$



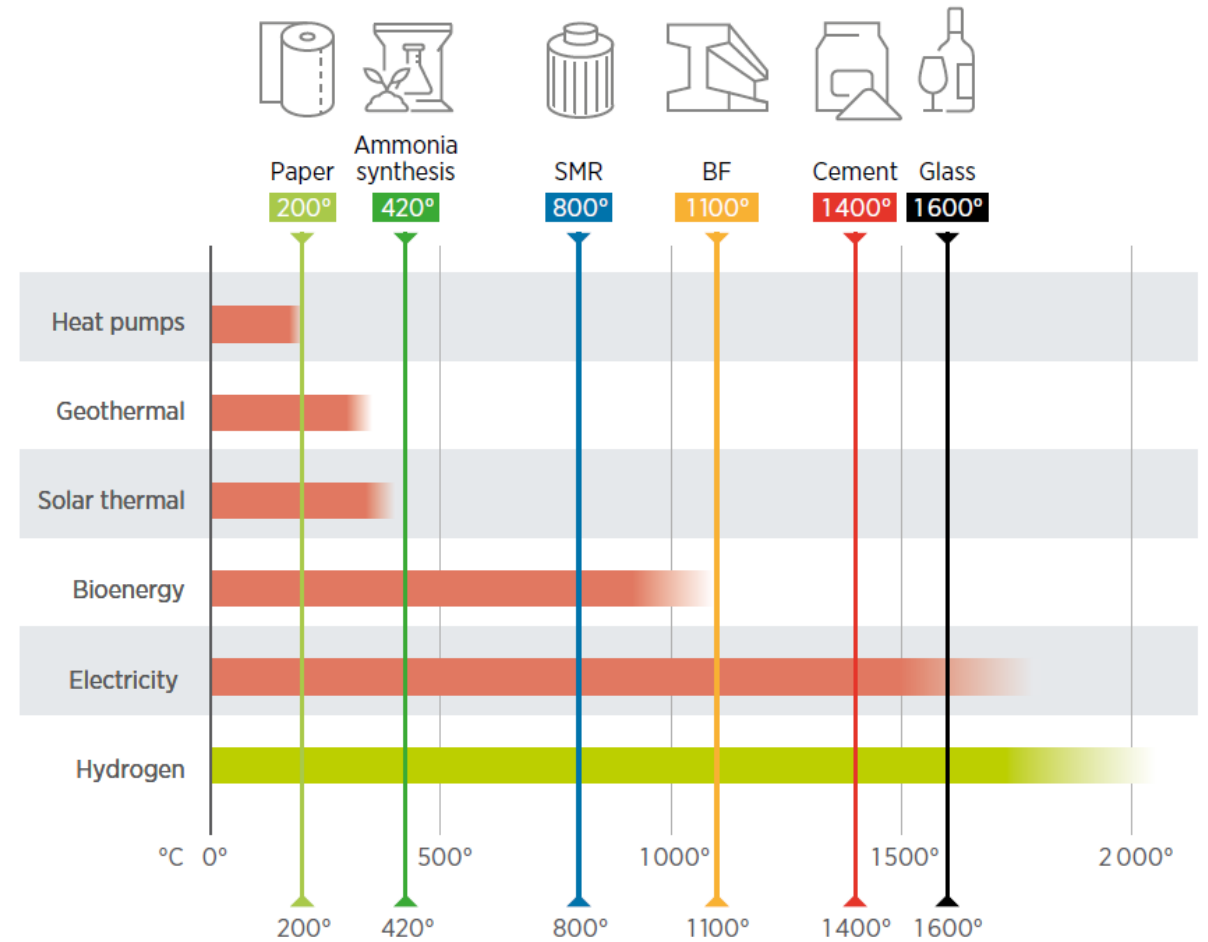
Mixture formation	PFI	DI early LP-DI	DI during comb. HP-DI
Power potential [%]	-	+	++
Efficiency potential [%] (compared to Diesel, theoretical)	-	++	+++
Risks			
Back fire	●	●	●
Pre ignition	●	●	●
Knocking	●	●	●

→ For CV applications, depending on boundary conditions (e. g. retrofit from Diesel baseline) PFI or LP-DI are good options. HP-DI is on the research level due to the current technical feasibility.

¿Dónde se enmarca el H2?

LA TEMPERATURA IMPORTA

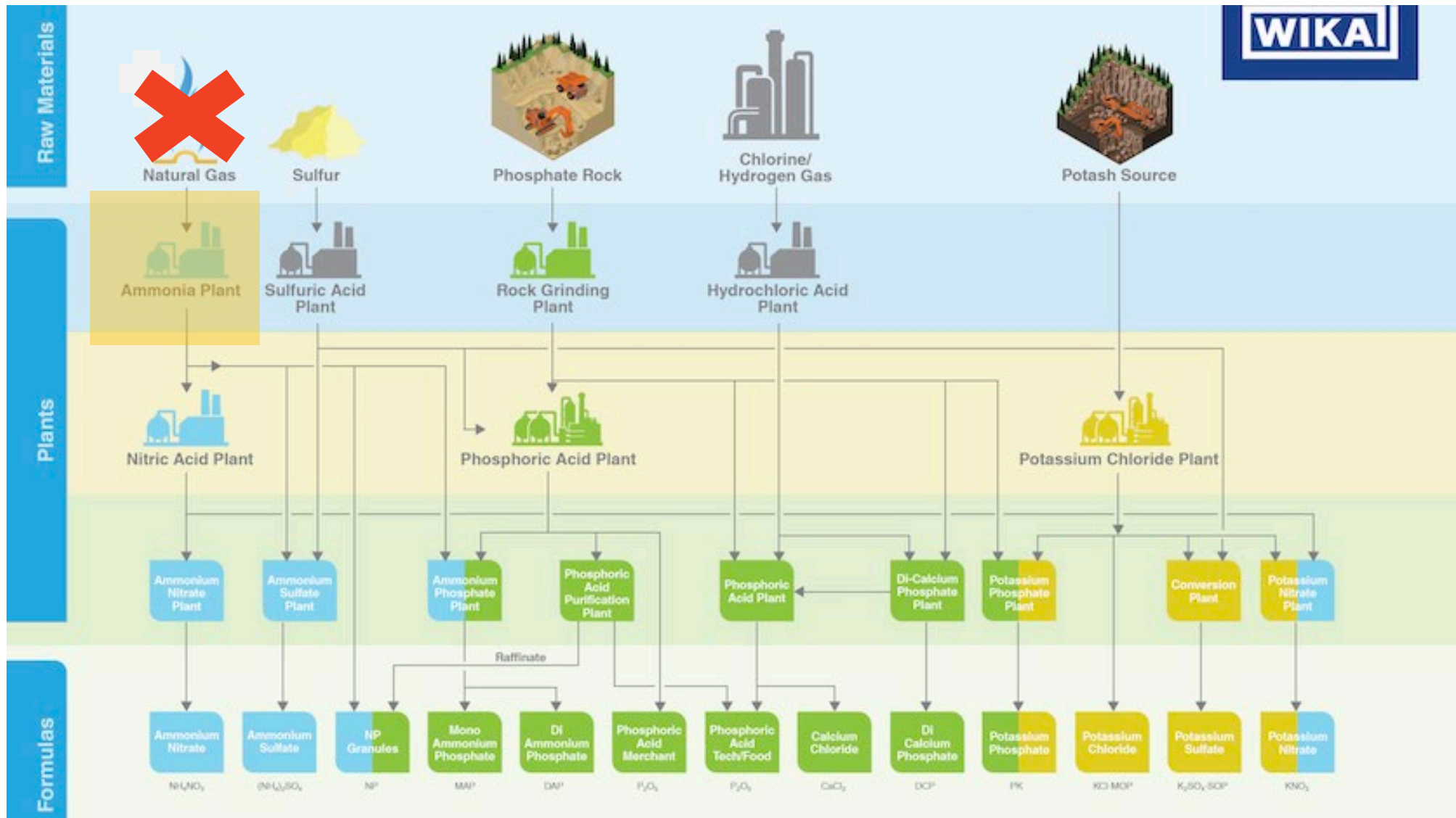
Figure 1.3 Working temperatures for selected renewable heat technologies and temperature requirement of selected industries



Principales tipos de fertilizantes y sus procesos químicos

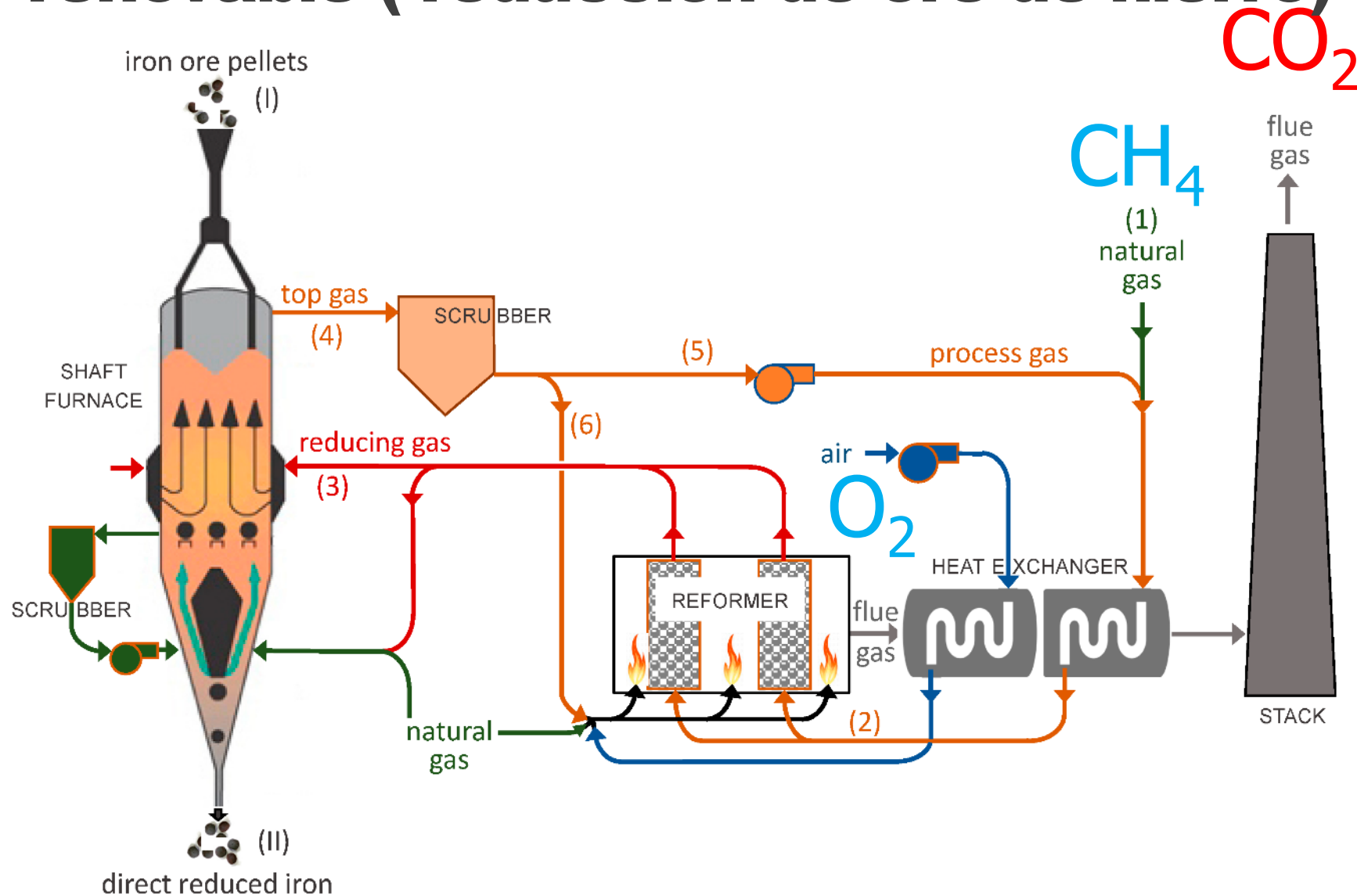


H2 en el proceso



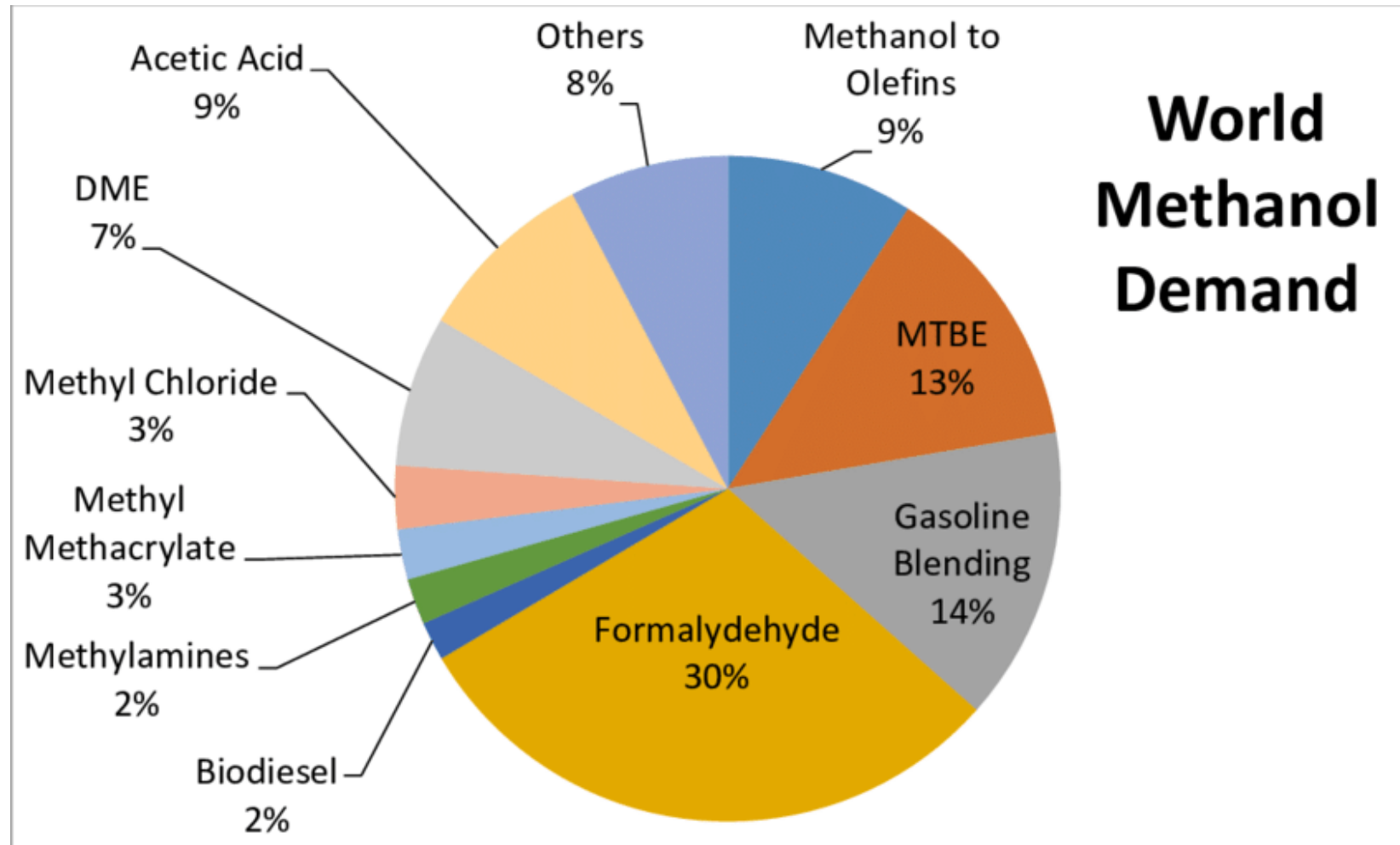
<https://www.bloginstrumentacion.com/aplicaciones/principales-tipos-de-fertilizantes-y-sus-procesos-quimicos/>

Acero renovable (reducción de ore de hierro)

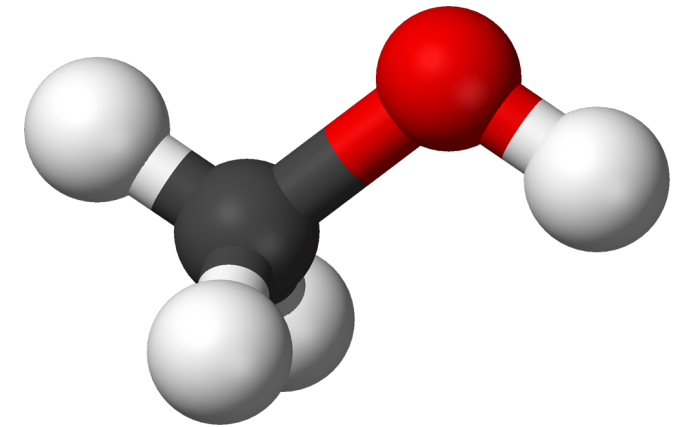


Metanol (CH₃OH)

The most-produced chemical worldwide can be generated environmentally friendly



World Methanol Demand




Metanol (CH₃OH)

El metanol es un producto químico sumamente versátil que se utiliza como intermediario en la fabricación de una infinidad de artículos, entre ellos, **resinas adhesivas para maderas terciadas y materiales de construcción similares, fibras y empaques de poliéster, plásticos, pinturas, revestimientos, combustibles y aditivos para combustibles.**

La demanda mundial de metanol es de aproximadamente 80 millones de toneladas métricas al año.

1 IN OUR DAILY LIVES



- Living Room**
 - Rigid Foam Door Insulation
 - Polyester Carpet
 - Urethane Foam
- Bedroom/Study Room**
 - Polyurethane Mattress Foam
 - Carpeting
- Kitchen**
 - PET Plastic Bottles
 - Decorative Laminates
- Shower Room**
 - Aerosols
 - Disinfectants
 - Fragrances
 - Solvents
- Other Uses**
 - Clothing
 - Fertilizer
 - Fiberglass Insulation Binder
 - Silicone Sealants

2 AUTOMOTIVE MANUFACTURING

- Clean Fuels
- Paints
- Polyester Carpet & Fabric
- Thermoset Bumper & Energy Absorber
- Light Lens
- Tire Core Adhesives
- Body Panels
- MDF/MDI Door Panels
- Safety Glass Laminate
- Polyurethane Dashboard Foam
- Acetyl Thermoplastics: Gears, Pumps, Mouldings, Compounds, Distributer Caps, Fuses



3 MEDICAL EQUIPMENT

- Gloves
- Masks
- Medical gowns
- Hood cap
- Apron
- Pharmaceutical drugs
- Disinfectants



4 FUEL IN SHIPS AND CARS



5 BOILERS/ COOK STOVES



Methanol Institute      

www.methanol.org



https://www.atlanticmethanol.com/informacion_metanol.html



THE END



+34 659 24 92 16



marcos@marcosruperez.com



[@marcosruperez](https://twitter.com/marcosruperez)



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



[Las Locas Ideas de Marcos](https://www.youtube.com/channel/UC...)

MarcosRuperez.com